МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНІ
КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему: **«РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ ПРИРОДНИХ ВОД ДЛЯ ВОДОПОСТАЧАННЯ МІСТА»**

Виконав: магістрант 2 курсу, група 8.1923-вв-д
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
освітньо-професійної програми «Водопостачання та водовідведення»
ЗАБАШТА ДМИТРО ОЛЕГОВИЧ

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

Рецензент: завідувач кафедри міського будівництва і архітектури, канд. техн. наук _____ А. В. Банах

Запоріжжя
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні

Кафедра міського будівництва і архітектури
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія
Освітньо-професійна програма водопостачання та водовідведення

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри _____
«02» 09 2024 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТУ

Забашті Дмитру Олеговичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Розробка ефективної технології очищення природних вод для водопостачання міста

2. Строк подання роботи: *05.12.2024*

3. Вихідні дані до роботи: *Генплан міста (див. додаток), мета роботи, об'єкт досліджень, предмет досліджень, очікувані методи виконання досліджень.*

***4**. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належить розробити): 1. Інноваційні підходи в системах водопідготовки. 1.1 Перспективні світові наукові та технологічні напрями досліджень у сфері водопідготовки. 1.2 Інноваційні процеси водопідготовки як напрям екологічного господарювання. 1.3 Аналіз інноваційних підходів до фільтрування води та їх впливу на здоров'я споживачів. 1.4 Задачі кваліфікаційної роботи. Висновки. 2 Розрахунок потужності очисної станції. 2.1 Вихідні параметри. 2.2 Розробка режиму водоспоживання. 2.3 Схема водопостачання населеного пункту.4 Аналіз умов розробки та розрахунок водозабірних споруд. 3. Розробка технології водопідготовки та оптимізація технології очищення. 3.1 Технологічний процес очищення природної води. 3.2 Обґрунтування вибору та розробка елементів реагентного господарства. 3.3 Визначення конструктивних параметрів змішувачів. 3.4. Визначення розмірів горизонтального відстійника. 3.5 Розрахунок камер пластівцеутворення. 3.6 Удосконалення процесу фільтрування води. 3.7 Розрахунок резервуарів чистої води. 3.8 Мережі станції водопідготовки. 3.9 Висотна схема розташування очисних споруд. 3.10 Розрахунок споруд для очищення промивних вод та осаду. 3.11 Розрахунок споруд для дезінфекції води. 3.12 Розробка насосної станції другого підйому. 3.13 Екологічне обґрунтування. 4. Економічне обґрунтування технологічних рішень. 4.1 Розрахунок капітальних та поточних витрат. 4.2 Визначення собівартості послуг водопостачання. 4.3 Визначення показників ефективності послуг водопостачання*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1.Генплан населеного пункту та ситуаційний план. 2.Генплан очисних споруд. 3.Висотна схема очищення природної води. 4. План та розріз будівлі очисних споруд. 5. План і розріз фільтра. Оптимізація промивного режиму.6.Водозабірні споруди. 7. Розробка технології очищення промивних вод та обробки осаду. 8. Насосна станція другого підйому.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 02.09.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Виконання	Пр
1	Розділ 1. Інноваційні підходи в системах водопідготовки.	01.07. 24	
2	Розділ 2. Розрахунок потужності очисної станції. Лист 1.	15.10.24	
3	Розділ 3. Розробка технології водопідготовки та оптимізація технології очищення.	05.11.24	
4	Листи 2,3.	10.11.24	
	Розділ 4. Економічне обґрунтування	20.11.24	
5	Листи 4,5.	25.11.24	
6	Листи 6-8.	30.11.24	
10	Презентація підготовка доповіді.	06.12.24	

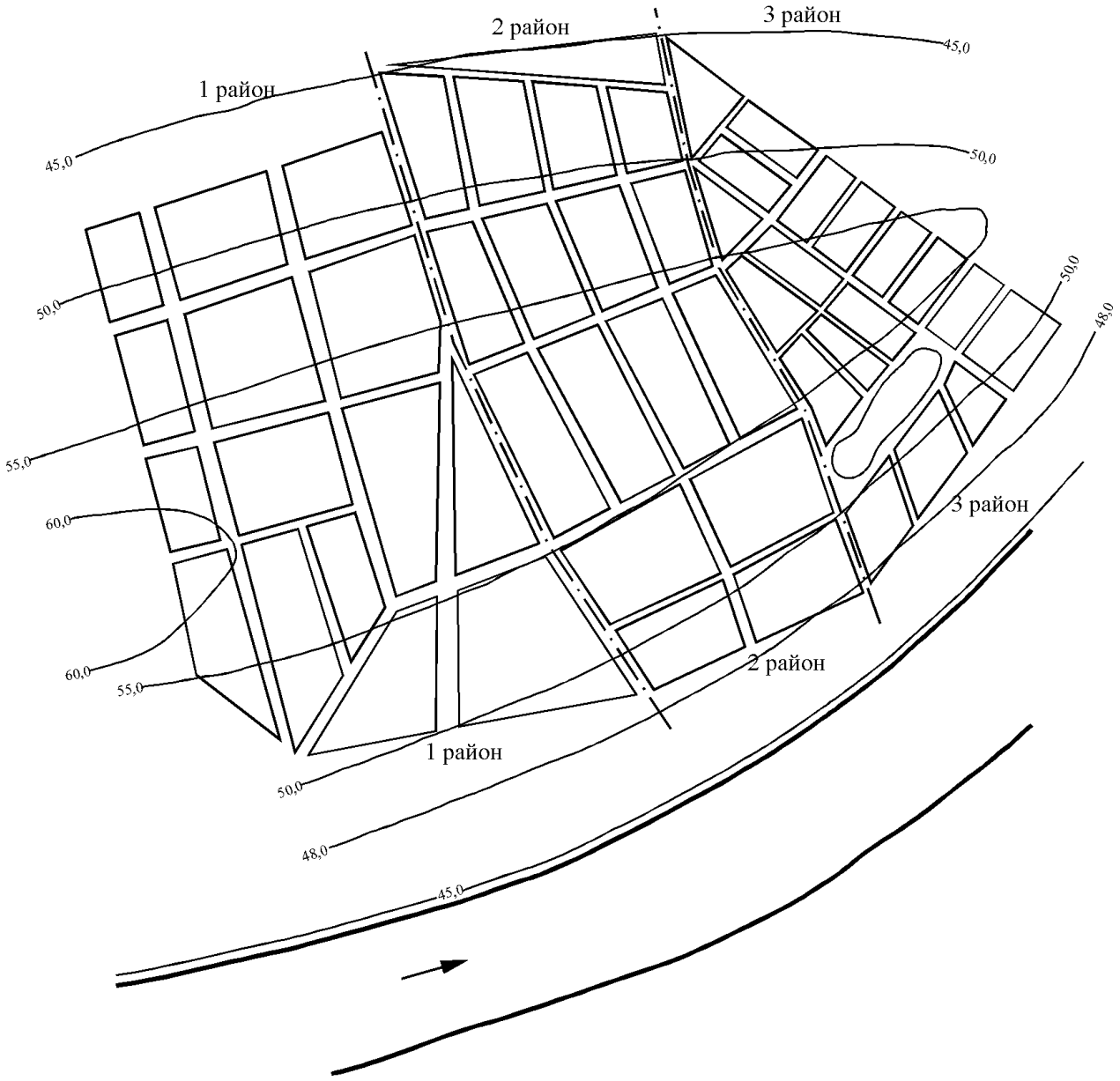
Студент _____ Д.О. Забашта
(підпис) (ініціали та прізвище)

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

Нормоконтроль пройдено

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

М 1:20000



Густина населення:
1 район: P_1 = 370 чол/га, 2 район: P_2 = 320 чол/га, 3 район: P_3 = 210 чол/га;
Площі районів: F_1 = 220,36 га, F_2 = 195,66 га, F_3 = 83,55 га.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра «Розробка ефективної технології очищення природних вод для водопостачання міста»:

81 с., 2 рис., 1 табл., 32 джерел, 12 додатків.

Ключові слова: СИСТЕМА ВОДОПОСТАЧАННЯ; ВОДОЗАБІРНІ СПОРУДИ; ОЧИСНІ СПОРУДИ; ФІЛЬТРУВАННЯ ВОДИ; ПРОМИВНА ВОДА; ВИТРАТА; НАПІР; НАСОСНА СТАНЦІЯ; СОБІВАРТІСТЬ.

Метою роботи є визначення технологічної схеми для підготовки природної води залежно від характеристики джерела, вимог до якості очищеної води та продуктивності системи водопостачання міста. Дослідження впливу змінних параметрів фільтрування на оптимізацію промивного режиму.

Об'єкт досліджень – споруди очисної станції водопостачання продуктивністю 65797 $м^3$/доб.

Предмет досліджень – технологічні та конструктивні параметри споруд фільтрування освітленої води, змінні параметри промивного процесу.

Проведені розрахунки основних елементів системи водопостачання міста, а саме водозабірних споруд, споруд очистки та зберігання води, насосних станцій. Виконані дослідження дозволяють аналізувати заходи зі зменшення впливу параметрів фільтрування води та промивки фільтруючого завантаження на кількість та вартість очисних споруд водопостачання при оптимальному поєднанні їх в цілісну систему залежно від потрібної якості очищеної питної води. Розроблену систему водопостачання можна розглядати як базову при будівництві нових або відновленні пошкоджених очисних споруд.

ABSTRACT

Master's qualification work «Development of effective natural water purification technology for city water supply»:

81 p., 2 fig., 1 table, 32 sources, 12 appendices.

Keywords: WATER SUPPLY SYSTEM; WATER INTAKE FACILITIES; TREATMENT FACILITIES; WATER FILTRATION; WASHING WATER; FLOW; PRESSURE; PUMPING STATION; COST.

The aim of the work is to determine a technological scheme for the preparation of natural water depending on the characteristics of the source, the requirements for the quality of purified water and the productivity of the city's water supply system. Research into the influence of variable filtration parameters on the optimization of the flushing mode.

The object of research is the construction of a water treatment plant with a capacity of 65797 m3/day.

The subject of research is the technological and design parameters of clarified water filtration facilities, variable parameters of the flushing process.

Calculations of the main elements of the city's water supply system have been carried out, namely water intake structures, water treatment and storage structures, pumping stations. The studies performed allow analyzing measures to reduce the impact of water filtration parameters and washing of the filter load on the number and cost of water treatment facilities with their optimal combination into a holistic system depending on the required quality of purified drinking water. The developed water supply system can be considered as a basic one when building new or restoring damaged treatment facilities.

ЗМІСТ

	Завдання на кваліфікаційну роботу	
	АНОТАЦІЯ	
	ABSTRACT	
	ВСТУП	9
1	РОЗДІЛ 1. ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ В СИСТЕМАХ ВОДОПІДГОТОВКИ	11
1.1	Перспективні світові наукові та технологічні напрями досліджень у сфері водопідготовки	11
1.2	Інноваційні процеси водопідготовки як напрям екологічного господарювання	16
1.3	Аналіз інноваційних підходів до фільтрування води та їх впливу на здоров’я споживачів	17
1.4	Задачі кваліфікаційної роботи	20
2	РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ОЧИСНОЇ СТАНЦІЇ	21
2.1	Вихідні параметри	21
2.1.1	Визначення чисельності мешканців	21
2.1.2	Визначення витрат води	21
2.2	Розробка режиму водоспоживання	23
2.3	Схема водопостачання населеного пункту	25
2.4	Аналіз умов розробки та розрахунок водозабірних споруд	27
3	РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВОДОПІДГОТОВКИ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ	36
3.1	Технологічний процес очищення природної води	36
3.2	Обґрунтування вибору та розробка елементів реагентного господарства	39
3.3	Визначення конструктивних параметрів змішувачів	41
3.4	Визначення розмірів горизонтальних відстійників	44
3.5	Розрахунок камер пластівцеутворення	47
3.6	Удосконалення процесу фільтрування води	49
3.6.1	Розрахунок споруд для фільтрування води	49
3.6.2	Оптимізація промивного режиму	55
3.7	Розрахунок резервуарів чистої води	56

3.8	Мережі станції водопідготовки	58
3.9	Висотна схема розташування основних очисних споруд	58
3.10	Розрахунок споруд для очищення промивних вод та осаду	58
3.11	Розрахунок споруд для дезінфекції води	63
3.12	Розробка насосної станції другого підйому	64
3.13	Екологічне обґрунтування	69
4	РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ	71
4.1	Розрахунок капітальних та поточних витрат	71
4.2	Визначення собівартості послуг водопостачання	74
4.3	Визначення показників ефективності послуг водопостачання	74
	ВИСНОВКИ	78
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	80
	Додаток А. Визначення та розрахунок режиму водоспоживання міста	84
	Додаток Б. Характеристика джерела водопостачання	88
	Додаток В. Розрахунок втрат напору у водопровідних лініях водозабору та комунікаціях очисної станції	89
	Додаток Г. Розрахунок ступеню стабільності води після коагуляції	91
	Додаток Д. Розрахунок збірного лотка вертикального змішувача	93
	Додаток Е. Розрахунок трубчастих систем основних очисних споруд	95
	Додаток Ж. Розрахунок втрат напору при промивці швидкого фільтра	102
	Додаток К. Визначення об’єму регулюючих ємностей	105
	Додаток Л. Мережі станції водопідготовки	107
	Додаток М. Аналіз режиму роботи насосів і уточнення їх робочих характеристик	108
	Додаток Н. Розрахунок капітальних та поточних витрат	111
	Додаток П. Розрахунок витрат на заробітну плату виробничих працівників	118

ВСТУП

Актуальність роботи. Цивілізації вже недостатньо просто мати джерела водоспоживання вдосталь. Та сама вода, яка дає життя, може викликати у людей захворювання, якщо містить небезпечні речовини або хвороботворні мікроби. А оскільки люди використовують воду для зрошення сільськогосподарських культур, миття та утилізації відходів, то джерела води поблизу людського проживання легко забруднюються. Забруднення джерел водопостачання обумовлює необхідність удосконалення систем очищення води. Пошук відновлювальних ресурсів при дефіциті питної води є у сучасному світі однією з найважливіших проблем. Дослідження стану довкілля свідчать, що постачання населення якісною питною водою погіршуватиметься, тому на вирішення таких питань направлені чималі фінансові та інтелектуальні ресурси.

За основу розробки ефективної технології очистки води прийняте поняття про фізико-хімічний стан у воді забруднюючих речовин, який визначає закономірності протікання процесів в цьому середовищі. Тобто фазово-дисперсний стан домішок у природній воді обумовлює їх поведінку в процесі водообробки. В інженерному проектуванні питання математичних або емпіричних розрахунків та знаходження оптимальних рішень з підвищення надійності водоочисних споруд зокрема тісно переплітаються. Специфічні особливості системи водопідготовки диктують рішення цієї комплексної задачі.

Метою роботи є визначення залежно від характеристики джерела, вимог до якості очищеної води та продуктивності системи водопостачання міста з кількістю населення більше 100 тисяч мешканців технологічної схеми для підготовки природної води, а також дослідження впливу змінних параметрів фільтрування на оптимізацію промивного режиму. Система водопостачання населеного пункту передбачає поетапний рух води від джерела до споживача, при цьому вода на кожному етапі проходить через

споруди забору, транспортування, очистки та розподілу. Завдяки цьому виникає потреба в плануванні та реалізації якісної роботи кожної споруди, що підвищує надійність функціонування системи в цілому, оскільки дає можливість мінімізувати вплив виходу з ладу якоїсь ділянки.

Об’єкт дослідження – споруди очисної станції водопостачання продуктивністю 65797 $м^3$/доб.

Предмет дослідження – технологічні та конструктивні параметри споруд фільтрування освітленої води, змінні параметри промивного процесу.

Методи досліджень – метод математичного розрахунку, метод обробки статистичних даних, метод графічного моделювання.

Практичне значення отриманих результатів. Проведені дослідження дозволяють аналізувати заходи зі зменшення впливу параметрів фільтрування води та промивки фільтруючого завантаження на кількість та вартість очисних споруд водопостачання при оптимальному поєднанні їх в цілісну систему залежно від потрібної якості очищеної питної води. Розроблену систему водопостачання можна розглядати як базову при будівництві нових або відновленні пошкоджених очисних споруд.

Апробація роботи. Головні положення «Реконструкція інженерних очисних об’єктів. Інновації у будівництві» доповідались на IX Міжнародній науково-практичній конференції (14 травня 2024 р., м.Луцьк) [1].

РОЗДІЛ 1. ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ В СИСТЕМАХ ВОДОПІДГОТОВКИ

1.1 Перспективні світові наукові та технологічні напрями досліджень у сфері водопідготовки

Проблема дефіциту питної води на сьогоднішній день є однією з найголовніших проблем у світі, вирішення якої без перебільшення дуже суттєво впливає на якість життя або навіть просто на життя величезної кількості людей. Так, у новій доповіді, підготовленій учасниками та партнерами механізму «ООН-водні ресурси» та опублікованій ЮНЕСКО наприкінці березня 2024 року, вказується, що «сьогодні 2,2 мільярда людей все ще живуть без доступу до чистої питної води, а 3,5 мільярда не мають доступу до безпечних санітарних умов. Таким чином, мета ООН щодо забезпечення такого доступу для всіх до 2030 року далека від досягнення, і є підстави побоюватися, що ця нерівність може продовжувати зростати. У період з 2002 по 2021 рік від посухи постраждало понад 1,4 мільярда людей. Станом на 2022 рік приблизно половина населення світу відчувала гостру нестачу води протягом як мінімум частини року, а одна чверть зіткнулася з «надзвичайно високим» рівнем водного дефіциту, використовуючи понад 80% своїх щорічних запасів прісної води з відновлюваних джерел. Прогнозується, що зміна клімату призведе до збільшення частоти та серйозності цих явищ, що створить гострі ризики для соціальної стабільності» [2].

Також заслуговують на увагу висловлювання таких відомих і впливових людей, як Одре Азуле (генеральний директор ЮНЕСКО): «У міру зростання навантаження на водні ресурси збільшується ризик виникнення локальних чи регіональних конфліктів. Заклик ЮНЕСКО зрозумілий: якщо ми хочемо зберегти світ, ми маємо діяти швидко не лише з метою захисту водних ресурсів, а й для зміцнення регіональної та глобальної співпраці у цій

галузі», та Альваро Ларіо (президент міжнародного фонду сільськогосподарського розвитку та голова «ООН-Водні ресурси»): «Вода, при раціональному та справедливому використанні, може бути джерелом миру та процвітання. Це ключове джерело життєвої сили для сільського господарства, головний соціально-економічний двигун для мільярдів людей». Тому, зважаючи на масштаб проблеми нестачі питної води, в деяких країнах світу науковці постійно проводять не тільки теоретичні, але й практичні дослідження у сфері водопідготовки, які направлені, з одного боку, на покращення якості води після очищення, а з іншого – на постійне вдосконалення та оптимізацію технологічного процесу очищення води.

Наукові дослідження дуже сильно відрізняються між собою за рівнем та складністю в залежності від територіальних умов та вартості практичної реалізації проектів і потребують стабільного фінансування. Для залучення фінансування та обміну інформації періодично проводиться низка міжнародних заходів, зосереджена на темах води та здоров'я, зокрема Всесвітній тиждень води в Стокгольмі, Всесвітній водний конгрес і виставка Міжнародної водної асоціації та конференція «Вода та здоров'я» в Чапел-Хілл, Північна Кароліна. Ці заходи збирають тисячі учасників. З 2009 року багатонаціональна комунальна компанія Suez щорічно організовує Міжнародний семінар з води та здоров'я в Каннах, Франція, щоб сприяти змістовному обміну між дослідниками та практиками. Експерти-учасники формують постійний науковий комітет, який відбирає аспірантів, щоб максимізувати географічне та тематичне розмаїття [3].

Загалом світові наукові та технологічні дослідження у сфері водопідготовки можна класифікувати за такими напрямами:

- вдосконалення передових та доступних технологій очищення води для так званих «країн, що розвиваються» та низці постраждалих від війни та інших стихійних лих районах щоб допомогти тим, хто не може дозволити собі чисту воду. До таких технологій очищення води відносяться хлорування, сонячна дезінфекція, керамічні, біопіщані та мембранні фільтри. Також

окремо можна виділити методи, які призначені для видалення миш’яку з питної води: окислювальна фільтрація, іонний обмін, фільтрація та адсорбція, а також біоремедіація [4];

- оптимізація більш дорогих, але і більш ефективних технологій очищення води, таких як зворотний осмос, ультрафіолетова дезінфекція та нанотехнологічна фільтрація [5];

- автоматизація та цифровізація комплексних систем водопостачання, які мають забезпечити контроль і регулювання в режимі реального часу. Для цього необхідна взаємодія між моделями і безперервно зростаючою кількістю даних, тобто перехід від традиційних моделей до цифрових [6].

Наприклад, для населення країн, що розвиваються, або відносно бідних країн, пропонується метод хлорування, при якому додається незначна кількість розчину гіпохлориту натрію в прозору або каламутну воду в ємність стандартного розміру. Стверджується, що після ретельного перемішування через 30 хвилин вода стає пригодною до споживання. Хлорування є недорогим, простим у використанні та обслуговуванні, однак ефективність дезінфекції в каламутній воді нижча, а при довгостроковому застосуванні призводить до деяких видів небезпечних захворювань.

Також широко використовувана стратегія профілактики захворювань при очищенні води – сонячна дезінфекція води (SODIS), яка є простим способом знищення патогенів у воді, що робить її безпечною для пиття. Результати дослідження показали, що перебування наповненої пляшки з водою на сонці протягом щонайменше 6 годин зменшує кількість хвороботворних мікроорганізмів у воді, а отже, значно зменшує ускладнення для здоров’я [7]. Після дослідження, проведеного в Камеруні, були отримані такі результати: до застосування SODIS захворювання було у 34,3% дітей, після втручання ризик захворювання знизився на 42,5%.

Інше дослідження в Пакистані складалося з 24 експериментів, у яких використовувалися пляшки з поліетилентерефталату (ПЕТ), наповнені водою з джерел води в Карачі. У цих експериментах було показано, що при

правильному застосуванні SODIS зменшує кількість патогенів на 100%. Дослідження в Індонезії представило епізод навчання 130000 людей протягом 14 місяців тому, як використовувати SODIS. Завдяки інтеграції гігієнічної освіти та SODIS у громаду бактеріальне забруднення домашньої питної води було зменшено на 97%. Однак один з недоліків SODIS полягає в обмеженій здатності фільтрувати лише патогени, а не хімічні компоненти [8].

У країнах з розвиненою економікою більше уваги у дослідженнях приділяється технологічним та затратним за грошовими ресурсами методам очистки води. Наприклад, спостерігається дослідницький прогрес технології очищення води на основі нановолоконних мембран. Молекули води і дрібні частинки розчиненої речовини в живильному розчині проходять через мембрану в процесі УФ-мембранного розділення, тоді як великі частинки або макромолекули діаметром від 10 до 100 нм залишаються [9].

Ультрафільтрація є основним методом видалення колоїдів, мікробів і вірусів з води і має широке застосування в обробці питної води, меліорації та медицині [10]. Технологія зворотного осмосу (RO) досягла значного прогресу за останні кілька десятиліть і забезпечує 44% світової продуктивності опріснення морської води [11]. RO можна використовувати для очищення солоної води для отримання прісної води на стороні низького тиску мембрани. Технологія зворотного осмосу зростає в усьому світі і поступово замінює звичайний метод дистиляції [12].

Нанотехнології як технологічні інновації мають важливе значення для забезпечення інтегрованого управління водними ресурсами для підвищення ефективності очищення та розширення водопостачання з використанням нетрадиційних джерел води. Нанотехнології можуть покращити доступ до чистої, безпечної питної води, надаючи інноваційні наноматеріали для обробки поверхневих, підземних і стічних вод, забруднених небезпечними іонами металів, неорганічними та органічними розчинами та мікроорганізмами. Продукти та процеси, розроблені завдяки прогресу в нанотехнологіях, які зараз використовуються для очищення стічних вод,

включають наноадсорбенти, нановалентне залізо, нанобіоциди, нанофільтрацію, магнітні наночастинки, а гібридна технологія забезпечує каталітичне окислення вологим повітрям на додаток до наночастинок [13].

Останнім часом в Україні стрімко розвивається ринок бутильованої питної води (БПВ), що є перспективним вирішенням проблеми постачання споживачів якісною водою. Заклади індустрії гостинності повинні використовувати питну воду високої якості як безпосередньо для споживання, так і як складову харчових страв. Виробникам БПВ потрібно дбати не тільки про економічну доцільність її виробництва, але й про корисність готової продукції. Підприємства з виробництва БПВ у своїх технологіях застосовують різні способи водопідготовки. Більшість із них, як правило, використовують артезіанські свердловини і після механічного фільтрування розливають воду у споживчу тару. Такий підхід має переваги (збереження вихідного складу води, відсутність механічних домішок), але не може забезпечити потреби людей різних категорій населення.

Наприклад, проводилось дослідження артезіанської води зі свердловини Юрського геологічного водоносного горизонту глибиною 291 м (ТОВ «Росяна»). Вивчались характеристики напівпродуктів, які були отримані у процесі оброблення вихідної води з використанням мембрани ТМН20А-400 на установці зворотного осмосу [14]. Методологічною основою дослідження є процес підготовки води з використанням установки зворотного осмосу із застосуванням рециркуляції для отримання води для споживачів та закладів індустрії гостинності з рекомендованими фізико-хімічними показниками.

Взагалі в більшості розвинених країн активно проводяться дослідження по всіх базових напрямках технологій очищення питної води. Є безліч захоплюючих досліджень і нових ідей щодо інноваційного очищення, які досягли випробувального рівня та пілотної стадії, але можуть знадобитися роки, щоб розробити їх у повномасштабні програми. Як приклад електрохімічні технології у водній промисловості Великобританії. Ці

технології використовують електроенергію для керування процесами очищення. Електрокоагуляція може дестабілізувати та видалити забруднення за допомогою комбінації коагуляції, окислення та дезінфекції. Хоча вони все ще розробляються для широкомасштабного застосування, вони обіцяють ефективну та універсальну очистку води [15].

Оскільки джерела води стають дедалі складнішими, однієї технології очищення може бути недостатньо. Гібридні системи поєднують кілька передових методів очищення, таких як мембранна фільтрація, AOPs і GAC фільтрація, щоб досягти більш комплексного підходу [16].

Можливості застосування для попередньої обробки поверхневих вод за допомогою мікро-/ультрафільтрації (MF/UF) досліджуються в Нідерландах і можуть мати застосування у Великобританії. Триває подальше вивчення процесу з низьким дозуванням заліза, що застосовується до потоку живлення для зменшення біообростання. Переваги цієї обробки означають невелике або менше використання хімікатів; відсутність утворення осаду; стабільний pH; компактний і модульний завод і повне видалення частинок. Подальші дослідження включають розрахунок супутніх витрат, які можуть виявитися непомірно високими при експлуатації [17].

