

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ БУДІВНИЦТВА, ЗЕМЛЕУСТРОЮ
ТА ЦИВІЛЬНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**

**КАФЕДРА ВОДОПОСТАЧАННЯ, ВОДОВІДВЕДЕННЯ І
ОЧИЩЕННЯ ВОД**

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи бакалавра

на тему

**ОЧИСНІ СПОРУДИ СТІЧНИХ ВОД
ПРОДУКТИВНІСТЮ 130 000 МЗ/ДОБУ**

Виконав:

здобувач 3-го курсу, групи ЦІ 2023-1у
спеціальності 192 – Будівництво та цивільна
інженерія освітньої програми Цивільна
інженерія

Осіпов Д. О.

Керівник доц. Галкіна О. П.

Рецензент к.т.н., доц. Айрапетян Т.С.

Харків – 2026 року

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА імені О.М. БЕКЕТОВА**

Інститут Навчально-науковий інститут Будівництва, землеустрою та цивільної інженерії

Кафедра Водопостачання, водовідведення і очищення вод

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 192 – Будівництво та цивільна інженерія

Освітня програма Цивільна інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри ВВ і ОВ

проф. Карагяур А. С.

“ _____ ” _____ 2026 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБАВАЧУ ОСВІТИ**

Осіпову Данилу Олександровичу

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра «Очисні споруди стічних вод продуктивністю 130 000 м³/добу»

керівник роботи Галкіна Олена Павлівна, канд. техн. наук, доц.

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ 26 ” 05 2026 року № 447-03




2. Строк подання студентом роботи 08.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: Обґрунтувати метод очищення стічних вод на діючих очисних спорудах міста. Характеристика стічних вод очисних споруд: добова витрата 130 тис. м³/доб, рН – 7,2 од.; ХСК – 713,36 мгО/дм³, БПК₅ – 370,24 мгО₂/дм³, завислі речовини – 440,07 мг/дм³; азот амонійний – 56,4 мг/дм³; азот нітратів – 0,27 мг/дм³; азот нітритів – 0,02 мг/дм³; фосфор фосфатів – 5,06 мг/дм³; температура 10–22 °С.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1 Загальні відомості; 2 Технологічна частина. 3 Автоматизація технологічних процесів. 4 Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Технологічна частина – 7 креслень;

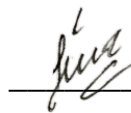
6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Загальні відомості	доц. Галкіна О. П.		
2. Технологічна частина	доц. Галкіна О. П.		
3. Автоматизація технологічних процесів	доц. Галкіна О. П.		
4. Охорона праці	доц. Барбашин В. В.		
Показник оригінальності кваліфікаційної роботи бакалавра	доц. Сорокіна К. Б.		
Допуск до захисту	проф. Карагяур А. С.		

7. Дата видачі завдання 04.05.2026 року**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Збір та вивчення даних для роботи	11.05 – 24.05.2026	
2	Загальні відомості	11.05 – 31.05.2026	
3	Технологічна частина	25.05 – 07.06.2026	
4	Автоматизація технологічних процесів	25.05 – 07.06.2026	
5	Охорона праці	25.05 – 07.06.2026	
6	Допуск до захисту	25.05 – 07.06.2026	

Здобувач освіти



Данило ОСІПОВ

Керівник роботи



Олена ГАЛКІНА

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ	8
1.1 Характеристика об'єкта	8
1.2 Показники якості вихідної води, що надходять на очисні споруди	12
1.3 Обґрунтування прийнятої схеми та методу очищення стічних вод	12
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	19
2.1 Розрахунок витрати стічних вод та їх складу	19
2.2 Розрахунок споруд механічного очищення стічних вод	20
2.2.1 Розрахунок відходів з решіток тонкого очищення	20
2.2.2 Розрахунок піскоуловлювачів	26
2.2.3 Розрахунок первинних відстійників	30
2.3 Розрахунок біологічного очищення стічних вод	36
2.3.1 Розрахунок аеротенок	36
2.3.2 Розрахунок споживання повітря	40
2.3.3 Розрахунок вторинних відстійників	42
2.3.4 Розрахунок споруд видалення фосфору	43
2.4 Розрахунок споруд для обробки осадів	44
2.4.1 Механічне зневоднення суміші осадів.....	44
2.4.2 Мембранне компостування осадів стічних вод.....	47
2.5 Параметри основних ємнісних споруд.....	52
3 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ	53

4	ОХОРОНА ПРАЦІ	57
4.1	Забезпечення вибухо- та пожежобезпеки на об'єкті.....	57
4.2	Технічні заходи з вибухозахисту	57
4.3	Заходи з пожежної безпеки	58
4.4	Іскробезпека	58
4.5	Організаційні заходи	59
4.6	Заходи проти розгерметизації та викидів	59
4.7	Заходи безпеки в умовах військової агресії	59
4.8	Охорона праці на об'єкті	60
	ВИСНОВКИ	65
	СПИСОК ДЖЕРЕЛ	67

ВСТУП

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з чотирьох розділів, у яких наведено характеристику об'єкта дослідження, виконано необхідні технологічні та інженерні розрахунки, а також розроблено заходи з охорони праці. Робота містить висновки, список використаних джерел, що налічує 29 найменувань, та графічну частину, представлену сімома кресленнями. Загальний обсяг роботи становить 69 сторінок друкованого тексту, 15 таблиць та 6 рисунків.

Водні ресурси є одним із найважливіших компонентів природного середовища, від стану яких залежить екологічна безпека територій, здоров'я населення та сталий розвиток господарської діяльності. Збільшення обсягів водоспоживання, урбанізація та розвиток промисловості супроводжуються зростанням кількості стічних вод, що потребують якісного очищення перед поверненням у навколишнє середовище. Недостатній рівень очищення стічних вод призводить до надходження у водні об'єкти органічних і мінеральних забруднень, біогенних елементів та патогенних мікроорганізмів, що негативно впливає на екологічний стан водойм і порушує природний баланс водних екосистем [1-4].

У зв'язку з посиленням екологічних вимог до якості очищених стічних вод особливого значення набуває впровадження сучасних технологій очищення та модернізація існуючих каналізаційних очисних споруд. Ефективність функціонування таких об'єктів визначається раціональним вибором технологічних процесів, застосуванням високопродуктивного обладнання, впровадженням автоматизованих систем керування та використанням екологічно безпечних способів поводження з осадами [5-10].

Предметом даної кваліфікаційної роботи бакалавра є проектування комплексу очисних споруд стічних вод продуктивністю 130 тис. м³/добу. На очищення надходить суміш господарсько-побутових і виробничих стічних вод, що характеризуються підвищеним вмістом завислих речовин, органічних забруднень, а також сполук азоту та фосфору. Для забезпечення необхідної якості

очищення виникає потреба у застосуванні сучасної багатоступеневої технологічної схеми. Тому, метою роботи є розроблення ефективного комплексу очисних споруд, здатного забезпечити досягнення нормативних показників якості очищених стічних вод, які скидаються у водний об'єкт, а також підвищення надійності та екологічної безпеки системи водовідведення. Для реалізації поставленої мети в роботі передбачено вирішення таких завдань:

- аналіз характеристик та складу стічних вод, що надходять на очищення;
- вибір і технічне обґрунтування технологічної схеми очищення;
- виконання розрахунків споруд механічного очищення;
- впровадження споруд біологічного очищення з реалізацією процесів нітрифікації, денітрифікації та видалення фосфору;
- визначення параметрів систем подачі повітря та аерації;
- розрахунок споруд для обробки осадів із застосуванням механічного зневоднення та мембранного компостування;
- розроблення систем автоматизованого контролю та керування технологічними процесами;
- забезпечення вимог виробничої безпеки та охорони праці під час експлуатації споруд.

