**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**
**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

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

**КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

бакалавра

на тему: **«РОЗРОБКА ВОДООЧИСНИХ ОБ'ЄКТІВ МІСЬКОЇ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ»**

Виконала: студентка 4 курсу, група 6.1922-мім-з
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
освітньо-професійної програми «Міські інженерні мережі»
САП'ЯН СВІТЛАНА МИКОЛАЇВНА

Керівник: доцент кафедри міського будівництва і архітектури, канд. техн. наук _____ С.В. Ільїн

Рецензент: завідувач кафедри міського будівництва і архітектури
кандидат технічних наук_____ А. В. Банах

Запоріжжя
2026

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

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**
Завідувач кафедри

«01» 05 2026 року

# ЗАВДАННЯ
# НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Сап'ян Світлані Миколаївні

1. Тема роботи Розробка водоочисних об'єктів міської критичної інфраструктури
затверджено наказом ЗНУ від «23» грудня 2025 року № 1832-с
2. Строк подання роботи: 25.05.2026
3. Вихідні дані до роботи: генплан міста *(додаток 1)*, продуктивність водоочисних об'єктів 77000 м$^3$/добу, якісні показники водного джерела *(додаток 2)*.
*4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належить розробити): 1. Теоретичні та нормативні основи проєктування водоочисних об'єктів міської критичної інфраструктури. 1.1. Значення водоочисних споруд у забезпеченні сталого функціонування міської інфраструктури. 1.2. Вимоги нормативних документів до якості питної води та роботи водоочисних станцій. 1.3. Сучасні технологічні схеми очищення природної води для централізованих систем водопостачання. 1.4. Актуальні проблеми та напрями модернізації водоочисних об'єктів в умовах підвищених техногенних і воєнних ризиків. 2. Розробка водоочисних об'єктів та розрахунок їх елементів. 2.1 Вибір методу обробки води та визначення розрахункової витрати. 2.2 Реагентне господарство. 2.3 Розрахунок барабанних сіток та вхідної камери . 2.4 Розрахунок змішувачів. 2.5 Розрахунок контактних освітлювачів. 2.6 Розрахунок резервуарів чистої води. 2.7 Піскове господарство. 2.8 Знезараження води. 2.9 Розрахунок висотної схеми розташування очисних споруд. 3 Проєктні розрахунки споруд для очищення промивних вод. 3.1 Визначення об'єму промивних вод. 3.2 Визначення параметрів приймальних резервуарів для промивних вод. 3.3 Гідравлічний розрахунок пісковловлювачів відстійників. 3.4 Розрахунок і підбір згущувальних споруд. 3.5 Обґрунтування параметрів фільтр-пресів. 4. Автоматизація технологічних процесів та контрольно-вимірювальн прилади. 4.1 Аналіз технологічного процесу як об'єкта керування. 4.2 Розробленн*

*функціональної схеми системи автоматизації. 5. Екологічне обґрунтування проєктних р*
*Висновки.*

*5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)*
*1.Ситуаційний план міста. 2.Висотна схема очисних будівель. 3.Г*
*майданчика очисних будівель. 4,5. План та розріз очисної будівлі. 6.*
*автоматизації процесу коагулювання.*

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---|---|---|---|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| 1 | Ільїн С.В., к.т.н., доцент | | |
| 2 | Ільїн С.В., к.т.н., доцент | | |
| 3 | Ільїн С.В., к.т.н., доцент | | |
| 4 | Ільїн С.В., к.т.н., доцент | | |

7. Дата видачі завдання 01.02.2026 року.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Виконання | Пр |
|---|---|---|---|
| 1 | Розділ 1. Теоретичні та нормативні основи проєктування водоочисних об'єктів міської критичної інфраструктури. | 25.03.26 | |
| 2 | Розділ 2. Розробка водоочисних об'єктів та розрахунок їх елементів. | 14.04.26 | |
| 3 | Листи 1-2. | 25.04.26 | |
| 4 | Розділ 3. Проєктні розрахунки споруд для очищення їх вод. | 05.05.26 | |
| 5 | Листи 3-4. | 10.05.26 | |
| | Розділ 4. Автоматизація технологічних процесів та контрольно-вимірювальні прилади.Лист №5. | 15.05.26 | |
| 6 | Лист 6. 5. Екологічне обґрунтування проєктних рішень | 20.05.26 | |
| 7 | Презентація підготовка доповіді. | 21.05.26 | |
| 8 | Попередній захист | 22.05.26 | |

Студент С.М. Сап'ян

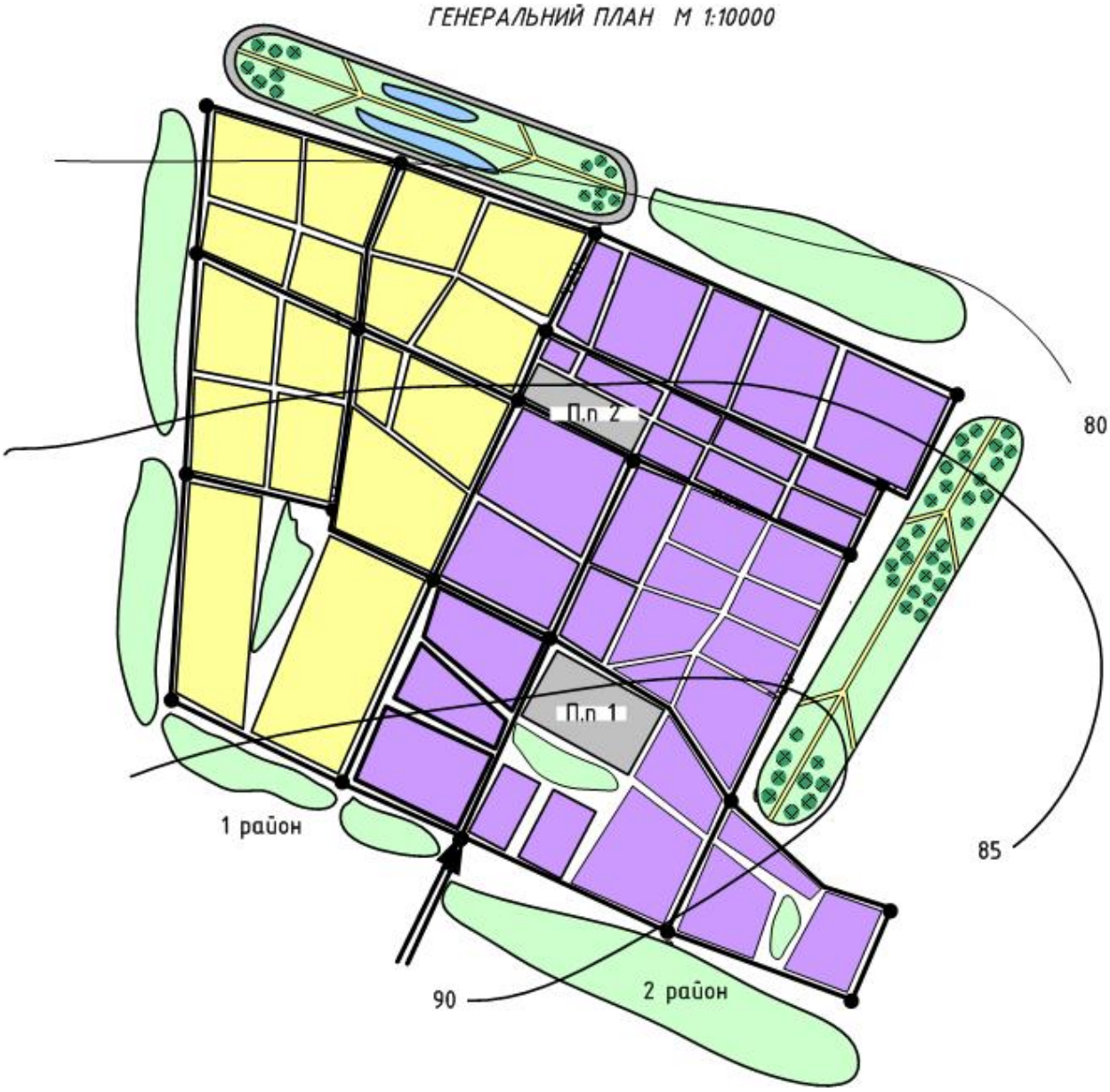
Керівник роботи С.В. Ільїн

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер І.В. Гребенюк

*Додаток 1*

*ГЕНЕРАЛЬНИЙ ПЛАН М 1:10000*



Додаток 2

Якісні показники поверхневого водного джерела

| № з/п | Показник | позначення | Од. виміру | Кількісний показник |
|---|---|---|---|---|
| 1. | Каламутність | М | мг/л | 90 |
| 2. | Колір | Ц | град. | 70 |
| 3. | pH води | | | 8,2 |
| 4. | Температура | t | °С | 20 |
| 5. | Твердість | Ж | мг-екв./л | 4,0 |
| 6. | Лужність | $Щ_o$ | мг-екв./л | 3,4 |
| 7. | Вміст: | | | |
| | - кальцію | $[Ca^{2+}]$ | мг-екв./л | 3,1 |
| | - магнію | $[Mg^{2+}]$ | мг/л | 0,9 |
| | -натрію і калію | $[Na^{+}]+[K^{+}]$ | мг/л | 6,5 |
| | -хлоридів | $[Cl^{-}]$ | мг/л | 19,0 |
| | -сульфатів | $[SO_4^{2-}]$ | мг/л | 34,0 |
| 8. | Сухий залишок | Р | мг/л | 320 |

Продуктивність водоочисних об’єктів 77000 $м^3$/добу/

# ЗМІСТ

ВСТУП……8
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА НОРМАТИВНІ ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ ВОДООЧИСНИХ ОБ'ЄКТІВ МІСЬКОЇ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ….10
1.1. Значення водоочисних споруд у забезпеченні сталого функціонування міської інфраструктури…….10
1.2. Вимоги нормативних документів до якості питної води та роботи водоочисних станцій……14
1.3. Сучасні технологічні схеми очищення природної води для централізованих систем водопостачання……18
1.4. Актуальні проблеми та напрями модернізації водоочисних об'єктів в умовах підвищених техногенних і воєнних ризиків……23
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ВОДООЧИСНИХ ОБ'ЄКТІВ ТА РОЗРАХУНОК ЇХ ЕЛЕМЕНТІВ…….27
2.1 Вибір методу обробки води та визначення розрахункової витрати…….....27
2.2 Реагентне господарство…….30
2.3 Розрахунок барабанних сіток та вхідної камери ……36
2.4 Розрахунок змішувачів ……38
2.5 Розрахунок контактних освітлювачів……..43
2.6 Розрахунок резервуарів чистої води……51
2.7 Піскове господарство…….....53
2.8 Знезараження води…….....55
2.9 Розрахунок висотної схеми розташування очисних споруд……..58
РОЗДІЛ 3 ПРОЄКТНІ РОЗРАХУНКИ СПОРУД ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИВНИХ ВОД……..59
3.1 Визначення об'єму промивних вод……59
3.2 Визначення параметрів приймальних резервуарів для промивних вод…….59

3.3 Гідравлічний розрахунок пісковловлювачів-відстійників……..60
3.4 Розрахунок і підбір згущувальних споруд……65
3.5 Обґрунтування параметрів фільтр-пресів…….67
РОЗДІЛ 4. АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ……..69
4.1 Аналіз технологічного процесу як об’єкта керування……..69
4.2 Розроблення функціональної схеми системи автоматизації……70
РОЗДІЛ 5. ЕКОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ…….74
ВИСНОВКИ……76
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……...…77

# ВСТУП

Актуальність теми кваліфікаційної роботи зумовлена необхідністю вдосконалення підходів до проєктування водоочисних споруд з урахуванням сучасних викликів, зокрема зношеності інженерних мереж, нестабільності енергопостачання, ризиків аварійних ситуацій та впливу воєнних дій на об’єкти інфраструктури. Водночас важливим є впровадження енергоефективних та ресурсозберігаючих технологій, що дозволяють зменшити експлуатаційні витрати та підвищити екологічну безпеку систем водопостачання.

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка водоочисних об’єктів міської критичної інфраструктури з обґрунтуванням технологічної схеми очищення природної води, виконанням гідравлічних та конструктивних розрахунків основних споруд і визначенням екологічної ефективності запропонованих рішень.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати теоретичні та нормативні основи проєктування водоочисних споруд;
- обґрунтувати вибір методу обробки води та розрахункову продуктивність очисних будівель;
- виконати розрахунок основних елементів водоочисних будівель;
- розробити схему обробки промивних вод;
- здійснити екологічне обґрунтування прийнятих проєктних рішень.

Об’єктом дослідження є водоочисні будівлі.

Предметом дослідження є технологічні та конструктивні рішення водоочисних будівель та мережі транспортування очищеної води.

У роботі розглядається проєкт водоочисних споруд для населеного пункту з чисельністю населення 130 500 осіб. Розроблено схему мережі транспортування води, яка включає 12 контурів, 34 ділянки та 22 вузли, що забезпечують

рівномірний розподіл води між споживачами. Продуктивність водоочисних будівель становить 74 057 м³/добу, що відповідає потребам населеного пункту з урахуванням перспективного розвитку.

В процесі виконання роботи обґрунтовано вибір технологічної схеми очищення води, що включає стадії механічного очищення, реагентної обробки, освітлення, фільтрації та знезараження. Проведено розрахунок основних споруд, зокрема барабанних сіток, змішувачів, контактних освітлювачів, резервуарів чистої води та систем знезараження. Окрему увагу приділено організації обробки промивних вод, що дозволяє зменшити втрати водних ресурсів та підвищити екологічну ефективність системи.

Виконано екологічне обґрунтування роботи: очікувана щорічна економія становить близько 72 млн грн, що досягається шляхом

зменшення втрат води та підвищення ефективності роботи системи. При цьому обсяг зекономленої води становить 4 032 411 м³ на рік, що є вагомим внеском у раціональне використання водних ресурсів.