Постійні інвестиції в дослідження і розробки надалі будуть мати вирішальне значення для вивчення ще більш досконалих рішень для очищення води. Обізнаність громадськості щодо збереження та відповідального використання води також є важливою для збереження цього життєво важливого ресурсу в майбутньому [18].

1.2 Інноваційні процеси водопідготовки як напрям екологічного господарювання

Пріоритетом екологічного господарювання є раціональне використання природних ресурсів, максимальне зниження забруднень навколишнього середовища та водойм тощо. Хоча це і потребує додаткових фінансових

витрат і більш складних технологічних рішень, але дозволяє суттєво покращити якість життя людей.

Одним з напрямів екологічного господарювання є інноваційні процеси водопідготовки, застосування яких хоч і потребує додаткового фінансування з боку господарів, але дозволяє значно зменшити вплив життєдіяльності людей на навколишнє середовище. Серед деяких інноваційних процесів, які можна застосовувати для підвищення ефективності видалення забруднень та покращення якості питної води можна виділити віброкавітаційну переструктурізацію води з додатковим очищенням за допомогою пероксиду водню, а також мембранні технології фільтрації води, які можуть бути застосовані в різноманітних галузях легкої, хімічної та харчової промисловості. Екологічно безпечними інноваційними процесами водопідготовки також вважаються біологічні методи очищення, такі як використання мікроорганізмів для розкладання органічних забруднень.

Загалом, впровадження інноваційних технологій у водопідготовку сприяє сталому розвитку та збереженню водних ресурсів, що є важливим напрямом екологічного господарювання.

1.3 Аналіз інноваційних підходів до фільтрування води та їх впливу на здоров’я споживачів

Одним з інноваційних підходів до фільтрування води є використання керамічних (CWF) та біопіщаних фільтрів для води (BSF). Фільтрація Biosand – це повільний піщаний фільтр, адаптований для використання в домашніх умовах. Найбільш широко відомий варіант BSF – це бетонний контейнер висотою 0,9 метра площею 0,3 м^2, заповнений піском. Рівень води становить 5…6 см над шаром піску, що допомагає зменшити кількість хвороботворних організмів. Пластина з отворами розміщена поверх піску, щоб запобігти руйнуванню біоактивного шару при додаванні води. Фільтри ефективні завдяки своїй універсальності та здатності легко використовуватися в

домашніх умовах. Дослідження також показали, що керамічні фільтри в 3…6 разів рентабельніші, ніж централізована система водопостачання, якщо розглядати їх з точки зору зменшення захворювань, які передаються через воду. Такі фільтри є екологічно чистими за рахунок низького споживання енергії. Основним недоліком фільтрації з біопіску є те, що вона вимагає постійного обслуговування, оскільки пісок потрібно часто міняти, або фільтрація не тільки буде неефективною, але й вода, що фільтрується, може стати ще більш забрудненою [19].

Керамічні фільтри для води (CWF) широко використовуються в країнах, що розвиваються, де якість води дуже погана. Він може видалити каламутність, органічні речовини та мікроби. Іншими перевагами є просте очищення, покращені екологічні показники з точки зору споживання енергії, каламутності і утворення осаду. Використання керамічних фільтрів для населення у 3…6 разів економічніше, ніж централізована система водопостачання. Блоки фільтрів можуть прослужити протягом тривалого часу, але потребують запасних частин. Основним недоліком керамічних фільтрів є неефективність у видаленні вірусів, оскільки віруси менші за пористість фільтру, отже неефективно видаляються з води. Але дослідження показало, що використання коагуляції хітозаном як попередньої обробки для керамічної фільтрації зменшує кількість вірусів і бактерій [20].

Фільтрація гранульованим активованим вугіллям (GAC) — це широко поширена передова технологія очищення, яка використовує активоване вугілля для видалення забруднень із води. Активоване вугілля має дуже пористу структуру з великою внутрішньою площею, що дозволяє досягти видалення широкого спектру домішок, смаку, запаху та органічних забруднень. Вода пропускається через шар GAC, забруднювачі зі смаком і запахом, а також певні органічні хімікати та пестициди адсорбуються на поверхні вуглецевих частинок. Перевагами цього методу є ефективне видалення смаку та запаху, спричиненого природними органічними речовинами у воді. GAC може адсорбувати пестициди, гербіциди та

промислові хімікати. Системи фільтрації GAC, як правило, прості в експлуатації, але мають високі витрати, тому що вуглець потребує регенерації для відновлення своєї ефективності.

На багатьох заводах з очищення води у Великобританії використовується фільтрація GAC у поєднанні з іншими методами очищення для досягнення оптимальної якості питної води. Наприклад, одна з найбільших водопровідних компаній у Великобританії Severn Water використовує фільтрацію GAC на деяких своїх очисних спорудах для видалення смакових і запахових компонентів із води, отриманої з ріки Трент. Ефективність GAC залежить від типу та розміру молекул забруднення, вуглець потрібно періодично відновлювати шляхом регенерації, оскільки його адсорбційна здатність вичерпується. Однак фільтрація GAC має кілька позитивних впливів на здоров’я людей, а саме:

- GAC ефективно видаляє органічні хімічні речовини, пестициди, гербіциди, хлор та інші забруднювачі, які можуть бути присутні у воді, це знижує ризик захворювань, пов’язаних із вживанням забрудненої води;

- видалення хімічних забруднювачів, таких як легкі органічні сполуки може знизити ризик розвитку хронічних небезпечних захворювань;

- хоча GAC не є основним методом для видалення бактерій та вірусів, він може зменшити кількість деяких мікроорганізмів у воді, що додатково сприяє здоров’ю [21].

Актуальним напрямком досліджень також є застосування нових ефективних фільтрувальних матеріалів, які не тільки покращують органолептичні і забезпечують стабільні фізико-хімічні показники води, але і зменшують навантаження на установку зворотного осмосу. Так, проводились дослідження з можливості застосування кліноптилоліту як перспективного фільтрувального матеріалу. Результатами досліджень встановлено, що, порівнюючи із кварцовим піском, кліноптилоліт має утричі меншу зольність та вищу механічну міцність. Ці показники сприяють більшому терміну експлуатації матеріалів, збільшенню кількості регенерацій, зменшенню

пускового періоду та витрат води і реагентів на промивання. Склад клиноптилоліту впливає на адсорбційну спроможність, максимальну сорбційну здатність щодо домішок середньої фракції. Доведено, щоклиноптилоліт є не тільки фільтрувальним, але і сорбційним та іонообмінним матеріалом [22].

1.4 Задачі кваліфікаційної роботи

Відповідно до мети сформульовані наступні **завдання** розробки та дослідження технології очистки:

- виконати аналіз літературних даних про перспективні світові наукові та технологічні напрями досліджень у сфері водопідготовки, а також аналіз інноваційних підходів до фільтрування води;

- проаналізувати умови розробки та виконати розрахунок водозабірних споруд відповідно до характеристики джерела водопостачання та вимог водоспоживачів;

- визначити, за якою технологічною схемою можна досягнути заданої якості очистки природної води для використання її у системі водопостачання населеного пункту;

- виконати розрахунки споруд згідно з технологічною схемою очистки природної води;

- виконати математичне моделювання промивного процесу при фільтрації води та визначити його оптимальні параметри;

- для графічного відображення результатів побудувати залежності взаємодії між змінними параметрами фільтрації та промивки;

- розрахувати основні показники роботи насосних станцій та вибрати обладнання для подачі очищеної води споживачеві;

- на основі техніко-економічного аналізу прийнятих рішень розрахувати собівартість очистки 1 $м^3$ води.

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ОЧИСНОЇ СТАНЦІЇ

2.1 Вихідні параметри

2.1.1 Визначення чисельності мешканців

Кількість населення, що проживає у кожному районі міста:

$$N_i = P_i \cdot F_i, \tag{2.1}$$

де P_i – щільність мешканців, чол/га; згідно з характеристикою населеного пункту $P_1 = 370$ чол/га, $P_2 = 320$ чол/га, $P_3 = 210$ чол/га;
F_i – площа району, га; відповідно листа 1 графічної частини роботи з планом міста $F_1 = 220{,}36$ га, $F_2 = 195{,}66$ га, $F_3 = 83{,}55$ га.

2.1.2 Визначення витрат води

Для і-го району середньодобова витрата води:

$$\overline{Q}_{\text{доб}i} = N_i \cdot q_i / 1000, \tag{2.2}$$

де q_i – прийняте для різних районів відповідно до [23, табл.1] питоме господарсько-питне водоспоживання на одного мешканця, л/доб;
$q_1 = 300$ л/доб; $q_2 = 285$ л/доб; $q_3 = 230$ л/доб.

За добу найбільшого і найменшого водоспоживання розрахункові витрати води визначаються за формулами:

$$Q_{\text{доб.макс}} = К_{\text{доб.макс}} \cdot \overline{Q}_{\text{доб}}; \tag{2.3}$$

$$Q_{\text{доб.мін}} = К_{\text{доб.мін}} \cdot \overline{Q}_{\text{доб}},$$

де $К_{доб.макс}$, $К_{доб.мін}$ – з урахуванням ступеню благоустрою будівель, укладу життя населення та режиму роботи підприємств, а також зміни водоспоживання за сезонами року та днями тижня приймаються відповідно до [23, п.6.1.2] максимальний і мінімальний коефіцієнти добової нерівномірності водоспоживання.

В Додатку А , табл.А.1 надані результати розрахунку витрат води за добу.

За витратою води на поливання, яка відповідно до [23, дод.А, табл.А.2] приймається в розмірі 60 л/доб в перерахуванні на одного жителя, визначається добова витрата води на поливання вулиць і зелених насаджень, при цьому 40% води використовують двірники і 60% - поливальні машини.

В Додатку А, табл.А.2 приведений розрахунок водоспоживання на поливання вулиць і зелених насаджень.

В даному розрахунку промислові підприємства в якості споживачів не враховуються, тому добова витрата води при максимальному водоспоживанні визначається за формулою:

$$Q = Q_{доб.макс.} + Q_{п}, \tag{2.4}$$

де $Q_{доб.макс.}$ – максимальна витрата води за добу на потреби господарсько-питного призначення для населення міста, $м^3$/доб; відповідно до табл.А.1 $Q_{доб.макс.}$= 53565,09 $м^3$/доб;

$Q_{п}$ – витрата води за добу на поливання вулиць, $м^3$/доб; відповідно до табл.А.2 $Q_{п}$ = 9701,39 $м^3$/доб.

$$Q = 53565,09 + 9701,39 = 63266,48 \ м^3/доб.$$

Відповідно до [23, п.6.2.2] прийняті розрахункові витрати води на потреби пожежогасіння та кількість одночасних пожеж для житлової забудови.

Визначена розрахункова витрата води для пожежогасіння:

$$Q_{пож} = 3 \cdot (40 + 5) = 135,0 \text{ л/с}, \tag{2.5}$$

де 3 – розрахункова кількість одночасних пожеж для будівель висотою три поверхи і вище з населенням чисельністю N = 161690 чол;

40 – витрата води на зовнішнє пожежогасіння в місті на одну пожежу, л/с;

5 – витрата води на пожежогасіння однієї внутрішньої пожежі, л/с.

При тривалості пожежогасіння 3 години відповідно до [23, п.6.2.13] розрахункова витрата води:

$$Q'_{пож} = 3 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 135{,}0 / 1000 = 1458{,}0 \text{ м}^3. \quad (2.6)$$

2.2 Розробка режиму водоспоживання

Для розрахунку системи водопостачання, зокрема споруд (насосної станції, водонапірної башти, резервуарів та очисних споруд) визначення вихідної величини – добової розрахункової витрати – є необхідною умовою, але недостатньою, тому що витрачання води протягом доби проводиться зі значними коливаннями в різні години. Для того щоб урахувати ці коливання та визначити максимальну та мінімальну погодинні витрати, які потім стануть основою розрахунку споруд, складається графік добового водоспоживання [24].

Режим використання води для благоустрою територій (поливання або зрошування зелених насаджень, а також поливання або миття удосконалених покриттів вулиць та доріг) відповідно до [23, п.6.1.3]:

- поливання вулиць, площ і проїздів – механізоване поливальними машинами, рівномірне за годинами роботи в дві зміни з 05.00 до 19.00;

- поливання зелених насаджень і парків зранку та ввечері проводиться двірниками рівномірно в години з 05.00 до 09.00 і з 16.00 до 19.00.

Для кожного району міста максимальний коефіцієнт погодинної нерівномірності визначається за формулою:

$$К_{і\,год.макс.} = \alpha_{і\,макс} \cdot \beta_{і\,макс}, \quad (2.7)$$

де $\alpha_{i\text{макс.}}$ – коефіцієнт, що враховує режим роботи або інші місцеві умови, а також ступінь благоустрою будівель; відповідно до [23, п.6.1.2] прийнято $\alpha_{1\text{макс.}} = 1{,}21$; $\alpha_{2\text{макс.}} = 1{,}23$; $\alpha_{3\text{макс.}} = 1{,}22$;

$\beta_{i\text{макс.}}$ – коефіцієнт врахування чисельності жителів в районі, прийнятий відповідно до [23, табл.2] за допомогою метода інтерполяції для різних районів: $\beta_{1\text{макс.}} = 1{,}118$; $\beta_{2\text{макс.}} = 1{,}137$; $\beta_{3\text{макс.}} = 1{,}225$.

$$К_{1\ макс} = 1{,}21 \cdot 1{,}118 = 1{,}35;$$

$$К_{2\ макс} = 1{,}23 \cdot 1{,}137 = 1{,}40;$$

$$К_{3\ макс} = 1{,}22 \cdot 1{,}225 = 1{,}50.$$

Відповідно до [25, табл.2.16] приймається при коефіцієнтах погодинної нерівномірності $К_1 = 1{,}35$; $К_2 = 1{,}4$; $К_3 = 1{,}5$ розподіл води за годинами доби.

Для кожної години визначається витрата води за формулою:

$$Q_{jч} = P_{jч} \cdot Q_{j.доб.макс} / 100, \qquad (2.8)$$

де $P_{jч}$ – значення j-ї погодинної витрати, %;

$Q_{j\ доб.макс}$ – максимальна витрата для і-го району міста, $м^3$/доб.

Результати розрахунків приведені в Додатку А, табл.А.3.

Коефіцієнт погодинної нерівномірності водоспоживання міста:

$$К = Q_{пог.макс} / Q_{пог.серед}, \qquad (2.9)$$

де $Q_{пог.макс}$ – максимальна погодинна витрата води, $м^3$/год.; приймається за табл.А.3 $Q_{пог.макс} = 3762{,}01$ $м^3$/год;

$Q_{пог.серед}$ – середня погодинна витрата води, $м^3$/год:

$$Q_{пог.серед} = Q_{доб.макс} / 24, \qquad (2.10)$$

де $Q_{доб.макс}$ – максимальна витрата води за добу, м^3/доб; за табл. А.3 $Q_{доб.макс}$ = 63266,48 м^3/доб.

$$Q_{пог.серед} = 63266,48/24 = 2636,10 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$К = 3762,01/2636,10 = 1,43.$$

2.3 Схема водопостачання населеного пункту

Система водопостачання населеного пункту представляє собою комплекс інженерних споруд, які призначені для забирання води з природного джерела, її очищення, зберігання, подачі (транспортування) та розподілу між водоспоживачами. У графічній частині роботи (лист 1) представлений ситуаційний план розташування основних елементів системи водопостачання міста. Принципова схема водопостачання надана на рис.2.1.

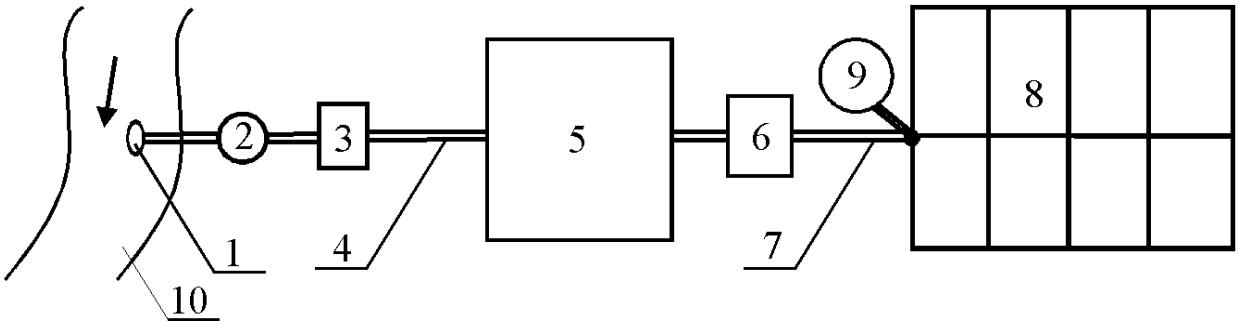


Рисунок 2.1 - Принципова схема водопостачання міста

1 – оголовок (водоприймач); 2 – береговий колодязь; 3 - насосна станція I підйому; 4 – напірні водоводи насосів I підйому; 5 – очисні споруди; 6 – насосна станція II підйому; 7 – напірні водоводи насосів II підйому; 8 – водопровідна мережа; 9 – водонапірна башта; 10 – ріка.

Відповідно до природних умов джерела водопостачання та експлуатації, а також вимог водоспоживачів прийняті водозабірні споруди відносяться до поверхневих господарсько-питних водоприймальних споруд малої продуктивності (менше 1 $м^3/с$). Надійності забору води II ступеню, надійність подачі води I категорії. Компонування основних елементів: руслове розташування водоприймача, береговий водоприймальний колодязь, будівля насосної станції I підйому розташована окремо від берегового колодязя, передбачено глибинний спосіб приймання води.

Двома самопливними лініями річкова вода від оголовка надходить в береговий колодязь, з якого насосами I підйому по двох водоводах подається на очисну станцію, де послідовно проходить всі стадії очистки на спорудах.
На території очисної станції вода рухається самопливом від змішувачів до швидких фільтрів і далі в резервуари чистої води (РЧВ), звідки забирається насосами II підйому та подається в магістральну водопровідну мережу міста.
Прийнята однозонна схема водопостачання, тому що рельєф місцевості спокійний, територія міста невелика, потрібні напори для різних водоспоживачів у районах міста відрізняються незначно. В найбільш віддаленому від насосної станції II підйому та найбільш високо розташованому місці (за генпланом міста на листі 1) розміщується водонапірна башта, тому розрахунковою схемою водопостачання є схема з баштою на початку мережі. Ця схема передбачає, що в години, коли насоси подають води більше, ніж її споживається в мережі (наприклад, уночі), лишки води надходять у башту для акумулювання в її баці, а в години, коли насоси подають води менше, ніж її споживається в мережі (вдень), недостача води надходить у мережу з башти. Кільцева водопровідна мережа, яка рівномірно охоплює всю територію, прийнята для забезпечення більшої надійності розподілу води серед споживачів.

2.4 Аналіз умов розробки та розрахунок водозабірних споруд

Джерелом водопостачання для даного населеного пункту є ріка, що зумовлює спосіб водопідготовки, наявність очисних споруд, вартість будівництва та експлуатації всієї системи водопостачання міста. Кількісна та якісна характеристика джерела водопостачання надана в Додатку Б.

Таким чином, за своєю якістю вода ріки в місці розташування населеного пункту відноситься до води високої каламутності (понад 250 мг/л) і середньої забарвленості (35 – 50 град.). Обране джерело водопостачання задовольняє наступним вимогам:

- з урахуванням росту норм водоспоживання і перспективного розвитку міста забезпечує необхідну кількість води та безперебійність постачання її споживачу;

- дає воду такої якості, яка після найпростішої та найдешевшої її очистки дозволяє досягнути відповідності потребам споживачів;

- забезпечує подачу води з можливістю найменше витрачати кошти;

- має таку потужність, що відбір води з ріки на потреби міста не порушує екологічну систему, що склалася.

В створі водозабору русловий режим прийнято оцінювати показником рухливості матеріалу русла, параметром умови градоутворення та критеріальними швидкостями.

Показник рухливості матеріалу русла визначається за формулою:

$$К_р = \sigma / U, \qquad (2.11)$$

де σ – гідравлічна крупність матеріалу русла, м/с, за табл.Б.1

σ = 150,0 мм/с = 0,15 м/с;

U – динамічна швидкість потоку, м/с:

$$U = \sqrt{g \cdot H \cdot I}, \qquad (2.12)$$

де g – прискорення сили тяжіння, $g = 9{,}81$ м/с^2;

H – середня глибина потоку, м; за табл.Б.1 H = 8,25 м;

I – ухил річкових відкладень; за табл.Б.1 I = 0,0003.

$$U = \sqrt{9{,}81 \cdot 8{,}25 \cdot 0{,}0003} = 0{,}156 \text{ м/с};$$

$$К_р = 0{,}15 / 0{,}156 = 0{,}96.$$

Показник рухливості матеріалу русла $К_р < 1{,}0$, тому русло стійке і немає необхідності його укріплення [26].

Переміщення наносів по дну з утворенням гряд перевіряється при мінімальній і максимальній швидкості та глибині потоку ріки.

Параметр, що характеризує умови грядоутворення:

$$A_i = v_i / (\sqrt{1{,}1 \cdot g \cdot H_i / \alpha}(d / H_i)^{0{,}25}), \qquad (2.13)$$

де v_i – швидкість руху води в річці за даний період, м/с; за табл.Б.1

$v_{макс}$ = 1,05 м/с, $v_{мін}$ = 0,3 м/с;

H_i – глибина води в річці, м;

α – повний коректив живої сили на нерівномірний розподіл швидкостей та їх пульсацію; приймається α = 2,0 [26];

d – діаметр часток наносів, м; при гідравлічній крупності 150 мм/с діаметр наносів d = 1,50 мм = 0,0015 м [26].

Глибина води в річці в місці розташування водоприймальної споруди:

$$H_i = h_i - h_{вод}, \qquad (2.14)$$

де h_i – рівень води в річці в даний період, м; за табл.Б.1 відповідні позначки становлять $h_{макс}$ = 44,5 м, $h_{мін}$ = 42,0 м;

$h_{вод}$ – позначка розташування водоприймальної споруди, м; $h_{вод}$ = 35,0 м.

$$H_{макс} = 44{,}5 - 35{,}0 = 9{,}5 \text{ м};$$

$$H_{мін} = 42{,}0 - 35{,}0 = 7{,}0 \text{ м};$$

$$A_{макс} = 1{,}05/(\sqrt{1{,}1 \cdot 9{,}81 \cdot 9{,}5/2} \cdot (1{,}5 \cdot 10^{-3}/9{,}5)^{0{,}25}) = 1{,}31;$$

$$A_{мін} = 0{,}3/(\sqrt{1{,}1 \cdot 9{,}81 \cdot 7{,}0/2} \cdot (1{,}5 \cdot 10^{-3}/7{,}0)^{0{,}25}) = 0{,}07.$$

Таким чином, при $A_{макс} < 1{,}66$ грядоутворення в руслі ріки відсутнє, укріплення русла ріки в місці водозабору не потрібне, тому що наноси за розрахунками не пересуваються по дну. Критеріальні швидкості дозволяють оцінювати шугольодовий режим. Мінімальна швидкість води $v_{мін} = 0{,}3$ м/с менше першої критеріальної швидкості (0,5 м/с), тому шуга не ускладнює забір води і спливає на поверхню.

Умови транспорту шуги характеризує друга критеріальна швидкість:

$$v_{к.2} = 0{,}7 + 0{,}06 \cdot H_р, \qquad (2.15)$$

де $H_р$ – розрахункова глибина потоку при шугоході, м:

$$H_р = 0{,}7 \cdot H_{макс}, \qquad (2.16)$$

$$H_р = 0{,}7 \cdot 9{,}5 = 6{,}65 \text{ м};$$

$$v_{к.2} = 0{,}7 + 0{,}06 \cdot 6{,}65 = 1{,}1 \text{ м/с}.$$

Максимальна швидкість руху води в річці $v_{макс} = 1{,}05$ м/с менше другої критеріальної швидкості $v_{к.2} = 1{,}1$ м/с, тому наявність шуги не ускладнює забір води.

Відповідно до умов забору води та з урахуванням продуктивності приймається захищений залізобетонний розтрубний постійно затоплений оголовок з боковим прийомом води, який знаходиться нижче кромки льодового покрову при льодоставі та нижче мінімального рівня води в річці. В отворах оголовка встановлюються решітки для затримання сміття.

Повна витрата води, що надходить на очисну станцію:

$$Q_{пов} = \alpha \cdot Q, \qquad (2.17)$$

де α - коефіцієнт витрати води на власні потреби; $\alpha = 1{,}04$ [23, п.10.1.6];

Q – розрахункова витрата, м^3/доб; за табл.А.3 Q = 63266,48 м^3/доб.

$$Q_{пов} = 1{,}04 \cdot 63266{,}48 = 65797{,}14 \text{ м}^3\text{/доб} = 2741{,}55 \text{ м}^3\text{/год} = 0{,}76 \text{ м}^3\text{/с}.$$

Сумарна площа решіток визначається за формулою:

$$\Omega_{бр} = 1{,}25 \cdot q_р \cdot K_{ст} / v_{вт}, \qquad (2.18)$$

де $q_р$ – розрахункова повна витрата води, м^3/с; $q_р = Q_{пов} = 0{,}76$ м^3/с;

$v_{вт}$ – швидкість втікання води у водоприймальні отвори, віднесена до їх перерізу в просвіті; $v_{вт} = 0{,}25$ м/с [23, п.9.2.14];

$K_{ст}$ – коефіцієнт стиснення отворів стержнями грат:

$$K_{ст} = (a_{ст} + c_{ст}) / a_{ст}, \qquad (2.19)$$

де $a_{ст}$ – відстань між стержнями в просвіті, см; прийнято $a_{ст} = 5$ см [26];

$c_{ст}$ – товщина стержнів, см; $c_{ст} = 1$ см [26].

$$K_{ст} = (5+1)/5 = 1{,}2;$$

$$\Omega_{бр} = 1{,}25 \cdot 0{,}76 \cdot 1{,}2 / 0{,}25 = 4{,}57 \text{ м}^2.$$

Приймаються 2 решітки з розмірами: ширина $\lambda_р$ = 1750 мм = 1,75 м, висота $h_р$ = 2500 мм = 2,5 м, площа вікна решітки $F_р$ = 3,20 м^2 [26], тоді площа всіх решіток становить: $f_р = 2 \cdot 3{,}20 = 6{,}40$ м^2.

Швидкість втікання води визначається за формулою:

$$v_{вт} = 1{,}25 \cdot q_р \cdot K_{ст} / f_р; \qquad (2.20)$$

$$v_{вт} = 1{,}25 \cdot 0{,}76 \cdot 1{,}2 / 6{,}40 = 0{,}18 \text{ м/с},$$

що менше максимальної допустимої швидкості рибозахисту [23, п.9.2.14].