У роботі передбачено використання сучасних технологічних рішень, спрямованих на підвищення ефективності очищення стічних вод, зменшення енергоспоживання та мінімізацію впливу на довкілля [4-10]. Зокрема, застосовуються автоматизовані системи моніторингу технологічних параметрів, ультрафіолетове знезараження очищеної води та сучасні методи утилізації осадів шляхом мембранного компостування. Запропоновані технічні рішення забезпечують стабільну та надійну роботу очисних споруд, сприяють покращенню стану водних ресурсів і підвищують рівень екологічної безпеки регіону.

ОЧИСТКА СТІЧНИХ ВОД, РЕШТКА, АЕРОТЕНК, МЕМБРАННЕ КОМПОСТУВАННЯ.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Згідно з технічним завданням, у межах кваліфікаційної роботи передбачається розроблення комплексу очисних споруд стічних вод розрахунковою продуктивністю 130 тис. м³ на добу.

Основною метою роботи є підвищення ефективності функціонування системи очищення стічних вод шляхом удосконалення технологічних рішень та впровадження сучасних методів очищення. Запропоновані заходи спрямовані на забезпечення стабільного досягнення нормативних показників якості очищених стічних вод відповідно до вимог природоохоронного та санітарного законодавства. Реалізація проєктних рішень дозволить забезпечити необхідний рівень видалення забруднювальних речовин, а також досягти встановлених санітарно-гігієнічних, мікробіологічних і паразитологічних показників безпеки після знезараження стоків. Це створить умови для безпечного відведення очищених стічних вод у поверхневі водні об'єкти без порушення екологічних нормативів та вимог щодо охорони водних ресурсів.

Об'єктами каналізування очисних споруд є житлова забудова міста та промислові підприємства. Частка виробничих стічних вод у загальному об'ємі стоків становить близько 13,5 %.

1.1 Характеристика об'єкта

Об'єкт проєктування – очисні споруди каналізації потужністю 130 000 м³/доб. Очисні споруди призначені для очищення суміші господарсько-побутових стічних вод та близьких до них за складом виробничих стічних вод міста.

Подача стічних вод на територію очисних споруд здійснюється через дві центральні насосні станції:

- ЦНС-1 забезпечує подачу стічних вод на першу чергу очисних споруд;
- ЦНС-2 подає стічні води на другу та третю черги.

До складу очисних споруд входять споруди механічного та біологічного очищення, вузол знезараження стічних вод, а також комплекс обробки й зневоднення осаду.

Частина стічних вод від центральної частини міста, району та зливної станції самопливом по колектору діаметром 600 мм надходить до приймальної камери ЦНС-1. Інша частина стічних вод від каналізаційних насосних станцій транспортується напірними колекторами діаметром 600 та 1000 мм до приймальної камери будівлі решіток ЦНС-2.

У приймальній камері встановлені механічні решітки для затримання крупних плаваючих забруднень. Відходи, що затримуються на решітках, накопичуються у контейнерах та вивозяться на полігон твердих побутових відходів.

Після механічного очищення стічні води насосами подаються на пісколовки з круговим рухом води, де відбувається видалення мінеральних домішок розміром 0,25–1 мм. Пісок, затриманий у пісколовках, видаляється за допомогою гідроелеваторів до піскових бункерів.

Після пісколовок стічні води надходять до первинних відстійників. На першій черзі очисних споруд використовуються вертикальні відстійники квадратної форми з конічним днищем, а на другій та третій чергах — радіальні відстійники.

У первинних відстійниках відбувається видалення завислих речовин зі стічних вод шляхом осадження.

Осад, що накопичується у первинних відстійниках, на першій черзі видаляється під дією гідростатичного тиску, а на другій і третій чергах збирається мулоскребами у приямок та насосами подається до цеху механічного зневоднення осаду.

Освітлені після первинного відстоювання стічні води надходять на біологічне очищення до аеротенків. На всіх трьох чергах очисних споруд аеротенки працюють із 25 % регенерацією поверненого активного мулу.

Аеротенк являє собою залізобетонний резервуар, у якому освітлена стічна вода змішується з активним мулом. Подача стічних вод і циркуляційного активного мулу здійснюється зосередженим способом.

Для забезпечення життєдіяльності мікроорганізмів активного мулу до аеротенків подається стиснене повітря від повітродувної станції. Розподіл повітря здійснюється за допомогою аераційних труб або пластинчастих аераторів.

Після аеротенків мулова суміш надходить до вторинних відстійників. На першій черзі застосовуються вертикальні конічні відстійники квадратної форми, а на другій та третій чергах — радіальні відстійники.

У вторинних відстійниках відбувається відокремлення активного мулу від очищеної води. Осаджений активний мул повертається до аеротенків як рециркуляційний мул.

Видалення активного мулу з вторинних відстійників першої черги здійснюється під дією гідростатичного тиску через систему скидних камер. На другій та третій чергах відведення мулу проводиться мулососами за рахунок різниці рівнів води у відстійниках та мулових камерах.

Повернений активний мул з першої та другої черг очисних споруд надходить до мулового резервуара, звідки насосами, встановленими у повітродувній станції №1, подається до регенераторів. На третій черзі повернений мул після вторинних відстійників транспортується до регенератора за допомогою ерліфтів та/або занурювальних насосів.

Після вторинних відстійників очищена вода надходить до контактних резервуарів, куди також подається хлорна вода для знезараження. Після завершення процесу знезараження очищені стічні води з усіх трьох черг відводяться самопливним колектором діаметром 1000 мм до водного об'єкта.

Сирий осад із первинних відстійників усіх черг насосами подається до камери змішування споруд промивання та ущільнення осаду. Із камери змішування осад надходить до камери промивання, куди для підвищення ефективності процесу додатково подаються стиснене повітря та технічна вода.

Подача повітря здійснюється від існуючої повітрорудної станції. Для видалення піску, що утворюється під час промивання осаду, у камері встановлено гідроелеватор.

Після промивання сирий осад надходить до мулоущільнювача діаметром 30 м, обладнаного скребковим механізмом для збирання ущільненого осаду. Далі ущільнений осад насосами перекачується до приймального резервуара цеху механічного зневоднення осаду.

Перед зневодненням осад обробляється розчином флокулянту та подається на стрічковий згущувач, після чого надходить на стрічкові фільтр-преси. Зневоднений осад завантажується в автотранспорт і транспортується на спеціалізований майданчик для компостування. У разі аварійної зупинки цеху механічного зневоднення осаду або неможливості подачі осаду на зневоднення сирий осад перекачується на існуючі мулові ставки.

Розташування території в межах помірного кліматичного поясу зумовлює помірно континентальний тип клімату, для якого характерні тепле літо та помірно холодна зима.

Кліматичні характеристики району будівництва наведені у таблицях 3.2 та 3.3. Для холодного періоду року характерні низькі температури повітря, тривалий опалювальний сезон та підвищена вологість повітря. Абсолютний мінімум температури становить $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$, а температура найбільш холодної п'ятиденки забезпеченістю 0,92 дорівнює $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Тривалість періоду із середньодобовою температурою повітря нижче $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ складає 139 діб, а середня температура цього періоду становить $-6,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Переважаючий напрямок вітру у зимовий період — південний.

Для теплого періоду року характерне тепле літо з середньою максимальною температурою найтеплішого місяця $26,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Абсолютна максимальна температура повітря досягає $41\text{ }^{\circ}\text{C}$. Кількість опадів за теплий період року становить 341 мм, а переважаючий напрямок вітру влітку — північний.