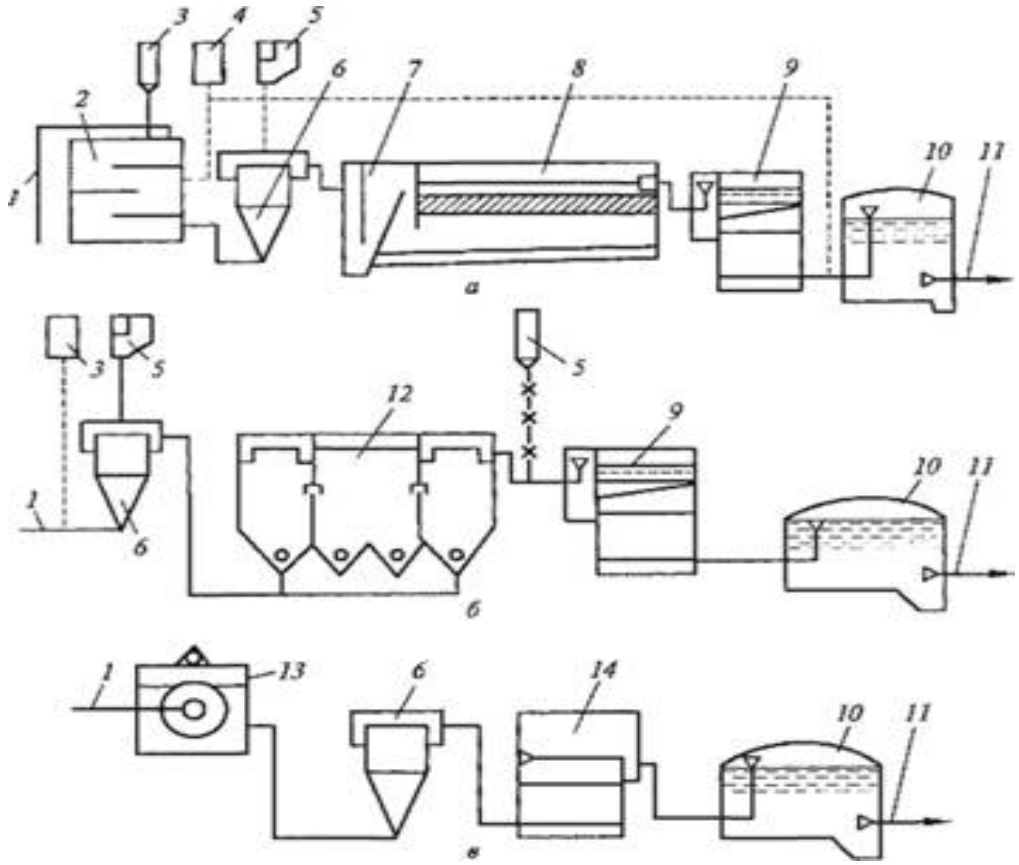
Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання розроблених проєктних рішень і розрахунків під час проєктування та реконструкції водоочисних споруд в системах міського водопостачання. Запропоновані технологічні та інженерні рішення сприяють підвищенню надійності, енергоефективності та екологічної безпеки роботи об’єктів. Крім того, результати роботи можуть бути використані при модернізації мереж транспортування води та впровадженні ресурсозаощаджувальних заходів у практиці комунальних підприємств.

# РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА НОРМАТИВНІ ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ ВОДООЧИСНИХ ОБ'ЄКТІВ МІСЬКОЇ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

## 1.1. Значення водоочисних споруд у забезпеченні сталого функціонування міської інфраструктури

Сучасні міста функціонують як складні інженерні системи, де водопостачання та водовідведення є головними складниками життєзабезпечення населення. Тому водоочисні споруди є головними елементами у забезпеченні сталого розвитку міської інфраструктури, оскільки вони забезпечують очищення стічних вод до нормативних показників та запобігають негативному впливу на довкілля та здоров'я населення. Система питного водопостачання є однією з ключових складових міської інфраструктури, що безпосередньо впливає на якість життя населення, санітарно-епідеміологічний стан територій та екологічну безпеку. Центральне місце в цій системі займають споруди очищення природних вод, які забезпечують доведення якості води з поверхневих або підземних джерел до нормативних вимог питного водоспоживання. Підготовка питної води передбачає комплекс технологічних процесів, спрямованих на видалення фізичних, хімічних і біологічних забруднень (рис. 1.1). Відповідно до законодавства України [1, стаття 23], очисні системи включають комплекс інженерних споруд і технологічних процесів, спрямованих на збирання, транспортування, очищення вод, повторне використання осаду.

Споруди очищення природних вод є складними інженерними комплексами, що включають послідовність технологічних етапів: попереднє механічне очищення, коагуляцію, флокуляцію, відстоювання, фільтрування та знезараження. Кожен із цих процесів має важливе значення для досягнення необхідної якості води.




1, 11 – підвід сирої води та відведення очищеної води; 2 – камера контактування реагентів із водою; 3 – вузол дозування активованого вугілля та фторвмісних реагентів; 4 – установка для знезараження води хлором; 5 – ємності для приготування та зберігання коагулянту; 6 – вертикальний апарат змішування; 7 – камера утворення та укрупнення пластівців (флокуляції); 8 – відстійник горизонтального типу з тонкошаровими елементами; 9 – фільтр швидкої дії; 10 – резервуар для накопичення очищеної води; 12 – освітлювач із завислим осадом та системою його рециркуляції; 13 – установка мікрофільтрації; 14 – контактний освітлювальний аппарат

Рисунок 1.1 – Технологічні схеми очищення природних вод

Наприклад, процес коагуляції дозволяє видаляти колоїдні та тонкодисперсні частинки, які не осаджуються природним шляхом, тоді як фільтрування забезпечує остаточне видалення завислих речовин і мікроорганізмів.

У сучасних умовах особливого значення набуває забезпечення стабільності роботи водоочисних споруд при змінній якості вихідної води. Природні джерела водопостачання, зокрема річки та водосховища, характеризуються значною сезонною та антропогенною мінливістю складу води. Це обумовлює необхідність впровадження гнучких технологічних схем очищення, здатних адаптуватися до змін показників каламутності, кольоровості, вмісту органічних речовин та мікробіологічного забруднення.

Згідно з дослідженнями українських науковців, підвищення ефективності процесів очищення води значною мірою досягається шляхом удосконалення фізико-хімічних методів обробки. Зокрема, в роботі [2, с.7 для підвищення ефективності іонообмінних процесів у системах водопостачання запропоновано підхід до регулювання мінерального складу природних і стічних вод із застосуванням модифікованих іонообмінних матеріалів. Суть методу полягає в одночасному впливі магнітного поля як на іонообмінне завантаження, так і на воду, що підлягає очищенню.

Важливим аспектом функціонування споруд очищення природних вод є забезпечення їх надійності, особливо в умовах кризових ситуацій. Дослідження [3, с.22-23] показують, що в умовах воєнного часу суттєво зростають ризики порушення роботи систем водопостачання, зокрема через перебої в енергопостачанні або пошкодження інфраструктури. В таких умовах особливо важливо забезпечити безперебійну роботу споруд водопідготовки, оскільки вони є критично важливими для забезпечення населення питною водою.

Екологічний аспект функціонування водоочисних споруд для природних вод має принципове значення, оскільки якість води у джерелах водопостачання безпосередньо визначає як ефективність технологічних процесів її підготовки, так і економічні витрати на очищення. У [4, с. 5–6] зазначається, що зростання антропогенного навантаження на водні об’єкти спричиняє накопичення забруднювальних речовин у донних відкладах і погіршення екологічного стану водойм. Такі зміни призводять до ускладнення процесів водопідготовки, зокрема потребують інтенсифікації коагуляційно-флокуляційних процесів, застосування додаткових стадій очищення та використання більш ефективних реагентів.

Водночас, як підкреслюється у [5, с.387], вирішення проблеми якості води не може обмежуватися лише вдосконаленням технологій очищення, а потребує комплексного підходу до охорони водних джерел. Зокрема, обґрунтовується необхідність впровадження водоохоронних зон, які виконують бар’єрну функцію щодо надходження поверхневого стоку із забруднюючими речовинами до малих річок. У роботі [5, с.390] також акцентується увага на поєднанні нормативних, санітарно-технічних і ландшафтно-містобудівних заходів, що дозволяє зменшити дифузне забруднення водотоків і, відповідно, покращити якість вихідної води для систем питного водопостачання.

Отже, забезпечення належного екологічного стану водних об’єктів, зокрема шляхом організації водоохоронних зон і регулювання антропогенного впливу, є важливою передумовою підвищення ефективності роботи водоочисних споруд та зниження витрат на підготовку питної води.

Сучасні тенденції розвитку споруд очищення природних вод включають широке впровадження інноваційних технологій, таких як мембранна фільтрація, озонування, використання активованого вугілля та ультрафіолетове знезараження. Ці технології дозволяють ефективно видаляти мікрозабруднення, органічні речовини та патогенні мікроорганізми, забезпечуючи високу якість

питної води. Крім того, автоматизація процесів водопідготовки сприяє підвищенню надійності та ефективності роботи споруд.

Таким чином, споруди очищення природних вод є критично важливим елементом системи питного водопостачання та міської інфраструктури в цілому. Вони забезпечують населення безпечною питною водою, сприяють збереженню водних ресурсів та мінімізації негативного впливу на довкілля. У сучасних умовах їх роль значно зростає, що обумовлює необхідність подальшого розвитку, модернізації та впровадження інноваційних технологій у сфері водопідготовки.

## 1.2. Вимоги нормативних документів до якості питної води та роботи водоочисних станцій

Важливим нормативно-правовим актом, що регулює сферу водокористування в Україні, є Водний кодекс України. У ньому визначено основні принципи державної політики щодо охорони водних ресурсів, їх раціонального використання та відтворення [6, розд. I]. Зокрема, встановлено вимоги до забезпечення екологічної безпеки водних об’єктів, у тому числі тих, що використовуються для централізованого питного водопостачання [6, розд. III]. Таким чином, положення Кодексу створюють правову основу для формування вимог до якості питної води та організації роботи водоочисних станцій.

Якість питної води та функціонування водоочисних станцій в Україні регламентуються системою державних санітарних норм, будівельних норм і стандартів, що встановлюють вимоги до безпечності води, технологічних процесів її підготовки, а також контролю показників якості. Основним документом, який визначає гігієнічні вимоги до питної води, є ДСанПіН 2.2.4-

171-10 [7], він є чинним нормативним актом Міністерства охорони здоров'я в Україні.

Відповідно до [7, розд. 1], питна вода повинна бути безпечною в епідемічному та радіаційному відношенні, а також нешкідливою за хімічним складом і мати сприятливі органолептичні властивості. Це означає, що вода не повинна містити патогенних мікроорганізмів, токсичних речовин та радіонуклідів у концентраціях, що перевищують встановлені гранично допустимі значення.

Нормативом передбачено, що якість води оцінюється за трьома основними групами показників: мікробіологічні; санітарно-хімічні; органолептичні.

Зокрема, мікробіологічні показники включають відсутність бактерій групи кишкової палички та інших патогенних мікроорганізмів у пробах води [7, розд. 3, додаток 1]. Відповідно до нормативу, у 100 см³ води не допускається наявність E.coli та ентерококів, що свідчить про епідемічну безпеку води .

Органолептичні показники (запах, смак, кольоровість, каламутність) визначають споживчі властивості води. Наприклад, кольоровість води не повинна перевищувати 20 градусів, а каламутність – встановлених нормативних значень [7, дод. 2; табл. 1].

Хімічний склад води регламентується за вмістом основних і токсичних компонентів. Зокрема:

- pH води повинен знаходитися в межах 6,5–8,5;
- вміст нітритів — не більше 0,5 мг/дм³;
- загальна жорсткість — до 7 ммоль/дм³;
- хлориди — до 250 мг/дм³ [7, дод. 1; 2].

Такі нормативи забезпечують не лише безпечність води, а й її придатність для щоденного споживання без негативного впливу на здоров'я людини.

Нормативні документи визначають, що технологія очищення води повинна забезпечувати досягнення встановлених показників якості незалежно від вихідних характеристик природної води. Це передбачає застосування комплексу процесів: коагуляції, відстоювання, фільтрації та знезараження.

ДСанПіН [7, розділ 3] встановлює, що обов'язковим етапом є знезараження води, найчастіше шляхом хлорування, при якому необхідно забезпечити залишковий вільний хлор в межах 0,3–0,5 мг/дм³ в місцях водорозбору [7, п.3.14]. Це гарантує захист води від вторинного забруднення під час транспортування.

Важливою вимогою є стабільність якості води після її очищення. Для цього водоочисні станції повинні працювати в безперервному режимі з автоматизованим контролем параметрів технологічного процесу.

Контроль якості питної води здійснюється на всіх етапах: у джерелі водопостачання; на виході з водоочисної станції; у розподільчій мережі.

Згідно з нормативом, виробник води зобов'язаний проводити регулярний лабораторний контроль за затвердженими програмами виробничого контролю [7, розд. 4]. Частота контролю залежить від продуктивності системи водопостачання та кількості населення, що обслуговується. Особлива увага приділяється мікробіологічним показникам, які контролюються найчастіше, оскільки вони безпосередньо пов'язані з ризиком інфекційних захворювань. У разі виявлення відхилень від нормативів повинні негайно вживатися заходи щодо усунення причин забруднення.

Будівельні та технологічні вимоги до водоочисних станцій визначаються державними будівельними нормами (ДБН), зокрема ДБН В.2.5-74:2013 «Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди»[8]. Згідно з цими нормами, водоочисні станції повинні:

- забезпечувати необхідну продуктивність з урахуванням перспективного розвитку населеного пункту;

- мати резервні споруди та обладнання для підвищення надійності роботи;
- передбачати можливість реконструкції та модернізації технологічних схем [8, розд. 5].

Крім того, у складі станцій повинні бути передбачені: споруди попереднього очищення (решітки, піскоуловлювачі); відстійники; фільтри; установки знезараження; лабораторії контролю якості води.

Особлива увага приділяється енергоефективності та автоматизації процесів, що є актуальним у контексті сучасних вимог до сталого розвитку інженерної інфраструктури.

Нормативні документи встановлюють, що системи водопостачання повинні забезпечувати безперебійне постачання води належної якості навіть у разі аварій або надзвичайних ситуацій. Для цього передбачаються:

- резервні джерела водопостачання;
- дублювання основних технологічних ліній;
- аварійні ємності для запасу води [8, розд. 13].

Також регламентується санітарна охорона джерел водопостачання, яка включає встановлення зон санітарної охорони та обмеження господарської діяльності в цих зонах [8, п.15.2].

Останні зміни до [7] спрямовані на гармонізацію українських стандартів із вимогами Європейського Союзу. Це передбачає:розширення переліку контрольованих показників; посилення вимог до моніторингу; впровадження ризик-орієнтованого підходу до управління якістю води.