Швидкість руху води в решітках визначається за формулою:

$$v_р = \frac{q_р}{N_р \cdot h_р \cdot (\lambda_р - n \cdot d)}, \qquad (2.21)$$

де $N_р$ – кількість решіток, од.; прийнято $N_р$ = 2 шт.;
n – кількість стержнів у решітках, од.; для вибраних розмірів n = 29 шт. [26];
d – діаметр лобової частини стержня решітки, м; прийнято d = 0,01 м [26].

$$v_р = \frac{0{,}76}{2 \cdot 2{,}5 \cdot (1{,}75 - 29 \cdot 0{,}01)} = 0{,}10 \text{ м/с}.$$

Мінімальна відстань від урізу води при РНВ до оголовка:

$$h_{мін} = h_р + 0{,}5 \cdot h_в + 0{,}8, \qquad (2.22)$$

де $h_{хв}$ – висота хвилі, м; за табл.Б.1 $h_{хв}$ = 0,4 м.

$$h_{мін} = 2{,}5 + 0{,}5 \cdot 0{,}4 + 0{,}8 = 3{,}50 \text{ м}.$$

Мінімальна глибина води в річці, одержана за формулою (2.14) $H_{мін}$ = 7,0 м більша, ніж $h_{мін}$ = 3,5 м, тому умови розміщення оголовка виконані.

Відповідно до умов забору води та продуктивності водозабору $q_р$ = 0,76 м^3/с передбачаються для встановлення в береговому колодязі каркасні сітки, що обертаються, з лобовим підводом води $N_с$ = 2 [23, п.9.2.27].

Необхідна площа сітки, що занурена під водою:

$$\Omega_{сіт.} = 1{,}25 \cdot q_р \cdot K_{ст.сіт.} / (N_с \cdot v_{сіт.}), \quad (2.23)$$

де $v_{сіт}$ – швидкість руху води в сітці, м/с; $v_{сіт}$ = 0,6 м/с [23, п.9.2.28];
$К_{ст.сіт.}$ – коефіцієнт стиснення живого перерізу сітки проволокою:

$$К_{ст.сіт.} = ((a_{ст} + c_{ст}) / a_{ст})^2, \quad (2.24)$$

де $c_{ст}$ – розмір отвору сітки в просвіті, мм; прийнято $c_{ст}$ = 2 мм [26];
$a_{ст}$ – діаметр проволоки полотна сітки, мм; прийнято $a_{ст}$ = 1,2 мм [26].

$$К_{ст.сіт.} = ((1{,}2 + 2{,}0) / 1{,}2)^2 = 7{,}1;$$

$$\Omega_{сіт.} = 1{,}25 \cdot 0{,}76 \cdot 7{,}1 / (2 \cdot 0{,}6) = 5{,}6 \text{ м}^2.$$

Глибина занурення сітки під розрахунковий рівень води:

$$h = \Omega_{сіт} / B, \quad (2.25)$$

де В – ширина полотна сітки, м; для вибраного типу сітки В = 1,84 м [26].

$$h = 5{,}6 / 1{,}84 = 3{,}1 \text{ м}.$$

Загальна висота сітки (відстань між центрами зірочок):

$$H_{вр} = h + h_1 + h_2 + 1{,}0, \quad (2.26)$$

де h_1 – величина коливання рівня, м; при $h_{макс}$ = 44,5 м, $h_{мін}$ = 42,0 м h_1 = 2,5 м;

h_2 – висота агрегату сітки (відстань від вісі верхньої зірочки до підлоги, на якій встановлюється привод сітки), м; $h_2 = 1,4$ м [26].

$$H_{вр} = 3,1 + 2,5 + 1,4 + 1,0 = 8,0 \text{ м.}$$

Береговий колодязь встановлено на відмітці, яка перевищує відмітку рівня високих вод (РВВ) на величину не менше:

$$H_к = 0,5 \cdot h_{хв} + 0,5, \qquad (2.27)$$

де $h_{хв}$ – максимальна висота хвилі; за табл.Б.1 $h_{хв} = 0,4$ м.

$$H_к = 0,5 \cdot 0,4 + 0,5 = 0,70 \text{ м.}$$

З урахуванням умови (2.27) та позначки РВВ 44,5 м прийнято місце розташування берегового колодязя на відмітці 45,2 м. Довжина самопливних ліній визначається відстанню між оголовком і береговим колодязем та становить (за генпланом водозабору на листі 6) L_c = 60 м. За кількістю відділень оголовка прийнято дві робочі самопливні лінії, витрата води по одній лінії q_c = 0,38 м^3/с = 38 л/с. Для швидкості в самопливних водоводах 1,0…1,4 м/с [23, табл.15] $Д_c$ = 600 мм; v_c = 1,28 м/с; 1000i = 3,27 [27].

Від насосної станції першого підйому вода до очисних споруд подається двома напірними водоводами $n_н = 2$. Витрата води по кожному напірному водоводу становить $q_н = 0,38$ м^3/с. При швидкості в напірних водоводах 1,0…3,0 м/с [23, п.11.8] $Д_н$ = 600 мм; $v_н$ = 1,28 м/с;1000i = 3,27 [27].

Необхідний напір насосів першого підйому:

$$H_{нас} = H^{п}_{н.ст.} - Z_{вс}, \qquad (2.28)$$

де $Z_{вс}$ – висота всмоктування, м;

$H^{п}_{н.ст.}$ - п’єзометрична позначка насосної станції першого підйому, м:

$$H^{п}_{н.ст.} = H^{п}_{оч.ст.} + \sum h^{н}_{дов} + \sum h^{н}_{м}, \quad (2.29)$$

де $H^{п}_{оч.ст.}$ - п'єзометрична позначка очисної станції, м;

$\sum h^{н}_{дов}$ – втрати по довжині в напірних лініях, м; $\sum h^{н}_{дов}$ = 1,44 м (див.Дод.В);

$\sum h^{н}_{м}$ - втрати на місцеві опори в напірних лініях, м; $\sum h^{н}_{м}$ = 0,14 м.

П'єзометрична позначка очисної станції:

$$H^{п}_{оч.ст.} = H_{в} + Z^{г}_{оч.ст.}, \quad (2.30)$$

де $H_{в.н.}$ – вільний напір на початку очисної станції, м; з урахуванням висотної схеми приймається $H_{в.н.}$= 6,0 м;

$Z^{г}_{оч.ст.}$ – геодезична позначка очисної станції, м; за планом $Z^{г}_{оч.ст.}$ = 53,0 м.

$$H^{п}_{оч.ст.} = 6{,}0 + 53{,}0 = 59{,}0 \text{ м};$$

$$H^{п}_{н.ст.} = 59{,}0 + 1{,}44 + 0{,}14 = 60{,}58 \text{ м}.$$

Висота всмоктування насосів визначається за формулою:

$$Z_{вс} = Z_{пр} - h_{сіт}, \quad (2.31)$$

де $Z_{пр}$ – позначка води в приймальному відділенні, м;

$h_{сіт}$ – втрати напору в сітках, м; прийнято $h_{сіт}$ = 0,1 м [26].

Позначка води в приймальному відділенні визначається за формулою:

$$Z_{пр} = h_{мін} - \sum h^{с}_{дов} - \sum h^{с}_{м} - h_{гр}, \quad (2.32)$$

де $h_{мін}$ – мінімальний рівень води в річці, м; $h_{мін}$ = 42,0 м;

$\sum h^{с}_{дов}$ – втрати по довжині в самопливних лініях, м; $\sum h^{с}_{дов}$ = 0,22 м (дод.В);

$\sum h^{с}_{м}$ – втрати на місцеві опори в самопливних лініях, м; $\sum h^{с}_{м}$ = 0,05 м;

$h_{гр}$ – втрати на решітках, м; прийнято $h_{гр}$ = 0,1 м [26].

$$Z_{пр} = 42{,}0 - 0{,}22 - 0{,}05 - 0{,}1 = 41{,}63 \text{ м};$$

$$Z_{вс} = 41{,}63 - 0{,}1 = 41{,}53 \text{ м};$$

$$H_{нас} = 60{,}58 - 41{,}53 = 19{,}05 \text{ м}.$$

З урахуванням продуктивності насосної станції першого підйому $Q_{нс}$ = 2742 м^3/год та необхідного напору приймаються насоси Д3200-20 (1 робочий і 2 резервних [23, п.11.2]).

Кількість всмоктувальних водоводів $n_{вс} = 2$, їх розрахункова витрата:

$$Q_{вс.в} = q_р /(n_{вс} - 1); \qquad (2.33)$$

$$Q_{вс.в} = 0{,}76/(2-1) = 0{,}76 \text{ м}^3/\text{с} = 760 \text{ л/с}.$$

При швидкості руху води у всмоктувальних водоводах 0,8…1,5 м/с [23, п.11.8] приймається $Д_{вс}$ = 800 мм; $v_{вс}$ = 1,50 м/с; 1000i = 3,18 [27].

Позначка дна приймального відділення берегового колодязя при забезпеченні пропуску води через сітки, що обертаються:

$$Z_{д.пр.від.} = Z_{пр} - h - h_с - 0{,}1, \qquad (2.34)$$

де $h_с$ – відстань від вісі нижньої зірочки сітки до дна колодязя, м; $h_с$ = 1,5 м.

$$Z_{д.пр.від.} = 41{,}63 - 3{,}1 - 1{,}5 - 0{,}1 = 36{,}96 \text{ м}.$$

Мінімальна висота наземної частини залежить від висоти платформи вантажного автомобіля, висоти вантажу, що переноситься, висоти строповки, розмірів підйомно-транспортного обладнання та становить $H_{наз}$ = 5,4 м [26].

Плани і розрізи берегового колодязя та насосної станції першого підйому представлені в графічній частині роботи (лист 6).

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВОДОПІДГОТОВКИ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ

3.1 Технологічний процес очищення природної води

Відповідно до якісних показників води в річці (див. Дод.Б) прийняті наступні способи обробки води [24]:

- для очищення від завислих речовин – часткове освітлення з попереднім коагулюванням сірчанокислим алюмінієм $Al_2(SO_4)_3$, подальше фільтрування через зернисте завантаження;

- для видалення забарвленості – попереднє хлорування, коагулювання;

- для очистки від бактеріальних забруднень – дезінфекція хлоруванням.

Таким чином, прийнята до розробки технологічна схема очистки для водопостачання населеного пункту містить в якості основних споруд горизонтальні відстійники та швидкі фільтри [23, табл.16]. Технологічна схема, представлена в графічній частині роботи (лист 3) і на рис.3.1, відповідає прийнятому до розробки методу водопідготовки та функціонує наступним чином.

Вихідна річкова вода (поз.В7) через водоприймач руслового типу надходить в береговий колодязь, звідки насосами першого підйому подається на очисну станцію водопідготовки.

Вода надходить в змішувач (поз.1, ЗМ), куди від реагентного господарства дозаторами подається розчин коагулянту (поз.Т94). До змішувача також дозується розчин вапняного молока (поз.Т92) для стабілізаційної обробки води після коагулювання, тобто підлужування.

Зі змішувача вода (поз.Т96) самопливом направляється в камери утворення пластівців осаду (поз.2, КП), де відбувається повніша агломерація мілких пластівців коагулянту в крупні. З камер пластівцеутворення вода на горизонтальні відстійники (поз.3, ГВ) відводиться через затоплені водозливи.

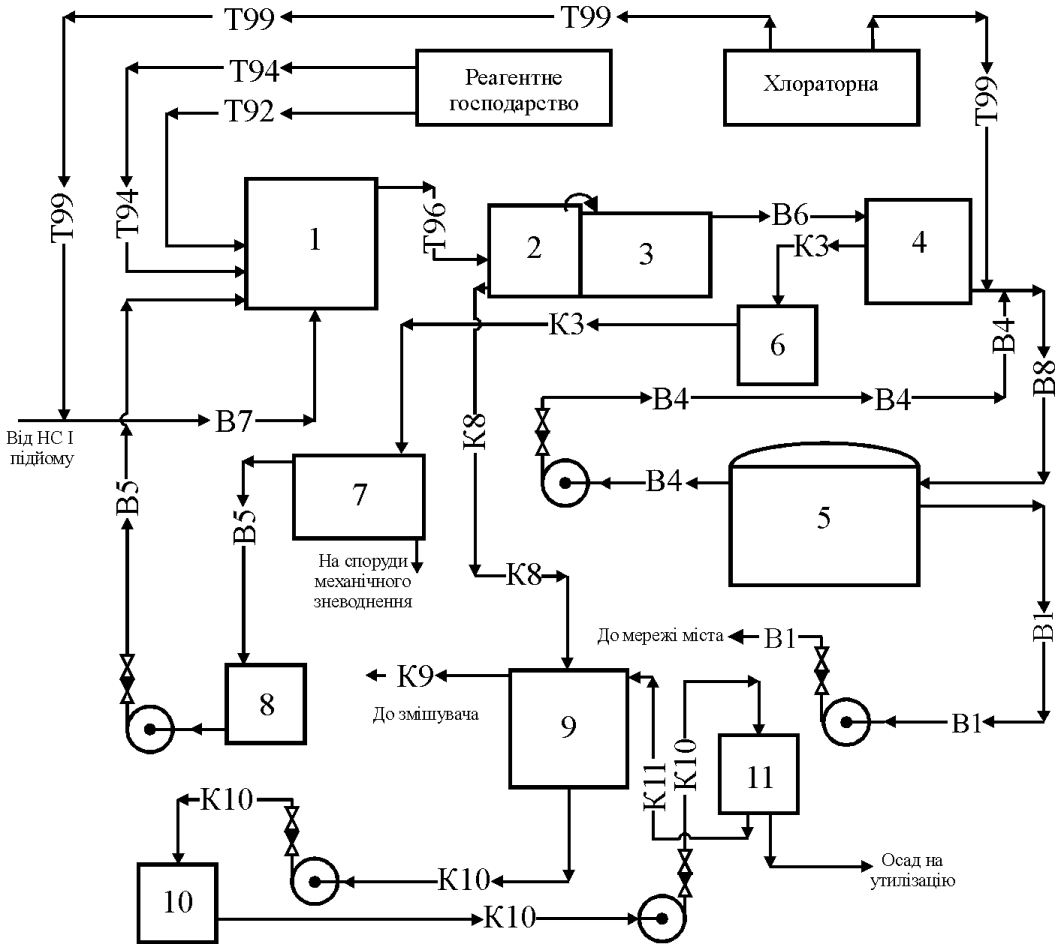


Рисунок 3.1 – Технологічна схема очистки природної води

Споруди: 1 – змішувач; 2 – камера утворення пластівців осаду (камера пластівцеутворення); 3 – горизонтальний відстійник; 4 – швидкий фільтр; 5 – резервуар чистої води (РЧВ); 6 – приймальний резервуар забрудненої промивної води; 7 – піскоуловлювач; 8 – збірний резервуар освітленої промивної води; 9 – згущувач; 10 – бак-накопичувач осаду; 11 – фільтр-прес

Трубопроводи: В1 – господарсько-питна вода; В4 – промивна вода; В5 – зворотна промивна вода; В6 – освітлена вода; В7 – річкова вода; В8 – очищена і знезаражена вода; Т92 – вапняне молоко; Т94 – коагулянт; Т96 – вода оброблена коагулянтом і вапном; Т99 – хлорна вода; К3 – забруднена промивна вода; К8 – осад; К9 – надшламова вода; К10 – згущений осад; К11 – фільтрат від зневоднення.

Потім частково очищена від завислих речовин вода (поз.В6) надходить на швидкі фільтри (поз.4, ШФ), де проходить доведення якісних показників (каламутність, забарвленість) до вимог Держстандарту України [28]. Після швидких фільтрів вода питної якості (поз.В8) збирається в резервуарах чистої води РЧВ (поз.5, Р), звідки насосами другого підйому (поз.Н1) вода господарсько-питного призначення (поз.В1) подається до водопровідної мережі населеного пункту.

Знезараження води проводиться хлорною водою в два етапи. Первинна подача хлору (поз.Т99) здійснюється в трубопровід перед змішувачами, вторинна – в трубопровід фільтрату після швидких фільтрів, тобто в трубопровід очищеної води перед РЧВ.

Для відновлення фільтруючої спроможності швидких фільтрів передбачається промивка завантаження водою. Промивна вода (поз.В4) подається з РЧВ насосами (поз.Н2) до будівлі швидких фільтрів. Забруднена промивна вода (поз.К3) спочатку збирається в приймальному резервуарі (поз.6, Є1), потім очищується на піскоуловлювачах (поз.7, П) від піску, який виноситься в процесі промивки з швидких фільтрів. Освітлена промивна вода (поз. В5) надходить в збірні резервуари (поз.8, Є2), з яких з допомогою насосів (поз.Н4) повертається в змішувачі для очистки, тобто направляється на повторне використання з метою запобігання скиду забрудненої промивної води у ріку та зниження витрати води на власні потреби водоочисної станції.

Піскова пульпа (поз.К12) направляється на споруди механічного зневоднення до піскового господарства.

Осад з відстійників (поз.К8) надходить на згущувачі (поз.9, ЗГ), згущений осад (поз.К10) збирається в баках-накопичувачах осаду (поз.10, Є8), звідки потім направляється на механічне зневоднення на фільтр-пресах (поз.11, ФП). Надшламова вода зі згущувачів (поз.К9) надходить до збірної ємності (поз.Є7), з якої насосами (поз.Н5) подається в змішувачі для подальшої обробки разом з вихідною водою. Фільтрат від зневоднення осаду (поз К11) повертається до згущувачів.

3.2 Обґрунтування вибору та розробка елементів реагентного господарства

Залежно від якості води в джерелі водопостачання, продуктивності станції та вимог споживача до якості води встановлюються розрахункові дози реагентів [23, п.10.4.1]. При каламутності вихідної води $К_{вих}$ = 320 мг/л (див. Дод.Б) прийнята доза коагулянту в перерахунку на $Al_2(SO_4)_3$ (по безводній речовині) $Д_к$ = 40 мг/л [23, табл.17].

Доза коагулянту для обробки забарвлених вод:

$$Д_к = 4 \cdot \sqrt{З_{вих.в}}\,, \qquad (3.1)$$

де $З_{вих.в}$ – забарвленість обробної води, град.; $З_{вих.в}$ = 45°.

$$Д_к = 4 \cdot \sqrt{45} = 26{,}8 \text{ мг/л.}$$

При одночасному вмісті у воді завислих речовин і забарвленості приймається більша з доз коагулянту, що визначена за табл.17 [23] і формулою (3.1). Остаточно прийнята доза коагулянту $Д_к$ = 40 мг/л.

Доза вапна для поліпшення процесу утворення пластівців осаду:

$$Д_в = К_в \cdot (Д_к / е_к - Л_о) + 1, \qquad (3.2)$$

де $Д_к$ – максимальна, в період підлужування, доза безводного коагулянту, мг/л; прийнята $Д_к$ = 40 мг/л;

$е_к$ – еквівалентна маса безводного коагулянту, мг/мг-екв; прийнята для $Al_2(SO_4)_3$ $е_к$ = 57 мг/мг-екв [23, п.10.4.6];

$К_в$ – коефіцієнт, що дорівнює для вапна 28 [23, п.10.4.6];

$Л_о$ – мінімальна лужність води, мг-екв/л; $Л_о$ = 0,57 мг-екв/л [Дод.Б].

$$Д_в = 28 \cdot (40/57 - 0{,}57) + 1 = 4{,}69 \text{ мг/л.}$$

Витрата товарного коагулянту за добу визначається за формулою:

$$Q_к = Q_{пов} \cdot Д_к /(10000 \cdot p_c), \quad (3.3)$$

де p_c – вміст безводного продукту в коагулянті, %; p_c = 33,5% [24].

$$Q_к = 65797{,}14 \cdot 40/(10000 \cdot 33{,}5) = 7{,}9 \text{ т/доб.}$$

Розчинові баки одночасно використовуються для зберігання коагулянту в якості резервуарів-сховищ.

Місткість розчинових баків-сховищ визначається за формулою:

$$W_р = Q_{пов} \cdot Т \cdot Д_к /(10000 \cdot b_р \cdot \gamma \cdot 24), \quad (3.4)$$

де Т – тривалість роботи станції, на яку розраховується кількість розчину коагулянту для одного зачинення, год; прийнято Т = 30 діб = 720 год;

$b_р$ – концентрація розчину до закінчення розчинення, %; $b_р$ = 20% [24];

γ – густина розчину, т/м^3; γ = 1 т/м^3 [24].

$$W_р = 65797{,}14 \cdot 720 \cdot 40/(10000 \cdot 20 \cdot 1 \cdot 24) = 394{,}8 \text{ м}^3.$$

Прийняті 4 баки [23], місткість кожного 98,7 м^3, розмір – 6,0×6,0×2,7 м.

Розчин коагулянту розбавляється у витратних баках до 10% концентрації.

Місткість витратних баків визначається за формулою:

$$W_в = Q_{пов} \cdot Т_р \cdot Д_к /(10000 \cdot b_в \cdot \gamma \cdot 24), \quad (3.5)$$

де $Т_р$ – час розчинення коагулянту, год; $Т_р$ = 12 год [23, п.10.4.9];

$b_в$ – концентрація розчину коагулянту у витратних баках, %; b = 10% [23].

$$W_в = 65797{,}14 \cdot 12 \cdot 40/(10000 \cdot 10 \cdot 1 \cdot 24) = 13{,}2 \text{ м}^3.$$

Прийняті 2 баки [23], місткість кожного 13,2 м^3, розмір – 3,0×3,0×1,5 м.

Для розчинення коагулянту та перемішування його в баках повітродувками ВК-12 продуктивністю 12 м^3/хв подається повітря. Дозування 10%-вого розчину коагулянту проводиться насосами-дозаторами НД-400/6 [24].

Розрахунок стабільності води після коагуляції наданий в Додатку Г.

Доза вапна для стабілізації води визначається за формулою:

$$Д_в = 28 \cdot \beta_в \cdot К_t \cdot Л \ , \qquad (3.6)$$

де $\beta_в$ – коефіцієнт, що відповідає pH води та індексу насичення I до стабілізаційної обробки; при pH_o = 6,45 і I = – 1,2 $\beta_и$ = 0,71 [23, дод.Г, рис.Г4]; $К_t$ – коефіцієнт відповідності температурі води; при t = 24°С $К_t$ = 1,04 [23].

$$Д_в = 28 \cdot 0{,}71 \cdot 1{,}04 \cdot 0{,}57 \cdot 100/50 = 23{,}57 \text{ мг/л.}$$

Місткість баків для вапна визначається за формулою, аналогічною (3.5) при концентрації вапняного молока 5 % і часу приготування розчину 10 год.:

$$W_в = 65797{,}14 \cdot 10 \cdot 23{,}57/(10000 \cdot 5 \cdot 1 \cdot 24) = 12{,}9 \text{ м}^3. \qquad (3.7)$$

Прийнято 2 баки [23], місткість кожного 6,5 м^3, розміри – 3,0×1,5×1,4 м. Для безперервного перемішування вапняного молока передбачені механічні мішалки.

3.3 Визначення конструктивних параметрів змішувачів

Погодинна продуктивність очисної станції водопідготовки становить 65794,14/24 = 2741,55 м^3/год, тому для розрахунків прийняті вертикальні (вихрові) змішувачі у кількості $N_{зм}$ = 2 [23, п.10.5.5]. Кожний змішувач має продуктивність $q_{зм}$ = 2742/2 = 1371 м^3/год = 381 л/с.

Площа горизонтального перерізу у верхній частині змішувача:

$$f_в = q_{зм} / v_в, \quad (3.8)$$

де $v_в$ – швидкість висхідного руху води на рівні водозбірного пристрою, м/год; приймається $v_в$ = 35 мм/с = 126 м/год [23, п.10.5.6].

$$f_в = 1371/126 = 10{,}9 \text{ м}^2.$$

Верхня частина змішувача квадратна в плані, тоді розмір її сторони:

$$b_в = \sqrt{f_в}, \quad (3.9)$$

$$b_в = \sqrt{10{,}9} = 3{,}3 \text{ м}.$$

Швидкість входу води в змішувач повинна дорівнювати 1,2…1,5 м/с [23, п.10.5.6]. Відповідно до продуктивності $q_{зм}$ = 381 л/с прийняті діаметр, швидкість і питомі втрати трубопроводу, що подає воду в нижню частину змішувача: Д = 600 мм; v = 1,28 м/с; 1000i = 3,27 [27], при цьому зовнішній діаметр трубопроводу, що підводить воду, $Д_{зовн}$ = 630 мм [27]. Таким чином, ширина сторони нижньої частини змішувача в місці примикання цього трубопроводу $b_н$ = 0,63 м, а площа нижньої горизонтальної частини зрізаної піраміди визначається за формулою:

$$f_н = b_н^{\,2}; \quad (3.10)$$

$$f_н = 0{,}63^2 = 0{,}40 \text{ м}^2.$$

Висота нижньої (пірамідальної) частини змішувача:

$$h_н = 0{,}5 \cdot (b_в - b_н) \cdot \operatorname{ctg}(\alpha/2), \quad (3.11)$$

де α - центральний кут; приймається $\alpha = 40$ град. [23, п.10.5.6].

$$h_н = 0{,}5 \cdot (3{,}3 - 0{,}63) \cdot \text{ctg}(40/2) = 3{,}7 \text{ м}.$$

Об'єм пірамідальної частини:

$$W_н = h_н \cdot (f_в + f_н + \sqrt{f_в + f_н})/3, \quad (3.12)$$

$$W_н = 3{,}7 \cdot (10{,}9 + 0{,}40 + \sqrt{10{,}9 + 0{,}40})/3 = 17{,}9 \text{ м}^3.$$

Повний об'єм визначається за формулою:

$$W = q_{зм} \cdot t/60, \quad (3.13)$$

де t – тривалість змішування реагенту з водою, хв; t = 1,5 хв [23, п.10.5.6].

$$W = 1371 \cdot 1{,}5/60 = 34{,}3 \text{ м}^3.$$

Об'єм верхньої частини:

$$W_в = W - W_н; \quad (3.14)$$

$$W_в = 34{,}3 - 17{,}9 = 16{,}4 \text{ м}^3.$$

Висота верхньої частини:

$$h_в = W_в / f_в; \quad (3.15)$$

$$h_в = 16{,}4/10{,}9 = 1{,}5 \text{ м}.$$

Висота верхньої частини змішувача, що визначена за формулою (3.15), відповідає умові [23, п.10.5.6] (1,0…1,5 м).

Повна висота змішувача:

$$h = h_н + h_в + h_{буд}, \quad (3.16)$$

де $h_{буд}$ – будівельний запас, різниця відміток верхньої кромки змішувача та максимального рівня води в ньому, м; приймається $h_{буд} = 0,3$ м [24].

$$h = 3,7 + 1,5 + 0,3 = 5,5 \text{ м}.$$

Вода збирається у верхній частині змішувача периферійним лотком через затоплені отвори. Розрахунок збірного лотка приведений у Додатку Д.

Зі збірного лотка вода надходить в боковий канал. Розміри каналу приймаються конструктивно такими, щоб в нижній частині його можливо було б розмістити трубу для відведення води, яка пройшла змішувач. При швидкості руху води в трубі, що відводить воду 0,6…1,0 м/с [23, п.10.5.6] і $q_{зм} = 381$ л/с прийняті $Д_{відв} = 800$ мм, $v_{відв} = 0,75$ м/с, $1000i = 0,85$ [27].