Температура повітря за місяцями наведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Середньорічна температура повітря

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Температура (середні значення), °С	-9,4	-8,8	-3,5	6,9	14,5	18,4	20,1	18,7	12,7	5,5	-1,4	-6,3

1.2 Показники якості вихідної води, що надходять на очисні споруди

У таблиці 1.2 наведено показники складу стічних вод, що надходять на очисні споруди, а також гранично допустимі концентрації забруднювальних речовин для скидання очищених стічних вод у водний об'єкт.

Таблиця 1.2 – Якісні показники стічних вод, що надходять на очищення, та нормативні вимоги до скидання

№ з/п	Найменування	Одиниця вимірювання	Показник	Вимоги на скид
1.	pH	од.	7,2	6,5-8,5
2.	ХСК	мгО ₂ /дм ³	713,36	80,0
3.	БСК ₅	мгО ₂ /дм ³	370,24	8,0
4.	Завислі речовини	мг/дм ³	440,07	10,0
5.	Азот амонійний	мг/дм ³	56,4	1,0
6.	Азот нітритів	мг/дм ³	0,02	0,1
7.	Азот нітратів	мг/дм ³	0,27	9,0
8.	Фосфор фосфатів	мг/дм ³	5,06	0,7
9.	Температура мін./макс.	°С	10/22	-

1.3 Обґрунтування прийнятої схеми та методу очищення стічних вод

Для досягнення нормативних показників якості очищених стічних вод при їх скиданні у водний об'єкт технологічна схема очисних споруд продуктивністю 130 тис. м³/добу повинна включати основні технологічні вузли, наведені на рисунку 1.1.

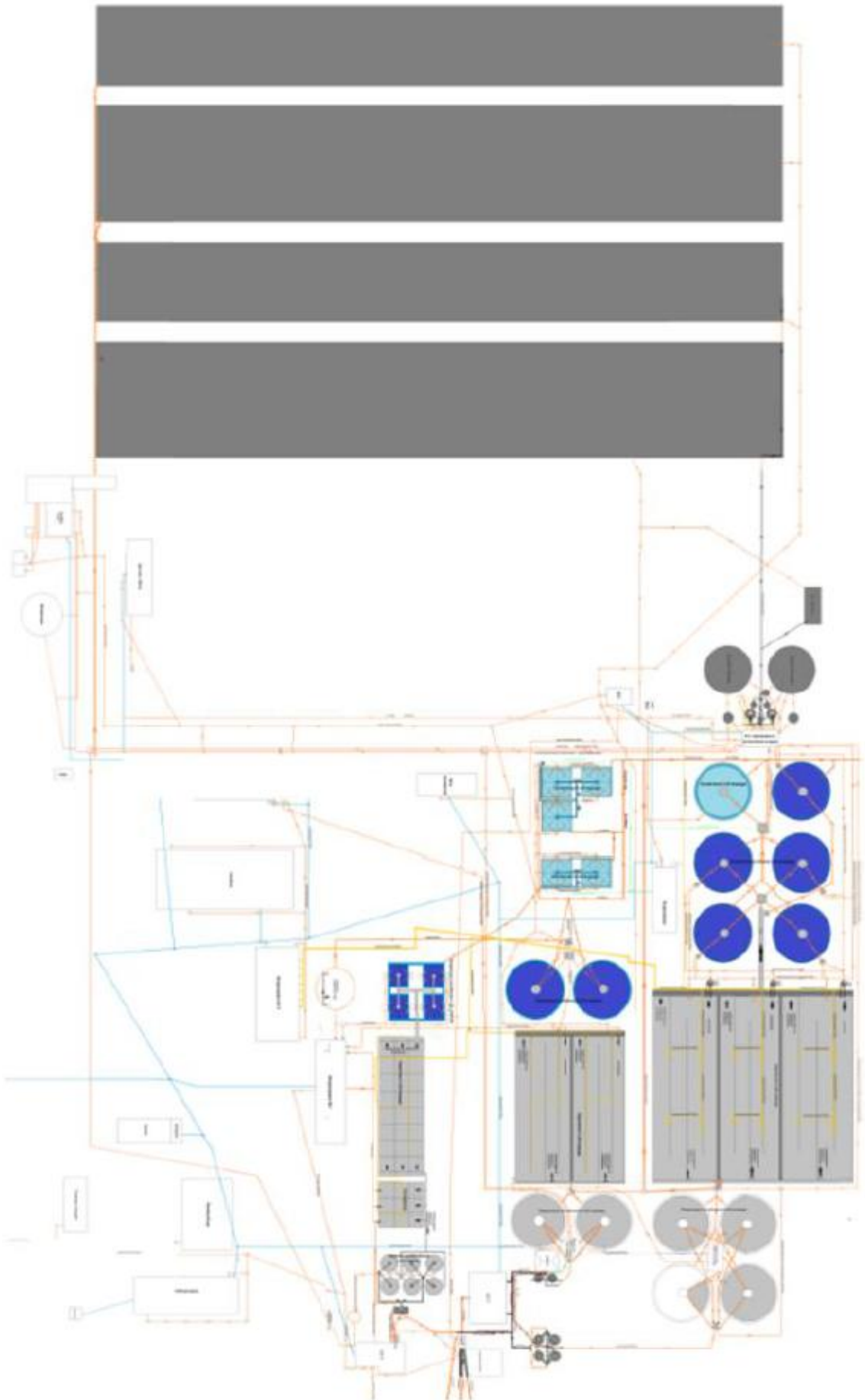


Рисунок 1.1 – Технологічна схема очисних споруд

Аналіз технологічної схеми очищення (рис. 1.1) показав, що основні етапи очищення стічних вод та обробки осадів очисних споруд включають:

- приймання стічних вод;
- механічне очищення стічних вод;
- біологічне очищення;
- знезараження та скид очищених стічних вод;
- механічне зневоднення осадів;
- стабілізацію та знезараження осадів.

Приймання стічних вод. Приймання стічних вод від міської каналізаційної мережі передбачено у камері гасіння напору головної насосної станції. Перед приймальним резервуаром насосної станції запроєктовано канали з установленими комплексами решіток та дробарок сухого виконання, що забезпечує зручність експлуатації обладнання.

Затримані на решітках відходи подрібнюються та повертаються у потік стічних вод для подальшого вилучення на стадії тонкого механічного очищення. Такий підхід дозволяє уникнути необхідності окремого транспортування, пресування та знезараження відходів.

Розмір прозорів решіток прийнято відповідно до допустимих умов роботи насосного обладнання для перекачування стічних вод.

Після попереднього механічного очищення стічні води насосами подаються до будівлі решіток та піскопромивачів.

До камери гасіння напору головної насосної станції, окрім господарсько-побутових та виробничих стічних вод міста, також надходять:

- стічні води від проєктованої зливної станції, що приймає рідкі побутові відходи, доставлені автотранспортом та розбавлені технічною водою;
- дренажні води головної насосної станції.

Механічне очищення стічних вод. До розподільчого каналу будівлі решіток та піскопромивачів надходять:

- стічні води від головної насосної станції;
- дощові та талі води з території очисних споруд;

- стічні води від дренажної насосної станції;
- води від спорожнення аеротенків і вторинних відстійників;
- забруднені промивні води пресів для віджимання відходів із решіток;
- фільтрат та промивні води споруд обробки осадів.

Будівля решіток і піскопромивачів розташована перед пісколовками та включає решітки тонкого очищення, транспортери, преси для віджимання відходів, обладнання для промивання піску, а також реагентну станцію для знезараження відходів і піску біопрепаратами.