В документі [9, розд. 6] узагальнено основні показники якості води, методи їх визначення та порядок організації контролю, що забезпечує єдині підходи до оцінювання безпечності води для споживання. Зокрема, уточнюється номенклатура контрольованих показників, вимоги до відбору проб та періодичності контролю, що доповнює положення санітарних норм і сприяє

підвищенню достовірності результатів аналізу [9, розд. 7]. Таким чином, застосування цього стандарту у практиці експлуатації водоочисних станцій забезпечує системність контролю якості води та відповідність її показників чинним гігієнічним вимогам.

Таким чином, нормативна база України у сфері водопостачання забезпечує комплексне регулювання якості питної води та функціонування водоочисних станцій. Дотримання цих вимог є ключовою умовою забезпечення санітарно-епідемічного благополуччя населення та сталого розвитку міської інфраструктури.

## 1.3. Сучасні технологічні схеми очищення природної води для централізованих систем водопостачання

Сучасні системи централізованого водопостачання базуються на застосуванні комплексних технологічних схем очищення природної води, що забезпечують доведення її якості до вимог питного водопостачання. В умовах воєнних дій в Україні проблема якості води набула особливої актуальності, оскільки руйнування інфраструктури, пошкодження водоочисних споруд, мереж транспортування та потенційне забруднення джерел водопостачання (зокрема внаслідок потрапляння паливно-мастильних матеріалів, продуктів горіння, важких металів) суттєво ускладнюють процес підготовки води. Додатково погіршення якості поверхневих і підземних вод зумовлюється зростанням антропогенного навантаження та появою нових типів забруднень (мікропластик, фармацевтичні речовини, органічні мікрозабруднювачі). У таких умовах традиційні методи очищення потребують модернізації, підвищення надійності та гнучкості, а також доповнення інноваційними технологіями, здатними ефективно працювати за змінних і часто нестабільних характеристик вихідної води.

Традиційна схема підготовки природної води для централізованих систем включає такі основні стадії: коагуляцію, флокуляцію, відстоювання, фільтрування та знезараження (рис.1.2). Ця схема широко застосовується на водоочисних станціях і забезпечує ефективне видалення завислих речовин, колоїдів, мікроорганізмів і частково органічних сполук.

Коагуляція полягає у введенні реагентів (солей алюмінію або заліза), які сприяють агрегації дрібнодисперсних частинок. У процесі флокуляції відбувається укрупнення утворених пластівців, що покращує їх подальше осадження.




Рисунок 1.2 – Технологічна схема очищення води

Відстоювання забезпечує гравітаційне видалення пластівців, після чого вода подається на фільтри (піщані або багатошарові), де відбувається доочищення. Заключним етапом є знезараження (хлорування, озонування або ультрафіолетове опромінення) [10, розділ 2].

Незважаючи на ефективність, традиційні схеми мають обмеження, пов’язані з недостатньою здатністю видаляти розчинені органічні речовини, мікрополютанти та віруси, що обумовлює необхідність впровадження сучасних технологій.

Одним із ключових напрямів розвитку є застосування мембранних технологій, які забезпечують високий ступінь очищення води. До них належать мікрофільтрація, ультрафільтрація, нанофільтрація та зворотний осмос.

Мікро- та ультрафільтрація ефективно видаляють завислі речовини, бактерії та віруси, тоді як нанофільтрація та зворотний осмос забезпечують видалення розчинених солей, органічних сполук і важких металів. Мембранні технології характеризуються високою якістю очищення та компактністю обладнання, що дозволяє інтегрувати їх у сучасні водоочисні станції.

Водночас їх недоліками є висока енергомісткість та необхідність попередньої підготовки води для запобігання забрудненню мембран. За даними оглядових досліджень, мембранні методи є одними з найбільш перспективних для забезпечення питної якості води в умовах зростання забруднення джерел

Як зазначено в роботі [11, с.22–24] найбільш поширеним на сьогодні способом підготовки води є її знезараження. Широко застосовуються таблетовані препарати на основі хлорвмісних сполук  та йодовмісних речовин (переважно тетрагліцин гідроперійодид), які є одними з найбільш розповсюджених реагентів у польових умовах. Окрім цього, використовуються рідкі дезінфікуючі засоби на основі пероксиду водню та полігексаметилгуанідину гідрохлориду, що хоча й менш зручні в застосуванні, проте демонструють високу ефективність. Альтернативним підходом є використання пристроїв, що працюють на основі ультрафіолетового випромінювання. Основними перевагами всіх методів знезараження є їх оперативність, простота реалізації та відносно невисока вартість. Водночас слід враховувати й недоліки: дезінфекція не забезпечує

повного видалення домішок, а лише частково їх інактивує або руйнує; більшість реагентів можуть впливати на органолептичні властивості води; а ультрафіолетові установки не мають пролонгованої захисної дії.

Щодо групових систем підготовки питної води, сучасний ринок пропонує широкий спектр установок різної продуктивності. Їх робота ґрунтується на поєднанні процесів, характерних для стаціонарних водоочисних станцій, зокрема механічного фільтрування, пом'якшення, адсорбції, мембранного розділення та знезараження. Такі системи вважаються найбільш ефективними для забезпечення якості питної води у польових умовах, однак їх впровадження обмежується високою вартістю обладнання та експлуатації.

Індивідуальні засоби підготовки води передбачають використання компактних («кишенькових») пристроїв, основним робочим елементом яких у більшості випадків є мікрофільтраційна мембрана. Вони зручні у використанні, доступні за ціною та придатні для швидкого очищення невеликих об'ємів води, проте не забезпечують повного видалення розчинених токсичних речовин і деяких мікрозабруднювачів.

Для видалення розчинених органічних речовин, запахів і присмаків широко застосовуються адсорбційні методи, зокрема з використанням активованого вугілля. Активоване вугілля має розвинену пористу структуру, що забезпечує ефективне поглинання органічних забруднювачів, у тому числі мікрополютантів.

Сучасні технологічні схеми часто передбачають використання гранульованого або порошкоподібного активованого вугілля на різних стадіях очищення. Також розвиваються нові сорбційні матеріали на основі нанотехнологій, які мають підвищену селективність і ефективність.

Перспективним напрямом є застосування процесів глибокого окиснення, які базуються на утворенні високореакційних гідроксильних радикалів. До таких процесів належать озонування, фотокаталітичне окиснення, УФ/пероксид водню

та інші комбінації. Цікавим досвідом є застосування автономних систем водоочищення . які працюють без втручання людини [12]

Сучасний етап розвитку водоочисних технологій характеризується впровадженням цифрових рішень, що базуються на концепції Industry 4.0. Це включає використання датчиків, систем автоматичного контролю, штучного інтелекту та Інтернету речей.

Такі системи дозволяють здійснювати моніторинг якості води в режимі реального часу, автоматично регулювати дозування реагентів та оптимізувати роботу обладнання. В результаті підвищується ефективність очищення, зменшуються витрати ресурсів і знижується вплив людського фактора.

Сучасні тенденції також включають розвиток децентралізованих систем очищення води, які можуть працювати автономно або в поєднанні з централізованими мережами. Такі системи є особливо актуальними для малих населених пунктів або в умовах пошкодження інфраструктури [12, рис.1].

Згідно з сучасними дослідженнями, поєднання централізованих і децентралізованих технологій дозволяє підвищити стійкість систем водопостачання та забезпечити їх адаптацію до змінних умов

У сучасних технологічних схемах також застосовуються біологічні методи очищення, які базуються на використанні мікроорганізмів для розкладу органічних забруднень. Біофільтри та біореактори дозволяють ефективно видаляти розчинені органічні речовини та амонійний азот.

Дослідження показують, що мікробіологічні процеси відіграють важливу роль у формуванні якості води на всіх етапах очищення та транспортування, а сучасні методи моніторингу дозволяють контролювати ці процеси з високою точністю. Ці технології дозволяють ефективно руйнувати стійкі органічні забруднювачі, які не видаляються традиційними методами. Зокрема, вони

застосовуються для видалення фармацевтичних препаратів, пестицидів та продуктів розкладу органічних речови

## 1.4. Актуальні проблеми та напрями модернізації водоочисних об’єктів в умовах підвищених техногенних і воєнних ризиків

Системи водопостачання та водовідведення України функціонують в умовах значного технічного зносу, моральної застарілості обладнання та підвищених техногенних і воєнних ризиків. Унаслідок воєнних дій значна частина об’єктів водної інфраструктури зазнала пошкоджень або повного руйнування, що зумовлює необхідність їх комплексної модернізації з урахуванням нових викликів і вимог до надійності та безпеки.

Однією з ключових проблем є порушення стабільності роботи водоочисних споруд унаслідок пошкодження інженерних систем і перебоїв в енергопостачанні. Як зазначається у дослідженні [13, с.59–61], функціонування очисних споруд у воєнних умовах супроводжується зниженням ефективності очищення вод, що створює ризики для довкілля та здоров’я населення, тому очисні будівельні обєкти потребують відновлення та реконструкції. Це стосується великих міських агломерацій, де системи водовідведення працюють на межі своїх можливостей.

Суттєвою проблемою залишається також недосконаліть нормативної бази. У роботі [14] підкреслюється, що чинні нормативні документи містять застарілі конструктивні рішення, не повною мірою враховують сучасні виклики, зокрема, належним чином не приділяється увага питанню обробки осадів, які утворюються при очищенні води, відсутні вимоги стосовно енергоефективності обладнання [14, с. 102] не розглянуті заівдання щодо підвищення стійкості

інфраструктури до надзвичайних ситуацій. Це обмежує можливості впровадження інноваційних технологій очищення води.

Ще одним важливим аспектом є зниження надійності систем водоочищення в умовах зростання ризиків. Зокрема, в дослідження [15, с. 89–91] підкреслюється необхідність створення математичних моделей для оцінювання надійності систем водоочищення на об’єктах теплоенергетики. Запропонований підхід дає змогу формалізувати процеси виникнення відмов, їх локалізації та усунення, а також визначити їхній вплив на стабільність функціонування і ефективність роботи водоочисного обладнання Недостатній рівень захищеності систем може призводити до аварійних ситуацій і порушення санітарних норм.

Тісно пов’язаною з роботою водоочисних споруд є проблема зношеності мереж транспортування води. Значні втрати води під час транспортування, які в окремих випадках сягають 30–50 %, істотно знижують ефективність систем водопостачання. Крім того, зношені трубопроводи є джерелом вторинного забруднення, що негативно впливає на якість питної води.

У цьому контексті в дослідженні [16, с.64–65] розглянуто сучасні підходи до відновлення мереж транспортування води, зокрема автори наголошують на необхідності застосування нових матеріалів трубопроводів, оптимізації гідравлічних режимів роботи мереж і впровадження систем контролю витрат води. Це дозволяє не лише зменшити втрати, а й підвищити загальну ефективність функціонування систем водопостачання.

Важливим напрямом є також розвиток децентралізованих систем водопостачання. Децентралізовані системи водопостачання та водовідведення сьогодні розглядаються як важливий елемент сталого управління водними ресурсами, що сприяє підвищенню надійності функціонування інженерної інфраструктури населених пунктів. Результати сучасних досліджень свідчать про те, що такі системи демонструють вищу стійкість до збоїв і аварій, особливо в

умовах надзвичайних ситуацій, порівняно з традиційними централізованими рішеннями.

З огляду на це, впровадження принципів децентралізації у сфері водопостачання можна розглядати як один із ключових напрямів підвищення надійності забезпечення населення України питною водою, зокрема в умовах воєнного часу та підвищених ризиків.

В роботі [17, с.32] зазначається, що концептуально децентралізована система водопостачання включає три основні складові: по-перше, джерело води, яке за потреби доповнюється установками очищення для доведення її якості до нормативних показників; по-друге, систему транспортування води до споживачів; по-третє, мережу або пункти розподілу, що забезпечують безпосередню подачу води кінцевим користувачам (рис. 1.3) [17, с.32].




Рисунок 1.3 – Складові елементи системи децентралізованого водпостачання [17, с.32]

Такі системи дозволяють підвищити стійкість водопостачання в умовах воєнних ризиків, забезпечити автономність окремих територій та зменшити навантаження на централізовані мережі.

Окрім цього, актуальним для модернізації є цифровізація систем управління. Впровадження автоматизованих систем моніторингу дозволяє оперативно реагувати на аварійні ситуації, контролювати якість води та оптимізувати роботу обладнання. Це підвищує надійність функціонування водоочисних споруд і мереж транспортування.

Не менш важливим є підвищення енергоефективності водоочисних об’єктів. Використання сучасного енергоощадного обладнання, а також впровадження відновлюваних джерел енергії дозволяє зменшити витрати на експлуатацію та підвищити автономність систем у кризових умовах.

Таким чином, модернізація водоочисних об’єктів повинна здійснюватися у тісному взаємозв’язку з оновленням мереж транспортування води. Лише комплексний підхід, що поєднує реконструкцію споруд, впровадження нових технологій, цифровізацію та оптимізацію мереж, дозволить забезпечити ефективне функціонування систем водопостачання в умовах підвищених техногенних і воєнних ризиків.

# РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ВОДООЧИСНИХ ОБ'ЄКТІВ ТА РОЗРАХУНОК ЇХ ЕЛЕМЕНТІВ

## 2.1 Вибір методу обробки води та визначення розрахункової витрати

Метод очищення води, а також склад і розрахункові параметри споруд водопідготовки визначаються з урахуванням якості води у джерелі водопостачання, продуктивності станції та вимог споживачів до показників якості води. Характеристика якості води в джерелі наведена за даними, поданими в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1- Основні якісні показники води річки

| № з/п | Показник | позначення | Од. виміру | |
|---|---|---|---|---|
| 1. | Каламутність | М | мг/л | 90 |
| 2. | Колір | Ц | град. | 70 |
| 3. | pH води | | | 8,2 |
| 4. | Температура | t | °С | 20 |
| 5. | Твердість | Ж | мг-екв./л | 4,0 |
| 6. | Лужність | $Щ_о$ | мг-екв./л | 3,4 |
| 7. | Вміст: | | | |
| | - кальцію | $[Ca^{2+}]$ | мг-екв./л | 3,1 |
| | - магнію | $[Mg^{2+}]$ | мг/л | 0,9 |
| | -натрію і калію | $[Na^{+}]+[K^{+}]$ | мг/л | 6,5 |
| | -хлоридів | $[Cl^{-}]$ | мг/л | 19,0 |
| | -сульфатів | $[SO_4^{2-}]$ | мг/л | 34,0 |
| 8. | Сухий залишок | Р | мг/л | 320 |

Достовірність результатів аналізу води оцінюється шляхом порівняння сумарного вмісту катіонів і аніонів у вихідній воді. Оскільки молекули речовин є електронейтральними, виконується умова рівності сум аніонів і катіонів, тобто: ∑А = ∑К

$$\frac{[Ca^{2+}]}{E_{Ca^{2+}}} + \frac{[Mg^{2+}]}{E_{Mg^{2+}}} + \frac{[Na^{+}]}{E_{Na^{+}}} = \frac{[HCO_3^{-}]}{E_{HCO_3^{-}}} + \frac{[SO_4^{2-}]}{E_{SO_4^{2-}}} + \frac{[Cl^{-}]}{E_{Cl^{-}}} \quad (2.1)$$

де $E_{Ca2+}$, $E_{Mg2+}$, $E_{Na+}$ і т.д. – еквіваленти відповідних іонів. Вміст іонів у воді приведений в завданні. Таким чином:

$$3,1 + \frac{0,9}{12,16} + \frac{6,5}{23,0} = 2,21 + \frac{34}{48,03} + \frac{19}{35,5}$$

$$3,45 = 3,45.$$

З огляду на показники якості води річкового джерела (М = 90 г/м³, Ц = 70°) обираються відповідні методи її обробки. (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Засоби обробки води

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

Загальна продуктивність станції підготовки господарсько-питної води визначається як сума розрахункової витрати води у період максимального добового водоспоживання та обсягу води, що використовується на власні

потреби очисних споруд. Повний об'єм води, який надходить на станцію, розраховується за відповідною формулою:

$$Q_{пов} = \alpha \times Q_{доб.макс} \quad (2.2)$$

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

$Q_{доб.макс}$ – розрахункова витрата води за добу максимального водоспоживання, м³/доб; за завданням $Q_{доб.макс} = 74057 м^3/доб$.

$Q_{пов} = 1,04 \times 74057 = 77019 м^3/доб$.

Відповідно до даних [8, табл. 15], з урахуванням якості води у джерелі, вимог споживачів, а також техніко-економічного обґрунтування продуктивності водоочисної станції (понад 30000 м³/добу), для подальшого проєктування обрано технологічну схему водопідготовки, ключовими елементами якої є контактні освітлювачі.

Запропонована технологічна схема (рис. 2.1), що реалізує обраний метод водопідготовки, функціонує таким чином.

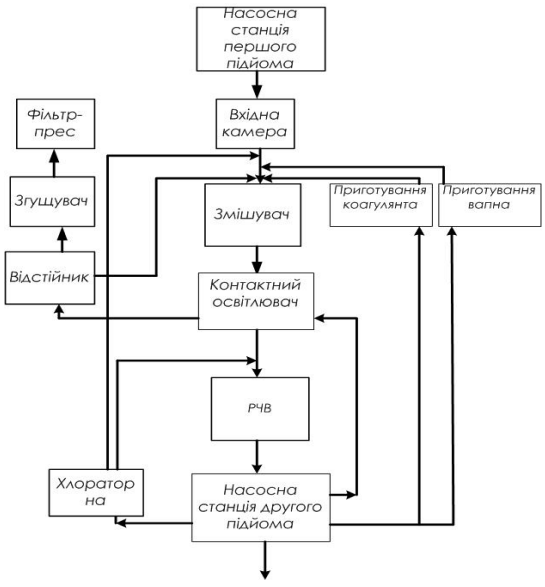



Рис. 2.1 – Технологічна схема очистки природної води

Вихідна вода за допомогою насосної станції першого підйому подається на очисні споруди. Далі вона надходить у вхідну камеру та змішувач, куди з реагентного господарства за допомогою дозувальних пристроїв вводяться розчини коагулянту: сульфату алюмінію ($Al_2(SO_4)_3$) і вапняного молока. Після цього вода спрямовується до контактного освітлювача, де здійснюється доведення її показників (зокрема каламутності та кольоровості) до вимог чинних нормативів ДСТУ [9].

Після проходження контактних освітлювачів очищена вода, що відповідає вимогам питної якості, накопичується в резервуарах чистої води, звідки насосами другого підйому подається до міської водопровідної мережі.

Знезараження води здійснюється із застосуванням хлорної води у дві стадії: первинне хлорування відбувається у трубопроводі перед змішувачами, а вторинне у трубопроводі очищеної води перед надходженням до резервуарів (після контактних освітлювачів).

Для відновлення фільтрувальної здатності контактних освітлювачів проводиться промивання їх завантаження водою. Забруднені промивні води спрямовуються на споруди повторного використання. Осад із відстійників подається на ущільнення у згущувачах із подальшим зневодненням на фільтр-пресах.

## 2.2 Реагентне господарство

Розрахункові дози реагентів встановлюються з урахуванням якості води в джерелі водопостачання, продуктивності станції та вимог споживача до якості води [8].

В залежності від мутності вихідної води (за характеристикою води в джерелі М = 90 мг/л) приймається доза коагулянту в розрахунку на $A1_2(SO_4)_3$ (по безводній речовині) $Д_к$ = 34 мг/л [8, табл.16].

Доза коагулянту для обробки кольорових вод:

$$Д_к = 4\sqrt{К}\ , \qquad (2.3)$$

де $К$ – кольоровість води, що оброблюється, град.; $К$ = 70.

$$Д_к = 4\sqrt{75} = 33{,}5 мг/л\ ,$$

При одночасному вмісті у воді завислих речовин і кольоровості приймається більша з доз коагулянту, визначених за табл.16 [8] і за формулою остаточно приймається доза коагулянту $Д_к$ = 34 мг/л.

Доза вапна, необхідного для покращання пластівцеутворення, визначається за формулою:

$$Д_{луг} = К_{луг}(Д_к / е_к - Щ_0 + 1), \qquad (2.4)$$

де $Д_к$ – максимальна, в період підлужування, доза коагулянту, мг/л;

$е_к$ – еквівалентна маса коагулянту (безводного), мг/мг-екв, приймається для $A1_2(SO_4)_3$ $е_к$ = 57 мг/мг-екв;

$К_щ$ – коефіцієнт, який дорівнює для вапна 28;

$Щ_о$ – мінімальна лужність води, мг-екв/л; за якісною характеристикою води $Щ_о$ = 3,4 мг-екв/л.

$$Д_{луг} = 28(34 / 57 \ - 3{,}4 + 1) = -50{,}4 мг/л\ .$$

Одержане від'ємне значення свідчить про те, що для покращання процесу пластівцеутворення підлужування води не потрібне.

Визначення ступіні стабільності води

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

$$CO_2 = \frac{44 \times Щ}{K_1 \times 10^{pH+\sqrt{\mu}}} \qquad (2.5)$$

де $Щ_o$ – лужність вихідної води, мг-екв/л; за завданням $Щ_0 = 3,4$мг-екв/л;

$k_1$ - коефіцієнт, що залежить від температури води; при t = 0° C $k_1 = 2,61 \times 10^{-7}$;

при t = 20° C $k_1 = 4,05 \times 10^{-7}$ .

pH – водневий показник вихідної води; за завданням pH = 8,2

μ – в'язкість води, мг/л:

$$\mu = 0,000022 \times P, \qquad (2.6)$$

де P – загальний солевміст (сухий залишок), мг/л; P = 320 мг/л = 0,32 г/л.

$$\mu = 0,000022 * 320 = 7 * 10^{-3}$$

$$CO_2^{зим} = \frac{44 \times 3,4}{2,61 \times 10^{-7} \times 10^{8.2+\sqrt{7 \times 10^{-3}}}} = 3,01 мг/л$$

$$CO_2^{літ} = \frac{44 \times 3,4}{4,05 \times 10^{-7} \times 10^{8.2+\sqrt{7 \times 10^{-3}}}} = 1,93 г/л$$

Кількість вільного двоокису в воді після коагуляції:

$$(CO_2)_{віл} = CO_2 + 44 \times Д_к / e_к, \qquad (2.7)$$

$$(CO_2)^{взим}_{віл} = 3,01 + 44 \times 34/57 = 29.3 мг/л$$

$$(CO_2)^{вліт}_{віл} = 1,93 + 44 \times 34/57 = 28.2 мг/л$$

Лужність води після коагулювання визначається за формулою:

$$Щ_к = Щ_0 - Д_к / e_к, \qquad (2.8)$$

$$Щ_к = 3{,}4 - 34/57 = 2{,}80 мг - екв/л$$

По номограмі рис.2 додатку Г [8] визначається $pH_0$ – водневий показник після введения коагулянту:

$pH_0^{вліт} = 7.0$; $pH_0^{взим} = 7{,}10$.

По номограмі рис. Г.1 додатку Г [8] визначається $pH_s$ – водневий показник в умовах насичення води карбонатом кальщю:

$$pH_s^{вліт} = 7.80;\ pH_s^{взим} = 8{,}14$$

Визначається індекс насичення карбонатом кальщю.

$$J = pH_0 - pH_s, \qquad (2.9)$$

$J_{вліт} = 7{,}0 - 7{,}8 = -0{,}80$, . $J_{взим} = 7{,}10 - 8{,}14 = -1{,}04$

Отримані значення індексу насичення є від'ємними, що свідчить про необхідність додаткової обробки води для забезпечення її стабільності. З цією метою передбачено застосування лужних реагентів, зокрема обробку води вапном. Доза вапна визначається за формулою:

$$Д_в = 28\beta_{вих} K_t Щ \qquad (2.10)$$

де $\beta_{вих}$ – коефіцієнт, що визначається за номограмою рис.Г.4, дод.Г [ 8 ];

$K_t$ – коефіцієнт, що залежить від температури води: при t=20$^0$C $K_t = 1$;

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

$$Д_в = 28 \times 0{,}18 \times 1 \times 2{,}80 \times 100/50 = 28{,}2 мг/л$$

Зберігання, приготування і дозування розчинів реагентів

Для зберігання коагулянту передбачаються резервуари-сховища, які одночасно використовуються і як розчинні баки. Добова витрата товарного коагулянту визначається за формулою:

$$G_{доб} = \frac{Д_к \times Q}{10000 \times \rho_k}, \qquad (2.11)$$

де $p_c$ – вміст безводного продукту в коагулянті, %; $p_c$ = 33,5 % [8, п. 10.4.8].

$$G_{доб} = \frac{34 \times 77019}{10000 \times 33.5} = 7,82 m / доб$$

Місткість розчинних баків-сховищ визначається за формулою:

$$W_{розч} = \frac{Д_к \times Q_{добд} \times T}{10000 \times b_р \times \iota \times 24_k}, \qquad (2.12)$$

де Т – тривалість роботи станції, на яку розраховується кількість розчину коагулянту для одного зачинення, год.; прийнято Т = 15 діб = 360 год;

$b_р$ – концентрація розчину до кінця розчинення, %; $b_р$ = 20% [8, п. 10.4.8];

γ – щільність розчину, т/м ; приймається γ = 1,0 т/м$^3$ [8].

$$W_{розч} = \frac{77019 \times 360 \times 34}{10000 \times 20_р \times 1 \times 24} = 196,4 \text{ м}^3$$

Прийняті 4 баки [8, п. 10.4.9], місткість кожного 49,1 м , розміри: 6,0 × 3,0 × 2,8м. Розчин коагулянту забирається з баків-сховищ з допомогою насосів

і відводиться у витратні баки, де розбавляється водою до 10%-вої концентрації. Місткість витратних баків визначається за формулою: (2.14), приймається час розчинення коагулянту $T_р = 24$ год, концентрація розчину коагулянту у витратних баках; b = 10 % [8].

$$W_{розч} = \frac{77019 \times 24 \times 34}{10000 \times 10 \times 1 \times 24} = 26{,}2 \text{ м}^3.$$

Приймаються 2 баки [8, п. 10.4.9], місткість кожного 13,1 м³ , розміри: 3,0×3,0×1,5 м. Для розчинення коагулянту і перемішування його в баках передбачається подача повітря. Необхідна витрата повітря приймається виходячи з інтенсивності подачі повітря для розчинення 8 л/(с×м$^2$ ) і для перемішування при розбавленні у витратних баках 3 л/(с×м$^2$ ) [8, п. 10.4.10].

Витрата повітря для одночасного приготування розчину в 4 баках-сховищах та для двох витратних баків:

$$q'_{пов} = 6 \times 3 \times 8 \times 4 = 576 \text{ л/с},$$

$$q''_{пов} = 3 \times 3 \times 3 \times 2 = 54 \text{ л/с}.$$

Загальна витрата повітря:

$$q_{пов} = 576 + 54 = 630 \text{ л/с} = 38 \text{ м}^3\text{/хв}.$$

Для подачі повітря прийняті 2 робочі і 1 резервна повітродувки марки ТВ-300-1,6 продуктивністю 19 м$^3$/хв кожна [18]. Дозування 10 %-вого розчину коагулянту проводиться насосами-дозаторами НД-1600/10.

Приготування вапняного молока проводиться в баках, місткість яких визначається за формуло (2.14), час розчинення вапна, год; приймається Т = 24 год, концентрація вапняного молока в баках приймається $b_и$ = 5 %, щільність вапняного молока приймається $\gamma_u$ = 1,0 т/м [8. п. 10.4.21].

$$Wб = \frac{77019 \times 24 \times 28{,}2}{10000 \times 5 \times 1 \times 24} = 43{,}4 \text{ м}^3$$

Прийнято 2 баки, місткість кожного 21,7 м ³, розміри: 3,0 × 3,0 × 2,4 м. Для безперервного перемішування вапняного молока передбачаються механічні мішалки. Приймається 2 циліндричних бака, з двома лопатевими мішалками. Місткість баків, прийнята 21,7 м³.

Діаметр циліндричного бака визначаємо за формулою:

$$d = \sqrt[3]{\frac{W_б \times 4}{3,14}} \tag{2.13}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{21,7 \times 4}{3,14}} = 3 \text{ м.}$$

Довжина лопатей від вісі вала $l_л$ = 0,45×d=1,35 м, повна довжина 2,7 м.