Зі змішувачів вода після обробки коагулянтом і вапняним молоком надходить у камери утворення пластівців осаду (камери пластівцеутворення), які розташовані перед горизонтальними відстійниками.

3.4 Визначення розмірів горизонтальних відстійників

Для видалення з води завислих речовин перед подаванням її на другу ступінь освітлення, а саме фільтрацію, використовуються відстійники. Горизонтальні відстійники представляють собою прямокутні залізобетонні резервуари, які обладнані пристроями для розподілу води, трубопроводами для збору і відведення освітленої води та пристроями для збору та періодичного видалення осаду.

Сумарна площа горизонтальних відстійників:

$$F = q \cdot \alpha / (3,6 \cdot U_o), \quad (3.17)$$

де q – розрахункова витрата води, $м^3$/год; q = 2741,55 $м^3$/год;

U_o – швидкість випадіння часток завислих речовин, які затримуються відстійником (гідравлічна крупність), мм/с; U_o = 0,6 мм/с [23, табл.18];

α – коефіцієнт об'ємного використання відстійників; α = 1,3 [23, п.10.9.1].

$$F = 2741,55 \cdot 1,3 / (3,6 \cdot 0,60) = 1623 \text{ м}^2.$$

Ширина горизонтального відстійника визначається за формулою:

$$B = q / (3,6 \cdot V_{сер} \cdot H_{сер} \cdot N), \quad (3.18)$$

де $V_{сер}$ – розрахункова швидкість горизонтального руху води на початку відстійника, мм/с; залежно від каламутності води $V_{сер}$ = 9 мм/с [23, п.10.9.2];

$H_{сер}$ – середня висота зони осадження, м; прийнята $H_{сер}$ = 3,0 м [23, п.10.9.2];

N – розрахункова кількість відстійників; приймається N = 5 од.

$$B = 2741,55 / (3,6 \cdot 9,0 \cdot 3,0 \cdot 5) = 5,6 \approx 6,0 \text{ м}.$$

Довжина відстійника визначається за формулою:

$$L = F / (B \cdot N), \quad (3.19)$$

$$L = 1623,0 / (6,0 \cdot 5) = 54,1 \approx 54,0 \text{ м}.$$

Конструктивно прийняті розміри відстійника: довжина L = 54,0 м, ширина B = 6,0 м. Видалення осаду проводиться гідравлічним способом [23, п.10.9.3].

Об'єм зони накопичування та ущільнення осаду:

$$W_{ос.ч} = T_р \cdot q \cdot (C_в - К_{осв}) / (N \cdot \delta), \quad (3.20)$$

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

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

$К_{осв}$ – каламутність води, яка виходить з відстійника, г/м^3; приймається $К_{осв}$ = 10,0 г/м^3 [23, п.10.2.2];

δ – середня по всій висоті осадової частини концентрація твердої фази осаду, г/м^3; залежно від каламутності води і тривалості інтервалів між скидами δ = 40000 г/м^3 [23, табл.19].

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

$$С_в = К_{осв} + К_к \cdot Д_к + 0{,}25 \cdot З_{вих.в} + 0{,}6 \cdot Д_в, \quad (3.21)$$

де $К_к$ – коефіцієнт чистоти коагулянту; приймається $К_к$ = 0,5 [23, п.10.8.4].

$$С_в = 320 + 0{,}5 \cdot 40 + 0{,}25 \cdot 45 + 0{,}6 \cdot 23{,}57 = 365 \text{ г/м}^3;$$

$$W_{ос.ч} = 24 \cdot 2741{,}55 \cdot (365 - 10)/(5 \cdot 40000) = 116{,}92 \text{ м}^3.$$

Максимальна висота відстійника визначається за формулою:

$$Н_{відс} = Н_{сер} + Н_н + h_{буд} + i \cdot L, \quad (3.22)$$

де $h_{буд}$ – величина перевищення будівельної висоти над розрахунковим рівнем води, м; $h_{буд}$ = 0,3 м [23, п.10.9.8];

i – поздовжній ухил дна відстійника; i = 0,005 [23, п.10.9.9];

$Н_н$ – висота зони накопичування осаду, м:

$$Н_н = W_{ос.ч} / F_о, \quad (3.23)$$

де $F_о$ – площа одного відстійника, м^2, яка визначається за формулою:

$$F_о = L \cdot B; \quad (3.24)$$

$$F_о = 54 \cdot 6 = 324 \text{ м}^2;$$

$$H_н = 116{,}92 / 324 = 0{,}36 \text{ м};$$

$$H_{отс} = 3{,}0 + 0{,}36 + 0{,}3 + 0{,}005 \cdot 54 = 3{,}9 \text{ м}.$$

Середня глибина води у відстійнику визначається за формулою:

$$H_{вод}^{сер} = H_{сер} + H_н + i \cdot L / 2; \quad (3.25)$$

$$H_{вод}^{сер} = 3{,}0 + 0{,}36 + 0{,}005 \cdot 54 / 2 = 3{,}5 \text{ м}.$$

Кількість витраченої при видаленні осаду води, % загальної витрати:

$$P = k_р \cdot W_{ос.ч} \cdot 100 / (q \cdot T_р), \quad (3.26)$$

де $k_р$ – коефіцієнт розбавлення; $k_р$ = 1,5 [23, п.10.9.9].

$$P = 1{,}5 \cdot 116{,}92 \cdot 100 / (2741{,}55 \cdot 24) = 0{,}27\%.$$

Розрахунок трубчастих систем горизонтального відстійника для освітленої води, а також для збору та відведення осаду наданий в Додатку Е.

3.5 Розрахунок камер пластівцеутворення

В залежності від подальшого способу видалення забруднюючих речовин приймаються вбудовані камери пластівцеутворення з шаром завислого осаду, які розташовані на початку відстійників. Для зручності компонування з відстійниками прийняті типові камери пластівцеутворення в кількості $N_к$ = 5 од. з розмірами однієї камери: ширина $B_к$ = 6 м, довжина $L_к$ = 9 м [24].

Витрата води в одній камері пластівцеутворення:

$$q_к = q / N_к; \quad (3.27)$$

$$q_к = 2741{,}55/5 = 548{,}3 \text{ м}^3\text{/год} = 152{,}3 \text{ л/с} = 0{,}15 \text{ м}^3\text{/с}.$$

Швидкість руху води в камері становить:

$$V_к = q_к /(B_к \cdot L_к \cdot 3600); \quad (3.28)$$

$$V_к = 548{,}3/(6 \cdot 9 \cdot 3600) = 0{,}0028 \text{ м/с} = 2{,}8 \text{ мм/с}.$$

Висота води в камері визначається за формулою:

$$h_к = H_{сер} + h, \quad (3.29)$$

де $H_{сер}$ – середня висота зони осадження горизонтального відстійника, м;
$H_{сер}$ = 3,0 м [23 , п.10.9.2];
h – втрати напору в камері, м; попередньо прийнято h = 0,4 м [23, п.10.28.2].

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

Час перебування води в камері:

$$t = h_к /(V_к \cdot 60), \quad (3.30)$$

$$t = 3{,}4 /(0{,}0028 \cdot 60) = 20{,}1 \text{ хв}.$$

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

$$h_в = q_к /(V_в \cdot B_к), \quad (3.31)$$

де $V_в$ – швидкість руху води над водозливом, м/с; $V_в$ = 0,1 м/с [23, п.10.7.6].

$$h_в = 0{,}15/(0{,}1 \cdot 6{,}0) = 0{,}25 \text{ м}.$$

На виході води з камер у горизонтальний відстійник встановлена підвісна перегородка, яка занурена на 1/4 висоти відстійника. Швидкість руху між стінкою і перегородкою 0,03 м/с [24]. Розрахунок трубчастої розподільної системи камери пластівцеутворення наданий в Додатку Е.

3.6 Удосконалення процесу фільтрування води

3.6.1 Розрахунок споруд для фільтрування води

Для доведення показників очищеної води до вимог питної [28] на очисній станції встановлені швидкі фільтри з двошаровим завантаженням. Верхній шар висотою 0,5 м складається з зерен дробленого антрациту крупністю 0,8…1,8 мм, а нижній шар висотою 0,8 м – з зерен піску крупністю 0,5…1,2 мм. Вода подається на фільтр по жолобам, розташованим над фільтруючим завантаженням. Загальний вигляд швидкого фільтра представлений в графічній частині роботи на листі 5.

Загальна площа швидких фільтрів визначається за формулою:

$$F_ф = \frac{Q}{T_{ст} \cdot v_н - n_{пр} \cdot q_{пр} - n_{пр} \cdot \tau_{пр} \cdot v_н}, \qquad (3.32)$$

де Q – корисна продуктивність станції, $м^3$/доб; Q = 63266,48 $м^3$/доб;

$T_{ст}$ – тривалість роботи станції протягом доби, год.; $T_{ст}$ = 24 год.;

$v_н$ – розрахункова швидкість фільтрування при нормальному режимі, м/год; з урахуванням оптимального режиму промивки $v_н$ = 10 м/год [23, табл.21];

$n_{пр}$ – кількість промивок одного фільтра за добу при нормальному режимі експлуатації; з урахуванням оптимального режиму промивки $n_{пр}$ = 2;

$\tau_{пр}$ – час простою фільтра у зв'язку з промивкою, год.; приймається для фільтрів, які промиваються водою $\tau_{пр}$ = 0,33 год. [23, п.10.12.4];

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

$$q_{пр} = W \cdot t_{пр}, \tag{3.33}$$

де W – інтенсивність промивки, $л/(с \cdot м^2)$; з урахуванням оптимального режиму промивки прийнято W = 16 $л/(с \cdot м^2)$ [23, табл.23];

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

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

$$F_ф = \frac{63266{,}48}{24 \cdot 10 - 2 \cdot 5{,}76 - 2 \cdot 0{,}33 \cdot 10} = 285{,}14\ м^2.$$

Кількість фільтрів визначається за формулою:

$$N = 0{,}5 \cdot \sqrt{F_ф}, \tag{3.34}$$

$$N = 0{,}5 \cdot \sqrt{285{,}14} = 8{,}44 \approx 8\ од.$$

Швидкість фільтрування при форсованому режимі:

$$v_ф = v_н \cdot N/(N - N_1), \tag{3.35}$$

де N_1 – кількість фільтрів, які знаходяться в ремонті; N_1 = 1 [23, п.10.12.1].

$$v_ф = 10 \cdot 8/(8 - 1) = 11{,}4\ м/год.$$

Швидкість фільтрування при форсованому режимі повинна бути в межах 8,5…12 м/год [23, табл.21]. Отримане за формулою (3.35) значення відповідає даній умові.

Площа одного фільтра визначається за формулою:

$$F_{яч} = F_{ф} / N; \quad (3.36)$$

$$F_{яч} = 285{,}14/8 = 35{,}64 \text{ м}^2.$$

Конструктивно розміри одного швидкого фільтра в плані становлять: довжина L = 6,0 м; ширина В = 6,0 м. В графічній частині роботи показано розміщення швидких фільтрів в основній будівлі очисних споруд (лист 4).

Підтримуючий шар гравію з зернами крупністю 2…40 мм і товщиною 0,8 м [23, табл.22] завантажується в нижній частині фільтра. Все завантаження фільтра має загальну висоту 0,5 + 0,8 + 0,8 = 2,1 м. Над поверхнею завантаження знаходиться шар води висотою 2,0 м, перевищення будівельної висоти фільтра над рівнем води 0,5 м [23, п.10.12.7].

Промивка фільтру проводиться очищеною водою зворотнім током з подачею знизу завантаження. В дренажний пристрій під напором подається промивна вода, яка через розподільну систему надходить в фільтруюче завантаження. Розрахунок розподільної/дренажної системи швидкого фільтра наданий в Додатку Е.

Забруднена вода при промивці фільтрів збирається та відводиться по жолобам п’ятикутного перерізу [23, п.10.12.16], які розміщені над поверхнею завантаження. Лотки жолобів мають ухил 0,01 до збірного каналу.

Ширина жолоба визначається за формулою:

$$B_{ж} = K_{ж} \cdot \sqrt[5]{\frac{q_{ж}^{2}}{(1{,}57 + a_{ж})^{3}}}, \quad (3.37)$$

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

$a_{ж}$ – відношення висоти прямокутної частини жолоба до половини його ширини; $a_{ж}$ = 1,0 [23, п.10.12.16];

$K_{ж}$ – коефіцієнт, прийнятий для п’ятикутних жолобів $K_{ж}$ = 2,1 [23, п.10.12.16].

Кількість жолобів визначається за формулою:

$$n_ж = B / t_ж, \quad (3.38)$$

де $t_ж$ – відстань між вісями жолобів, м; прийнята $t_ж = 2,0$ м [23, п. 10.12.16].

$$n_ж = 6,0 / 2,0 = 3 \text{ од.}$$

Витрата промивної води на один жолоб:

$$q_ж = q_{пром} / n_ж; \quad (3.39)$$

$$q_ж = 570,28 / 3 = 190 \text{ л/с} = 0,19 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$B_ж = 2,1 \cdot \sqrt[5]{\frac{0,19^2}{(1,57+1)^3}} = 0,6 \text{ м.}$$

Висота прямокутної частини жолоба:

$$h_{пр} = 0,75 \cdot B_ж; \quad (3.40)$$

$$h_{пр} = 0,75 \cdot 0,6 = 0,45 \text{ м.}$$

Корисна висота жолоба:

$$h = 1,25 \cdot B_ж; \quad (3.41)$$

$$h = 1,25 \cdot 0,6 = 0,75 \text{ м.}$$

Відстань від поверхні завантаження до кромок жолобів:

$$H_ж = H_з \cdot a_з / 100 + 0,3, \quad (3.42)$$

де $H_з$ – висота фільтруючого шару, м; $H_з$ = 0,5 + 0,8 = 1,3 м [23, табл.21];
$a_з$ – відносне розширення завантаження, %; прийнято $a_з$ = 50% [23 ,табл.23].

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

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

$$P_{сер} = W_{пром} \cdot N \cdot 100/(q \cdot T), \quad (3.43)$$

де $W_{пром}$ – кількість води, яка витрачається на одну промивку, м^3;
q – розрахункова витрата, м^3/год; q = 63266,48/24 = 2636,1 м^3/год;
N – кількість фільтрів; за формулою (3.34) N = 8 од.;
T – тривалість роботи фільтра між промивками, год.

Кількість води, яка витрачається на одну промивку:

$$W_{пром} = q_{пром} \cdot t_{пр} \cdot 60/1000; \quad (3.44)$$

$$W_{пром} = 570{,}28 \cdot 6 \cdot 60/1000 = 205{,}3 \text{ м}^3.$$

Тривалість роботи фільтра між промивками:

$$T = T_{ст}/n_{пр} - (t_{пр} + \tau_{пр}); \quad (3.45)$$

$$T = 24/2 - (0{,}1 + 0{,}33) = 11{,}6 \text{ год};$$

$$P_{сер} = 205{,}3 \cdot 8 \cdot 100/(2636{,}1 \cdot 11{,}6) = 5{,}4\%.$$

Збірний канал запобігає утворенню підпору на виході води з жолобів при відведенні промивної води. Тому відстань від дна жолоба до дна збірного каналу повинна бути не менше мінімальної.

Мінімальна відстань від дна жолоба до дна збірного каналу:

$$H_{кан} = 1{,}73 \cdot \sqrt[3]{\frac{q_{кан}^{\ 2}}{g \cdot B_{кан}^2}} + 0{,}2, \qquad (3.46)$$

де $q_{кан}$ – витрата промивної води по збірному каналу, м^3/с; $q_{кан} = q_{пром}$ = = 570,28 л/с = 0,57 м^3/с;

$B_{кан}$ – ширина каналу, м; $B_{кан}$ = 0,8 м [23, п.10.12.17].

$$H_{кан} = 1{,}73 \cdot \sqrt[3]{\frac{0{,}57^2}{9{,}81 \cdot 0{,}8^2}} + 0{,}2 = 0{,}8 \text{ м}.$$

Площа поперечного перерізу каналу:

$$F_{кан} = B_{кан} \cdot H_{кан}; \qquad (3.47)$$

$$F_{кан} = 0{,}8 \cdot 0{,}8 = 0{,}64 \text{ м}^2.$$

Швидкість руху води в кінці каналу:

$$v_{кан} = q_{кан} / F_{кан}; \qquad (3.48)$$

$$v_{кан} = 0{,}57 / 0{,}64 = 0{,}89 \text{ м/с}.$$

Рекомендована мінімальна швидкість руху води в кінці збірного каналу становить 0,8 м/с [24]. Отримане за формулою (3.48) значення швидкості руху промивної води в кінці каналу відповідає даній умові.

Сумарні втрати напору при промивці швидкого фільтру розраховані в Додатку Ж і становлять $\sum h = 6{,}69$ м.

Необхідний напір промивного насосу:

$$H_{нас} = h_г + \sum h + h_{нас}, \qquad (3.49)$$

де $h_г$ – геометрична висота підйому води від дна РЧВ до верхньої кромки жолобів у швидкому фільтрі, м;

$h_{нас}$ – втрати напору в насосній станції, м; прийняті $h_{нас}$ = 1,5 м [30].

Геометрична висота підйому визначається за формулою:

$$h_г = H_{РЧВ} + H_з + H_ж, \quad (3.50)$$

де $H_{РЧВ}$ – глибина води в РЧВ, м; за розрахунками п.3.7 $H_{РЧВ}$ = 4,29 м;

$H_з$ – висота завантаження, м; прийнята $H_з$ = 0,5 + 0,8 = 1,3 м [23, табл.21];

$H_ж$ – відстань від поверхні загрузки до кромок жолобів, м; $H_ж$ = 0,95 м.

$$h_г = 4{,}29 + 1{,}3 + 0{,}95 = 6{,}54 \text{ м};$$

$$H_{нас} = 6{,}54 + 6{,}69 + 1{,}50 = 14{,}73 \text{ м}.$$

Необхідна подача промивного насосу $q_{пром}$ = 570,28 л/с = 2053 $м^3$/год. Згідно з необхідною подачею та напором приймаються промивні насоси Д2500-17 (1 робочий і 1 резервний) [30], які розміщені в машинному залі насосної станції другого підйому (приведено в графічній частині роботи на листі 8).

3.6.2 Оптимізація промивного режиму

Основними змінними параметрами, які впливають на оптимальні рішення при виборі режиму промивки швидких фільтрів, є: розрахункова швидкість фільтрування при нормальному режимі, м/год ($v_н$); кількість промивок одного фільтра за добу ($n_{пр}$); інтенсивність промивки, л/(с·$м^2$) (W) та тривалість промивки, с ($t_{пр}$). Ці параметри в інтервалах значень прописані в нормативних документах [23, п.10.12].

В даній роботі проведений аналіз взаємодії основних параметрів промивного режиму з метою досягнення такого вибору значень, при яких

кількість забрудненої промивної води буде мінімальною для умов технологічного процесу фільтрування води.

Методика дослідження включає математичний аналіз всіх допустимих технологією комбінацій змінних параметрів та графічне відображення залежності отриманих кінцевих результатів від вибраних початкових значень основних параметрів процесу промивки фільтрів. Даний математичний аналіз базується на розрахунках за формулами (3.32, 3.33, 3.34, 3.44 та 3.53).

Результати дослідження представлені у вигляді графіків та таблиць в графічній частині роботи на листі 5.

3.7 Розрахунок резервуарів чистої води

Резервуар чистої води (РЧВ) та водонапірна башта є запасно-регулюючими ємностями системи водопостачання населеного пункту, які в одній споруді поєднують функції акумулювання та зберігання води і дають можливість забезпечувати рівномірну роботу насосної станції. Розміри РЧВ та бака башти взаємозалежні, тому розрахунок їх розмірів відбувається одночасно. Результати розрахунку представлені в додатку К.

Повний об’єм бака водонапірної башти:

$$W_б = W_{рег} + W_{нз}, \qquad (3.51)$$

де $W_{рег}$ – регулюючий об’єм бака, м^3; за табл.К.1 $W_{рег}$ = 1810,91 + 196,95 = = 2007,86 м^3, що становить 2007,86 · 100/63266,48 = 3,17% і відповідає допустимим межам (2,5…5,0% добової витрати);

$W_{нз}$ – недоторканий запас води в баці, м^3; за розрахунками п.2.1.2 $W_{нз} = (40+5)\cdot 60\cdot 10/1000 = 27$ м^3.

$$W_б = 2007{,}86 + 27 = 2034{,}86 \text{ м}^3.$$

Повний об’єм резервуара чистої води визначається за формулою:

$$W_{РЧВ} = W'_{рег} + W_{п} + W_{ф}, \quad (3.52)$$

де $W'_{рег}$ – регулюючий об’єм РЧВ, м^3; $W'_{рег}$ = 4955,87 + 3964,70 = 8920,57 м^3;
$W_{п}$ – об’єм пожежного запасу води в РЧВ, м^3;
$W_{ф}$ – запас води, необхідний для промивки швидких фільтрів, м^3:

$$W_{ф} = W_{пром} \cdot n_{пр} \cdot N, \quad (3.53)$$

$W_{пром}$ – кількість води на промивку фільтрів, м^3; $W_{пром}$ = 205,3 м^3;
$n_{пр}$ – кількість промивок одного фільтра за добу; прийнято $n_{пр}$ = 2;
N – кількість фільтрів, шт.; за формулою (3.34) N = 8 шт.

$$W_{ф} = 205{,}3 \cdot 2 \cdot 8 = 3284{,}79 \text{ м}^3.$$

Об’єм пожежного запасу води в РЧВ:

$$W_{п} = 3{,}6 \cdot Q_{пож} \cdot t + \sum Q_{сум} - 4{,}17 \cdot Q_{макс.доб} \cdot t/100, \quad (3.54)$$

де $Q_{пож}$ – повна витрата води на пожежегасіння, л/с; за п.2.1 $Q_{пож}$ = 135,0 л/с;
$\sum Q_{сум}$ – витрата води за три суміжних години максимального водоспоживання, м^3; за табл.А.3 з 07.00 до 10.00 $\sum Q_{сум}$ = 10934,19 м^3;
$Q_{макс.доб}$ – максимальна витрата води за добу, м^3; $Q_{макс.доб}$ = 63266,48 м^3;
t – тривалість гасіння пожежі, год.; прийнята t = 3 год [23, п.6.2.13].

$$W_{п} = 3{,}6 \cdot 135{,}0 \cdot 3 + 10934{,}19 - 4{,}17 \cdot 63266{,}48 \cdot 3/100 = 4477{,}56 \text{ м}^3;$$

$$W_{РЧВ} = 8920{,}57 + 3284{,}79 + 4477{,}56 = 16682{,}92 \text{ м}^3.$$

Прийнято 3 залізобетонних прямокутних резервуара чистої води об’ємом 5561 м^3 кожний, розміри кожного РЧВ в плані 36×36 м, глибина води 4,3 м.

3.8 Мережі станції водопідготовки

Для гідравлічного розрахунку технологічних трубопроводів станції водопідготовки діаметри трубопроводів прийняті за витратою і швидкістю руху води відповідно до призначення трубопроводу за [27]. Розрахункові швидкості руху води в трубах очисних споруд визначені відповідно [23].

Діаметри трубопроводів, які обслуговують кожний швидкий фільтр, приймаються для форсованого режиму. Результати розрахунку - в Додатку Л.

3.9 Висотна схема розташування основних очисних споруд

Висотна схема – це є поздовжній профіль, на якому встановлюється залежність між абсолютними позначками рівнів води в технологічних спорудах та вказуються висоти споруд по ходу руху води на ділянці станції. За генпланом очисної станції (лист 2) прийнята довжина з'єднувальних комунікацій, в залежності від витрат води і діаметрів трубопроводів –питомі втрати напору за [27], розрахунок втрат напору в самопливних комунікаціях – за формулою, аналогічною (В.3), втрати напору в спорудах – відповідно [23, п.10.28]. В Додатку В наданий результат розрахунку, згідно з ним та з генпланом очисної станції складена схема висотного розташування споруд водопідготовки, яка представлена на листі 3.

3.10 Розрахунок споруд для очищення промивних вод та осаду

Для приймання води від промивки швидких фільтрів передбачені 2 резервуари [23, дод.Д, п.Д.2], об'єм кожного дорівнює об'єму води від однієї промивки швидкого фільтра і становить $W_{пр.рез.}$ = 205,3 м^3 (за формулою (3.44)), розміри в плані 9×6 м; глибина води 205,3/(9 · 6) = 3,8 м.

Для затримання піску з промивної води передбачені піскоуловлювачі [23, п.10.25.4].

Витрата промивної води, що надходить в піскоуловлювачі:

$$Q_{піс} = q_{пром} \cdot t_{пр} \cdot n_{пр} \cdot N / 1000, \quad (3.55)$$

де $q_{пром}$ – витрата води для промивки одного швидкого фільтра, л/с; за формулою (Е.18) $q_{пром}$ = 570,28 л/с;

$t_{пр}$ – тривалість промивки, с; прийнята $t_{пр}$ = 6 хв. = 360 с [23];

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

N – кількість швидких фільтрів; за формулою (3.34) N = 8 од.

$$Q_{піс} = 570,28 \cdot 360 \cdot 2 \cdot 8 / 1000 = 3284,79 \text{ м}^3\text{/доб} = 137 \text{ м}^3\text{/год}.$$

Приймаються до розрахунку горизонтальні піскоуловлювачі з круговим рухом води [31].

Площа одного відділення піскоуловлювача в плані:

$$F_п = Q_{піс} / (n \cdot q_o), \quad (3.56)$$

де n – кількість робочих відділень; n = 1; друге відділення є резервним;

q_o – навантаження на піскоуловлювач, $м^3/(м^2 \cdot год)$, яке чисельно дорівнює гідравлічній крупності піску діаметром 0,15 мм U_o = 13,2 мм/с [31] в м/год:

$$q_o = U_o \cdot 3600/1000, \quad (3.57)$$

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

$$F_п = 137/47,52 = 2,9 \text{ м}^2.$$

Діаметр одного відділення піскоуловлювача:

$$Д_п = \sqrt{4 \cdot F_п / \pi}, \quad (3.58)$$

$$Д_п = \sqrt{4 \cdot 2,9 / 3,14} = 1,9 \text{ м.}$$

Висота конусної основи для накопичування осаду:

$$h_2 = \sqrt{Д_п^2 - h_1^{\,2}}, \quad (3.59)$$

де h_1 - глибина піскоуловлювача, м; $h_1 = Д_п / 2 = 1,9/2 = 1,0$ м [31].

$$h_2 = \sqrt{1,9^2 - 1,0^2} = 1,7 \text{ м.}$$

Об'єм конусної частини з кутом нахилу стінок $\alpha = 60^o$:

$$V_{кон} = \pi \cdot Д_п^2 \cdot h_2 / (3 \cdot 4); \quad (3.60)$$

$$V_{кон} = 3,14 \cdot 1,9^2 \cdot 1,7 / 12 = 1,6 \text{ м}^3.$$

Осад перед зневодненням надходить на ущільнення у вертикальні відстійники, які виконують функції згущувачів (ущільнювачів).