Відходи, затримані на двох ступенях механічного очищення, обробляються спільно, що дозволяє зменшити експлуатаційні витрати. Після промивання, зневоднення та знезараження відходи вивозяться на полігон твердих комунальних відходів.

До верхнього каналу пісколовок надходять:

- стічні води після проходження решіток тонкого очищення;
- дренажні та промивні води сепараторів піску;
- мулові води, фільтрат і промивні води споруд обробки осадів.

Пісколовки, що передбачені проєктом, забезпечують видалення мінеральних домішок розміром 0,15 мм і більше. Осаджений пісок збирається у приямках та за допомогою піскових насосів подається на сепаратори піску. Після промивання, зневоднення та знезараження пісок направляється для подальшого використання у виробництві ґрунтосумішей разом із дозрілим компостом.

Освітлення стічних вод здійснюється у первинних радіальних відстійниках першої черги та реконструйованих відстійниках третьої черги з розподілом потоку між ними у співвідношенні 1:2. Осад, що випадає у відстійниках, а також спливаючі домішки направляються на подальшу обробку та зневоднення, а освітлені стічні води — на біологічне очищення.

Біологічне очищення стічних вод. Біологічне очищення стічних вод передбачено на спорудах першої та третьої черг. Проєктом передбачено модернізацію існуючих аеротенків третьої черги та будівництво нових аеротенків першої черги.

У біореакторах реалізується технологія глибокого видалення органічних забруднень, сполук азоту та фосфору за схемою JNB-процесу. Для підтримання оптимальних умов очищення передбачено автоматизовану систему подачі повітря з регулюванням витрати за показниками концентрації розчиненого кисню в муловій суміші.

Проектом також передбачено встановлення сучасного енергоефективного повітрорудного обладнання загальною продуктивністю 54 тис. м³/год. Для цього виконується переобладнання існуючих приміщень під повітрорудну станцію та вузол реагентного видалення надлишкового фосфору.

Відокремлення очищених стічних вод від активного мулу здійснюється у вторинних відстійниках. Для цього використовуються реконструйовані відстійники третьої черги, а також нові вторинні відстійники діаметром 30 м. У відстійниках передбачено встановлення сучасних мулососних систем, що забезпечують рівномірне видалення осаду з придонної частини споруд.

Для подачі поверненого та надлишкового активного мулу, а також спорожнення технологічних споруд передбачено будівництво нової мулової насосної станції.

Знезараження та скид очищених стічних вод. Перед скиданням у водний об'єкт очищені стічні води додатково насичуються киснем в аераційних резервуарах.

Знезараження очищених стічних вод передбачено за допомогою ультрафіолетового випромінювання у спеціалізованій будівлі УФ-знезараження. Перед скидом очищених стічних вод у водний об'єкт організується автоматизований пункт контролю якості очищення.

Для забезпечення потреб очисних споруд у технічній воді проектом передбачено станцію фільтрації очищених та знезаражених стічних вод.

Механічне зневоднення осадів. Надлишковий активний мул піддається попередньому згущенню на барабанних згущувачах до вологості 95 %. Подальше механічне зневоднення суміші сирого осаду та згущеного мулу здійснюється на

стрічкових фільтр-пресах до вологості 75 %. З метою покращення водовіддаючих властивостей осаду передбачено використання флокулянтів.

Стабілізація та знезараження осадів. Стабілізація та знезараження осадів здійснюється біотермічним методом із застосуванням технології керованого мембранного компостування. Отриманий компост у суміші з піском використовується для приготування ґрунтосумішей, які можуть застосовуватись у господарській діяльності. Перелік основних споруд, що використовуються у технологічній схемі очищення стічних вод, наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Параметри технологічних будівель та споруд

№ з/п	Найменування будівель та споруд	Параметри, м	Кількість, шт.
1.	Головна насосна станція	22x12x10 м	1
2.	Будівля решіток та піскопромивачів	24x12x10 м	1
3.	Пісколовки	14x4,2x1,2 м	3
4.	Первинні відстійники (1 черга)	Д=30м, h=3,1	2
5.	Первинні відстійники (3 черга)	Д=30м, h=3,1	4
6.	Насосна станція сирого осаду (1 черга)		1
7.	Насосна станція сирого осаду (3 черга)		3
8.	Будівля ультрафіолетового знезараження	12x8x4(h)м	1
9.	Насосна станція технічної води	7,2x10,75м	1
10.	Аеротенки (1 черга)	84x27x4,4(h)м	1
11.	Аеротенки (3 черга)	84x36x4,4(h)м	3
12.	Повітродувна станція	21x12 x9(h)м	1
13.	Вторинні відстійники (1 черга)	Д=30м, h=4,65	3
14.	Вторинні відстійники (3 черга)	Д=30м, h=3,65 Д=30м, h=4,65	6 2
15.	Мулова насосна станція	12x6x6(h)м	1
16.	Станція дефосфотації	21x12x9(h)м	1
17.	Аероційний резервуар	21x6x4(h)м	2
18.	Цех механічного зневоднення мулу	21x12 x10(h)м	1
19.	Корпус компостування	89x20 x10(h)м	1
20.	Споруди мембранного компостування	124x78x3,9(h)м	1
21.	Насосна станція поверхневих стічних вод	12x9x4(h)м	1
22.	Зливна станція	9,65x2,6x3(h)м	1

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

У технологічній частині кваліфікаційної роботи бакалавра проводяться розрахунки параметрів роботи очисних споруд стічних вод для міста продуктивністю

2.1 Розрахунок витрати стічних вод та їх складу

Для виконання технологічних розрахунків очисних споруд попередньо визначено розрахункові витрати стічних вод, що наведені в таблиці 2.1. Вихідними даними для розрахунків слугували показники, встановлені технічним завданням на проєктування.

Розрахункові параметри водовідведення визначені відповідно до нормативних вимог, що регламентують проєктування каналізаційних мереж і споруд очищення стічних вод.

Середньодобову витрату господарсько-побутових стічних вод визначали за такою формулою [11-14]:

$$Q_{mid \text{ доб}} = \frac{q_{\partial} \cdot N}{1000}, \text{ м}^3 / \text{доб} \quad (2.1)$$

де q_{∂} – питома середньодобова (за рік) норма водовідведення на $\text{л} / \text{доб}$ на одного жителя.

N – кількість жителів, $N = 462\,825$ чол.

Середньосекундна витрата стічних вод прийнята відповідно до формули:

$$q_{mid .s} = \frac{q_{\partial} \cdot N}{24 \cdot 3600}, \text{ л} / \text{с} \quad (2.2)$$

Середньогодинна витрата стічних вод розраховується за формулою:

$$Q_{mid \text{ год}} = \frac{Q_{mid \text{ доб}}}{24}, \text{ м}^3 / \text{год} \quad (2.3)$$

аксимальна годинна витрата стічних вод визначається за формулою:

$$Q_{max} = Q_{mid} \cdot K_{gen \text{ max}}, \text{ м}^3 / \text{год} \quad (2.4)$$

де $K_{gen\ max}$ – коефіцієнт максимальної нерівномірності, приймається рівним 1,4 [11].