Площа лопатей прийнята з розрахунку 0,15 м² на 1 м³ вапняного молока в баці:

$$f_л = 0,15 \times W \tag{2.14}$$

$$f_л = 0,15 \times 21.7 = 3.26 \text{ м}^2$$

Висота кожної лопаті:

$$h_л = \frac{1}{2} \times (\frac{f_л}{l_л}) \tag{2.15}$$

$$h_л = \frac{1}{2} \times \left(\frac{3,26}{2,7}\right) = 0,6 \text{ м.}$$

## 2.3 Розрахунок барабанних сіток та вхідної камери

Витрати води на забезпечення власних потреб барабанних сіток приймають на рівні 0,5 % від загальної подачі води на очисні споруди. Відповідно, розрахункову продуктивність барабанних сіток визначають таким чином:

$$S_{бс} = 1{,}005 \times S_{розр}, \quad (2.16)$$

$S_{бс}$ = 1,005 × 77019 = 77404 м³/доб = 3225 м³ / год = 0,90 м³/с.

До установки приймаємо 1 робочу 1 резервну барабанні сітки марки БСМ
3 × 3,7 продуктивністю 3300 м$^3$/год. Розрахункова продуктивність барабанної сітки становить 77404 м$^3$/доб.

Барабанні сітки встановлюються в камерах з водозливною стінкою. Барабанні сітки доцільно розташовувати над вхідною камерою. Технічні характеристики барабанної сітки (діаметр, довжина, частота обертання, потужність приводу) прийняті за даними виробників аналогічного обладнання (HUBER Technology, Drum Screen RoMesh [19]:

| | |
|---|---|
| Розміри барабана: | $L_б$ = 5460 мм |
| | $D_б$ = 3156 мм |
| Частота обертання барабана: | 1,7 об/хв |
| Розміри камери: | L = 6460мм |
| | B = 4156 мм |
| | $L_1$ = 3700 мм |
| Потужність електродвигуна: | 3 кВТ |
| Маса: | 34 т |

Висота вхідної камери прийнята з урахуванням позначки її дна, яка визначається висотним положенням барабанної сітки, а також залежить від діаметра барабана та його монтажних параметрів.

Об’єм вхідної камери має забезпечувати перебування води протягом двох хвилин:

$$W_{вх} = \frac{2 \times S}{60} \quad (2.17)$$

$$W_{вх} = \frac{2 \times 3225}{60} = 107{,}5 \text{ м}^3.$$

## 2.4 Розрахунок змішувачів

Оскільки погодинна продуктивність станції водопідготовки становить 77019 / 24 = 3209 м³/год, а для підлужування води застосовується вапняне молоко, доцільно передбачити встановлення вертикальних (вихрових) змішувачів у кількості $N_{зм}$=5. Продуктивність кожного змішувача становить

$$q_{зм} = 3209 / 5 = 642 \text{м}^3/\text{год}.$$

Площа горизонтального перерізу у верхній частині змішувача:

$$F_B = \frac{Q_{зм}}{V_B} \qquad (2.18)$$

де $v_в$ – швидкість висхідного руху води на рівні водозбірного пристрою, м/год; приймається $v_в$ = 30 мм/с = 108 м/год [8, п. 6.45].

$$F_в = 642 / 108 = 6{,}0 \text{ м}^2.$$

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

$$b_B = \sqrt{F_B} \qquad (2.19)$$

$$b_B = \sqrt{6.0} = 2.4 м$$

Швидкість надходження води до змішувача має відповідати встановленим нормативним значенням. 1,2... 1,5 м/с [8, п. 10.5.6]. Продуктивність одного змішувача $q_{зм}$ =642 м³ / год = 178,3 л/с. Діаметр трубопроводу, швидкість руху води та питомі втрати напору в ньому, який забезпечує подачу обробленої води до нижньої частини змішувача, становлять:: Д = 400 мм; V = 1,33м/с; 1000i =5,95. Оскільки зовнішній діаметр підвідного трубопроводу становить $D_{зовн}$=426 мм, ширину сторони нижньої частини змішувача в зоні його приєднання слід

приймати відповідно до цього розміру: $b_н$ = 0,426 м, а площа нижньої горизонтальної частини зрізаної піраміди:

$$f_н = b_н^2, \quad (2.20)$$

$$f_н = 0{,}426^2 = 0{,}18 \text{ м}^2.$$

Висота нижньої (пірамідальної) частини змішувача:

$$h_н = 0{,}5 \times (b_в - b_н) \times \operatorname{ctg}(\alpha/2), \quad (2.21)$$

де α – центральний кут; приймається α = $40^0$ [8, п. 10.5.6].

$$h_н = 0{,}5 \times (2{,}4 - 0{,}18) \times \operatorname{ctg}(40/2) = 3{,}0 \text{ м}.$$

Об'єм пірамідальної частини:

$$W_H = \frac{1}{3} h_H \left( F_B + F_H + \sqrt{F_B \times F_H} \right) \quad (2.22)$$

$$W_H = \frac{1}{3} \times 3{,}0 \left[ 6.4 + 0{,}18 + \sqrt{6.4 \times 0{,}18} \right] = 8{,}7 м^3.$$

Повний об'єм визначається за формулою:

$$W = q_{зм} \times t / 60, \quad (2.23)$$

де t – тривалість змішування реагенту з водою, хв.; прийнято t = 1,5 хв. [8, п. 10.5.6].

$$W = 642 \times 1{,}5/60 = 16{,}05 \text{ м}^3.$$

Об'єм верхньої частини:

$$W_в = W - W_н, \quad (2.24)$$

$$W_в = 16,05 – 8,7 = 7,35 м^3$$

Висота верхньої частини:

$$h_в = W_в / f_в, \quad (2.25)$$

$$h_в = 7,35 / 6 = 1,2 м.$$

Висоту верхньої частини змішувача слід приймати в межах 1,0–1,5 м [8, п. 10.5.6]. Прийняте значення відповідає зазначеним вимогам.

Повна висота змішувача:

$$h = h_н + h_в + h_{буд}, \quad (2.26)$$

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

$$h = 3,0 + 1,2 + 0,5 = 4,7 м.$$

Вода збирається у верхній частині змішувача периферійним лотком. Швидкість руху води в кінці лотку $v_л = 0,6$ м/с [8, п. 10.5.8]. Вода, що рухається лотками у напрямку бокового кармана, поділяється на два потоки. Відповідно, розрахункову витрату для кожного з них визначають окремо:

$q_л = q_{зм} / 2 = 642 / 2 = 321 м^3$ /год.

Площа живого перерізу в кінці збірного лотка:

$$w_л = \frac{Q_{зм}}{v \times n} \quad (2.27)$$

$$w_л = \frac{321}{0,6 \times 3600} = 0,15 м^3$$

Ширина лотка за умови, що його переріз квадратний:

$$b_л = \sqrt{w_л} \quad (2.28)$$

$$b_л = \sqrt{0,15} = 0,4 \text{ м.}$$

Розрахункова висота шару води в лотку:

$$h_л = \frac{w_л}{b_л} \quad (2.29)$$

$h_л = 0,15 / 0,4 = 0,4$м.

Площа всіх затоплених отворів у стінках збірного лотка:

$$F_o = \frac{Q}{v_o \times 3600} \quad (2.30)$$

де $v_o$ – швидкість руху води в отворах лотка, м/с; $v_o = 1$ м/с [8].

$$F_o = \frac{642}{1 \times 3600} = 0.18 м^2$$

Загальна потрібна кількість отворів:

$$n_o = F_o / f_o, \quad (2.31)$$

де $f_o$ – площа одного отвору, м$^2$.

Площа одного отвору визначається за формулою:

$$f_o = \pi \times d_o^2 / 4, \quad (2.32)$$

де $d_o$ –діаметр одного отвору, м; приймається $d_o$ = 80 мм = 0,08 м [8].

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

$$n_o = 0{,}1 / 0{,}005 = 20 \text{ од.}$$

Внутрішній периметр лотка:

$$P_л = 4[b_в - 2 \times (b_л + 0{,}06)] \quad (2.33)$$

$$P_л = 4 \times [2{,}4 - 2 \times (0{,}4 + 0{,}06)] = 7{,}36\text{м} = 7360 \text{ мм.}$$

Крок розташування осей отворів визначають за відповідною розрахунковою залежністю:

$$l_o = P_л / n_o \quad (2.34)$$

$$l_o = 7360 / 20 = 368 \text{ мм.}$$

Відстань між отворами:

$$L = l_o - d_o. \quad (2.35)$$

$$L = 368 - 80 = 288 \text{ мм.}$$

Зі збірного лотка вода надходить до бокового кармана. Його розміри прийнято з урахуванням розміщення в нижній частині труби для відведення

обробленої води. За умови заданої швидкості руху води у відвідній трубі: 0,6... 1,0 м/с [8, п. 10.5.11] і $q_{зм}$ = 178,3 л/с прийняті $Д_{від}$ = 500мм, $v_{від}$ = 0,85 м/с, 1000i =1,91.

## 2.5 Розрахунок контактних освітлювачів

Для доведення вихідної води до питної якості відповідно до рекомендацій [8] в роботі прийнято застосування контактних освітлювачів з неоднорідним кварцовим завантаженням та напрямком фільтрування знизу вгору. Усього передбачається 14 контактних освітлювачів розмірам в плані 7,4×7,4м.

Розрахункова швидкість фільтрування при нормальному режимі 5,0 м/год., при форсованому – 5,4 м/год.

Фільтруючий шар кварцового піску висотою 2,3м і крупністю 0,7..5,0мм промивають комбінованим методом.

Визначення розмірів контактного освітлювача

Загальна площа контактних освітлювачів визначається за формулою:

$$F = Q_{пов}/(T_{ст} \times V_н - n_{пр}(q_{пр} + \tau_{пр} \times V_н + \tau_{ст} \times V_н/60), \qquad (2.36)$$

де $Q$ – корисна продуктивність станції, м /доб.; Q = 77019м /доб;

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

$v_н$ – розрахункова швидкість фільтрації при нормальному режимі, м/год; приймається$v_н$=5м/год [8. п. 10.15.5];

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

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

$\tau_{пр}$ – тривалість простою контактного освітлювача у зв'язку з промивкою, год.;

приймається для контактного освітлювача, що промиваються водою $\tau_{пр}$ = 0,33 год.[8],

$\tau_{ст}$ – тривалість скиду першого фільтрату $\tau_{пр}$ =11 хв.

Питома витрата води на одну промивку одного контактного освітлювача :

$$q_{пр}=W \times t_{пр}, \quad (2.37)$$

де W – інтенсивність промивки, л/(с × м ); W = 15л/(с × м ) [8, п. 10.15.7];

$t_{пр}$ – тривалість промивки, с; приймається $t_{пр}$ = 8 хв = 480 с [8, п. 10.15.7].

$$q_{пр} = 15 \times 480/1000 = 7{,}2 \text{ м}^3/\text{м}^2$$

$$F = 77019/(24\times5-2(7{,}2+0{,}33\times\ 5+11\times5/60)= 766{,}7 \text{ м}^2$$

Наближено кількість контактних освітлювачів визначено за формулою:

$$N = 0{,}5\times\sqrt{F}. \quad (2.38)$$

$$N = 0{,}5\times\sqrt{766{,}7} = 14 \text{ од.}$$

Швидкість фільтрування при форсованому режимі:

$$V_{ко} = v_н \times N / (N - N_1) \quad (2.39)$$

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

$$v_{ко} = 5 \times 14 /(14 - 1) = 5{,}4 \text{ м/год.}$$

Швидкість фільтрування при форсованому режимі повинна бути не більше 12 м/год [8, п. 10.15.5]. Отримане значення відповідає даній умові.

Площа одного контактного освітлювача:

$$f_{ко} = F / N, \quad (2.40)$$

$$f_{ко} = 766,7 / 14 = 54,7 \text{ м}^2.$$

Прийняті наступні розміри одного контактного освітлювача в плані:

довжина L = 7,4 м; ширина В = 7,4 м, тоді $F_ч = 7,4 \times 7,4 = 54,8$ м$^2$.

Розрахунок розподільної системи контактного освітлювача

$$q_{пром} = F_ч \times W, \quad (2.41)$$

$$q_{пром} = 54,8 \times 15 = 822 \text{ л/с}.$$

Для колектора розподільної системи прийнято $Д_{кол} = 800$ мм; $v_{кол} = 1,62$ м/с, 1000i= 3,8.

Площа контактного освітлювача, що припадає на одне відгалуження, визначається за розрахунком:

$$f_{б.в} = L_ч \times l_{б.о} / 2, \quad (2.42)$$

де $l_{вік}$ – відстань між вісями труб відгалужень, м; $l_{б.о} = 0,3$ м [8, табл. 27];

$$f_{б.в} = 7,4 \times 0,3 / 2 = 1,11 \text{ м}^2.$$

Кількість бічних відгалужень в одному контактному освітлювачі:

$$n_{відг} = 2 \times B_ч / l_{б.о} \quad (2.43)$$

де $B_ч$ – ширина чарунки КО, м,

$$n_{відг} = 2 \times 7,4 / 0,3 = 50 \text{ од.}$$

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

$$q_{б.в.} = f_{б.в} \times W, \quad (2.44)$$

$q_{б.в}$ = 1,11 × 15 =16,65 л/с

Швидкість руху води в трубах відгалужень повинна бути 1,4÷1,8 м/с [8, табл. 27]. Приймається: $d_{б.в}$ = 100 мм; $v_{бв}$ = 1,62 м/с; 1000i = 47,1.

В нижній частині відгалужень під кутом 30° до вертикалі розташовані отвори діаметром $d_o$ = 15 мм , fo = 0,000177 м.

Загальна площа всіх отворів :

$$F_o = \omega_o \times F_ч /100, \quad (2.45)$$

де $\omega_0$ – відношення сумарної площі отворів до площі контактного освітлювача, %, $\omega_0$ =0,27за [8, табл. 27].

$F_o$ =0,27 × 54,8 / 100 = 0,148 м².

Кількість отворів на кожному контактному освітлювачі:

$$n = F_o / fo , \quad (2.46)$$

$$n = 0,148 / 0,000177=836 \text{ од} .$$

Отвори розміщують у два ряди в шаховому порядку. Кількість отворів, що припадає на кожне відгалуження, визначають розрахунком::

$$n_{відг} = 836/25= 33 \text{ од.}$$

Завантаження контактного освітлювача прийнято згідно з [8, табл. 26]: пісок фракції 0,7–1,2 мм: висота шару 0,8 м; фракції 1,2–2,0 мм: висота шару 1,0 м; фракції 2,0–5,0 мм: висота шару 0,5 м.Загальна товщина всього завантаження фільтра складає:

0,8 + 1,0 + 0,5 =2,3м.