Площа зони осадження одного згущувача визначається за формулою:

$$F_{зг} = \beta_{об.} \cdot q_{зг.} / (3,6 \cdot v_{зг.} \cdot N_{зг.}), \quad (3.61)$$

де $\beta_{об.}$ – коефіцієнт об'ємного використання; $\beta_{об.} = 1,3$ [23, п.10.8.2];

$v_{зг}$ – швидкість випадіння завислих речовин, мм/с; $v_{зг} = 0,5$ мм/с [23, табл.18];

$N_{зг}$ – кількість згущувачів; приймається $N_{зг} = 3$ од;

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

$$q_{зг} = W_{ос} / T_{ск}, \quad (3.62)$$

де $W_{ос}$ – об'єм зони накопичування та ущільнення осаду горизонтального відстійника, м^3; за формулою (3.20) $W_{ос} = 116,92$ м^3;

$T_{ск}$ – тривалість скиду осаду, год.; $T_{ск} = 25$ хв. = 0,42 год [23, п.10.9.6].

$$q_{зг} = 116{,}92 / 0{,}42 = 280{,}6 \text{ м}^3\text{/год};$$

$$F_{зг} = 1{,}3 \cdot 280{,}6 / (3{,}6 \cdot 0{,}50 \cdot 3) = 67{,}6 \text{ м}^2.$$

Діаметр згущувача визначається за формулою:

$$Д_{зг} = \sqrt{F_{зг} \cdot 4 / \pi}, \quad (3.63)$$

$$Д_{зг} = \sqrt{67{,}6 \cdot 4 / 3{,}14} = 9{,}3 \approx 9{,}0 \text{ м}.$$

Діаметр центральної труби згущувача:

$$d_{ц.тр.} = \sqrt{4 \cdot q_{зг} / (3600 \cdot N_{зг} \cdot \pi \cdot v_{ц.тр.})}, \quad (3.64)$$

де $v_{ц.тр.}$ – швидкість руху води в центральній трубі, м/с; $v_{ц.тр.} = 0{,}03$ м/с [31].

$$d_{ц.тр.} = \sqrt{4 \cdot 280{,}6 / (3600 \cdot 3 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}03)} = 1{,}1 \text{ м}.$$

Загальна висота циліндричної частини згущувача:

$$H_{ц} = H_1 + H_2 + H_3 + H_4, \quad (3.65)$$

де H_1 – розрахункова висота зони осадження; $H_1 = 3{,}1$ м [31];

H_2 – висота щілини між центральною трубою і відбивним щитом, м:

$$H_2 = q_{зг} / (3600 \cdot N_{зг} \cdot \pi \cdot d_{р} \cdot v_{щ}), \quad (3.66)$$

$v_{щ}$ – швидкість руху води в щілині, м/с; $v_{щ} = 0{,}02$ м/с [31].

$$H_2 = 280{,}6 / (3600 \cdot 3 \cdot 3{,}14 \cdot 1{,}5 \cdot 0{,}02) = 0{,}3 \text{ м}.$$

H_3 – висота шару води між низом відбивного щита і осадом; $H_3 = 0{,}3$ м [31];

H_4 – висота борта згущувача; прийнята $H_4 = 0,3$ м.

$$H_ц = 3,1 + 0,3 + 0,3 + 0,3 = 4,0 \text{ м}.$$

Висота конусної частини:

$$H_к = R_{зг} \cdot tg50^o, \quad (3.67)$$

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

50^o – кут нахилу стінок до горизонту.

$$H_к = 4,5 \cdot 1,19 = 5,36 \text{ м}.$$

Об'єм конусної частини:

$$W_{ос.} = \pi \cdot R_{зг}^2 \cdot H_к / 3, \quad (3.68)$$

$$W_{ос.} = 3,14 \cdot 4,5^2 \cdot 5,36 / 3 = 113,7 \text{ м}^3.$$

Технологічна схема очистки промивної води, розташування споруд промивної води на території очисної станції, загальний вигляд піскоуловлювача та згущувача осаду представлені на листі 7.

Необхідна робоча площа фільтр-пресів для зневоднення осаду:

$$F_ф = W_{ос.} \cdot (100 - P_{зг}) \cdot 1000 / (100 \cdot q_ф \cdot \tau_ф), \quad (3.69)$$

де $W_{ос.}$ – об'єм осаду на зневоднення, м^3/доб;$W_{ос.} = 113,7$ м^3/доб;

$P_{зг}$ – вологість осаду на виході зі згущувача, %; прийнята $P_{зг} = 94\%$ [31];

$q_ф$ – питома продуктивність фільтр-пресів, кг/(м^2·год); $q_ф = 15$ кг/(м^2·год);

$\tau_ф$ – тривалість роботи фільтр-пресів за добу, год; $\tau_ф = 24$ год.

$$F_ф = 113,7 \cdot (100 - 94) \cdot 1000 / (100 \cdot 15 \cdot 24) = 18,94 \text{ м}^2.$$

Прийняті 2 робочих фільтр-преси з площею фільтрування F_1 = 10 м^2 [31].

Об'єм зневодненого осаду визначається за формулою:

$$W_{зн.ос} = W_{ос.} \cdot (100 - P_{зг}) / (100 - P_{ф}), \quad (3.70)$$

де $P_ф$ – вологість зневодненого осаду, %; приймається $P_ф$ = 55% [31].

$$W_{зн.ос} = 113{,}7 \cdot (100 - 94) / (100 - 55) = 15{,}2 \text{ м}^3/\text{доб}.$$

Об'єм фільтрату становить:

$$Q_ф = W_{ос.доб.} - W_{зн.ос.}; \quad (3.71)$$

$$Q_ф = 113{,}7 - 15{,}2 = 98{,}5 \text{ м}^3/\text{доб}.$$

3.11 Розрахунок споруд для дезінфекції води

Технологічна схема блоку дезінфекції води хлором надана на листі 3.

Розрахункова витрата хлору для попереднього хлорування, кг/год:

$$Q'_{хл} = Q_{доб} \cdot Д'_{хл} / (1000 \cdot 24), \quad (3.72)$$

де $Д'_{хл}$ – доза хлору для попереднього хлорування, мг/л; $Д'_{хл}$ = 3 мг/л [29].

$$Q'_{хл} = 65797 \cdot 3 / (1000 \cdot 24) = 8{,}2 \text{ кг/год}.$$

Розрахункова витрата хлору для вторинного хлорування:

$$Q''_{хл} = Q_{доб} \cdot Д''_{хл} / (1000 \cdot 24), \quad (3.73)$$

де $Д''_{хл}$ – доза хлору для вторинного хлорування, мг/л; $Д''_{хл}$ = 1 мг/л [29].

$$Q''_{хл} = 65797 \cdot 1/(1000 \cdot 24) = 2,7 \text{ кг/год.}$$

Для дезінфекції передбачені вакуумні хлоратори: три продуктивністю 5,0 кг/год (2 робочих і 1 резервний) для первинного і два продуктивністю 3,0 кг/год (1 робочий і 1 резервний) для вторинного хлорування. Загальна витрата хлору становить: $Q_{хл} = 8,2 + 2,7 = 10,9$ кг/год = 263 кг/доб.

Кількість витратних хлорних балонів за годину:

$$n_{бал} = Q_{хл} / S_{бал}, \quad (3.74)$$

де $S_{бал}$ – зняття хлору з балона; $S_{бал}$ = 0,5 кг/год.

$$n_{бал} = 10,9 / 0,5 \approx 22 \text{ од.}$$

При добовій витраті хлору більше 3 балонів передбачається склад, на якому зберігається тридобовий запас балонів. Склад хлору знаходиться в окремій будівлі, тобто не має безпосереднього сполучення з хлораторною.

3.12 Розробка насосної станції другого підйому

Режим роботи насосної станції II підйому визначений відповідно до суміщеного графіка водоспоживання міста і подачі води насосами, який збудований за даними табл.А.3 і приведений на рис.А.1.

Погодинна подача насосної станції для кожного ступеню:

$$Q_{i_{н.с.}} = Q_{доб} \cdot P_i / 100, \quad (3.75)$$

де P_i і $Q_{i\ н.с.}$ – подача і-того ступеню насосної станції у відсотках $Q_{доб}$ і $м^3$/год відповідно; за табл.А.3 $Q_{доб}$ = 63266,48 $м^3$/доб, за рис.А.1 P_I = 2,60%, P_{II} = 5,11%.

$$Q_{I_{н.с.}} = 63266{,}48 \cdot 2{,}60/100 = 1644{,}93 \text{ м}^3/\text{год} = 456{,}92 \text{ л/с} = 0{,}457 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{II_{н.с.}} = 63266{,}48 \cdot 5{,}11/100 = 3230{,}81 \text{ м}^3/\text{год} = 897{,}45 \text{ л/с} = 0{,}897 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Таким чином, кількість робочих насосів становить: для I ступеню – 2 насоса, для II ступеню – при паралельному підключенні 4 робочих насоси.

Відповідно до [23, п.11.4] кількість всмоктувальних ліній на насосній станції I категорії незалежно від кількості насосів $n_{вс}$ = 2; при вимиканні однієї лінії решта розрахована на пропуск повної витрати води.

Розрахункова витрата кожного з всмоктувальних водоводів:

$$Q_{вс.в.} = Q_{max.н.с.}/(n_{вс.} - 1), \qquad (3.76)$$

де $Q_{max\ н.с.}$ – максимальна подача насосної станції, м^3/с; $Q_{max\ н.с.}$ = 0,897 м^3/с; $n_{вс}$ – кількість всмоктувальних водоводів.

$$Q_{вс.в.} = 0{,}897 : (2-1) = 0{,}897 \text{ м}^3/\text{с} = 897 \text{ л/с}.$$

При $Q_{вс.в.}$ = 897 л/с для всмоктувальних водоводів прийнято $d_{вс}$ = 1000 мм, $v_{вс}$ = 1,2 м/с, 1000i = 1,68 [27].

Розрахункова витрата кожного з напірних водоводів:

$$Q_{н.в.} = Q_{max.н.с.}/n_{н}, \qquad (3.77)$$

де $n_н$ – кількість напірних водоводів; приймається $n_н$ = 2 [23, п.11.5].

$$Q_{н.в.} = 0{,}897/2 = 0{,}449 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Діаметр напірних водоводів визначається за формулою:

$$d_н = \sqrt{4 \cdot Q_{н.в.}/\pi \cdot v_н}, \qquad (3.78)$$

де $v_н$ – швидкість руху води в напірному водоводі, м/с; попередньо прийнято $v_н$ = 1,5 м/с [23, п.11.8].

$$d_н = \sqrt{4 \cdot 0{,}449/(3{,}14 \cdot 1{,}5)} = 0{,}617 \text{ м} \approx 600 \text{ мм}.$$

При $Q_{н.в.}$ = 449 л/с і діаметрі $d_н$ = 600 мм для напірних водоводів приймається $v_н$ = 1,51 м/с, 1000i = 4,58 [27].

Потрібний напір насосів визначається за формулою:

$$H_р = H_г + h_к + h_в + h_з, \tag{3.79}$$

де $h_к$ – сумарні втрати напору в комунікаціях насосної станції, м; $h_к$=2 м [30];
$h_в$ – втрати напору в водоводах при максимальній подачі насосів, м;
$h_з$ – запас на вилив з напірного трубопроводу, що дорівнює 1,0 м [30].
$H_г$ – геометрична висота підйому, м:

$$H_г = П - Z, \tag{3.80}$$

де П – п’єзометрична позначка в точці підключення до мережі, м;П = 97,59 м;
Z – позначка найнижчого рівня води в РЧВ, м.

Відповідно до кількості та розмірів РЧВ (3×36×36) і об’єму пожежного запасу води в них за формулою (3.54) $W_п$ = 4477,56 м^3, висота пожежного запасу води в РЧВ: 4477,56/(3·36·36) = 1,15 м. Позначка поверхні землі в місці розташування РЧВ (за генпланом станції) 50,8 м; глибина води в РЧВ – 4,30 м, позначка пожежного рівня: Z = 50,8 + 0,5 – 4,3 + 1,15 = 48,15 м.

$$H_г = 97{,}59 - 48{,}15 = 49{,}44 \text{ м}.$$

Розрахункова витрата кожного напірного водовода для I та II ступеню:

$$Q_I = 1644{,}93/2 = 822{,}46 \text{ м}^3/\text{год} = 228{,}46 \text{ л/с}; \tag{3.81}$$

$$Q_{II} = 3230,81/2 = 1615,40 \text{ м}^3/\text{год} = 448,72 \text{ л/с}.$$

Для діаметра $d_н$ = 600 мм при визначених розрахункових витратах приймається: $v_{нI}$ = 0,77 м/с, $1000i_I$ = 1,26; $v_{нII}$ = 1,51 м/с, $1000i_{II}$ = 4,58 [27].
Втрати напору в водоводах при максимальному водоспоживанні для I і II ступеню за формулою (В.1) при довжині водоводу $\lambda = 3000$м за ситуаційним планом (лист 1) становлять:

$$h_{вI} = (1,1 \cdot 1,26 : 1000) \cdot 3000 = 4,16 \text{ м};$$

$$h_{вII} = (1,1 \cdot 4,58 : 1000) \cdot 3000 = 15,11 \text{ м};$$

$$H_{рI} = 49,44 + 2,0 + 4,16 + 1,0 = 56,60 \text{ м};$$

$$H_{рII} = 49,44 + 2,0 + 15,11 + 1,0 = 67,55 \text{ м}.$$

За зведеними характеристиками насосів, приведеними в [30], відповідно до витрат і напорів приймаються насоси марки Д630-90, які забезпечують розрахункові параметри. Характеристики насоса надані в Додатку М.

Розрахункова подача насосної станції при пожежогасінні:

$$Q'_{н.с.} = Q_{макс} + Q_п, \qquad (3.82)$$

де $Q_{макс}$ – розрахункова секундна витрата в годину максимального водоспоживання, л/с; за табл.А.3 $Q_{макс}$ = 3762,01 м^3/год = 1045,0 л/с;
$Q_п$ – розрахункова витрата на пожежогасіння, л/с; $Q_п$ = 135,0 л/с.

$$Q'_{н.с.} = 1045,0 + 135,0 = 1180,0 \text{ л/с}.$$

Потрібний напір насосів при пожежі:

$$H'_р = Z_{н.т.} + H_в + h_{в.п.} + h_{м.п.} - Z_р, \qquad (3.83)$$

де $Z_{н.т.}$ – абсолютна позначка невигідної точки при пожежі, м; $Z_{н.т.}$ = 54,5 м;

$H_в$ – вільний напір у невигідній точці при пожежі, м; $H_в$ = 10,0 м;

$h_{в.п}$ – втрати напору в водоводах при пожежі та подачі по них витрати $Q^{/}_{н.с}$, м;

$h_{м.п.}$– втрати напору в мережі при пожежі від невигідної точки до точки підключення водоводів до мережі, м; $h_{с.п}$ = 22,53 м;

$Z_р$ – абсолютна позначка дна РЧВ, м; $Z_р$ = 50,8 + 0,5 – 4,3 = 47,0 м.

Розрахункова витрата кожного з напірних водоводів при пожежогасінні $Q^{/}_{н.в}$ = 1180,0/2 = 590,0 л/с, при $d_н$ = 600 мм $v_н$ = 1,98 м/с; 1000i = 7,87 [27].

$$h_{в.п.} = (1{,}1 \cdot 7{,}87 : 1000) \cdot 3000 = 25{,}97 \text{ м;} \qquad (3.84)$$

$$H^{/}_р = 54{,}50 + 10{,}00 + 25{,}97 + 22{,}53 - 47{,}00 = 66{,}00 \text{ м.}$$

Отриманий за формулою (3.83) напір $H^{/}_р$ = 66,00 м менше напору за формулою (3.79) $H_р$ = 67,55 м, тому роботу насосної станції при пожежі забезпечують насоси для максимального водоспоживання. Дійсний напір насосів встановлюється після аналізу сумісної роботи насосів і водоводів.

Корпус насосів розташовується під заливом від верхнього розрахункового рівня пожежного запасу води в РЧВ [23, п.11.3].

Позначка вісі насосу визначається за формулою:

$$Z_н = Z - h_{вс}, \qquad (3.85)$$

де Z – позначка пожежного рівня води в РЧВ, м; Z = 48,15 м;

$h_{вс}$ – втрати напору у всмоктувальній лінії насосів, м.

Для витрати $Q_{вс.в.}$ = 897 л/с і діаметра $d_{вс}$ = 1000 мм прийнято $v_{вс}$ = 1,2 м/с, 1000i = 1,68 [27]; довжина всмоктувального водоводу $\lambda_{вс} = 92$ м.

$$h_{вс} = (1{,}1 \cdot 1{,}68 : 1000) \cdot 92 = 0{,}17 \text{ м;}$$

$$Z_н = 48{,}16 - 0{,}17 = 47{,}99 \text{ м.}$$

Мінімальна висота машинного залу, м, визначається за формулою:

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 + 0{,}5, \quad (3.86)$$

де h_1 – висота встановленого обладнання;

h_2 – висота вантажу, який переноситься;

h_3 – висота строповки вантажу;

h_4 – розміри підйомно-транспортного обладнання при піднятті крюка;

h_5 – висота підкранового шляху;

h_6 – висота перекриття;

0,5 – відстань між вантажем і обладнанням.

Всі значення складових приймаються по [30]. Тоді висота машинного залу:

$$H = 3{,}0 + 2{,}6 + 1{,}0 + 1{,}9 + 0{,}3 + 1{,}3 + 0{,}5 = 9{,}3 \text{ м}.$$

Аналіз режиму роботи насосів і уточнення їх робочих характеристик наданий у Додатку М.

3.13 Екологічне обґрунтування

В якості захисних заходів навколишнього середовища в даній роботі передбачені споруди повторного використання промивної води з метою запобігання можливого забруднення водойми.

Захисні заходи дозволяють запобігти скиду зокрема завислих речовин в кількості, яка визначається за формулою:

$$m_{зав} = C_{пром} \cdot Q_{пром} \cdot 365/10^6, \quad (3.87)$$

де $m_{зав}$ – загальна маса річного скиду завислих речовин, які після очистки промивної води не надходять у водойму, т/рік;

$Q_{пром}$ – кількість промивної води, яка очищується на спорудах повторного її використання, м^3/доб; за формулою (3.55) $Q_{пром}$ = 3284,79 м^3/доб;

$C_{пром}$ – концентрація завислих речовин в забрудненій промивній воді, г/м^3:

$$C_{пром} = C_{від} - C_{ф}, \qquad (3.88)$$

де $C_{від}$ – концентрація завислих речовин в освітленій воді, яка виходить з горизонтальних відстійників, г/м^3; $C_{від}$ = 10 г/м^3 [23, табл.16];

$C_{ф}$ – концентрація завислих речовин в очищеній воді, яка виходить з швидких фільтрів, г/м^3; приймається $C_{ф}$ = 1 г/м^3 [23, табл.16].

$$C_{пром} = 10 - 1 = 9 \text{ г/м}^3.$$

$$m_{взв} = 9 \cdot 3284{,}79 \cdot 365/10^6 = 10{,}79 \text{ т/рік}.$$

Очищена промивна вода з високим вмістом коагулянту повертається в змішувачі, що дозволяє знизити витрату товарного коагулянту (за формулою (3.3)) на 20%, що становить за рік: 0,2·7,9·365 = 573,8 т/рік.

Таким чином, схема очистки технологічної води від промивки швидких фільтрів мінімізує об’єм стоків, що скидаються у водойму.

Очистка природної води господарсько-питного призначення передбачає утворення значної кількості технологічних осадів після використання реагентів. Якщо для обробки таких осадів використовуються спеціальні майданчики, то такі дії наносять соціальний і матеріальний збиток, а також погіршують якість вихідної води, тому що створюють антисанітарні умови поблизу населених пунктів. У поєднанні з мінеральними і органічними речовинами, що містяться у вихідній воді, продукти гідролізу коагулянту є основними компонентами осадів. Споруди механічного зневоднення забезпечують зменшення об’єму осаду та зниження його вологості з 94% до 55%, що дозволяє ефективно утилізувати осад та зменшити навантаження на довкілля.

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ

4.1 Розрахунок капітальних та поточних витрат

Водопостачання як виробничий процес тісно пов'язане з життєдіяльністю населення міста, тому при плануванні виробничого процесу передбачається безперервна цілодобова робота станції очистки природної води. Капітальні витрати розраховані залежно від технологічної схеми очистки природної води помноженням об'ємних показників відповідних очисних споруд на їх питомі вартості. Вартість монтажу обладнання прийнята в розмірі 30% його вартості, монтажу комунікацій – 15% вартості комунікацій. Накладні витрати спеціалізованій монтажній організації – 20% вартості встановленого обладнання. Результати розрахунків – в Додатку Н.

Річна виробнича потужність визначається за формулою:

$$Q = N \cdot T, \qquad (4.1)$$

де N – технічна норма продуктивності основних споруд, м^3/доб; за формулою (2.17) N = 65797,14 м^3/доб;

T – річний фонд фактичного часу роботи станції, діб; T = 365 діб.

$$Q = 65797,14 \cdot 365 = 24015905 \text{ м}^3/\text{рік}.$$

Річні поточні витрати, грн., визначаються за формулою:

$$B = \sum_{i=1}^{n} C_i = C_м + C_е + C_{осн} + C_{дод} + C_{сс} + C_{утр.обл} + C_{заг} + C_{ін} - C_{зв}, \qquad (4.2)$$

де $\sum_{i=1}^{n} C_i$ - річна сума витрат по статтях калькуляції;

$С_м$ – витрати на сировину і матеріали;

$С_е$ – витрати на електроенергію на виробничі потреби;

$С_{осн}$ – основна заробітна плата виробничих працівників;

$С_{дод}$ – додаткова заробітна плата виробничих працівників;

$С_{сс}$ – відрахування на соціальне страхування;

$С_{утр.обл}$ – витрати на утримання і експлуатацію обладнання;

$С_{заг}$ – загальновиробничі витрати;

$С_{ін}$ – інші виробничі витрати;

$С_{зв}$ – зворотні витрати.

Детальний розрахунок річних поточних витрат представлений в Додатку Н.

Для злагодженої роботи всіх ділянок очисної станції заплановане забезпечення її необхідними матеріалами, а саме коагулянтом, вапном, хлором, кварцовим піском і антрацитом для довантаження швидких фільтрів.

Основним технологічним обладнанням, яке споживає електроенергію, є насосні агрегати, для яких витрати електроенергії прямо пропорційні кількості поданої споживачеві води і визначаються за питомими витратами.

Витрати на основну і додаткову заробітну плату виробничих працівників та адміністрації станції очистки природної води розраховані за методикою [32], результати розрахунку надані в Додатку П.

Витрати на відрахування на соціальне страхування прийняті в розмірі 38% від загального фонду оплати праці (ФОП):

$$С_{сс} = 0{,}38 \cdot ФОП, \tag{4.12}$$

$$ФОП = З_{заг} + З_{кер,спец.}. \tag{4.13}$$

Витрати на утримання та експлуатацію обладнання, грн./рік:

$$С_{утр.обл} = С_а + С_{екс\,об} + С_{рем} + С_{доп} + С_{сс.доп}, \tag{4.14}$$

де $С_а$ – амортизаційні відрахування;

$С_{екс\ об}$ – витрати на утримання та експлуатацію виробничого обладнання;

$С_{рем}$ – витрати на ремонт;

$С_{доп}$ – основна і додаткова зарплата робітників допоміжного виробництва;

$С_{сс.доп}$ – відрахування на соціальне страхування допоміжних робочих.

До загальновиробничих витрат відносяться: витрати на керування виробництвом; амортизація основних фондів; витрати на обслуговування виробничого процесу; витрати на охорону праці. Розмір загальновиробничих витрат дорівнює витратам на охорону праці і 30% від суми заробітної плати адміністрації та витрат на експлуатацію обладнання:

$$С_{заг} = С_{о.п.} \cdot N_{пр.} + 0{,}3 \cdot (З_{кер,спец} + С_{утр.обл}). \quad (4.15)$$

Інші виробничі витрати пов’язані з періодичною та епізодичною перевіркою якості природної води, приймаються в розмірі 1% від суми основної заробітної плати працівників і витрат на експлуатацію обладнання:

$$С_{ін} = 0{,}01 \cdot (С_{осн} + С_{утр.обл}). \quad (4.16)$$

До зворотніх витрат включається вартість продукції, яка повертається у виробництво. Вартість такої продукції віднімається при визначенні собівартості очистки води. Зворотною продукцією в даному варіанті є очищена промивна вода, яка повертається на основні очисні споруди.

Вартість зворотної продукції визначається за формулою:

$$С_{зв} = Q_{зв} \cdot Ц_{зв}, \quad (4.17)$$

де $Q_{зв}$ – кількість очищеної води, що повертається у виробництво, $м^3$/рік;

$Ц_{зв}$ – ціна зворотної продукції, грн./$м^3$.

4.2 Визначення собівартості послуг водопостачання

Для визначення собівартості очистки 1 м^3 природної води всі виконані розрахунки за статтями калькуляції зведені в табл.Н.5.

Собівартість одиниці послуг водопостачання визначена за формулою:

$$С_{1м^3} = В / П, \quad (4.18)$$

де П – річний обсяг водопостачання, м^3/рік; П = 24015956 м^3/рік.

$$С_{1м^3} = 275944953 / 24015956 = 11{,}49 \text{ грн./м}^3.$$

4.3 Визначення показників ефективності послуг водопостачання

Коефіцієнт абсолютної економічної ефективності послуг водопостачання визначається за формулою:

$$Е_а = (Ц_1 - С) \cdot Q_{нас} / К, \quad (4.19)$$

де $Ц_1$ – ціна за 1 м^3 на послуги водопостачання за диференційованим тарифом для населення, грн.; приймається $Ц_1$ = 17,80 грн.;

С – собівартість 1 м^3 води по проекту, грн.; за табл.Н.5 С = 11,49 грн.;

$Q_{нас}$ – річний обсяг водопостачання для населення, м^3/рік; за табл.А.3

$Q_{нас}$ = 63266,48 · 365 = 23092267 м^3/рік;

К – сума капітальних витрат, грн.; за табл.Н.1 К = 676788825 грн.

$$Е_а = (17{,}80 - 11{,}49) \cdot 23092267 / 676788825 = 0{,}215 \text{ грн./рік/грн.}$$

Термін окупності системи водопостачання:

$$Т = 1 / Е_а; \quad (4.20)$$

$$Т = 1/0{,}215 = 4{,}65 \text{ років.}$$

Прибуток від реалізації послуг водопостачання для населення:

$$П_{нас} = (Ц_1 - С) \cdot Q_{нас}; \quad (4.21)$$

$$П_{нас} = (17{,}80 - 11{,}49) \cdot 23092267 = 14571064 \text{ грн./рік.}$$

Основні техніко-економічні показники системи водопостачання представлені в табл.4.1.