Максимальна секундна витрата розраховується за наступною формулою:

$$q_{max} = q_{mid} \cdot K_{gen\ max}, \text{ л/с} \quad (2.5)$$

Таблиця 2.1 – Показники розрахункових значень витрат стічних вод

№ з/п	Показник	Од. вимірювання	Значення
1	Добова витрата	м ³ /доб	130 000
2	Середньогодинна витрата	м ³ /год	5 417
3	Середньосекундна витрата	л/с	1 505
4	Коефіцієнт максимальної нерівномірності	-	1,1
5	Максимальна годинна витрата	м ³ /год	5 959
6	Максимальна секундна витрата	л/с	1 656

2.2 Розрахунок споруд механічного очищення стічних вод

2.2.1 Розрахунок відходів з решіток тонкого очищення

Одним із перших етапів розрахунку споруд механічного очищення є оцінка кількості відходів, що затримуються решітками. Від правильності цього розрахунку залежить вибір технологічного обладнання для збирання, транспортування та обробки вилучених домішок.

Для визначення втрат напору під час проходження стічних вод через стрічкові решітки тонкого очищення використовується формула Вейсбаха:

$$h_{реш} = \xi_{реш} \frac{v^2}{2g} \cdot K_{від} \quad (2.6)$$

Для стрічкових решіток коефіцієнт гідравлічного опору визначається за залежністю:

$$\xi_{\text{реш}} = \beta \cdot \left(\frac{W_{\text{екр}}}{W_{\text{отв}}} \right)^{4/3} \cdot \sin \alpha, \quad (2.7)$$

Де: $h_{\text{реш}}$ – втрати напору на решітці, м;

$\xi_{\text{реш}}$ – коефіцієнт гідравлічного опору решітки;

V – швидкість руху стічної води перед решіткою, м/с;

g – прискорення вільного падіння, яке приймається рівним 9,81 м/с²;

$K_{\text{від}}$ – коефіцієнт засмічення решітки в процесі експлуатації, що приймається рівним 3,0.

β – коефіцієнт, що враховує форму перфорації екрана; для перфорованих решіток приймається рівним 0,62;

$W_{\text{екр}}$ – загальна площа фільтрувального екрана, м²;

$W_{\text{отв}}$ – сумарна площа перфораційних отворів, м²;

α – кут нахилу решітки до горизонту;

b – ширина отвору (прозору) решітки, м.

Під час виконання розрахунків швидкість руху стічної води перед решіткою приймається в межах 0,8–1,0 м/с відповідно до нормативних рекомендацій. Максимально допустима глибина потоку в каналі визначається з урахуванням конструктивних параметрів споруди та умов її експлуатації.

Отримані результати дозволяють оцінити пропускну здатність решіток, величину втрат напору та перевірити ефективність роботи споруди за розрахункових витрат стічних вод.

Пропускную здатність стрічкової решітки визначають за формулою:

$$Q = w \cdot V \quad (2.8)$$

Q – продуктивність решітки, м³/с;

w – площа живого перерізу потоку, м²;

V – швидкість руху стічної води через решітку, м/с.

Площа живого перерізу розраховується за залежністю:

$$w = (W_{\text{отв}} - h_{\text{реш}}) V \quad (2.9)$$

Для виконання гідравлічного розрахунку стрічкової решітки, встановленої в каналі, приймаються такі вихідні дані:

- ширина каналу — 1600 мм;
- глибина каналу — 1800 мм;
- ширина решітки — 1600 мм;
- ширина фільтрувального екрана $B_{екр}=1312$ мм (1,312 м);
- максимально допустимий рівень води перед решіткою розташований на 500 мм нижче відмітки підлоги будівлі.

Максимально допустима глибина потоку в каналі $H=1800-500=1300$ мм (1,3 м).

За висоти порога решітки 162 мм розрахункова висота фільтрувального екрана $H_{екр}=1300-162=1138$ мм (1,138 м).

Для розрахунку прийнято такі конструктивні та гідравлічні характеристики решітки:

- розмір перфораційних отворів $b=6 \times 10^{-3}$ м;
- кут нахилу екрана решітки до горизонту $\alpha =60^\circ$;
- швидкість руху стічної води через решітку, $V=1,0$ м/с.

Перфорація фільтрувального полотна виконується за шестикутною схемою розташування отворів (рис. 2.1). Діаметр кожного отвору становить 6 мм.

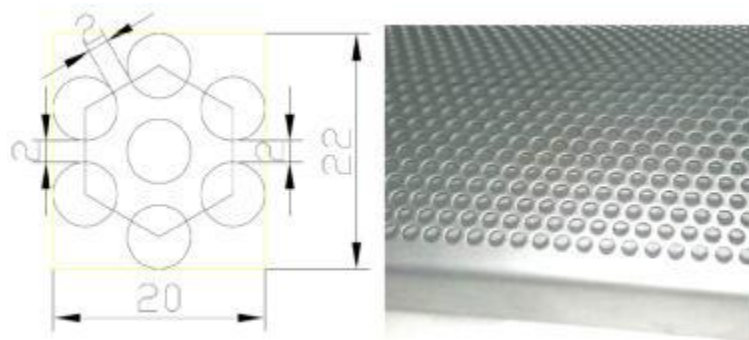


Рисунок 2.1 – Перфорації фільтрувального полотна стрічкової решітки

За загальної площі ділянки перфорації $W_{екр}=20 \times 22 = 440$ мм², площа отворів становитиме:

$$W_{отв} = 7 \cdot \frac{\pi \cdot 6^2}{4} = 197,8 \text{ мм}^2 \quad (2.10)$$

Тоді співвідношення площі перфорованої ділянки до сумарної площі отворів дорівнює:

$$\frac{W_{\text{екр}}}{W_{\text{отв}}} = \frac{440}{197,8} = 2,2245 \quad (2.11)$$

Коефіцієнт гідравлічного опору решітки:

$$\xi_{\text{реш}} = 0,62 \cdot (2,2245)^{4/3} \cdot \sin 60^\circ = 1,5591$$

Втрати напору на стрічковій решітці становлять:

$$h_{\text{реш}} = 1,5591 \cdot \frac{1^2}{2 \cdot 9,81} \cdot 3 = 0,238 \text{ м}$$

Отримане значення втрат напору враховує поступове засмічення решітки в процесі експлуатації та використовується для перевірки її пропускної здатності за розрахункових витрат стічних вод.

Розрахункові рівні води в каналах решіток наведені на рисунку 2.2.

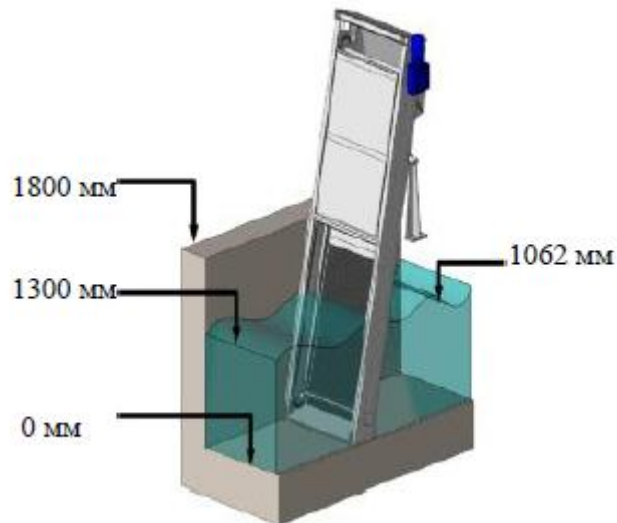


Рисунок 2.2 – Розрахункові рівні води в каналі решітки

Площа фільтрувального екрана визначається за формулою:

$$W_{\text{екр}} = l \cdot B_{\text{екр}} = \frac{H_{\text{екр}}}{\sin \alpha} \cdot B_{\text{екр}} \quad (2.12)$$

$$W_{\text{екр}} = \frac{1,138}{0,809} \cdot 1,312 = 1,846 \text{ м}^2$$

Тоді площа екрана становить:

$$W_{\text{отв}} = \frac{W_{\text{екр}}}{2,2245} \quad (2.13)$$

$$W_{\text{отв}} = \frac{1,846}{2,2245} = 0,84 \text{ м}^2$$

Пропускна здатність однієї стрічкової решітки:

$$Q = 0,84 \cdot 1 = 0,84 \text{ м}^3/\text{с}$$

Максимальна продуктивність однієї решітки становить:

$$q_1 = 0,84 \cdot 3600 = 3024,0 \text{ м}^3/\text{год}$$

За умови одночасної роботи двох робочих решіток сумарна пропускна здатність становитиме:

$$Q_{tot} = 3024 \cdot 2 = 6048,0 \text{ м}^3/\text{доб}$$

Отримане значення перевищує розрахункову максимальну витрату стічних вод, що надходять на споруду, яка становить $5959 \text{ м}^3/\text{год}$. Таким чином, прийнята кількість та параметри стрічкових решіток забезпечують необхідну пропускну здатність і гарантують надійну роботу споруди в умовах максимального гідравлічного навантаження (Табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Параметри перфорованої решітки