Розрахунок пристроїв для збору і відведенню води при промивці контактного освітлювача

Забруднена вода під час промивки контактних освітлювачів збирається та відводиться жолобами п’ятикутного перерізу, розташованими над завантаженням. Ширину жолоба визначають за відповідною розрахунковою залежністю:

$$B_{ж} = k_{ж} \sqrt[5]{\frac{q_{ж}^2}{(1{,}57 + a_{ж})^3}}, \qquad (2.47)$$

де $q_ж$ – витрата води по жолобу, м$^3$/с;

$\alpha_ж$ – відношення висоти прямокутної частини жолоба до половини його ширини; приймається $a_ж = 1{,}5$.

$К_ж$ – коефіцієнт; для п'ятикутних жолобів $К_ж = 2{,}1$[8. п. 10.12.18].

Кількість жолобів визначається за формулою:

$$n_{ж} = B/t_{ж} \qquad (2.48)$$

де $t_ж$ – відстань між вісями жолобів, м; $t_ж = 1{,}95$ м [8, п. 10.12.18].

$$n_{ж} = 7{,}4 / 1{,}95 = 4 \text{ од.}$$

Витрата промивної води на один жолоб:

$$q_{ж} = q_{пром} / n_{ж}, \qquad (2.49)$$

$$q_ж = 822/ 4 = 205{,}5 \text{ л/с} = 0{,}21 \text{ м}^3/\text{с},$$

$$B_{ж} = 2{,}1 \times \sqrt[5]{\frac{0{,}21^2}{(1{,}57 + 1{,}5)^3}} = 0{,}6 \text{ м}.$$

Корисна висота жолоба:

$$h = 1,25 \times B_{ж}, \quad (2.50)$$

$$h = 1,25 \times 0,6 = 0,74 \text{ м.}$$

Відстань від поверхні фільтрувального завантаження до кромок жолобів:

$$H_{ж}=(H_{з} \times e/100) + 0,3, \quad (2.51)$$

де $H_3$ – висота фільтрувального шару, м;

e – відносне розширення завантаження, %.

$$H_{ж} = (2,3 \times 25/100) + 0,3 = 0,9 \text{ м.}$$

Розрахунок збірного каналу

Під час відведення промивної води від контактного освітлювача збірний канал має забезпечувати вільний відтік і не допускати виникнення підпору на виході води з жолобів. Тому відстань від дна жолоба до дна центрального каналу слід приймати не меншою ніж:

$$B_{ж} = 1,73 \times \sqrt[3]{\frac{q_{ж}^2}{g \times B_{кан}^2}} + 0,2 \quad (2.52$$

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

$A_{кан}$ – ширина каналу, м; приймається $A_{кан} = 0,8$ м.

$$B_{ж} = 1,73 \times \sqrt[3]{\frac{0,822^2}{9,81 \times 0,8^2}} + 0,2 = 1,08 \text{ м.}$$

Площа поперечного перерізу каналу:

$$F_{кан} = B_{кан} \times H_{кан}, \quad (2.53)$$

$$F_{кан} = 0{,}8 \times 1{,}08 = 0{,}86 \text{ м}^2.$$

Швидкість руху води в кінці каналу:

$V_{кан} = 0{,}822/0{,}86 = 0{,}96$ м/с.

Визначення втрат напору при промивці контактного освітлювача

Промивання контактних освітлювачів передбачено здійснювати з резервуарів чистої води. Об'єм води, необхідний для одного промивання, визначають з урахуванням інтенсивності процесу:

$$W_{пр} = i_{пр} \times f_{ко} \times T \qquad (2.54)$$

де $f_{ко} = 5{,}48$ м$^2$ – площа контактного освітлювача,

Т = 8хв =480 с – тривалість промивання.

$$W_{пр} = 15 \times 54{,}8 \times 480 = 394{,}6 \text{ м}^3.$$

Втрати напору при промивці фільтра визначаються за формулою:

$$\sum h = H_г + h_{ко} + h_{нс} + h_{вс.м.} \qquad (2.55)$$

де $H_г$ – геодезична різниця позначок крайки жолоба контактного освітлювача й дна резервуара чистої води: $H_г$ =2,3 м;

$h_{ко}$ – втрати напору в контактному освітлювачі;

$h_{нс}$ – втрати напору в насосній станції, прийняті рівними 3,0 м;

$h_{вс.м.}$ -втрати напору на місцеві опори у всмоктувальній лінії, становлять 0,5м.

Втрати напору в розподільній системі фільтра:

$$hp.c. = (2,2/\alpha^2+1)\times v_{кол}^2 / 2\times g + v_{від}^2 / 2\times g, \qquad (2.56)$$

де $V_{КОЛ}$ – швидкість руху води в колекторі, м/с; прийнята $v_{кол}$ = 1,62 м/с;

$v_{від}$ – швидкість руху води в розподільчих трубах, м/с; $v_{від}$ = 1,62 м/с;

α – відношення суми площ всіх отворів у каналі розподільної системи до площі освітлювача.

hp.c. = (2,2/0,22+1)× 1,62 $^2$ / 19,62 + 1,62 $^2$/ 19,62 =1,61 м.

Витрати напору у фільтруючому шарі:

$$h_ф = h_{піс} \times(a + b\times w), \qquad (2.57)$$

де $h_{піс\ с}$ – повна висота піщаного завантаження, рівна 2,3 м;

a,b – параметры рівнів для піску крупністю 0,5÷2 мм відповідно 0,81 і 0,0105;

w – інтенсивність промивашія контактних освітлювачів, л/с×м².

$$h_ф = 2,3\times(0,81 + 0,0105 \times 15) = 2,2 \text{ м}$$

Втрати напору в трубопроводі, що підводить промивну воду до загального колектора розподільної системи: при витраті промивної води $Q_{пр}$=822 л/с, діаметрі d = 800 мм і швидкості v = 1,62 м/с, гідравлічний ухил i=0,00371. Тоді при довжинні трубопроводу 1 =1200 м, втрати в ньому складуть:

$h_{п.т}$= 0,00371×1200 =4,52 м.

Тоді повна величина втрат напору при промиванні контактного освітлювача:

$$h_{к.о.} = h_{р.с.} + h_{ф.с} + h_{п.т.}, \qquad (2.58)$$

$$h_{к.о} = 1,61 + 2,2 + 4,52 = 8,33 \text{ м}.$$

У такий спосіб необхідний напір на насосах для промивання контактних освітлювачів:

$$H_н=2,3+8,33+3,0+0,5=14,13\ м.$$

Прийняті до установки два насоси марки Д3200-33 (1 робочий та 1 резервний).

Технічна характеристика насоса [20]:

продуктивность 3209 м³/год.;

напір 14м;

електродвигун А4-400х-6УЗ;

потужність насоса 400 кВт;

ККД насоса 87%;

частота обертання робочого колеса 730об/хв.

Насоси для промивання контактних освітлювачів встановлені в будівлі вузла повторного використання промивних вод.

## 2.6 Розрахунок резервуарів чистої води

Повний об'єм резервуара чистої води визначається за формулою:

$$W_{РЧВ} = W_Р + W_Ф + W_П\ , \qquad (2.59)$$

де $W_Р$ – регулюючий об'єм РЧВ, м ;

$W_Ф$ – запас води, необхідний для промивки контактних освітлювачів, м$^3$;

$W_П$ – об'єм недоторканого протипожежного запасу води, м$^3$.

Регулювальний об’єм визначається за формулою:

$$W_p = Q_{доб\,max}\left[1 - K_н + (K_{год.} - 1)\left(\frac{K_н}{K_{год}}\right)^{\frac{K_{год}}{(K_{год}-1)}}\right],$$

де $Q_{доб.max}$ – витрата води за добу максимального водоспоживання, м³/доб;

$Q_{доб.max}$ = 77019 м³/доб;

*Кн* – відношення максимальної погодинної подачі води в РЧВ до середньої погодинної витрати за добу максимального водоспоживання; так як для станцій середньої продуктивности режим подачі води в РЧВ приймається рівномірним то *Кн*= 1;

$K_{год}$ – коефіцієнт погодинної нерівномірності відбору води з РЧВ, що визначається як відношення максимального погодинного відбору до середньої погодинної витрати за добу максимального водоспоживання; приймається $K_{год}$ = 1,5.

$$W_р = 77019 \times [1 - 1 + (1.5 - 1) \times \left(\frac{1}{1.5}\right)^{\frac{1.5}{1.5-1}}] = 11410\ м^3$$

Запас води, необхідний для промивки контактних освітлювачів:

$$W_{пр} \times n_{пр} \times N = 394.6 \times 2 \times 14 = 11049\ м^3$$

Об'єм пожежного запасу води в РЧВ визначається за формулою:

$$Wn = 3,6\ Q_{пож} \times t + \sum Q_{сум} - 4,17 \times Q_{макс.доб} \times t / 100, \qquad (2.61)$$

де $Q_{пож}$ – повна розрахункова витрата води на пожежегасіння, л/с;

∑Qсум – витрата води за три суміжних години максимального водоспоживання, м³. суміжними годинами максимального водоспоживання є години з 7 до 10, погодинна витрата води в ці години:

(5,84+6,24+5,63) % від Q, тобто

∑Qсум = 17,71×74057/100 = 13115 м³;

t – тривалють гасіння пожежі, год.; приймається t = 3 год. [8, п. 6.2.3].

Розрахункову витрату води на пожежогасіння визначають шляхом підсумовування витрат на гасіння трьох одночасних пожеж у житловій забудові міста (як таких, що потребують більшої витрати води) та половини витрати на ліквідацію однієї пожежі на промисловому об'єкті (як менш водомісткого випадку).) [8, п.6.2.3]:

$Q_{пож}$= 3×(40 + 5) + 0,5(10+20) = 147,5л/с,

Wn = 3,6×147,5×3 + 13115 – 4,17×77019×3/100 = 5073 м³;

*Wрчв* = 11410 + 11049+ 5073 = 27532 м³.

Приймаються 3 резервуари чистої води об'ємом 9177 м$^3$ кожний, розміри кожного резервуару в плат 42×42 м, висота РЧВ – 5,7 м.

## 2.7 Піскове господарство

Кварцовий пісок, що використовується як фільтрувальне завантаження, повинен бути попередньо очищений від сторонніх домішок і відповідати встановленим вимогам щодо гранулометричного складу. У складі піскового господарства передбачається підготовка кар'єрного піску як для первинного завантаження контактних освітлювачів, так і для їх регулярного поповнення. Обсяг щоденного дозавантаження приймається на рівні близько 10% від загальної місткості піщаного фільтрувального шару. Об'єм піску, що завантажується в контакті освітлювачі перед пуском станци:

$$W_n = N \times F_ч \times h_n, \qquad (2.62)$$

де $N$ – кількість контактних освітлювачів, N = 14;

$F_ч$ – корисна площа чарунки одного контактного освітлювача, Fч =54,8м²,

$h_n$ – висота піску у фільтруючому шарі, hп = 2,3 м.

$$W_п = 10 \times 54,8 \times 2,3 = 1260 \text{ м}^3.$$

Річна потреба в додатковш кількості піску (10% - ове дозавантаження): Wа = 1260 × 0,1 = 126 м³.

Прийиято, що в кар'єрний сировині втримується 55% піску, придатного для завантаження контактного освітлювача. Тоді потреба в кар'єрному піску перед пуском станції: $W_ï^з$ = (1260 × 100) / 55 = 2291 м³.

Річна потреба в кар'єрному піску для його дозавантаження в контактом освітлювачі:

$W_ä^з$ = (126 × 100) / 55 = 229,1 м³.

Пісковий майданчик прийнятий асфальтованим з розмірами в плані: 20×15 м ( загальною площею 300 м²), у тому числі розмір відділення для складування кар'єрної сировини 15×15м. Об'єм сировини на складі при висоті 1,0 м складе:

$$W_c = 15 \times 15 \times 1,0 = 225 \text{ м}^3.$$

Чистий відсортований пісок із крупністю зерен 0,5÷1 мм зберігається у двох залізобетонних місткостях розміром 6×6м (в осях) кожна й висотою 4 м, розміщених у цеху контактних освітлювачів. Об'єм ь цього піску:

$W_{0T}$ = 2 × 6,0 × 6,0 × 4,0 =288,0 м³.

Сортування та відмивання піску здійснюється в класифікаторі ТКП -4 продуктивнютю 5 м³/год. Тривалють роботи класифікаторів, при їх кількості 4 од., перед пуском станції:

$t_к$ = 2291/(5×4) = 114,55 години, для дозавантаження контактних освітлювачів:

$t_ч$ =229,1 /(5×4)= 11,5 год.

Об'єм води, що витрачається, перед пуском станції класифікатором:

$$W_к = q_{кл} \times t_к , \quad (2.64)$$

де $q_{кл}$ – годинна витрата води класифікатором, $q_{кл}$ = 300 м³ /год,

$t_к$ – тривалість роботи класифікатора, год.

$$W_к = 300 \times 114,55 = 34365 \text{ м}^3.$$

Витрата води для бункера-живильника визначається як кількість води, необхідна для забезпечення нормальної подачі та транспортування сипкого матеріалу (наприклад, піску) з бункера до подальших елементів системи (гідротранспортування, промивання, подача у фільтри тощо).:

$$W_б = q_б \times t_к , \quad (2.65)$$

де $q_б$ – годинна витрата води бункером, qб = 30 м³/год.

$$W_б = 30 \times 11,5 = 345 \text{ м}^3.$$

Об'єм води, що витрачаєтъся, для дозавантаження піску становить 345м³.

## 2.8 Знезараження води

Для знезараження води передбачено її обробку хлором. Введення хлорної води здійснюється у трубопроводи перед змішувачами — з метою попереднього

знезараження, а також перед резервуарами чистої води — для забезпечення остаточного знезараження.

Згідно з нормативними вимогами [1, п. 10.18.8], доза реагенту для попереднього знезараження приймається на рівні 5 мг/л. Для остаточного знезараження води, відповідно до [1, п. 10.18.8], доза становить 2 г/м³.

Витрата хлору за добу:

$$q_{хл} = Д_{хл} \times q_{год} \times 24/1000, \quad (2.66)$$

$q_{хл}$.= (5 +2) × 3209 × 24 / 1000 = 539,1 кг/доб,

$q_{хл\ попер}$. = 5 × 3209 × 24 / 1000 = 385,1 кг/доб,

$q_{хл\ втор}$. = 2 × 3209 ×24 /1000 = 154,0 кг/доба.