Таблиця 4.1 - Основні техніко-економічні показники системи водопостачання

Основні показники	Одиниці виміру	Значення показника
Річна виробнича потужність	тис.м^3	24015,905
Капітальні вкладення	тис. грн.	676788,825
Річні експлуатаційні витрати	тис. грн./рік	275944,953
Собівартість очистки 1 м^3 води	грн./м^3	11,49
Ефективність послуг водопостачання	грн./рік/грн.	0,215
Термін окупності системи водопостачання	років	4,65

Таким чином, основними техніко-економічними розрахунками показано, що розроблений проект системи водопостачання є ефективним, а саме термін окупності капітальних вкладень нижче нормативного максимального строку окупності для даної галузі виробництва (4,65 року < 6,7 року). Також для розробленої системи водопостачання абсолютна економічна ефективність більше єдиного нормативного коефіцієнта (0,215 > 0,15 грн./рік/грн.).

ВИСНОВКИ

Удосконалення системи водопостачання населених пунктів потребує підвищення надійності елементів, які входять до складу системи, а саме підвищення якості роботи споруд забору, транспортування та очистки питної води. Забруднення джерел водопостачання обумовлює необхідність таких сучасних оптимальних методів очищення води, які дозволяють при зменшенні споживання енергії отримати безпечну для використання питну воду. Аналіз гідравлічної та математичної поведінки окремих елементів системи також має велике значення, тому що дає можливість оцінювати безперебійність роботи по забезпеченню питною водою споживача.

Для розробки ефективної технології очищення природних вод відповідно до характеристик населеного пункту та джерела водопостачання проведені:

- розрахунки основних споруд та обладнання для забору, подачі та транспортування води з урахуванням повної продуктивності 65797 $м^3$/доб для населеного пункту з кількістю мешканців 161690 чол.;

- розрахунки основних очисних споруд для доведення якісних показників очищеної води до встановлених норм споживання. В якості основних очисних споруд прийняті: горизонтальні відстійники в кількості 6 од. розміром 54 х 6 м; камери утворення пластівців осаду в кількості 6 од. розміром 9 х 6 м; двошарові швидкі фільтри в кількості 8 од. розміром 6 х 6 м. Для зберігання очищеної та знезараженої води прийняті резервуари чистої води (РЧВ) в кількості 3 од. з розміром 36 х 36 м. Для очистки промивної води та обробки осаду передбачені: піскоуловлювачі з круговим рухом води в кількості 2 од. з діаметром 1,9 м; вертикальні згущувачі діаметром 9 м в кількості 3 од.;

- математичні дослідження та збір статистичних даних для аналізу впливу процесу промивки швидких фільтрів на кількість та вартість використання передбачених на станції очисних споруд.

Результати розрахунків та дослідження показали:

1. Запропонована технологічна схема з собівартістю очистки 1 $м^3$ природної води в 11,49 грн/$м^3$ дозволяє досягти потрібного рівня забезпечення питною водою належної якості споживачів населеного пункту.

2. Безстічна схема обробки технологічної промивної води дозволяє досягнути мети повторного використання очищених промивних вод очисної станції, і тим самим забезпечує скорочення забору води з ріки для власних потреб, зменшує навантаження на загальну систему каналізації, запобігає забрудненню довкілля та замулюванню джерела водопостачання.

3. Залежно від характеристики вихідної води та вимог споживача до якості очищеної води встановлюється режим промивки фільтруючого завантаження швидких фільтрів. Відповідно приймаються змінні параметри процесу, а саме: швидкість фільтрування, кількість та тривалість промивок, інтенсивність подачі промивної води. Між змінними параметрами існує математична залежність, яка представлена в графічному вигляді в результаті дослідження. На основі статистичних даних можна підбирати оптимальні змінні параметри та прораховувати необхідну загальну кількість очищеної промивної води для запасу в резервуарах чистої води. Мінімізація такої кількості дозволяє знизити капітальні витрати на будівництво очисних споруд.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Добровольська О.Г. Забашта Д.О. Реконструкція інженерних очисних об'єктів. Інновації у будівництві : зб. тез доп. IX Міжнар. наук-.практ. інтер.-конф. (м. Луцьк,14 травня 2024 р.).Луцьк :Луцький нац.техн.ун-т.,2024.С.1-3. URL: https://drive.google.com/file/d/1XuvF4FOd20vV1zGOXVo061EZV7bQOd4h/view

2. The United Nations World Water Development Report 2024: water for prosperity and peace URL: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000388948

3. Французька комунальна компанія Suez про спільні проекти. URL: https://kyivcity.gov.ua/news/munitsipalitet_kiyeva_ta_frantsuzka_kompaniya_SUEZ_obgovorili_spilni_proyekti_u_sferi_vodopostachannya_mista/

4. Климчик О.М. Технології біоремедіації водних екосистем. URL: http://ir.polissiauniver.edu.ua/bitstream/123456789/13458/1/KOM_49_TBVES_2020_133-135.pdf

5. Технології промислового водоочищення. Нанотехнологічна фільтрація. URL: https://ctrading.com.ua/ua/tekhnolohii/nanofiltratsiya-vodi/

6. Кваша Т.К. Аналіз відповідності українських інноваційних пріоритетів перспективним світовим науковим та технологічним напрямам: сфера "Водопостачання, водоочищення, водовідведення". URL: https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/innovatsii-transfer-tehnologiy/vidpovidnosti-ukrainski.pdf

7. Mustafa A, Scholz M, Khan S, et al. Application of solar disinfection for treatment of contaminated public water supply in a developing country: field observations. J Water Health 2013;11:135-45. URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23428556/

8. Lantagne SD, Quick R, Mintz ED. Household Water Treatment and Safe Storage Options in Developing Countires: A Review of Current Implementation Practices.URL: https://www.researchgate.net/publication/228607753_Household_

Water_Treatment_and_Safe_Storage_Options_in_Developing_Countries_a_Review_of_Current_Implementation_Practices

9. Esfahani, A.R.; Zhai, L.; Sadmani, A.H.M.A. Removing heavy metals from landfill leachate using electrospun polyelectrolyte fiber mat-laminated ultrafiltration membrane. J. Environ. Chem. Eng. 2021, 9, 105355. URL: https://stars.library.ucf.edu/etd2020/119/

10. Fane, A.G.; Wang, R.; Hu, M.X. Synthetic membranes for water purification: Status and future. Angew. Chem. Int. Ed. 2015, 54, 3368–3386. URL: https://www.mdpi.com/2073-4360/15/3/741

11. Greenlee, L.F.; Lawler, D.F.; Freeman, B.D.; Marrot, B.; Moulin, P. Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges.

Water Res. X 2009, 43, 2317–2348. URL: https://www.researchgate.net/publication/24282797_Reverse_osmosis_desalination_Water_sources_technology_and_today's_challenges

12. Ren, L.-F.; Xia, F.; Chen, V.; Shao, J.; Chen, R.; He, Y. TiO_2 -FTCS modified superhydrophobic PVDF electrospun nanofibrous membrane for desalination by direct contact membrane distillation. Desalination 2017, 423, 1–11. URL: https://www.mdpi.com/2077-0375/11/2/95

13. Smart and innovative nanotechnology applications for water purification. URL:

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2773207X23000271

14. Зворотний осмос: принцип роботи. URL: https://romstal.ua/uk/info/409-obratnyj-osmos-princip-raboty-podklyuchenie-obsluzhivanie?srsltid=AfmBOooIxm8qIw7g5cLZ0KcaMSPZJ7r0CfYKLnpATHahdGIOFIu3iNKj

15. Examining Current and Future Applications of Electrocoagulation in Wastewater Treatment. URL: https://www.watertectonics.com/approach/packaged-systems/electrocoagulation/

16. Біологічне окиснення амонію. GAC і нітрифікація азоту зі сполук амонію. URL: https://www.softwave.com.ua/ammonia-and-gac-nitrification-ukr/

17. Water treatment. Micro- and ultrafiltration. URL: https://ocw.tudelft.nl/wp-content/uploads/Micro-and-ultrafiltration-1.pdf

18. Water Treatment Processes: Beginner's Guide to Safe Clean Wholesome Drinking Water URL: https://www.cvwaterconsultancy.co.uk/post/what-are-the-most- advanced-water-treatment-technologies-used-in-the-uk

19. Ren D, Colosi LM, Smith JA. Evaluating the sustainability of ceramic filters for point-of-use drinking water treatment. Environ Sci Technol 2013;47:11206-13. URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23991752/

20. Mosler HJ, Kraemer SM, Johnston RB. Achieving long-term use of solar water disinfection in Zimbabwe. Public Health 2013;127:92-8. URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23219264/

21. Abebe LS, Chen X, Sobsey MD. Chitosan Coagulation to Improve Microbial and Turbidity Removal by Ceramic Water Filtration for Household Drinking Water Treatment. Int J Environ Res Public Health 2016;13 URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4808932/

22. О.Федосов, О.Дулька. Інноваційний спосіб підготовки бутильованої води для закладів індустрії гостинності URL: http://restaurant-hotel.knukim.edu.ua/article/view/291707

23. 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. – 172 с.

24. Тугай, А. М. Водопостачання : підручник / А. М. Тугай, В. О. Орлов. - К. : Знання, 2009. – 735 с.

25. Хоружий П.Д., Ткачук О.А. Водопровідні системи і споруди: навч. посібник. Київ: Вища школа, 2008. – 227 с.

26. Тугай, А. М. Водопостачання. Джерела та водозабірні споруди : навч. посібник для студ. вузів за спец.: "Водопостачання та водовідведення", "Споруди і обладнання водопостачання і водовідведення" / А. М. Тугай, Я. А. Тугай ; Київський держ. технічний ун-т будівництва і архітектури, Українсько-фінський ін-т менеджменту і бізнесу. - К. : [б.в.], 1998. – 192 с.

27. Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблиці для гідравлічного розрахунку водопровідних труб: Справ.посібник, - м.: Стройиздат, 1984. – 116 с.

28. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2012 році. Київ: Мінрегіон України, 2013. 450 с.

29. Орлов В. О., Тугай Я. А., Орлова А. М. Водопостачання та водовідведення : підручник. Київ : Знання, 2011. – 359 с.

30. Залуцкий Э.В., Петрухно А.И. Насосні станції. Курсове проектування. – Київ: Вища школа, 1987. – 167 с.

31. Кравченко В.С. Водопостачання та каналізація: підручник. Київ: Кондор, 2009. – 288 с. URL: http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2016/Kravch_2009_288.pdf

32. Економічне обґрунтування проектів водопровідно-каналізаційного господарства. Методичні вказівки до виконання розділу дипломного проекту для студентів спеціальності «Водопостачання та водовідведення» денної та заочної форми навчання / Світлична В.Б. – Запоріжжя: ЗДІА, 2007. – 39 с.

ДОДАТОК А

Визначення та розрахунок режиму водоспоживання міста

Таблиця А.1 – Витрати води на господарсько-питні потреби жителів за добу

Район міста	Загальна площа кварталів району, га	Щільність мешканців, чол/га	Розрахункова кількість жителів, чол.	Норма водоспоживання на одного жителя, л/доб	Коефіцієнт добової нерівномірності		Добові витрати води, $м^3$/доб		
					$К_{доб.макс.}$	$К_{доб.мін.}$	Q_i	$Q_{доб.макс.}$	$Q_{доб.мін.}$
I	220,36	370	81533	300	1,1	0,7	24459,96	26905,96	17121,97
II	195,66	320	62611	285	1,2	0,8	17844,19	21413,03	14275,35
III	83,55	210	17546	230	1,3	0,9	4035,47	5246,10	3631,92
Всього	499,57		161690				46339,62	53565,09	35029,24

Таблиця А.2 – Витрати води за добу на поливання вулиць

Район міста	Розрахункова кількість жителів, чол.	Питома середньодобова витрата, л/доб·чол	Добова витрата на поливання, $м^3$/доб		
			Поливальними машинами	Двірниками	Всього $Q_{іпол}$
I	81533	60	2935,20	1956,80	4891,99
II	62611	60	2254,00	1502,67	3756,67
III	17546	60	631,64	421,09	1052,73
Всього	161690		5820,84	3880,56	9701,39

Таблиця А.3 – Розподіл витрат води по годинах за добу

Години доби	Господарсько-питні потреби населення					
	I район		II район		III район	
	$\%Q_{доб}$	$м^3$	$\%Q_{доб}$	$м^3$	$\%Q_{доб}$	$м^3$
0-1	3,00	807,18	2,50	535,33	1,50	78,69
1-2	3,20	860,99	2,65	567,45	1,50	78,69
2-3	2,50	672,65	2,20	471,09	1,50	78,69
3-4	2,60	699,55	2,25	481,79	1,50	78,69
4-5	3,50	941,71	3,20	685,22	2,50	131,15
5-6	4,10	1103,14	3,90	835,11	3,50	183,61
6-7	4,50	1210,77	4,50	963,59	4,50	236,07
7-8	4,90	1318,39	5,10	1092,06	5,50	288,54
8-9	4,90	1318,39	5,35	1145,60	6,25	327,88
9-10	5,60	1506,73	5,85	1252,66	6,25	327,88
10-11	4,90	1318,39	5,35	1145,60	6,25	327,88
11-12	4,70	1264,58	5,25	1124,18	6,25	327,88
12-13	4,40	1183,86	4,60	985,00	5,00	262,31
13-14	4,10	1103,14	4,40	942,17	5,00	262,31
14-15	4,10	1103,14	4,60	985,00	5,50	288,54
15-16	4,40	1183,86	4,60	985,00	6,00	314,77
16-17	4,30	1156,96	4,90	1049,24	6,00	314,77
17-18	4,10	1103,14	4,60	985,00	5,50	288,54
18-19	4,50	1210,77	4,70	1006,41	5,00	262,31
19-20	4,50	1210,77	4,50	963,59	4,50	236,07
20-21	4,50	1210,77	4,40	942,17	4,00	209,84
21-22	4,80	1291,49	4,20	899,35	3,00	157,38
22-23	4,60	1237,67	3,70	792,28	2,00	104,92
23-24	3,30	887,90	2,70	578,15	1,50	78,69
Разом	100,00	26905,96	100,00	21413,03	100	5246,10

Продовження табл.А.3

Години доби	Поливання машинами, $м^3$			Поливання двірниками, $м^3$			Сумарна погодинна витрата	
	I район	II район	III район	I район	II район	III район	$м^3$	% $Q_{доб}$
0-1							1421,20	2,25
1-2							1507,13	2,38
2-3							1222,43	1,93
3-4							1260,04	1,99
4-5							1758,08	2,78
5-6	209,66	161,00	45,12	279,54	214,67	60,16	3092,01	4,89
6-7	209,66	161,00	45,12	279,54	214,67	60,16	3380,57	5,34
7-8	209,66	161,00	45,12	279,54	214,67	60,16	3669,13	5,80
8-9	209,66	161,00	45,12	279,54	214,67	60,16	**3762,01**	**5,95**
9-10	209,66	161,00	45,12				3503,05	5,54
10-11	209,66	161,00	45,12				3207,64	5,07
11-12	209,66	161,00	45,12				3132,42	4,95
12-13	209,66	161,00	45,12				2846,94	4,50
13-14	209,66	161,00	45,12				2723,40	4,30
14-15	209,66	161,00	45,12				2792,45	4,41
15-16	209,66	161,00	45,12				2899,40	4,58
16-17	209,66	161,00	45,12	279,54	214,67	60,16	3491,10	5,52
17-18	209,66	161,00	45,12	279,54	214,67	60,16	3346,82	5,29
18-19	209,66	161,00	45,12	279,54	214,67	60,16	3449,63	5,45
19-20							2410,43	3,81
20-21							2362,79	3,73
21-22							2348,22	3,71
22-23							2134,88	3,37
23-24							1544,74	2,44
Разом	2935,20	2254,00	631,64	1956,80	1502,67	421,09	63266,48	100,00

З урахуванням даних табл.А.3 побудований суміщений графік водоспоживання міста і подачі води насосами, який показаний на рис.А.1.

Подача води насосами визначена при розрахунках регулюючих об’ємів резервуара чистої води і бака водонапірної башти та відображена в табл.К.1.

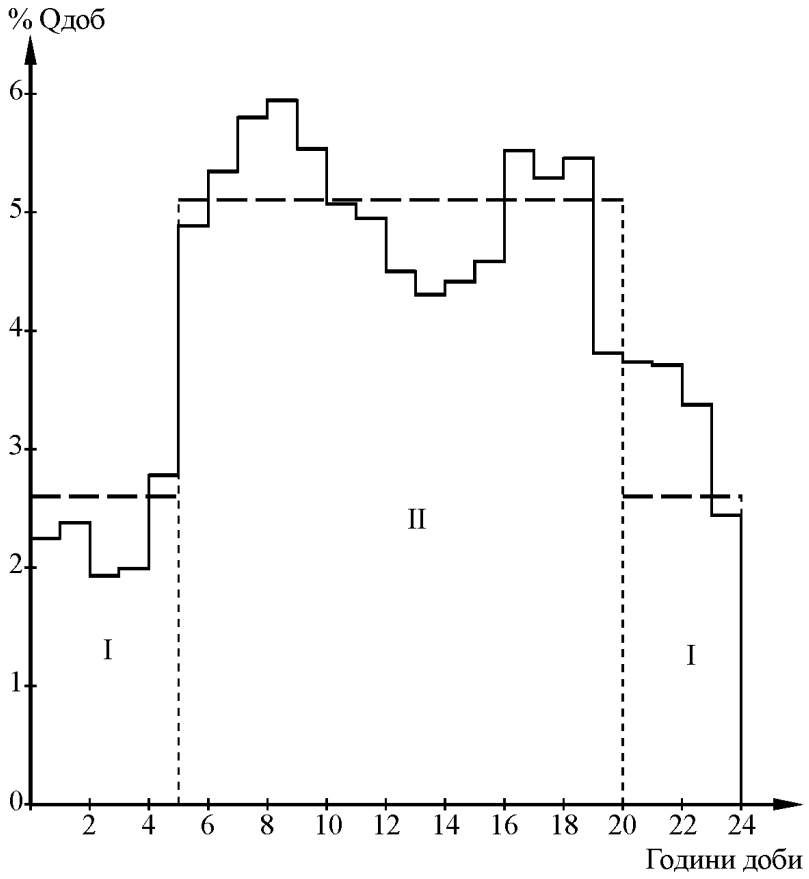


Рисунок А.1 – Суміщений графік водоспоживання та подачі води насосами

_____ водоспоживання міста; - - - - - - - - - подача води насосами

ДОДАТОК Б

Характеристика джерела водопостачання

Таблиця Б.1 – Кількісні показники джерела водопостачання

№ з/п	Показник	Од. вимір.	Значення
1	Середня ширина ріки (за генпланом)	м	530
2	Середня глибина ріки	м	8,25
3	Позначка максимального рівня води в місці розташування водозабору	м	44,5
4	Позначка мінімального рівня води в місці розташування водозабору	м	42,0
5	Максимальна витрата ріки	$м^3/с$	500
6	Мінімальна витрата ріки	$м^3/с$	300
7	Максимальна швидкість течії	м/с	1,05
8	Мінімальна швидкість течії	м/с	0,3
9	Гідравлічна крупність наносів	мм/с	150
10	Ухил річкових відкладень		0,0003
11	Товщина льоду	м	0,4
12	Висота хвилі	м	0,4

Таблиця Б.2 – Основні якісні показники води ріки

№ з/п	Показник	Од. вимір	Значення
1	Каламутність	мг/л	320
2	Забарвленість	град.	45
3	pH води		8,0
4	Вміст:		
	- Азот амонійний	мг/л	0,29
	- Алюміній	мг/л	0,04
	- Кальцій	мг/л	52,1
	- Нітрати (аніон)	мг/л	0,52
	- Нітрити (аніон)	мг/л	0,01
	- Сульфати (аніон)	мг/л	50,5
	- Фосфати (аніон)	мг/л	0,11
	- Хлориди (аніон)	мг/л	33,19
5	Мінералізація	мг/л	284,2
6	Мінімальна лужність	мг-екв/л	0,57
7	Жорсткість	мг-екв/л	4,0

ДОДАТОК В

Розрахунок втрат напору у водопровідних лініях водозабору та комунікаціях очисної станції

Втрати по довжині в напірних водоводах насосної станції І підйому:

$$\sum h^{н}_{дов} = 1{,}1 \cdot i_{н} \cdot L_{н}, \qquad (В.1)$$

де $i_н$ – питомі втрати напору; прийнято $1000i_н = 3{,}27$ [27];

$L_н$ – довжина напірних водоводів, м; за ситуаційним планом $L_н = 400$ м.

$$\sum h^{н}_{дов} = 1{,}1 \cdot 3{,}27 \cdot 400/1000 = 1{,}44 \text{ м};$$

Втрати на місцеві опори в напірних лініях насосної станції:

$$\sum h^{н}_{м} = 0{,}1 \cdot \sum h^{н}_{дов} \ ; \qquad (В.2)$$

$$\sum h^{н}_{м} = 0{,}1 \cdot 1{,}44 = 0{,}14 \text{ м}$$

Втрати по довжині в самопливних лініях водозабору:

$$\sum h^{с}_{дов} = 1{,}1 \cdot i_{с} \cdot L_{с}, \qquad (В.3)$$

де $i_с$ – питомі втрати напору; прийнято $1000i_н = 3{,}27$ [27];

$L_с$ – довжина самопливних водоводів, м; за планом (лист 6) $L_с = 60$ м.

$$\sum h^{с}_{дов} = 1{,}1 \cdot 3{,}27 \cdot 60/1000 = 0{,}22 \text{ м}.$$

Втрати на місцеві опори в самопливних лініях водозабору:

$$\sum h^{с}_{м} = \sum \xi \cdot v_{с}^{2}/(2 \cdot g), \qquad (В.4)$$

де ξ - коефіцієнти місцевих опорів на самопливних водоводах;

$$\sum h^{c}_{м} = (0{,}1 + 0{,}5 + 0{,}05) \cdot 1{,}28^2 / (2 \cdot 9{,}81) = 0{,}05 \text{ м.}$$

Таблиця В.1 – Втрати напору в спорудах і комунікаціях очисної станції

№ з/п	Споруди і комунікації	Питомі втрати напору	Довжина ділянки, м	Втрати напору, м
1	Змішувачі			0,5
2	Від змішувачів до камер утворення пластівців осаду	1,02	40	0,04
3	Камери пластівцеутворення			0,4
4	Горизонтальні відстійники			0,7
5	Від горизонтальних відстійників до швидких фільтрів	1,02	120	0,13
6	Швидкі фільтри			3,7
7	Від швидких фільтрів до резервуарів чистої води	1,02	230	0,26
	Разом			5,74 м

ДОДАТОК Г

Розрахунок ступеню стабільності води після коагуляції

Для визначення ступеню стабільності води розраховується вміст в ній вуглекислого газу за формулою:

$$CO_2 = \frac{44 \cdot Л_о}{k_1 \cdot 10^{pH+\sqrt{\mu}}}, \qquad (Г.1)$$

де $Л_о$ – лужність вихідної води, мг-екв/л; $Л_о$ = 0,57 мг-екв/л;

k_1 – коефіцієнт залежності від температури води: для літа $k_1 = 4{,}05 \cdot 10^{-7}$; для зими $k_1 = 2{,}61 \cdot 10^{-7}$;

pH – водневий показник вихідної води; pH = 8,0.

μ – в'язкість води, мг/л:

$$\mu = 0{,}000022 \cdot P, \qquad (Г.2)$$

де P – загальний солевміст (сухий залишок), мг/л; P = 284,2 мг/л = 0,28 г/л.

$$\mu = 0{,}000022 \cdot 284{,}2 = 0{,}0063 \text{ мг/л};$$

$$CO_2^{з} = \frac{44 \cdot 0{,}57}{2{,}61 \cdot 10^{-7} \cdot 10^{8{,}0+\sqrt{0{,}0063}}} = 0{,}8 \text{ мг/л};$$

$$CO_2^{л} = \frac{44 \cdot 0{,}57}{4{,}05 \cdot 10^{-7} \cdot 10^{8{,}0+\sqrt{0{,}0063}}} = 0{,}5 \text{ мг/л}.$$

Кількість вільного двоокису в воді після коагуляції:

$$(CO_2)^{з}_{в} = CO_2^{з} + 44 \cdot Д_к / e_к; \qquad (Г.3)$$

$$(CO_2)^{л}_{в} = CO_2^{л} + 44 \cdot Д_к / e_к;$$

$$(CO_2)^{з}_{в} = 0{,}8 + 44 \cdot 40/57 = 31{,}7 \text{ мг/л};$$

$$(CO_2)^{л}_{в} = 0{,}5 + 44 \cdot 40/57 = 31{,}4 \text{ мг/л}.$$

Індекс насичення карбонатом кальцію визначається за формулою:

$$I = pH_o - pH_s, \qquad (Г.4)$$

де pH_o – водневий показник після коагулювання води; для літа при t = 24° С, Р = 0,28 г/л, Л = 0,57 мг-екв/л і $(CO_2)^{л}_{в}$ = 31,7 мг/л $pH^{л}_{o}$ = 6,21; для зими при t = 0° С і $(CO_2)^{з}_{в}$ = 31,4 мг/л $pH^{з}_{o}$ = 6,45 [23, дод.Г, рис.Г2];

pH_s – водневий показник в умовах насичення води карбонатом кальцію; для літа при t = 24° С, Р = 0,28 г/л, C_{Ca} = 52,10 мг/л, Л = 0,57 мг-екв/л, $pH^{л}_{s}$ = 7,24; для зими при t = 0° С $pH^{з}_{s}$ = 7,65 [23, дод.Г, рис.Г1].

$$I_{л} = 6{,}21 - 7{,}24 = -1{,}03;$$

$$I_{з} = 6{,}45 - 7{,}65 = -1{,}20.$$

При від’ємному значенні індексу насичення води карбонатом кальцію –1,03 < –0,25 та –1,20 < –0,25 для отримання стабільної води після коагуляції передбачається обробка її вапном [23, дод.5].

ДОДАТОК Д

Розрахунок збірного лотка вертикального змішувача

Вода, яка протікає по лотках у напрямку бокового каналу змішувача, розділяється на два паралельних потоки, розрахункова витрата кожного потоку $q_л = q_{зм}/2 = 1371/2 = 685$ м^3/год. Швидкість руху води наприкінці водозбірного лотка $v_л = 0,6$ м/с [23, п.10.5.6].