№ з/п	Параметр решітки	Одиниця вимірюв.	Значення
1	Перфорація	мм	6
2	Ширина каналу в місці встановлення решітки	мм	1600
3	Глибина каналу в місці встановлення решітки	мм	1800
4	Відстань від рівня води до верху каналу	мм	500
5	Рівень води в каналі за решіткою	мм	1300
6	Бічний зазор між рамою решітки та стінкою каналу з одного боку	мм	50
7	Ширина порога рами решітки	мм	94
8	Ширина фільтрувального полотна	мм	1312
9	Кут встановлення решітки до горизонту	град.	60
10	Висота порога решітки	мм	162
11	Площа фільтрувального екрана	м ²	1,846
12	Живий переріз фільтрувального екрана	м ²	0,840
13	Розрахункова тах швидкість води в отворах	м/с	1
14	Розрахункова продуктивність при швидкості 1 м/с	м ³ /год	3024
15	Коефіцієнт геометрії отвору	—	0,62

Розрахунок кількості відходів, затриманих на решітках/ Після визначення параметрів решіток виконується розрахунок кількості відходів, що вилучаються зі стічних вод у процесі механічного очищення.

Відповідно до нормативних рекомендацій, для решіток із розміром прозору 6 мм питома кількість затриманих відходів становить $q = 22$ л/екв. жит на рік.

За прийнятої еквівалентної чисельності населення та вологості відходів 90 % об'єм відходів, що затримуються на решітках тонкого очищення, визначають за розрахунковою залежністю:

$$Q_1 = \frac{N \cdot q}{365 \cdot 1000} \quad (2.14)$$

$$Q_1 = \frac{462825 \cdot 22}{365 \cdot 1000} = 27,9 \text{ м}^3/\text{доб} = 1,16 \text{ м}^3/\text{год}$$

Масу відходів до ущільнення визначають з урахуванням їхньої густини, яка для відходів із вологістю 90 % приймається рівною 870 кг/м^3 :

$$M_1 = Q_1 \cdot \rho_1 \quad (2.15)$$

$$M_1 = 27,9 \cdot 870 = 24\,269,8 \text{ кг/доб}$$

Після механічного зневоднення та ущільнення відходів до вологості 60 % (концентрація 300 кг/м^3) їхній об'єм становитиме:

$$Q_2 = Q_1 \cdot \frac{C_{90}}{C_{60}} \quad (2.16)$$

$$Q_2 = 27,9 \cdot \frac{87}{300} = 8,1 \text{ м}^3/\text{доб} = 0,34 \text{ м}^3/\text{год}$$

де: C_{90} – концентрація сухої речовини у відходах за вологості 90 %, $((100-90)/100) \cdot 870 = 87 \text{ кг/м}^3$;

C_{60} – концентрація сухої речовини у відходах за вологості 60 %, $((100-60)/100) \cdot 750 = 300 \text{ кг/м}^3$.

Річний об'єм ущільнених і зневоднених відходів, що утворюються після решіток, визначається за формулою:

$$Q_3 = Q_2 \cdot 365, \quad (2.17)$$

$$Q_3 = 8,1 \cdot 365 = 3\,030,4 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Маса ущільнених відходів при густині 750 кг/м^3 дорівнює:

$$M_2 = Q_2 \cdot \rho_2 \quad (2.18)$$

$$M_2 = 8,1 \cdot 750 = 6\,067,4 \text{ кг/доб}$$

Річна маса зневоднених відходів складає:

$$M_3 = M_2 \cdot 365 \quad (2.19)$$

$$M_3 = 6\,067,4 \cdot 365 = 2\,214,6 \text{ Т/рік}$$

Отримані результати використовуються для вибору обладнання для транспортування, зневоднення та тимчасового зберігання відходів, вилучених на решітках механічного очищення.

2.2.2 Розрахунок піскоуловлювачів

Аналіз роботи існуючих пісколовочок показав недостатню ефективність вилучення мінеральних домішок, що обумовлено особливостями їх конструктивного виконання та гідравлічного режиму роботи. У зв'язку з цим у проєкті передбачається влаштування нових споруд для видалення піску зі стічних вод.

Відповідно до вимог чинних нормативних документів, із потоку стічних вод необхідно вилучати мінеральні частинки з гідравлічною крупністю $0,15 \text{ мм/с}$ і більше. Для розрахунків приймається розрахункова гідравлічна крупність частинок піску $13,2 \text{ мм/с}$.

Застосування аерованих пісколовочок у даному проєкті не передбачається, оскільки їх експлуатація може негативно впливати на перебіг процесів біологічного видалення фосфору. З огляду на це для механічного очищення стічних вод прийнято горизонтальні прямоточні пісколовки, які забезпечують ефективне осадження мінеральних домішок без порушення роботи споруд біологічного очищення.

Горизонтальні пісколовки характеризуються простотою конструкції, надійністю в експлуатації та стабільною ефективністю вилучення піску в широкому діапазоні витрат стічних вод. Видалений осад надалі направляється на

промивання, зневоднення та подальшу утилізацію або використання відповідно до прийнятої технологічної схеми.

Основні розрахункові параметри пісколовок приймаються відповідно до нормативних рекомендацій та наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахункові параметри пісколовок

Діаметр частинок піску, що затримуються, мм	Гідравлічна крупність піску (u_0), мм/с	Поздовжня швидкість руху води, м/с	
		в горизонтальних пісколовках	в аерованих пісколовках
0,05	2,0	0,10–0,15	0,02–0,05
0,10	5,9	0,10–0,15	0,02–0,05
0,15	13,2	0,15–0,20	0,05–0,10
0,20	18,7	0,15–0,20	0,05–0,10

Для забезпечення необхідної ефективності вилучення мінеральних домішок приймається встановлення трьох горизонтальних пісколовок. Розрахункова глибина проточної частини споруди (без урахування зони розміщення скребкового механізму) становить 0,6 м.

Коефіцієнт, що враховує вплив турбулентності потоку на процес осадження частинок піску, визначається за формулою:

$$K = \frac{u_0}{(u_0^2 - \omega^2)^{0,5}} \quad (2.20)$$

$$K = 0,0132 / (0,0132^2 - 0,01^2)^{0,5} = 1,53$$

де: u_0 – розрахункова гідравлічна крупність частинок піску, м/с;

ω – вертикальна турбулентна складова швидкості потоку, м/с.