У будівлі хлораторної передбачено встановлення семи вакуумних хлораторів типу ЛОНИИ-100: чотири – для попереднього знезараження води, два – для остаточного знезараження, один – резервний.

Крім того, у хлораторній передбачено встановлення семи проміжних балонів (один із них резервний), призначених для затримання механічних домішок перед подачею хлорного газу з витратних балонів до хлораторів.

Кількість балонів-випарників визначається з умови забезпечення необхідної продуктивності установки при заданій годинній витраті хлору.

$$q_{год\ хл} = 539,1/24 = 22,5 \text{ кг/год.}$$

$$n = q_{год\ хл}./ S_{бал}\ , \quad (2.67)$$

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

$$n = 22,5 / 0,5 = 45 \text{ од.}$$

З метою зменшення кількості витратних балонів застосовують сталеві бочки-випарники діаметром Dб=0,746 м і довжиною Lб=1,6 м. Одна така бочка має місткість 500 л і може вміщувати до 625 кг хлору.

Інтенсивність відбору хлору становить близько 3 кг/год з 1 м² бокової поверхні бочки. За прийнятих геометричних розмірів площа бокової поверхні бочки дорівнює приблизно 3,75 м².

Вихід хлору з одшєї бочки:

$$q_б = F \times S, \qquad (2.68)$$

$q_б = 3,65 \times 3,0 = 10,96$ кг/год.

У будівлі хлораторної передбачено встановлення трьох бочок-випарників, одна з яких є резервною. Поповнення запасу хлору у випарниках здійснюється шляхом переливання його з балонів місткістю 55 л, які містять близько 69 кг зрідженого газу. Переміщення хлору відбувається за рахунок створення розрідження у бочці, що забезпечується ежектором шляхом підсмоктування газоподібного хлору. Така схема дозволяє підвищити інтенсивність випаровування до приблизно 5 кг/год.

З урахуванням цього кількість одночасно працюючих витратних балонів становить: 22,5 / 5 = 5 од.

Добова потреба у балонах визначається як: 539,1 / 69 ≈ 8 од.

У приміщенні дозаторної передбачено розміщення 24 балонів, що відповідає триденному експлуатаційному запасу. Основний обсяг хлору зберігається на витратному складі, розрахованому на забезпечення місячної потреби станції. Кількість балонів, необхідних для зберігання на складі, визначається відповідно до загальної витрати хлору за розрахунковий період:

$$n = q_б \times \mathrm{T} \times G_{бал} \qquad (2.85)$$

де Т – термін збертання хлору на складі, Т = 30 днів,
Gбал – вага зваженого газу в одному балоні, кг.

$$n_{бал.} = 539,1 \times 30/69 = 235 \text{ од.}$$

Хлорне господарство складається зі складу хлору, вузлів випару рідкого хлору й одержання хлорної води. Для даної с танції хлор поставляється в цистернах залізничним транспортом.

### 2.9 Розрахунок висотної схеми розташування очисних споруд

Висотна схема являє собою поздовжній профіль, на якому відображаються відмітки споруд за ходом руху води на очисній станції та встановлюється взаємозв'язок між абсолютними відмітками рівнів води у технологічних спорудах. Висотну схему допускається виконувати у довільному масштабі.

При побудові схеми приймаються такі втрати напору: у вертикальному змішувачі – 0,4 м; у вхідній камері – 0,4 м; у контактному освітлювачі – 2,2 м. Втрати напору на комунікаціях становлять: від змішувача до вхідної камери – 0,2 м; від вхідної камери до контактного освітлювача –0,2 м; від контактного освітлювача до резервуара чистої води – 1,0 м.

# РОЗДІЛ 3 ПРОЄКТНІ РОЗРАХУНКИ СПОРУД ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИВНИХ ВОД

## 3.1 Визначення об'єму промивних вод

У підрозділі 2.5 на підставі розрахункової залежності, наведеної у формулі (2.54), було визначено об'єм води, необхідний для проведення одного циклу промивання контактного освітлювача. Отримане значення становить 394,6 м³, що характеризує сумарну витрату води, потрібну для ефективного відновлення фільтрувальних властивостей завантаження після його експлуатації.

Зазначений об'єм враховує основні технологічні параметри процесу промивання, зокрема інтенсивність подачі води, тривалість промивки та конструктивні особливості освітлювача. Визначення цього показника має важливе значення для подальшого проєктування та розрахунку споруд обробки промивних вод, оскільки саме від нього залежить навантаження на приймальні резервуари, відстійники та інші елементи системи.

Крім того, встановлений об'єм промивної води використовується для оцінки водного балансу станції очищення, а також для обґрунтування режимів експлуатації обладнання. Його врахування дозволяє забезпечити стабільну та ефективну роботу технологічної схеми, мінімізувати перевитрати води та підвищити загальну економічність процесу очищення.

## 3.2 Визначення параметрів приймальних резервуарів для промивних вод

Для акумулювання води, що утворюється під час промивання контактного освітлювача, на очисній станції передбачено влаштування резервуарів

промивних вод у кількості Nпр.в.=2 од. [8, п. 10.25.2]. Об’єм кожного резервуара визначається виходячи з кількості води, що утворюється за один цикл промивки, і в даному випадку становить Wпром=394,6 м³.

З урахуванням конструктивних та експлуатаційних вимог прийнято два резервуари, кожен об’ємом 197,3 м³. Приймальні резервуари мають прямокутну форму в плані з розмірами 9 × 9 м та робочою глибиною води 2,5 м, що забезпечує необхідний запас об’єму для надійного приймання та тимчасового зберігання промивних вод.

Таке рішення дозволяє рівномірно розподілити навантаження між резервуарами, підвищити надійність роботи системи та забезпечити безперервність технологічного процесу очищення.

### 3.3 Гідравлічний розрахунок пісковловлювачів-відстійників

При витраті промивної води 394,6 м³/год = 0,10961 м³/с приймаються до установки вертикальні відстійники в кількості $N_в$ = 4 од.

Площа зони осадження одного відстійника визначається по формулі:

$$F_в = \beta_{об} \times q_в / (3{,}6 \times v_в \times N_в), \quad (3.1)$$

де $q_в$ – розрахункова витрата, м³/год;

$v_в$– розрахункова швидкість висхідного потоку мм/с, приймається рівної 0,45мм/с;

$N_в$ – кількість робочих відстійників;

$\beta_{об}$ – коефіцієнт об'ємного використання відстійника, приймається рівним $\beta_{об}$=1,3.

$$F_в = 1,3 \times 394,6 / (3,6 \times 0,45 \times 4) = 78 \text{ м}^2$$

Діаметр відстійника визначається по формулі:

$$Д_в = \sqrt{4 * F_â / \pi}, \quad (3.2)$$

$Д_в = \sqrt{4 \times 78/3,14} = 9$ м.

Діаметр центральної труби відстійника визначається по формулі:

$$Д_{ц.тр.} = \sqrt{\frac{4 \times q}{3600 \times N \times 3.14 \times v_{ц.тр.}}} \quad (3.3)$$

де $V_{ц.тр}$ – швидкість руху води в центральшй трубі, м/с; $V_{ц.тр} = 0,03$ м/с.

$$Д_{ц.тр.} = \sqrt{\frac{4 \times 394,6}{3600 \times 4 \times 3.14 \times 0,03}} = 1,1 \text{ м}.$$

Діаметр розтруба центральної труби визначається по формулі:

$$d_р = Д_{ц.тр.} \times 1,35. \quad (3.4)$$

$$d_{\text{р}} = 1{,}1 \times 1{,}35 = 1{,}5 \text{ м}.$$

Висота щілинного зазору $H_2$ між нижньою крайкою центральної труби та поверхнею відбивного щита визначається за відповідною розрахунковою залежністю, що враховує гідравлічні умови руху потоку в даній зоні споруди:

$$\text{H}_2 = \frac{\text{q}}{3600 \times \text{N} \times 3.14 \times \text{d}_\text{р} \times \text{v}_\text{щ}} \qquad (3.5)$$

де $v_{щ}$ – швидкість руху води в щілині, м/с; приймаєтьрся $v_{щ}$ = 0,02 м/с [8].

$$\text{H}_2 = \frac{394{,}6}{3600 \times 4 \times 3.14 \times 1{,}5 \times 0{,}02} = 0{,}3 \text{ м}.$$

Висота шару між низом відбивного щита і поверхнею осаду приймається рівною $H_3$ = 0,3 м.

Загальна висота циліндричної частини відстійаника:

$$H_{ц} = H_1 + H_2 + H_3 + H_4, \qquad (3.6)$$

де $H_1$ – розрахункова висота зони осадження; приймається $H_1$ = 3,1 м;

$H_4$– висота борта відстійника (узвишшя зовнішньої стінки відстійника над крайкою збірної водозливної стінки);

$H_4$ = 0,5 м.

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

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

$$H_к = R_в \times tg50, \quad (3.7)$$

де $R_в$ – радіус відстійника, м;

$$Н_к = (9/2) \times 1,19 = 5,36 м.$$

Об'єм конусної частини відстійника визначається по формулі:

$$W_{ос} = \pi \times R^2_в \times H_к / 3, \quad (3.8)$$

$$W_{ос} = 3,14 \times 18 \times 5,36/3 = 101 м^3.$$

Загальна висота відстійника:

$$H = H_ц + H_к, \quad (3.9)$$

$H$=4,2+5,36=9,56 м.

Витрата промивної води на один відстійник:

$$q_1 = q/N_в, \quad (3.10)$$

$q_1$=394,6/4=98,7 м³/год.

Діаметр трубопроводів, що підводить і виводить промивні води при швидкості руху води 0,6...0,9 м/с $D_{тр}$=200 мм, $v_{тр}$=0,80м/с.

Збір проясненої води здійснюється периферійними жолобами.

Обсяг осаду, що випускається, з одного відстійника:

$$V_{ос} = W_{ос} / n_{ос}, \quad (3.11)$$

де $n_{ос}$ – число випусків осаду протягом доби; приймається 2 [1].

$V_{ос}$ =101/2=50,5 м³.

Витрата осаду по трубопроводу:

$$q_{ос} = \pi d^2_{ос} v_{ос} / 4, \quad (3.12)$$

де $d_{ос}$ – діаметр трубопроводу для скидання осаду, м; для виключення засмічення трубопроводу приймається $d_{ос}$ = 200 мм = 0,2 м [6];

$v_{ос}$ – швидкість руху осаду в трубопроводі, м/с; приймається $v_{ос}$= 1,1 м/с [1].

$q_{ос}$= 3,14×0,04×1,1/4 = 0,034 м³/с.

Тривалість вивантаження осаду:

$$t_{ос} = V_{ос} / q_{ос}, \quad (3.13)$$

$t_{ос}$=50,5/0,034=1485с=24,8 хв < 1часа

Очищена вода від відстійників направляється в початок очисних споруджень. Перекачування здійснюється насосами Д200-95. Осад, що видаляється з відстійників, надходить на згущувачі. Для перекачування осаду на згущувачі використовують насоси СД16/10.

### 3.4 Розрахунок і підбір згущувальних споруд

В якості згущувачів передбачається використання вертикальних відстійників.

Площа зони осадження одного згущувача:

$$F_{зг} = \beta_{об} \times q_{зг} / (3{,}6 \times v_{зг} \times N_{зг}), \quad (3.14)$$

де $\beta_{об}$ – коефіцієнт що враховує об'ємне використання згущувача; приймається $\beta_{об}$ = 1,3 [1, п.6.63].

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

$v_{зг}$ – швидкість висхідного потоку, мм/с; $v_{зг}$ = 0,5 мм/с [8, табл.18];

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

Розрахункова витрата осаду визначається за формулою:

$$q_{зг} = W^{від}_{ос} / T_{ск}, \quad (3.15)$$

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

$W^{від}_{ос}$ = 101 м$^3$;

$T_{ск}$ – тривалість скиду осаду з відстійника, год; $T_{ск}$ = 20 хв. = 0,33 год. [8,дод.9,п.10].

$$q_{зг} = 101 / 0{,}33 = 306 \text{ м}^3/\text{год},$$

$$F_{зг} = 1{,}3 \times 306 / (3{,}6 \times 0{,}5 \times 4) = 55{,}25 \text{ м}^2$$

Діаметр згущувача визначається за формулою:

$$Д_{зг} = \sqrt{4 * F_{çã} / \pi}, \quad (3.16)$$

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

$$H_к = R_{зг} \times tg50°, \quad (3.17)$$

де $R_{зг}$ – радіус згущувача, м; $R_{зг}$ = 8/ 2 = 4 м.

$H_к$ =4 × 1,19 = 4,8 м

Об'єм конусної частини:

$$W_{ос.} = \pi \times R_{зг}^2 \times H_к / 3, \quad (3.18)$$

$W_{ос}$ = 3,14 × 16 × 4,8/3 = 80 м$^3$.

### 3.5 Обґрунтування параметрів фільтр-пресів

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

$$G = m_m / (F \times \tau_ц), \quad (3.19)$$

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

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

$\tau_ц$ – тривалість зневоднення, год.

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

$$\tau_ц = \tau_{зап} + \tau_ф + \tau_{пр} + \tau_{доп}, \quad (3.20)$$

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

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

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

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

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

Маса сухих речовин визначається за формулою:

$$m_m = V_{кам} \times C_{вих}, \quad (3.21)$$

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

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

$$C_{вих} = (100 - W_{вих}) \times \rho_{ос} / 100, \quad (3.22)$$

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

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

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

$$m_m = 0,11 \times 33 = 3,63 \text{ кг}$$

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

Приймається 1 робочий і 1 резервний фільтр-прес.

Технічна характеристика принятих фільтр-пресів:

- робочій тиск - 1,2 МПа;
- число фільтруючих плит - 6;
- ширина фільтруючій тканини - 750 мм;
- габаритні розміри - 2660 × 1760 × 2750 мм;

маса з комплектуючим устаткуванням - 6300 кг.

# РОЗДІЛ 4. АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ

## 4.1Аналіз технологічного процесу з позиції керування

Процес коагуляції належить до початкових етапів підготовки та очищення води. На цій стадії автоматизуються операції, пов’язані з транспортуванням реагентів, їх подрібненням і дозуванням. Введення реагентів передбачено у вигляді водних розчинів.