Площа живого перерізу в кінці збірного лотка:

$$w_л = q_л /(v_л \cdot 3600), \qquad (Д.1)$$

$$w_л = 685/(0,6 \cdot 3600) = 0,32 \text{ м}^2.$$

Ширина лотка при умові, що його переріз квадратний:

$$b_л = \sqrt{w_л}; \qquad (Д.2)$$

$$b_л = \sqrt{0,32} = 0,56 \text{ м}.$$

Розрахункова висота шару води в лотку:

$$h_л = w_л / b_л; \qquad (Д.3)$$

$$h_л = 0,32/0,56 = 0,56 \text{ м}.$$

Площа всіх затоплених отворів у стінках збірного лотка:

$$F_о = q_{зм} /(v_о \cdot 3600), \qquad (Д.4)$$

де $v_о$ – швидкість руху води в отворах лотка, м/с; прийнята $v_о = 1$ м/с.

$$F_о = 1371/(1,0 \cdot 3600) = 0,38 \text{ м}^2.$$

Приймаються отвори діаметром d_o = 80 мм = 0,08 м з площею:

$$f_o = \pi \cdot d_o^{\,2} / 4, \qquad (Д.5)$$

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

Загальна потрібна кількість отворів:

$$n_o = F_o / f_o, \qquad (Д.6)$$

$$n_o = 0{,}38 / 0{,}005 = 76 \text{ од.}$$

Отвори розміщуються по боковій поверхні лотка на глибині 110 мм від верхньої кромки лотка до вісі отворів.

Внутрішній периметр лотка визначається за формулою:

$$P_л = 4 \cdot [b_в - 2 \cdot (b_л + 0{,}06)]; \qquad (Д.7)$$

$$P_л = 4 \cdot [3{,}3 - 2 \cdot (0{,}56 + 0{,}06)] = 8{,}21 \text{ м} = 8210 \text{ мм}.$$

Шаг вісі отворів:

$$l_o = P_л / n_o, \qquad (Д.8)$$

$$l_o = 8210 / 76 = 108 \text{ мм}.$$

Відстань між отворами :

$$L = l_o - d_o, \qquad (Д.9)$$

$$L = 108 - 80 = 28 \text{ мм}.$$

ДОДАТОК Е

Розрахунок трубчастих систем основних очисних споруд

В даній роботі до основних очисних споруд відносяться камери утворення пластівців, горизонтальні відстійники та швидкі фільтри.

Конструкція горизонтального відстійника та вбудованої камери пластівцеутворення передбачає використання наступних трубчастих систем:

- система розподілу води для відстоювання, розташована в камері утворення пластівців осаду;
- система збору та відведення очищеної від завислих речовин води;
- система збору та відведення осаду.

Конструкція швидкого фільтра передбачає використання трубчастої розподільної (дренажної) системи великого опору, яка складається з колектору та бокових відгалужень.

Розподіл води по площині камери утворення пластівців із шаром зваженого осаду передбачається напірними перфорованими трубами з отворами, які спрямовані вниз під кутом 45° [23, п.10.7.6].

При швидкості руху води на початку розподільної системи 0,5…0,6 м/с [23, п.10.7.6] для витрати води $q_к$ = 152,3 л/с (за формулою 3.27) для трубопроводу, який підводить воду до розподільної системи $Д_{під}$ = 600 мм; $v_{під}$ = 0,51 м/с; 1000i = 0,60 [27].

В колекторі розподільної системи рух води розділяється на два потоки, тому витрата води в колекторі:

$$q_{кол} = q_к / 2; \qquad (Е.1)$$

$$q_{кол} = 152{,}3/2 = 76{,}2 \text{ л/с}.$$

Для колектора розподільної системи камери пластівцеутворення прийняті $Д_{кол}$ = 400 мм; $v_{кол}$ = 0,57 м/с; 1000i = 1,24 [27].

Кількість розподільних труб:

$$n_{тр} = B_к / t_{тр}, \quad (Е.2)$$

де $t_{тр}$ – відстань між вісями розподільних труб, м; $t_{тр}$ = 2,0 м [23, п.10.7.6].

$$n_{тр} = 6{,}0 / 2{,}0 = 3 \text{ од.}$$

Витрата води в одній розподільній трубі:

$$q_{тр} = q_к / n_{тр}; \quad (Е.3)$$

$$q_{тр} = 152{,}3 / 3 = 50{,}8 \text{ л/с.}$$

Для кожної розподільної труби: $Д_{тр}$ = 350 мм; $v_{тр}$ = 0,49 м/с; 1000i = 1,12 [27].

Довжина розподільної труби становить:

$$l_{тр} = L_к - t_{ст} - Д^{зовн}_{кол}, \quad (Е.4)$$

де $t_{ст}$ – відстань від розподільної труби до стінки, м; $t_{ст}$ = 1,0 м [23, п.10.7.6]; $Д^{зовн}_{кол}$ – зовнішній діаметр колектора, м; $Д^{зовн}_{кол}$ = 377 мм = 0,38 м [27].

$$l_{тр} = 9{,}0 - 1{,}0 - 0{,}38 = 7{,}62 \text{ м.}$$

Втрати напору в розподільній системі:

$$h = \xi \cdot \frac{v^2_{кол}}{2 \cdot g} + \frac{v^2_{тр}}{2 \cdot g}, \quad (Е.5)$$

де ξ - коефіцієнт гідравлічного опору; для колектора з відгалуженнями з круглими отворами коефіцієнт гідравлічного опору визначається за формулою:

$$\xi = 2{,}2 / К_{п}^{2} + 1, \qquad (Е.6)$$

де $К_п$ – коефіцієнт перфорації; $К_п$ = 0,3 [23, п.10.7.6].

$$\xi = 2{,}2 / 0{,}3^{2} + 1 = 25{,}44;$$

$$h = 25{,}44 \cdot \frac{0{,}57^{2}}{2 \cdot 9{,}81} + \frac{0{,}49^{2}}{2 \cdot 9{,}81} = 0{,}43 \text{ м.}$$

Втрати напору, визначені за формулою (Е.5) відповідають прийнятому раніше значенню втрат за [23, п.10.28.2].

Збір освітленої води в горизонтальному відстійнику проводиться за допомогою системи горизонтально розташованих дірчастих труб яка розташовується на ділянці, що дорівнює 2/3 довжини відстійника [23, п.6.75]:

$$L_{сист} = L \cdot 2 / 3; \qquad (Е.7)$$

$$L_{сист} = 54 \cdot 2 / 3 = 36{,}0 \text{ м}$$

Погонна довжина труб для збору освітленої води:

$$l = q_{кол} / q_{пит}, \qquad (Е.8)$$

де $q_{пит}$ – питома витрата освітленої води, яка приходиться на 1 м труб системи видалення води, л/с·м; приймається $q_{пит}$ = 1,5 л/с·м [29].

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

$$q_{кол} = q / (N \cdot 3{,}6); \qquad (Е.9)$$

$$q_{кол} = 2741{,}55 / (5 \cdot 3{,}6) = 152{,}3 \text{ л/с;}$$

$$l = 152{,}3 / 1{,}5 = 101{,}5 \text{ м.}$$

При швидкості руху води в кінці колектора 0,6…0,8 м/с [23, п.10.9.10] приймається $Д_{кол}$ = 500 мм; $v_{кол}$ = 0,73 м/с; 1000i = 1,44 [27].

Довжина збірних труб для освітленої води визначається за формулою:

$$l_{р.тр} = L_{сист} - Д^{зовн}_{кол}, \quad (Е.10)$$

де $Д^{зовн}_{кол}$ – зовнішній діаметр колектора, м; $Д^{зовн}_{кол}$ = 530 мм = 0,53 м [27].

$$l_{р.тр} = 36{,}0 - 0{,}53 = 35{,}47 \text{ м}.$$

Кількість збірних труб:

$$n_{р.тр} = l / l_{р.тр}; \quad (Е.11)$$

$$n_{р.тр} = 101{,}5 / 35{,}47 = 2{,}86 \approx 3 \text{ од}.$$

Витрата води для однієї збірної труби:

$$q_{р.тр} = q_{кол} / n_{р.тр}; \quad (Е.12)$$

$$q_{р.тр} = 152{,}3 / 3 = 50{,}8 \text{ л/с}.$$

При швидкості руху води в збірних трубах 0,6…0,8 м/с [23, п.10.9.10] $Д_{р.тр}$ = 300 мм; $v_{р.тр}$ = 0,67 м/с; 1000i = 2,41 [27].

Відстань між вісями збірних труб:

$$t_{р.тр} = B / n_{р.тр}, \quad (Е.13)$$

$$t_{р.тр} = 6{,}0 / 3 = 2{,}0 \text{ м}.$$

Відстань між вісями збірних труб відповідає умовам [23, п.10.9.10], освітлена вода до труб надходить через затоплені отвори діаметром d_o = 25 мм.

Для гідравлічного видалення осаду також прийнята збірна система з перфорованих труб з отворами діаметром d_o = 25 мм. Дно відстійника між трубами збірної системи осаду є призматичним з кутом нахилу 45° [23].

Кількість труб для видалення осаду з одного відстійника:

$$n_{тр} = B / l_{тр}, \quad (Е.14)$$

де $l_{тр}$ – відстань між вісями труб, м; $l_{тр}$ = 3,0 м [23, п.10.9.10].

$$n_{тр} = 6{,}0 / 3{,}0 = 2 \text{ од.}$$

Кількість осаду, що проходить через кожну трубу:

$$q_{тр.ос} = W_{ос.ч} / (n_{тр} \cdot t_{ск}), \quad (Е.15)$$

де $t_{ск}$ – тривалість скиду осаду, год; $t_{ск}$ = 25 хв = 0,42 год [23, п.10.9.6].

$$q_{тр.ос} = 116{,}92 / (2 \cdot 0{,}42) = 140{,}3 \text{ м}^3/\text{год} = 39 \text{ л/с}.$$

При швидкості руху осаду в кінці труб не менше 1,0 м/с [23, п.10.9.10] приймається $Д_{тр.ос}$ = 200 мм; $v_{тр.ос}$ = 1,14 м/с; 1000i = 10,70 [27].

Втрати напору в збірній системі осаду:

$$h = \xi \cdot \frac{v^2_{тр.ос}}{2 \cdot g} \cdot n_{тр}, \quad (Е.16)$$

де ξ - коефіцієнт гідравлічного опору для перфорованої прямолінійної труби, що працює повним перерізом:

$$\xi = 3{,}3 / К_п^{1{,}8}, \quad (Е.17)$$

де $К_п$ – коефіцієнт перфорації; для труби осаду $К_п$ = 1,2 [23, п.10.10.10].

$$\xi = 3{,}3/1{,}2^{1{,}8} = 2{,}38;$$

$$h = 2{,}38 \cdot \frac{1{,}14^2}{2 \cdot 9{,}81} \cdot 2 = 0{,}31 \text{ м.}$$

Витрата води, що необхідна для промивки одного швидкого фільтра:

$$q_{пром} = F_{яч} \cdot W; \qquad (Е.18)$$

$$q_{пром} = 35{,}64 \cdot 16 = 570{,}28 \text{ л/с.}$$

Рекомендована швидкість води на початку колектора розподільної системи при промивці 0,8…1,2 м/с [23, п.10.12.12]. Для колектора приймається $Д_{кол}$ = 800 мм; $v_{кол}$ = 1,12 м/с, 1000i = 1,81 [27].

Площа фільтра, яка приходиться на одне відгалуження:

$$f_{б.в.} = \left(B - Д^{зовн}_{кол}\right) \cdot l_{б.в.} / 2, \qquad (Е.19)$$

де $l_{бв}$ – відстань між вісями відгалужень, м; $l_{бв}$=300 мм =0,3 м [23, п.10.12.11]; $Д^{зовн}_{кол}$ – зовнішній діаметр колектора, м; $Д^{зовн}_{кол}$ = 820 мм = 0,82 м [27].

$$f_{б.в.} = (6{,}0 - 0{,}82) \cdot 0{,}3/2 = 0{,}78 \text{ м}^2.$$

Витрата промивної води, що надходить через одне відгалуження:

$$q_{б.в.} = f_{б.в.} \cdot W; \qquad (Е.20)$$

$$q_{б.в.} = 0{,}78 \cdot 16 = 12{,}4 \text{ л/с.}$$

Рекомендована швидкість руху води в трубах відгалужень 1,6…2,0 м/с [23, п.10.12.12]. Приймається: $d_{б.в.}$ = 80 мм; $v_{б.в.}$ = 1,76 м/с; 1000i = 71,0 [27]. В нижній частині відгалуження під кутом 45° до вертикалі виконуються

отвори діаметром d_o = 12 мм = 0,012 м. Загальна площа всіх отворів у відгалуженнях розподільної системи повинна становити 0,25…0,5% робочої площі фільтра [23, п.10.12.11], приймається 0,35%.

Площа всіх отворів у відгалуженнях визначається за формулою:

$$F_o = 0{,}35 \cdot F_{яч} / 100; \qquad (Е.21)$$

$$F_o = 0{,}35 \cdot 35{,}64 / 100 = 0{,}12 \text{ м}^2.$$

Площа одного отвору становить:

$$f_o = \pi \cdot d_o^2 / 4; \qquad (Е.22)$$

$$f_o = 3{,}14 \cdot 0{,}012^2 / 4 = 0{,}000113 \text{ м}^2.$$

Кількість отворів у розподільній системі одного фільтра:

$$n_o = F_o / f_o; \qquad (Е.23)$$

$$n_o = 0{,}12 / 0{,}000113 = 1104 \text{ од.}$$

Довжина одного відгалуження:

$$l_{б.в.} = (В - Д_{кол}^{зовн}) / 2; \qquad (Е.24)$$

$$l_{б.в.} = (6{,}0 - 0{,}82) / 2 = 2{,}59 \text{ м.}$$

Кількість відгалужень на кожному фільтрі:

$$n_{б.в.} = 2 \cdot L / l_{б.в.}, \qquad (Е.25)$$

$$n_{б.о.} = 2 \cdot 6{,}0 / 0{,}3 = 40 \text{ од.}$$

ДОДАТОК Ж

Розрахунок втрат напору при промивці швидкого фільтра

Втрати напору при промивці фільтру становлять:

$$\sum h = h + h_{ф} + h_{гр} + h_{дов} + h_{м} + h_{вс.д} + h_{вс.м}, \quad (Ж.1)$$

де h – втрати в розподільній системі фільтра, м;

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

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

$h_{дов}$ – втрати в трубопроводі, який підводить промивну воду до розподільної системи фільтра, м;

$h_{м}$ – втрати на місцеві опори в фасонних частинах і арматурі, м;

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

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

Втрати напору в розподільній системі фільтра:

$$h = \xi \cdot \frac{v_{кол}^{2}}{2 \cdot g} + \frac{v_{від}^{2}}{2 \cdot g}, \quad (Ж.2)$$

де $v_{кол}$ – швидкість на початку колектора, м/с; прийнята $v_{кол}$ = 1,12 м/с [27];

$v_{від}$ – середня швидкість на вході у відгалуження, м/с; $v_{від}$ = 1,76 м/с [27];

ξ – коефіцієнт гідравлічного опору для колектора з відгалуженнями:

$$\xi = 2{,}2 / К_{п}^{2} + 1, \quad (Ж.3)$$

де $К_{п}$ – коефіцієнт перфорації при умові $0{,}15 \le К_{п} \le 2$ [23, п.10.10.10]:

$$К_{п} = F_{о} / S_{о}, \quad (Ж.4)$$

де $F_{о}$ – сумарна площа отворів, м^2; за формулою (Е.21) $F_{о}$ = 0,12 м^2;

$S_{о}$ – площа поперечного перерізу колектора, м^2:

$$S_{кол} = \pi \cdot Д_{кол}^2 / 4, \quad (Ж.5)$$

де $Д_{кол}$ – діаметр колектора, м; $Д_{кол}$ = 800 мм = 0,8 м [27].

$$S_{кол} = 3{,}14 \cdot 0{,}8^2 / 4 = 0{,}50 м^2;$$

$$К_п = 0{,}12 / 0{,}50 = 0{,}25;$$

$$\xi = 2{,}2 / 0{,}25^2 + 1 = 36{,}7;$$

$$h = 36{,}7 \cdot \frac{1{,}12^2}{2 \cdot 9{,}81} + \frac{1{,}76^2}{2 \cdot 9{,}81} = 2{,}50 \text{ м.}$$

Втрати напору в завантаженні відповідають товщині шару $h_ф$ = 1,3 м.

Втрати напору в підтримуючому гравійному шарі:

$$h_{гр} = 0{,}022 \cdot h_{гр.ш.} \cdot W, \quad (Ж.6)$$

де $h_{гр.ш}$ – товщина підтримуючого гравійного шару, м; $h_{гр.ш.}$ = 0,8 м [23].

$$h_{гр} = 0{,}022 \cdot 0{,}8 \cdot 16 = 0{,}28 \text{ м.}$$

Втрати напору в трубопроводі підведення промивної води:

$$h_{дов} = i_{тр} \cdot l_{тр}, \quad (Ж.7)$$

де $i_{тр}$ – питомі втрати в трубопроводі, прийнято для трубопровода, що підводить промивну воду до колектора розподільної системи фільтра при Д = 600 мм; 1000i = 7,35 [27]; $i_{тр}$ = 7,35/1000 = 0,00735;

$l_{тр}$ – довжина трубопроводу, м; за планом станції прийнята $l_{тр}$ = 200 м.

$$h_{дов} = 0{,}00735 \cdot 200 = 1{,}69 \text{ м.}$$

Втрати напору на місцеві опори:

$$h_м = 0{,}3 \cdot h_{дов};\qquad (Ж.8)$$

$$h_м = 0{,}3 \cdot 1{,}69 = 0{,}51 \text{ м.}$$

Втрати напору по довжині у всмоктуючій лінії промивного насосу:

$$h_{вс.д} = i_{вс} \cdot l_{вс},\qquad (Ж.9)$$

де $i_{вс}$ – питомі втрати у всмоктуючій лінії; при $Д_{вс}$ = 800 мм $v_{вс}$ = 1,12 м/с; 1000i = 1,81 [27]; $i_{вс}$ = 1,81/1000 = 0,00181;

$l_{вс}$ – довжина трубопроводу, м; за планом станції приймається $l_{вс}$ = 92 м.

$$h_{вс.д} = 0{,}00181 \cdot 92 = 0{,}19 \text{ м.}$$

Втрати напору на місцеві опори у всмоктуючій лінії:

$$h_{вс.м.} = \sum \xi_м \cdot v_{вс}^{\,2} / (2 \cdot g),\qquad (Ж.10)$$

де $\xi_м$ - коефіцієнт місцевих опорів: коліно 90° - ξ_1 = 0,5 – 1 од.; засувка – ξ_2 = 0,15 – 1 од.; вхід в трубу - ξ_3 = 0,5 – 1 од.; переходи - ξ_4 = 0,2 – 1 од., ξ_5 = 1,0 – 2 од.

$$\sum \xi_м = \xi_1 \cdot 1 + \xi_2 \cdot 1 + \xi_3 \cdot 1 + \xi_4 \cdot 1 + \xi_5 \cdot 2;$$

$$\sum \xi_м = 0{,}5 + 0{,}15 + 0{,}5 + 0{,}2 + 1 \cdot 2 = 3{,}35;$$

$$h_{вс.м.} = 3{,}35 \cdot 1{,}12^2 / (2 \cdot 9{,}81) = 0{,}21 \text{м.}$$

Сумарні втрати напору:

$$\sum h = 2{,}50 + 1{,}30 + 0{,}28 + 1{,}69 + 0{,}51 + 0{,}19 + 0{,}21 = 6{,}69 \text{м.}$$

ДОДАТОК К

Визначення об’єму регулюючих ємностей

Таблиця К.1 – Розрахунок регулюючого об’єму бака водонапірної башти

Години доби	Годинна витрата води, $м^3$/год	Подача води насосами, $м^3$/год	Надходження води в бак, $м^3$/год	Витрата води з бака, $м^3$/год	Залишок води в баці, $м^3$
0-1	1421,20	1644,93	223,73		223,73
1-2	1507,13	1644,93	137,80		361,53
2-3	1222,43	1644,93	422,50		784,04
3-4	1260,04	1644,93	384,89		1168,92
4-5	1758,08	1644,93		113,15	1055,77
5-6	3092,01	3230,81	138,80		1194,58
6-7	3380,57	3230,81		149,76	1044,82
7-8	3669,13	3230,81		438,32	606,49
8-9	3762,01	3230,81		531,20	75,29
9-10	3503,05	3230,81		272,24	-196,95
10-11	3207,64	3230,81	23,16		-173,79
11-12	3132,42	3230,81	98,39		-75,40
12-13	2846,94	3230,81	383,87		308,47
13-14	2723,40	3230,81	507,41		815,88
14-15	2792,45	3230,81	438,36		1254,24
15-16	2899,40	3230,81	331,41		1585,64
16-17	3491,10	3230,81		260,29	1325,35
17-18	3346,82	3230,81		116,01	1209,34
18-19	3449,63	3230,81		218,82	990,53
19-20	2410,43	3230,81	820,38		1810,91
20-21	2362,79	1644,93		717,86	1093,05
21-22	2348,22	1644,93		703,29	389,76
22-23	2134,88	1644,93		489,95	-100,19
23-24	1544,74	1644,93	100,19		0,00
Всього	63266,48	63266,48	4010,89	4010,89	

Таблиця К.2 – Розрахунок регулюючого об’єму резервуару чистої води

Години доби	Годинна витрата води, $м^3$/год	Подача води насосами, $м^3$/год	Надходження води в РЧВ, $м^3$/год	Витрата води з РЧВ, $м^3$/год	Залишок води в РЧВ, $м^3$
0-1	2636,10	1644,93	991,17		991,17
1-2	2636,10	1644,93	991,17		1982,35
2-3	2636,10	1644,93	991,17		2973,52
3-4	2636,10	1644,93	991,17		3964,70
4-5	2636,10	1644,93	991,17		**4955,87**
5-6	2636,10	3230,81		594,70	4361,17
6-7	2636,10	3230,81		594,70	3766,46
7-8	2636,10	3230,81		594,70	3171,76
8-9	2636,10	3230,81		594,70	2577,05
9-10	2636,10	3230,81		594,70	1982,35
10-11	2636,10	3230,81		594,70	1387,64
11-12	2636,10	3230,81		594,70	792,94
12-13	2636,10	3230,81		594,70	198,23
13-14	2636,10	3230,81		594,70	-396,47
14-15	2636,10	3230,81		594,70	-991,17
15-16	2636,10	3230,81		594,70	-1585,88
16-17	2636,10	3230,81		594,70	-2180,58
17-18	2636,10	3230,81		594,70	-2775,29
18-19	2636,10	3230,81		594,70	-3369,99
19-20	2636,10	3230,81		594,70	**-3964,70**
20-21	2636,10	1644,93	991,17		-2973,52
21-22	2636,10	1644,93	991,17		-1982,35
22-23	2636,10	1644,93	991,17		-991,17
23-24	2636,10	1644,93	991,17		0,00
Всього	63266,48	63266,48	8920,57	8920,57	

ДОДАТОК Л

Мережі станції водопідготовки

Таблиця Л.1 – Гідравлічний розрахунок трубопроводів очисної станції

Призначення трубопроводу	Витрата, л/с	Розрахункова швидкість, м/с	Діаметр, мм	Рекомендована швидкість, м/с
Від насосної станції I підйому до змішувачів (кожний з двох водоводів)	380,8	1,28	600	1,0…3,0
Підведення води до одного змішувача	380,8	1,28	600	1,2…1,5
Відведення води від одного змішувача	380,8	0,75	800	0,6…1,0
Підведення води до камер пластівцеутворення	761,5	0,96	1000	0,8…1,2
Підведення до однієї камери пластівцеутворення	152,3	0,51	600	0,5…0,6
Колектор розподільної системи камери пластівцеутворення	76,2	0,57	400	0,5…0,6
Розподільна труба камери пластівцеутворення	50,8	0,49	350	0,5…0,6
Колектор системи видалення освітленої води з одного горизонтального відстійника	152,3	0,73	500	0,6…0,8
Розподільна труба системи видалення освітленої води з одного відстійника	50,8	0,67	300	0,6…0,8
Видалення осаду з одного відстійника	39,0	1,14	200	≥1,0
Від відстійників до швидких фільтрів	761,5	0,96	1000	0,8…1,2
Підведення води до одного швидкого фільтра	104,6	1,38	300	1,0…1,5
Відведення води від одного швидкого фільтра	104,6	1,01	350	0,8…1,2
Від швидких фільтрів до РЧВ	761,5	0,96	1000	1,0…1,5
Подача води для промивки фільтра	570,3	1,91	600	1,5…2,0
Колектор розподільної системи швидкого фільтра	570,3	1,12	800	0,8…1,2
Відгалуження розподільної системи швидкого фільтра	12,4	1,76	80	1,6…2,0
Відведення промивної води	570,3	1,12	800	0,8…1,2

ДОДАТОК М

Аналіз режиму роботи насосів і уточнення їх робочих характеристик

Технічні характеристики вибраного насосу Д630-90 відповідають каталогу та надані на рис.М.1.

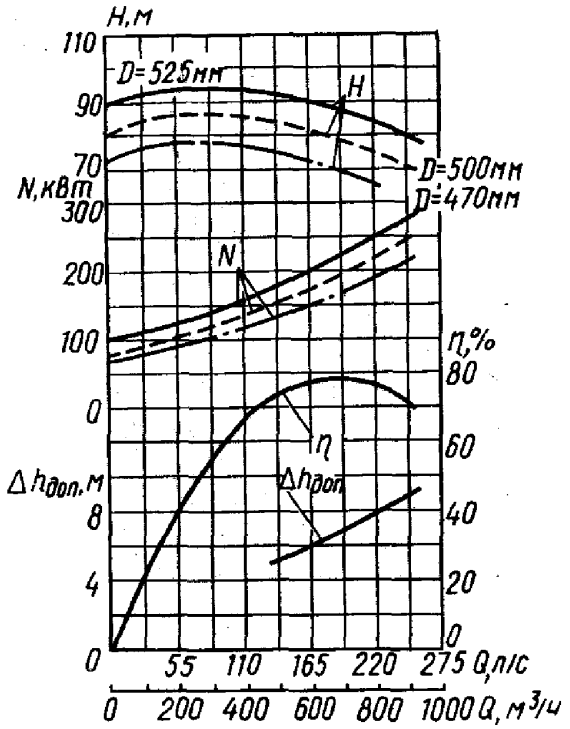


Рисунок М.1 – Характеристика насосу Д630-90

Характеристики трубопроводів розраховуються за формулою:

$$H_i = (S_к + 1{,}1 \cdot \delta \cdot S_о \cdot \lambda) \cdot Q^2{}_i + H_г, \qquad (М.1)$$

де H_i – повний потрібний напір при і-тій витраті, м;

$S_о$ – питомий опір водоводу;

λ– довжина водоводу, м;

Q_i – витрата по водоводу, $м^3/с$;

$H_г$ – геометрична висота підйому, за формулою (3.80) $H_г$ = 49,44 м.

δ – коефіцієнт залежності втрат напору в трубопроводах від витрати;

$S_к$ – усереднений опір комунікацій:

$$S_к = h_к / Q^2, \qquad (М.2)$$

$h_к$ – сумарні втрати в комунікаціях насосної станції, м; $h_к$ = 2,0 [30].

$$S_к = 2{,}0 / 0{,}449^2 = 9{,}93.$$

Розрахунки характеристики трубопроводів для режиму максимального водоспоживання зведені в табл.М.1.