Вертикальна турбулентна складова визначається залежністю:

$$\omega = 0,05 \cdot v \quad (2.21)$$

$$\omega = 0,05 \cdot 0,2 = 0,01$$

Необхідна довжина пісколовки становить:

$$L = K \cdot h_{max} \cdot v / u_0 \quad (2.22)$$

$$L = 1,53 \cdot 0,6 \cdot \frac{0,2}{0,0132} = 13,9 \text{ м}$$

Площа поперечного перерізу однієї пісколовки визначається за формулою:

$$F_{\text{січ}} = q_{\text{max}} / (v \cdot n) \quad (2.23)$$

$$F_{\text{січ}} = \frac{1,49}{0,2 \cdot 3} = 2,48 \text{ м}^2$$

де: q_{max} – максимальна витрата стічних вод, м³/с;

n – кількість пісколовок.

Ширина однієї пісколовки становить:

$$b = F_{\text{січ}} / H_{\text{max}} \quad (2.24)$$

$$b = \frac{2,48}{0,6} = 4,13 \text{ м}$$

Отримані розрахункові параметри підтверджують можливість ефективного вилучення піску з розрахунковою гідравлічною крупністю 13,2 мм/с при максимальній витраті стічних вод. Узагальнені результати розрахунку наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Розрахункові параметри піскоуловлювачів

№ з/п	Показник	Позначення	Од-ця вимірюв.	Значення
1	Максимальна годинна витрата стічних вод	$Q_{\text{год,max}}$	м ³ /ГОД	5357,2
2	Максимальна секундна витрата	$Q_{\text{с,max}}$	м ³ /с	1,49
3	Діаметр частинок піску, що затримуються	D	мм	0,15
4	Гідравлічна крупність піску	u_0	мм/с	13,20
5	Гідравлічна крупність піску	u_0	м/с	0,0132
6	Поздовжня швидкість руху води при максимальній витраті	v_{max}	м/с	0,20
7	Кількість секцій пісколовок	n	шт.	3
8	Глибина проточної частини	h_{max}	м	0,60
9	Загальна гідравлічна глибина	$H_{\text{заг}}$	м	1,20
10	Вертикальна турбулентна складова швидкості	(ω)	–	0,01
11	Коефіцієнт турбулентності потоку	K	–	1,53
12	Довжина пісколовки	L	м	13,93
13	Площа поперечного перерізу однієї секції	$F_{\text{січ}}$	м ²	2,48
14	Ширина однієї пісколовки	b	м	4,13
15	Загальна ширина пісколовок	$B_{\text{заг}}$	м	12,40
16	Час перебування води у проточній частині	t	с	69,6
17	Загальний час перебування води	$T_{\text{заг}}$	с	139,3
18	Прийняті розміри споруди	–	–	3 шт. 14×4,2×0,6 м

За результатами розрахунку прийнято три горизонтальні пісколовки з такими геометричними параметрами:

- довжина споруди – 14,0 м;
- ширина однієї секції – 4,2 м;
- глибина проточної частини – 0,6 м;
- загальна гідравлічна глибина – 1,2 м;
- будівельна глибина споруди – не менше 1,5 м.

Прийняті розміри забезпечують ефективне вилучення мінеральних домішок із розрахунковою гідравлічною крупністю 13,2 мм/с за максимальних витрат стічних вод, що надходять на очисні споруди.

Розрахунок кількості піску. За еквівалентної чисельності населення $N_{екв}=462\ 825$ осіб кількість піску вологістю 60 %, що затримується у пісколовках, визначається за питомою нормою 0,02 л/(особу·добу). При концентрації сухої речовини $C_{60}=600$ кг/м³ та густині піску 1,5 т/м³ добовий об'єм затриманого піску розраховується як:

$$Q_{60} = \frac{N \cdot q}{1000} \quad (2.25)$$

$$Q_{60} = \frac{462825 \cdot 0,02}{1000} = 9,26 \text{ м}^3/\text{доб}$$

Кількість піскової пульпи вологістю 98,25 %, яка направляється на зневоднення до піскопромивачів, визначається за співвідношенням концентрацій сухої речовини:

$$Q_{98,25} = \frac{Q_{60} \cdot C_{60}}{C_{98,25}} \quad (2.26)$$

$$Q_{98,25} = \frac{9,26 \cdot 600}{17,92} = 310,0 \text{ м}^3/\text{доб}$$

де: Q_{60} – кількість піску вологістю 60 %, м³/добу;

C_{60} – концентрація сухої речовини у піску вологістю 60 %, кг/м³;

$C_{98,25}$ – концентрація сухої речовини у пісковій пульпі вологістю 98,25 %, кг/м³.

Передбачається встановлення одного робочого піскопромивача продуктивністю 60 м³/год за пісковою пульпою та 1,0 т/год – за зневодненим піском. Після промивання та зневоднення кількість піску вологістю 55 % при концентрації сухої речовини $C_{55}=700,13$ кг/м³ становитиме:

$$Q_{55} = \frac{Q_{60} \cdot C_{60}}{C_{55}} \quad (2.27)$$

$$Q_{55} = \frac{9,26 \cdot 600}{700,13} = 7,90 \text{ м}^3/\text{доб} \text{ або } 2\,883,1 \text{ м}^3/\text{рік}$$

Густина піску після зневоднення до вологості 55 % приймається рівною 1,5625 т/м³.

Фізична маса піску після промивання та зневоднення визначається:

$$7,90 \cdot 165625 = 12634 \text{ м}^3/\text{доб} \text{ або } 4\,505,5 \text{ м}^3/\text{рік}$$

2.2.3 Розрахунок первинних відстійників

Розрахунок первинних відстійників виконано відповідно до чинних нормативних вимог щодо проектування споруд механічного очищення стічних вод. Під час визначення розрахункових параметрів враховувалися характеристики стічних вод, а також особливості подальшого біологічного очищення з видаленням сполук азоту та фосфору.

Стічні води, що надходять на очисні споруди, характеризуються достатньо сприятливим співвідношенням біохімічного споживання кисню до загального азоту ($BCK_5/N_{заг}$), що є важливим показником для ефективного перебігу процесів денітрифікації в аеротенках.

За результатами багаторічних спостережень значення денітрифікаційного потенціалу для вихідних стічних вод становить близько 6,0. З урахуванням впливу внутрішніх рециркуляційних потоків та повернення технологічних вод цей показник для освітлених стічних вод знижується до орієнтовно 5,0.

Під час вибору параметрів первинного відстоювання було проаналізовано вплив ступеня освітлення стічних вод на ефективність подальшого біологічного очищення. Надмірне вилучення органічних речовин у первинних відстійниках може призводити до зменшення денітрифікаційного потенціалу та, відповідно,

погіршення умов видалення сполук азоту. Водночас недостатній ступінь освітлення збільшує навантаження на аеротенки та потребує збільшення їхнього корисного об'єму.

З метою визначення оптимального режиму роботи споруд було розглянуто залежність між ефективністю освітлення стічних вод та необхідним об'ємом аеротенків за незмінних інших технологічних параметрів. Результати аналізу наведені в таблиці 2.5.

Отримані дані використані для обґрунтування параметрів первинних відстійників та забезпечення ефективної роботи всього комплексу споруд біологічного очищення.

Таблиця 2.5 – Вплив ефективності освітлення стічних вод на необхідний об'єм аеротенків

Ефективність освітлення, %	Денітрифікаційний потенціал (ДП)	Розрахунковий об'єм аеротенків, м³
25	5,59	81 183
30	5,52	78 006
35	5,44	74 807
40	5,36	71 584
45	5,27	68 333
50	5,19	65 049
55	5,10	61 730
60	5,01	58 368
65	4,91	54 956
70	4,82	51 488

Із наведених у таблиці даних видно, що зі збільшенням ступеня освітлення стічних вод відбувається зниження денітрифікаційного потенціалу, оскільки разом із завислими речовинами вилучається частина органічних сполук, необхідних для процесу денітрифікації. Одночасно зменшується необхідний розрахунковий об'єм аеротенків.