Автоматизація процесу коагуляції забезпечує стабільне та безперервне подавання реагентів у необхідних об’ємах, що сприяє спрощенню експлуатації очисних споруд, зменшенню витрат реагентів і вихідної води, а також підвищенню ефективності очищення води.

Відповідно до прийнятої технологічної схеми очищення, коагулянт надходить до розчинного бака, у якому готується розчин концентрацією 15 %. Далі розчин подається у витратний бак, де його концентрація знижується до 5 %, після чого реагент рівномірно подається до змішувача.

Функціональна схема автоматизації приготування та дозування коагулянту включає декілька замкнених систем автоматичного регулювання, а також систему контролю витрати вихідної води.

Система автоматичного регулювання забезпечує підтримання заданої концентрації коагулянту в розчинному баці. Для цього в баку встановлюється датчик-концентратомір, сигнали з якого надходять до регулятора-контролера. Регулятор через виконавчі механізми (засувки з електроприводом) керує подачею коагулянту та води до розчинного бака, а також координує роботу повітродувки, що забезпечує рівномірне перемішування та стабільність концентрації розчину.

Система автоматичного регулювання рівня розчину у витратному баці складається з регулятора рівня та рівнеміру, датчик якого встановлений у баці. За допомогою регулятора формується сигнал, який керує роботою насоса для перекачування розчину з розчинного у витратний бак. Для підтримки постійного об'єму коагулянту в баці при зниженні рівня розчину нижче припустимого автоматично включається насос перекачування.

Система дозування коагулянту функціонує таким чином. На трубопроводі подачі коагулянту та водопроводі вихідної води встановлюються витратоміри, інформація з яких надходить на регулятор. Регулятор аналізує отримані дані та видає сигнал на виконавчий механізм, за допомогою якого змінюється положення регулювального органу, який встановлено на трубопроводі розчину коагулянту. Це приводить до змінення кількості коагулянту, який подається, відповідно до кількості вихідної води.

Схема автоматизації коагуляції води також здійснює автоматичний контроль витрати вихідної води, що забезпечується використанням відповідного вимірювального устаткування.

## 4.2 Розроблення функціональної схеми системи автоматизації

Схема автоматизації процесу коагуляції складається із САР концентрації коагулянту в розчинному баці, САР рівня розчину у витратному баці, системи автоматичного регулювання співвідношення «вихідна вода-розчин коагулянту» у змішувачі та системи контролю витрати вихідної води.

Система регулювання співвідношення «вода-розчин коагулянту» містить наступні прилади та засоби автоматизації [11,12]:

- ротаметр *H250/RR/ME* (поз. 1а на функціональній схемі), вторинний прилад типу *Multitrend S* (поз.1б), за допомогою цього вимірювального комплекту вимірюється, реєструється та візуально відображаються витрати розчину коагулянту, який подається у змішувач;

- діафрагма типу ДКС 10-50-1 (поз.1в), вимірювальний перетворювач перепаду тиску *Enderss FM78* (поз.1г) і вторинний прилад типу *Multitrend SX* (поз. 1д), комплект цих пристроїв дозволяє виконувати вимірювання та реєстрацію величини витрати води, що подається у змішувач;

- регулятор типу *Multicont PE* (поз. 1е), який забезпечує формування керуючого впливу та роботу системи керування;

- задатчик типу *САУ-М2Е-Щ1* (поз. 1з);

- виконавчий механізм засувка з електроприводом (поз.1к), який приводиться в дію магнітним пускачем типу ПБР2 (поз. 1і);

- кнопки перемикання режиму роботи системи (поз. 1ж), за допомогою яких реалізується як автоматичний, так і ручний режим роботи. Ручний режим роботи здійснюється також за допомогою блоку *САУ-М2Е-Щ1* (поз. 1з).

Згідно зі схемою відбувається безперервне вимірювання витрати вихідної води і розчину коагулянту. Співвідношення цих витрат у регуляторі порівнюється із значенням, яке встановлене на задатчику. При відхиленні поточного значення співвідношення від заданного регулятор формує сигнал, який через магнітний пускач впливає на виконавчий механізм. Виконавчий механізм змінює прохідний перетин трбопроводу подачі розчину коагулянту в змішувач шляхом зміни положення засувки, яка встановлюється на трубопроводі. Процесс відбувається доти, поки співвідношення «вихідна вода-розчин коагулянту» не досягне значення, встановленого на задатчику. Тоді виконавчий механізм зупиняється, а параметр, що регулюється, встановлюється на заданному значенні.

Витрата вихідної води контролюється за допомогою вимірювального комплекту, до складу якого входить діафрагма *ДЕКС 10-0-1* (поз. 2а), перетворювач різниці тисків *Enderss +Hauser FMD78* (поз.2б) і вторинний прилад, який показує та реєструє (поз. 2в). Номенклатура пристроїв і приладів така ж, як і системі регулювання, що розглядається вище.

Система регулювання рівня розчину у видатковому баці складається із датчика рівнеміра типу *ДРК.М20А5* (поз. 3а), рівнеміру-регулятору з дистанційною передачею електричного сигналу типу *ТРМ212* (поз. 3в), вторинного приладу типу *Multitrend SX* (поз.3б). Сигнал з рівнеміра надходить на регулятор, де він порівнюється із сигналом, встановленим на задатчику. При невідповідності цих сигналів регулятор виробляє імпульс, що подається в систему керування насосом перекачування розчину коагулянту з розчинного у витратний бак. Насос включається і робить накачування розчину в бак до значення рівня, встановленого на задатчику. Згідно із даною схемою передбачається можливість ручного регулювання рівня, для чого служить перемикач режиму роботи (поз. 3г) та блок ручного керування (поз.3д).

Концентрація коагулянту в розчинному баці контролюється за допомогою датчика *ACS-X3K2T* (поз.4а) концентратора типу *ACM-X2SOK* (поз.4б).Ступінь концентрації регулюється таким чином. Якщо концентрація у баку знижується нижче нижнього запрограмованого значення, регулятор-концентратор через пускач пускає в хід виконавчий механізм (поз.4з), що відкриває засувку подачі коагулянту. Якщо концентрація коагулянту підвищується більше за верхнє встановлене значення, засувка на трубопроводі подачі коагулянту закривається, при цьому регулятор формує керуючий сигнал на виконавчий механізм (поз.4в), який відкриває засувку подачі води на водопроводі. Одночасно з цим включається повітродувка та відбувається змішування коагулянту з водою. Якщо концентрація коагулянту набуває необхідного значення, закривається засувка

подачі води та відключається повітродувка і коагулянт змішується з водою. Коли концентрація коагулянту набуває необхідного значення, закривається засувка подачі води та відключається повітродувка. Як і у розглянутих вище схемах, у цій системі є можливість ручного керування концентрації коагулянту за допомогою елементів 4г 4д, 4і, 4ж, 4е.

# РОЗДІЛ 5. ЕКОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ

В кваліфікаційній роботі розроблена схема очищення забруднених вод після промивання контактних освітлювачів. Після промивання освітлювачів забруднена вода надходить у резервуар, відкіля направляється на очищення на відстійник потім на згущувачі звідти на фільтр-прес. Таким чином, забруднена промивна вода проходить очищення і відправляється в початок очисних споруд. Завдяки розробленій системі очищення промивних вод підприємством у водойму не буде скидатися вода та коагулянт.

Визначимо кількість води, що не буде скидатися у водойму за формулою:

$$Q=q_{пром}\times t_{пр}\times n_{пр}\times N/1000, \quad (5.1)$$

де $n_{пр}$ – число промивань одного контактного освітлювача за добу; прийнято $n_{пр} = 2$[1];

$N$ – кількість контактних освітлювачів; $N = 14$.

$$Q=822л/с\times480с\times2\times14/1000=11047,7м^3/доб$$

Очищена промивна вода повторно використовується підприємством на власні потреби. Враховуючи вартість чистої води, яка складає 17,5 грн/м$^3$ підприємством протягом року заощаджується:

$$11047,7\times17,5\times365=70567183,8 \text{ грн/доб за рік.}$$

Кількість коагулянта, що затримується:

$$Q_к = Q \times D_к, \quad (5.2)$$

де, $D_к$ – доза коагулянту, $D_к$=34 мг/л=34 г/м$^3$.

$Q_к$=11047,7×34×1000=375,621800 кг=0,376 т.

# ВИСНОВКИ

1. У кваліфікаційній роботі виконано аналіз теоретичних та нормативних основ проєктування водоочисних споруд міської критичної інфраструктури, а також обґрунтовано вибір технологічної схеми очищення природної води.
2. Відповідно до вихідних даних: продуктивність очисних споруд 774045 м³/добу, каламутність води – 900 мг/л, кольоровість – 70 град, прийнято технологічну схему очищення із застосуванням контактних освітлювачів.
3. Запроєктована схема включає:
- 2 вхідні камери з барабанними сітками;
- 5 змішувачів для введення реагентів;
- 14 секцій контактних освітлювачів розміром 7,4×7,4 м.
4. У роботі виконано гідравлічні та конструктивні розрахунки основних споруд водоочисного комплексу, що підтвердило працездатність і надійність прийнятих проєктних рішень.
5. Розроблено схему обробки промивних вод із повторним використанням очищеної води на потреби підприємства. Об’єм повторно використаної води становить 11047,7 м³/добу. Враховуючи вартість очищеної води 17,5 грн/м³, економічний ефект від повторного використання промивних вод становить:
11047,7×17.5×365=70567183.8 грн/рік тобто близько 70,6 млн грн економії на рік.
6. У процесі очищення затримується коагулянт у кількості:
$Q_к$=11047.7×34×1000=375621800 мг≈0.376 т, що дозволяє зменшити негативний вплив на навколишнє середовище та підвищити екологічну безпеку роботи підприємства.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про водовідведення та очищення стічних вод : закон України. [чинний від 12.01.2023]. № 2887-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2887-IX?utm_source=chatgpt.com#Text

2. Душкін , С., Ковтун , Д. (2024). Sнтенсифікація процесів іонного обміну в системах водопостачання. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*, (46), 4–13. https://doi.org/10.32347/2524-0021.2024.46.4-13

3. Кравченко, О. ., Хоружий, В. ., & Каніболоцький, В. (2022). Особливості експлуатації систем питного водопо-стачання в умовах воєнного часу. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*, (38), 18–37. https://doi.org/10.32347/2524-0021.2022.38.18-37

4. Чушкіна, І., Максимова, Н., & Семеняка, І. (2022). Вплив днопоглиблювальних робіт на екологічний стан малої річки з урахуванням складу донних відкладень. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*, (40), 65–77. https://doi.org/10.32347/2524-0021.2022.40.65-77

5. Фостащенко, О. М., Добровольська, О. Г., Фостащенко, Д. О. (2025). Впровадження нормативних, санітарно-технічних та ландшафтно-містобудівних заходів для відновлення малих річок Запорізького регіону. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві, 23, 381-394. https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13(23)-33

6. Водний кодекс України. URL : https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80/ed20210317#Text

7. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». [Чинний від 2010-05-12]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2010. 35 с. (Інформація та документація). URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/sanpin/dsanpin_2_2_4_171_10/25-1-0-1180

8. ДБН В.2.5 – 74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01] Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2013. 172 с. URL: https://tehnadzor.cc/pages/dbn-v-2-5-74-2013-vodopostachannya-zovnishni-mereji-ta-sporudy-osnovni-polojennya-proektuvannya.php

9. ДСТУ 7525:2014 Національний стандарт України. Вода питна. Вимоги та контролювання якості . [Чинний від 2015-02-01] Вид. офіц. Київ: Міністерство економічного розвитку України, 2014. 26 с. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/1-10672-dstu_voda_pytna.pdf

10. Rousso B., Willetts J., Amin N., Foster T.(2024). Water and Sanitation Technologies for Health-care Facilities: A literature review of current and emerging water and sanitation technologies for health-care facilities. *World Health Organization..30p.* URL: https://www.researchgate.net/publication/388180764_Water_and_Sanitation_Technologies_for_Health-care_Facilities_A_literature_review_of_current_and_emerging_water_and_sanitation_technologies_for_health-care_facilities

11. Kuzminichuk, A. V., & Astrelin, I. M. (2018). Review of actual methods and technologies of water treatment in field conditions. *Water and Water Purification Technologies. Scientific and Technical News*, *23*(2), 15–26. https://doi.org/10.20535/2218-93002322018144956

12. Guth D., Herák D. Modern Water Treatment Technology Based on Industry 4.0 // Sensors. 2025. Vol. 25(6). 1925. DOI: URL: 10.3390/s25061925. https://www.mdpi.com/1424-8220/25/6/1925

13 Проценко, С., Кізєєв, М., & Новицька, О. (2023). Вплив воєнних дій на умови роботи міських очисних споруд водовідведення м. Харків. *Проблеми*

*водопостачання, водовідведення та гідравліки*, (43), 53–63. https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.43.53-63

14. Проценко, С., Кізєєв, М., Новицька, О., & Кравченко, Н. (2025). Напрями оновлення нормативної бази України у сфері водовідведення. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*, (52), 101–110. https://doi.org/10.32347/2524-0021.2025.52.101-110

15. Уряднікова, І. (2025). Дослідження взаємозв'язку надійності, ризиків і безпеки систем водоочищення. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*, (49), 85–93. https://doi.org/10.32347/2524-0021.2025.49.85-93

16. Добровольська О., Чудновський П. Б. Застосування ефективних технологій відновлення мереж транспортування води у післявоєнний період. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2023. № 19. С. 58–67. DOI: 10.36910/6775-2410-6208-2023-9(19)-07

17. Кравченко, О., Куба, Т., Потапенко, С., Хоружий, В., Аргатенко, Т., Бакуновський, О. (2023). Планування та організація децентралізованих систем водопостачання у воєнний період в Україні. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*, (44), 29–39. https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.44.29-39

18. Повітродувки. URL: https://pumpcentre.com.ua/ua/vozduhoduvki/?srsltid=AfmBOorRGANZvqKusPvjNaigCOibBes1kEKdVX-atcdam2t-5MVnf0D0

19. HUBER Technology. Drum Screen RoMesh® (ROTAMAT). [Електронний ресурс]. URL: https://www.huber-se.com/en-us/products/detail/huber-drum-screen-romesh/

20. Насос відцентровий Д 3200-33. URL: https://sumnt.com/produkciya/d-nbsp-3200-33-2-3/