Таблиця М.1 – Розрахунок характеристики трубопроводів

Вид показника	Значення показників для Q_i					
	$Q_i = 0$	$0{,}25Q_в$	$0{,}5Q_в$	$0{,}75Q_в$	$Q_в$	$1{,}25Q_в$
Q, м^3/с	0,000	0,112	0,224	0,337	0,449	0,561
v, м/с	0,000	0,397	0,794	1,191	1,510	1,985
δ	0,000	1,115	1,022	0,987	0,968	0,951
$1{,}1S_оL$	61,35	61,35	61,35	61,35	61,35	61,35
$1{,}1δS_оL$	0,00	68,37	62,69	60,53	59,37	58,37
$S_к$	9,93	9,93	9,93	9,93	9,93	9,93
$S_к + 1{,}1δS_оL$	9,93	78,31	72,63	70,46	69,30	68,30
Q^2	0,000	0,013	0,050	0,113	0,201	0,315
$(S_к + 1{,}1δS_оL)Q^2$	0,00	0,99	3,66	7,98	13,95	21,49
$H_г$	49,44	49,44	49,44	49,44	49,44	49,44
H_i	49,44	50,42	53,10	57,42	63,39	70,93
Q, м^3/год	0	404	808	1212	1615	2019

За даними табл.М.1 побудована графічна залежність $H_i = f(Q_i)$ на рис.М.2.

Точка перетину характеристик насосів і мережі є робочою точкою, за якою визначається дійсна подача насосної станції. За графіком (рис.М.2) фактична подача насосів (в точці перетину характеристик) становить 3232 м^3/год. Теоретично необхідна подача насосів другого ступеню 3230,81 м^3/год, тобто потрібний діаметр робочого колеса відповідає характеристиці Д = 470 мм.

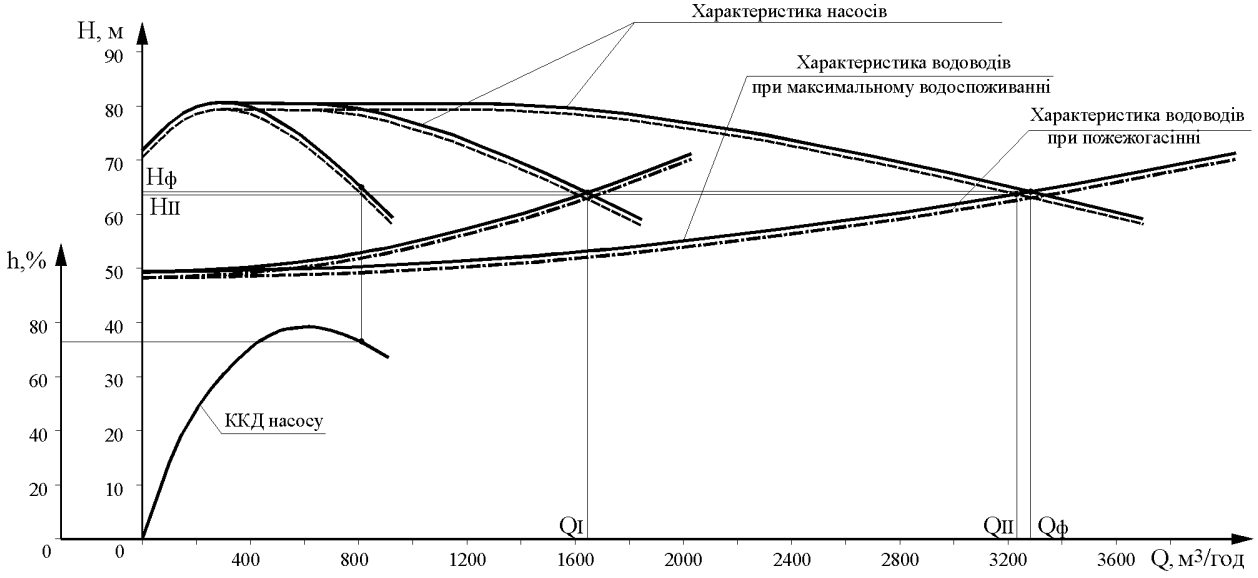


Рисунок М.2 – Сумарні характеристики насосів і водоводів

Таким чином, вибрані насоси Д630-90 забезпечують задані параметри роботи насосної станції другого підйому при максимальному водоспоживанні та при режимі пожежогасіння.

ДОДАТОК Н

Розрахунок капітальних та поточних витрат

Таблиця Н.1 - Капітальні вкладення в систему водопідготовки

№ з/п	Показник	Сума, тис.грн.	
		Споруди	Облад.
1	Водозабірні споруди з насосною І підйому	45361,80	31330,80
2	Очисні споруди водопровідної очисної станції	188652,00	19186,20
3	Блок реагентного господарства	27187,65	9741,60
4	Споруди для промивної води	32887,20	10471,80
5	Хлораторна продуктивністю 15 кг/год	7394,40	1510,65
6	Насосна станція другого підйому	17676,00	16734,60
7	Водонапірна башта	36816,00	9282,00
8	Резервуари чистої води	39129,60	16128,00
9	Споруди по зневодненню осаду	8374,20	5229,60
10	Комунікації	58446,00	17782,80
11	Монтаж нового обладнання		41219,42
12	Монтаж комунікацій		8766,90
13	Накладні витрати спеціалізованим організаціям		27479,61
	Разом	461924,85	214863,98
	Всього капітальних затрат	676788,83	

Витрата реагентів відповідно до питомої норми витрати, т/рік:

$$R = r \cdot Q, \qquad (Н.1)$$

де r – витрата реагенту на очистку 1 м^3 води, кг.

Вартість матеріалів, які витрачаються за рік:

$$С_м = Q \cdot m_{пит} \cdot Ц, \qquad (Н.2)$$

де $m_{пит}$ – питома норма витрати матеріалу, т/м^3;

Ц – вартість 1 т матеріалу, грн./т.

Об’єм піску, який завантажується в швидкі фільтри:

$$W_{п} = N_{ф} \cdot F_{яч} \cdot h_{п}, \quad (Н.3)$$

де $h_{п}$ – висота шару піску, м; $h_{п}$ = 0,8 м [23, табл.21].

$$W_{п} = 8 \cdot 36{,}0 \cdot 0{,}8 = 230{,}4 \text{ м}^3.$$

Потреба в товарній сировині перед пуском станції:

$$W'_{п} = W_{п} \cdot 100 / \gamma_{п}, \quad (Н.4)$$

де $\gamma_{п}$ – вміст у кар’єрній сировині піску, який придатний для завантаження фільтрів, %; приймається $\gamma_{п}$ = 55%.

$$W'_{п} = 230{,}4 \cdot 100 / 55 = 418{,}9 \text{ м}^3.$$

Річна потреба в кар’єрному піску для його довантаження в швидкі фільтри становить 10% від $W'_{п}$ та дорівнює 41,89 м^3.

Об’єм антрациту для завантаження в швидкі фільтри перед пуском станції за формулою (Н.3) при висоті шару антрациту $h_{а}$ = 0,5 м:

$$W_{а} = 8 \cdot 36{,}0 \cdot 0{,}5 = 144{,}0 \text{ м}^3.$$

Потреба в сировині антрациту за формулою (Н.4) при $\gamma_{а}$ = 70%:

$$W'_{а} = 144{,}0 \cdot 100 / 70 = 205{,}7 \text{ м}^3.$$

Річна потреба в товарній сировині антрациту для його довантаження в швидкі становить 10% від $W'_{а}$ та дорівнює 20,57 м^3.

Кількість коагулянту, вапна та хлору розрахована в розділі 3 даної пояснювальної записки.

Таблиця Н.2 – Витрати на матеріали та реагенти

Матеріали	Річний обсяг води, $м^3$/рік	Питома норма, $кг/м^3$	Витрата матеріалів за рік, т/рік	Вартість 1 т матеріалу, грн./т	Річні витрати на матеріали, грн./рік
Коагулянт	24015956	0,1194	2867,58	36000,0	103232767
Вапно	24015956	0,0352	844,85	44650,0	37722556
Хлор	24015956	0,0040	96,06	48000,0	4611064
Пісок	24015956	0,0017	41,89	5040,0	211130
Антрацит	24015956	0,0009	20,57	6770,0	139269
Разом $С_м$					145916785

Для насосів І підйому річні витрати електроенергії:

$$E_{р1} = Q_{сер.доб.} \cdot n \cdot \rho, \qquad (Н.5)$$

де $Q_{сер.доб.}$ – добова витрата води станції, $м^3$/доб; $Q_{сер.доб.}$ = 65797,14 $м^3$/доб;

n – кількість днів роботи насосів за рік, діб; n = 365 діб;

ρ – питома витрата електроенергії, кВт·год/$м^3$, яка визначається:

$$\rho = 0{,}00273 \cdot H / \eta_1, \qquad (Н.6)$$

де 0,00273 – коефіцієнт питомої витрати електроенергії на підйом 1 $м^3$ води на висоту 1 м;

Н – висота підйому води, м; за формулою (2.28) Н = 19,05 м;

η_1 – коефіцієнт корисної дії насосів; для насосів Д3200-20 η_1 = 0,87 [30].

$$\rho = 0{,}00273 \cdot 19{,}05 / 0{,}87 = 0{,}060 \text{ кВт·год/м}^3.$$

Для насосів ІІ підйому при ступеневій подачі води однотипними насосами протягом доби річні витрати електроенергії визначаються за формулою:

$$E_{р2} = Q_{доб.} \cdot n \cdot \rho_{сер}, \qquad (Н.7)$$

де $Q_{доб.}$ – добове водоспоживання міста, м^3/доб; $Q_{доб.}$ = 63266,48 м^3/доб;

$\rho_{сер}$ – середня питома витрата електроенергії, кВт·год/м^3:

$$\rho_{сер} = 0{,}01 \cdot \sum(P_i \cdot \rho_i), \qquad (Н.8)$$

де P_i – погодинна подача насосів I і II ступенів; P_I = 2,60%, P_{II} = 5,11%;

ρ_i – питома витрата електроенергії в дану годину, кВт·год/м^3:

$$\rho_i = \sum N_i / \sum Q_i, \qquad (Н.9)$$

де $\sum N_i$ – сумарна потужність одночасно працюючих двигунів, кВт;

$\sum Q_i$ – сумарна подача води насосами, м^3/год; для I $\sum Q_I$ = 1644,93 м^3/год; для II ступеню $\sum Q_{II}$ = 3230,81 м^3/год.

$$\rho_I = 2 \cdot 226{,}36 / 1644{,}93 = 0{,}275 \text{ кВт·год/м}^3;$$

$$\rho_{II} = 4 \cdot 226{,}36 / 3230{,}81 = 0{,}280 \text{ кВт·год/м}^3;$$

$$\rho_{сер} = 0{,}01 \cdot (2{,}60 \cdot 0{,}275 + 5{,}11 \cdot 0{,}280) = 0{,}021 \text{кВт·год/м}^3.$$

Річні витрати електроенергії на промивку швидких фільтрів:

$$E_{рз} = 1{,}2 \cdot q_{пром.} \cdot H_{пром} \cdot t_{пр} \cdot n_{пром} \cdot N_ф / (102 \cdot \eta), \qquad (Н.10)$$

де 1,2 – коефіцієнт запасу потужності;

$q_{пром.}$ – витрата промивної води, м^3/год; $q_{пром.}$ = 570 л/с = 2053 м^3/год;

$H_{пром}$ – напір промивних насосів, м; $H_{пром.}$ = 14,73 м;

$t_{пр}$ – тривалість промивки, год; прийнята $t_{пр}$ = 6 хв. = 0,10 год;

$n_{пр}$ – кількість промивок за рік, од.; прийнята $n_{пр}$ = 2 од./доб = 730 од./рік;

η – ККД промивного насосу; для насосу Д2500-17 η = 0,84 [30];

$N_ф$ – кількість швидких фільтрів, од.; $N_ф$ = 8 од.

$$E_{рз} = 1{,}2 \cdot 2053 \cdot 14{,}73 \cdot 0{,}10 \cdot 730 \cdot 8/(102 \cdot 0{,}84) = 247329 \text{кВт·год.}$$

До загальної величини додається 30% електроенергії, яка додатково витрачається на мілкі механізми та інші потреби.

Витрати на електроенергію за рік визначаються за формулою:

$$C_е = E_р \cdot Ц_е, \qquad (Н.11)$$

де $E_р$ – річна витрата електроенергії, кВт·год;

$Ц_е$ – вартість 1 кВт·год, грн.; $Ц_е$ = 6,936 грн/кВт·год.

Результати розрахунку річних витрат на електроенергію – в табл.Н3.

Таблиця Н.3 – Розрахунок витрат на електроенергію

Призначення насосів:	Число робочих насосів	Режим роботи насосів	Число днів роботи	Питома витрата, кВт··год/м^3	Витрата води, м^3/доб	Річна витрата енергії, кВт··год за рік	Річна вартість електроенергії, грн/рік
Насоси I підйому	1	рівном.	365	0,060	2741,55	1435825	9958885
Насоси II підйому	2	ступен.	365	0,275	1644,93	495721	3438322
Насоси II підйому	4	ступен.	365	0,280	3230,81		
Промивні насоси	1	період.	365			247329	1715474
Разом						2178875	15112680
Додаткові витрати						653663	4533804
Всього $C_е$						2832538	19646484

Витрати на зарплату виробничих працівників за розрахунками в Дод.П (табл.П.1 та П.2) дорівнюють: $C_{осн}$ = 9929121 грн./рік; $C_{дод}$ = 6851084 грн./рік.

Витрати на відрахування на соціальне страхування згідно Додатка П:

$$ФОП = 16780205 + 2903400 = 19683605 \text{грн./рік;}$$

$$C_{сс} = 0{,}38 \cdot 19683605 = 7479770 \text{ грн./рік.}$$

Амортизаційні відрахування $С_а$ приймаються у % від вартості основних виробничих фондів, яка визначається шляхом сумування вартостей окремих споруд і блоків за табл.Н.1. Величина амортизаційних відрахувань відповідає встановленим нормам амортизації для будов і споруд в розмірі 5% їх вартості, для комунікацій, мереж та інших видів обладнання – в розмірі 15%.

Таблиця Н.4 – Розрахунок амортизаційних відрахувань

№ з/п	Основні фонди	Первинна (балансова) вартість основних фондів, грн.	Амортизаційні відрахування	
			Норма, %	Сума, грн.
1	Будівлі та споруди	403478850	5	20173943
2	Обладнання	137398050	15	20609708
3	Комунікації	58446000	15	8766900
	Разом $С_а$	599322900		49550550

Витрати на утримання та експлуатацію виробничого обладнання приймаються в розмірі 25% від амортизаційних відрахувань і становлять $С_{екс\ об} = 49550550 \cdot 0,25 = 12387638$ грн./рік.

Витрати на ремонт прийняті в розмірі 8% від суми амортизаційних відрахувань і становлять $С_{рем} = 49550550 \cdot 0,08 = 3964044$ грн./рік.

Основна і додаткова зарплати робітників допоміжного виробництва розраховані за табл.П.1 і формулами (П.7…П.10): $С_{доп} = 4113703 + 2838451 =$ $= 6952154$ грн./рік. Відрахування на соціальне страхування допоміжних робочих $С_{сс.доп} = 0,38 \cdot 6952154 = 2641819$ грн./рік.

$$С_{утр.} = 49550550 + 12387638 + 3964044 + 6952154 + 2641819 = 75496204 \text{грн./рік.}$$

З урахуванням витрати на охорону праці одного працівника $С_{о.п.} = 300$ грн.; кількості працівників основного і допоміжного виробництва $N_{пр.} = 91$ чол., а також зарплати керівного персоналу за табл.П.3 $З_{кер,спец} = 2903400$ грн./рік загальновиробничі та інші виробничі витрати становлять відповідно:

$$С_{заг} = 300 \cdot 91 + 0,3 \cdot (2903400 + 75496204) = 23547181 \text{грн./рік;}$$

$$C_{ін} = 0{,}01 \cdot (9929121 + 75496204) = 854253 \text{ грн./рік.}$$

Кількість очищеної води, що повертається у виробництво, визначена за формулою (3.55) $Q_{зв}$ = 3284,79 м^3/доб = 1198950 м^3/рік; ціна зворотної продукції $Ц_{зв}$ = 11,49 грн./м^3.

$$C_{зв} = 1198950 \cdot 11{,}49 = 13775930 \text{ грн./рік.}$$

Для визначення собівартості очистки 1 м^3 води всі виконані розрахунки за статтями калькуляції зведені в табл.Н.5.

Таблиця Н.5 – Калькуляція собівартості очистки природної води

№ з/п	Статті витрат	Сума витрат, грн.	
		на річний обсяг води	на одиницю (1м^3)
1	Матеріали	145916785	6,076
2	Електроенергія	19646484	0,818
3	Основна зарплата робочих	9929121	0,413
4	Додаткова зарплата робочих	6851084	0,285
5	Відрахування на соцстрахування	7479770	0,311
6	Утримання та експлуатація обладнання	75496204	3,144
7	Загальновиробничі витрати	23547181	0,980
8	Інші виробничі витрати	854253	0,036
9	Всього витрат на експлуатацію без урахування надходжень від зворотніх витрат	289720883	12,064
10	Зворотні витрати	13775930	0,574
11	Річні експлуатаційні витрати	275944953	11,490

ДОДАТОК П

Розрахунок витрат на заробітну плату виробничих працівників

Чисельність працівників розрахована за методикою [32] залежно від нормативів чисельності, продуктивності очисних споруд та протяжності трубопроводів. Кількісний склад робітників встановлений переліком робіт основного та допоміжного виробництва, розряд працівників відповідає розряду робіт, які виконуються даною категорією працівників.

Розрахунок штату робітників включає такі показники:

- явочна чисельність:

$$Ч_{яв} = А \cdot Н_{ч} \cdot С_{р}, \quad (П.1)$$

- штатна чисельність:

$$Ч_{шт} = А \cdot Н_{ч} \cdot (С_{р} + С_{підм}), \quad (П.2)$$

- облікова чисельність:

$$Ч_{сп} = Ч_{шт} \cdot К_{об}, \quad (П.3)$$

де А – кількість однотипного устаткування (споруд), од.;

$Н_{ч}$ – норматив чисельності для обслуговування обладнання, чол/доб;

$С_{р}$ – кількість робочих бригад, од.; для безперервного режиму $С^{б}_{р} = 3$ од.;

для перервного режиму (в одну зміну з 08.00 до 16.00) – $С^{п}_{р} = 1$ од.;

$С_{підм.}$ – кількість підмінних бригад, од.; для даного режиму роботи очисної станції $С^{б}_{підм.} = 1$ од.; $С^{п}_{підм.} = 0$ од.;

$К_{об}$ – обліковий коефіцієнт залежно від режиму роботи станції.

Номінальний час роботи визначається за формулою:

$$\tau_{н} = \tau_{г} - \tau_{в}, \quad (П.4)$$

де $\tau_г$ – календарний час за кількістю днів у запланованому році; $\tau_г$ = 365 дн.; $\tau_в$ – вихідні та святкові дні за графіком; для безперервного режиму $\tau^б_в$ = 365/4 = 91,25 доби; для перервного – $\tau^п_в$ = 52 + 10 = 62 доби.

$$\tau^б_н = 365 - 91{,}25 = 273{,}75 \text{ доб;}$$

$$\tau^п_н = 365 - 62 = 303 \text{ доб.}$$

Фактичний час враховує тарифну відпустку, втрати часу в зв'язку з хворобою та інші невиходи і становить відповідно для різних режимів:

$$\tau^б_ф = 273{,}75 - 24 - 3 - 2 - 1 = 243{,}75 \text{ дн.;} \qquad (П.5)$$

$$\tau^п_ф = 303 - 20 - 3 - 2 - 1 = 277{,}0 \text{ дн.}$$

Обліковий коефіцієнт визначається за формулою:

$$К_{об} = \tau_н / \tau_ф . \qquad (П.6)$$

$$К^б_{об} = 273{,}75 / 243{,}75 = 1{,}123;$$

$$К^п_{об} = 303 / 277 = 1{,}094.$$

Фонд заробітної плати розрахований за тарифною системою, а саме почасово-преміальною системою оплати праці, прийнятою в даній галузі.

Заробітна плата за рік за тарифом (основна заробітна плата), грн.:

$$З_т = Т_{сер} \cdot П \cdot В \cdot Ш , \qquad (П.7)$$

де $Т_{сер}$ – середньозважена годинна тарифна ставка, грн./год:

$$Т_{сер} = \frac{Т_1 \cdot Ш_1 + ... + Т_n \cdot Ш_n}{Ш_1 + ... + Ш_n}, \quad (П.8)$$

де $Т_1,\ldots,Т_n$ - тарифні ставки робочих відповідних розрядів, грн./год;

$Ш_1,\ldots,Ш_n$ – кількість робітників відповідного розряду, чол.;

П – тривалість зміни, год; приймається П = 8 год;

В – кількість фактичних виходів одного робітника в рік, змін;

Ш – штат, чол.

$$Т^{б}_{сер} = (61{,}818 \cdot 19 + 54{,}545 \cdot 49 + 49{,}815 \cdot 14)/(19 + 49 + 14) = 55{,}424 \text{ грн./год};$$

$$Т^{п}_{сер} = (54{,}545 \cdot 7 + 49{,}818 \cdot 2)/(7 + 2) = 53{,}495 \text{ грн./год.}$$

Заробітна плата за рік по тарифу для різних режимів праці відповідно:

$$З^{б}_{т} = 55{,}424 \cdot 8 \cdot 243{,}75 \cdot 82 = 8862218 \text{ грн/рік};$$

$$З^{п}_{т} = 53{,}495 \cdot 8 \cdot 277{,}0 \cdot 9 = 1066903 \text{ грн/рік.}$$

Основна зарплата за рік $З_{осн} = З^{б}_{т} + З^{п}_{т} = 8862218 + 1066903 = 9929121$ грн/рік.

Додаткова заробітна плата розраховується згідно [32] за формулами:

$$З_{дод} = З_{прем} + З_{свят} + З_{ніч} + З_{веч} + З_{пер} + З_{від};$$

$$З_{прем} = Р_{прем} \cdot З_{т}/100,$$

$$З_{веч} = 0{,}2 \cdot Т_{сер} \cdot В_{веч} \cdot Ш \cdot П,$$

$$З_{ніч} = 0{,}4 \cdot Т_{сер} \cdot В_{ніч} \cdot Ш \cdot П, \quad (П.9)$$

$$З_{свят} = Т_{сер} \cdot Д \cdot Е \cdot Ш \cdot П,$$

$$З_{пер} = 0{,}5 \cdot Т_{сер} \cdot 0{,}75 \cdot Л \cdot Ш,$$

$$З_{від} = (З_{осн} + З_{дод1}) \cdot О / В.$$

Розрахунок фонду заробітної плати робітників наданий в табл.П.1.

Таблиця П.1 – Розрахунок основної заробітної плати працівників

№ з/п	Найменування професій	Кіл-ть робочих, чол.	Тарифний розряд	Годинна тарифна ставка, грн./год	Номінальний час, дні	Тривалість зміни, год	Річний фонд зарплати, грн./рік
Основне виробництво							
1	Машиніст насосних установок	6	3	54,545	243,75	8	638182
2	Оператор на водозабірних спорудах	7	4	61,818	243,75	8	843818
3	Оператор на відстійниках і фільтрах	7	3	54,545	243,75	8	744545
4	Оператор споруд обробки промивної води	6	3	54,545	243,75	8	638182
5	Оператор споруд обробки осаду	7	2	49,818	243,75	8	680018
6	Коагуляторщик	7	2	49,818	243,75	8	680018
7	Оператор хлораторної установки	7	3	54,545	243,75	8	744545
8	Обхідник водопровідних мереж	7	3	54,545	277,00	8	846109
	Разом						5815418
Допоміжне виробництво							
9	Транспортний робітник	9	3	54,545	243,75	8	957273
10	Лаборант хімічн. аналізу	4	3	54,545	243,75	8	425455
11	Лаборант бактер. аналізу	4	3	54,545	243,75	8	425455
12	Слюсар-ремонтник	9	4	61,818	243,75	8	1084909
13	Електротехнік	6	3	54,545	243,75	8	638182
14	Слюсар КВП і автоматики	3	4	61,818	243,75	8	361636
15	Газоелектрозварник	2	2	49,818	277,00	8	220794
	Разом						4113703
	Всього	91					9929121

Результати розрахунку загальної додаткової зарплати наведені в табл.П.2

Таблиця П.2 – Розрахунок загальної додаткової заробітної плати працівників

№	Найменування	Познач.	Одиниця виміру	Значення
1	Премія	$З_{прем}$	грн./рік.	3475193
2	Доплата за роботу в вечірній час	$З_{веч}$	грн./рік.	497648
3	Доплата за роботу в нічні години	$З_{ніч}$	грн./рік.	1327060
4	Доплата за роботу в святкові дні	$З_{свят}$	грн./рік.	272684
5	Доплата за переробку по графіку	$З_{пер}$	грн./рік.	122367
6	Річна оплата відпусток	$З_{від}$	грн./рік.	1156133
7	Загальна додаткова заробітна плата	$З_{дод}$	грн./рік.	6851084

Річний фонд заробітної плати визначається за формулою:

$$З_{заг} = З_{осн} + З_{дод}; \quad (П.10)$$

$$З_{заг} = 9929121 + 6851084 = 16780205 \text{ грн./рік.}$$

Середня заробітна плата за місяць:

$$З_{сер} = З_{заг} / (Ш \cdot 12); \quad (П.11)$$

$$З_{сер} = 16780205 / (91 \cdot 12) = 15366 \text{грн./міс.}$$

Фонд заробітної плати керівників та спеціалістів для кожної посади:

$$З_{кер,спец.} = Ч \cdot О_{м} \cdot 12, \quad (П.12)$$

де Ч – чисельність робітників на даній посаді, чол.;

$О_{м}$ – посадовий оклад, грн./міс.

Фонд заробітної плати керівників та спеціалістів наданий в табл.П.3.

Таблиця П.3 - Фонд зарплати керівного складу та спеціалістів станції

№ з/п	Найменування посади	Чисел., чол.	Посадовий оклад, грн./міс.	Річний фонд зарплати, грн./рік
1	Начальник системи водопостачання	1	35000	420000
2	Начальник очисної станції	1	30700	368400
3	Майстер насосної станції другого підйому	1	26750	321000
4	Майстер очисних споруд	1	28700	344400
5	Майстер реагентного та хлорного господарства	1	27300	327600
6	Майстер водозабірних споруд	1	28500	342000
7	Майстер ділянки водопровідних мереж	1	26000	312000
8	Завідуючий лабораторією	1	18000	216000
9	Черговий технік по станції	1	21000	252000
	Загальний фонд зарплати адміністрації	9		2903400