Враховуючи проектний об'єм аеротенків, оптимальною є ефективність освітлення на рівні близько 60 %, оскільки в цьому випадку розрахунковий об'єм

аеротенків (58 368 м³) найбільш наближений до прийнятого проєктного значення та забезпечує достатній денітрифікаційний потенціал для ефективного біологічного очищення стічних вод.

$$E = \frac{(C_{ex} - C_{вих}) \times 100}{C_{ex}} = \frac{(447,95 - 179,18) \times 100}{447,95} = 60\%, \quad (2.28)$$

C_{ex} – концентрація завислих речовин у стічній воді, що надходить на відстоювання, 447,95 мг/дм³;

$C_{вих}$ – концентрація завислих речовин в освітленій воді після первинних відстійників, 179,18 мг/дм³.

Прийнята ефективність освітлення стічних вод на рівні 60 % забезпечує необхідне співвідношення органічних речовин та азоту для ефективного перебігу процесів біологічного очищення в аеротенках без суттєвого збільшення їхнього корисного об'єму.

Розрахункова продуктивність одного первинного відстійника визначається за формулою:

$$q_{set} = 2,8 K_{set} (D_{set}^2 - d_{en}^2)(u_o - v_{tb}), \quad (2.29)$$

де q_{set} – розрахункова продуктивність одного відстійника, м³/год;

K_{set} – коефіцієнт використання об'єму відстійника, для радіальних відстійників приймається рівним 0,45;

D_{set} – діаметр відстійника, м; (30 м);

H_{set} – глибина проточної частини у відстійнику – 2,8 м (гідравлічна глибина 3,1 м - 0,3 м висоти нейтрального шару);

d_{en} – діаметр впускного пристрою (центрального стакана);

v_w – швидкість потоку у відстійнику, мм/с.;

n – кількість відстійників, прийнята рівною 6 шт.

$$v_w = \frac{q_{max} / n}{3,6 \times \pi \times R \times H_{set}} = \frac{5367,5/6}{3,6 \times 3,14 \times 30/2 \times 2,8} = 1,88 \text{ мм/с}, \quad (2.30)$$

v_{tb} – турбулентна складова, залежно від швидкості потоку у відстійнику, при $v_w = 1,88$ мм/с, $v_{tb} = 0,00$ мм/с

v_w , мм/с	5	10	15
v_{tb} , мм/с	0	0,05	0,1

u_o – гідравлічна крупність частинок, що затримуються, мм/с, визначається за формулою:

$$u_o = \frac{1000 \times H_{set} \times K_{set}}{t_{set} \times \left(\frac{K_{set} \times H_{set}}{h_1} \right)^{n_2}}, \quad (2.31)$$

де t_{set} – тривалість відстоювання, що забезпечує заданий ефект очищення. Для концентрації завислих речовин, які надходять до первинних відстійників, $C_{ex} = 447,95$ мг/дм³ та ефективності освітлення 60 %: $t_{set} = 755,5$ с

n_2 – показник степеня, що враховує агломерацію завислих речовин у процесі їх осадження – 0,2

Визначимо гідравлічну крупність частинок, що затримуються у відстійнику:

$$u_o = \frac{1000 \times 2,8 \times 0,45}{755,5 \times \left(\frac{0,45 \times 2,8}{0,5} \right)^{0,2}} = 1,386 \text{ мм/с}, \quad (2.32)$$

Розрахункова продуктивність одного первинного відстійника становить:

$$q_{set} = 2,8 \times 0,45 \times (30^2 - 6^2) \times (1,386 - 0,00) = 1\,509,2 \text{ м}^3/\text{год}, \quad (2.33)$$

Необхідна кількість первинних відстійників діаметром 30 м при максимальній витраті 5367,5 м³/год:

$$n = \frac{Q}{q_{set}} = \frac{5367,5}{1509,2} = 3,6 = 4 \text{ шт.} \quad (2.34)$$

За результатами аналізу роботи існуючих споруд встановлено, що фактична ефективність освітлення стічних вод становить близько 51 %. При цьому в роботі перебувають у середньому п'ять первинних відстійників.

Із метою підтвердження правильності прийнятих проектних рішень щодо кількості первинних відстійників виконано порівняння результатів розрахунків, отриманих відповідно до вимог чинних нормативних документів, із рекомендаціями міжнародної практики проєктування споруд очищення стічних вод. Результати розрахунку первинних радіальних відстійників та їх порівняння з рекомендованими параметрами зведені до Таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Порівняльний аналіз параметрів первинних відстійників

Показник	Умови розрахунку	Од-ця вимірюв.	Прийнято	Довідкові дані [15]	Європейські стандарти [16]	Стандарти США [17]
Гідравлічне навантаження на поверхню	При середній годинній витраті	м ³ /(м ² ·год)	0,79	1,67	не нормується	1,3–2,1
	При max годинній витраті	м ³ /(м ² ·год)	1,27	3,00	не нормується	3,3–5,0
Тривалість відстоювання	При середній годинній витраті	год	3,53	1,5–3,5 (2,0)	1,5–2,0	1,5–2,5
	При max годинній витраті	год	2,21	–	не нормується	не нормується
Гідравлічне навантаження на водозлив	При середній годинній витраті	м ³ /(м·год)	3,13	5,2–15,7 (10,4)	не нормується	5,2–20,8
	При max годинній витраті	м ³ /(м·год)	5,00	–	не нормується	–
Кількість відстійників за гідравлічним навантаженням на поверхню	При середній годинній витраті	шт.	6	2,85	–	2,26–3,66
	При max годинній витраті	шт.	6	2,53	–	1,52–2,30
Кількість відстійників за тривалістю відстоювання	При середній годинній витраті	шт.	6	2,55–5,94 (3,40)	2,55–3,40	2,55–4,24
	При max годинній витраті	шт.	6	4,07–9,50 (5,43)	–	–
Кількість відстійників за гідравлічним навантаженням на водозлив	При середній годинній витраті	шт.	6	1,20–3,61 (2,41)	–	0,90–3,61
	При max годинній витраті	шт.	6	1,91–5,76 (3,84)	–	1,44–5,76
Рекомендована кількість відстійників	Діапазон	шт.	2–10 (6,0)	3–10 (6,5)	3–4 (3,5)	2–8 (5,0)
	Середнє значення	шт.	3,16	3,41	2,97	3,08

Примітка: «не нормується» – показник не регламентується відповідним нормативним документом.

Порівняльний аналіз показав, що прийняті проєктні параметри первинних відстійників відповідають рекомендаціям, наведеним у спеціалізованій технічній літературі та міжнародній практиці проєктування споруд очищення стічних вод.

Узагальнений розрахунок за основними критеріями (гідравлічне навантаження на поверхню, тривалість відстоювання та навантаження на водозлив) свідчить, що необхідна кількість первинних відстійників становить близько чотирьох одиниць. Разом із тим під час визначення остаточної кількості споруд враховувались не лише гідравлічні показники, а й вимоги до досягнення необхідного ступеня освітлення стічних вод, а також особливості подальшого біологічного очищення.

Враховуючи, що для забезпечення ефективного видалення сполук азоту та фосфору необхідно підтримувати оптимальне співвідношення органічних речовин і біогенних елементів, у проєкті прийнято ефективність освітлення стічних вод на рівні 60 %. Такий підхід дозволяє зменшити навантаження на споруди біологічного очищення та оптимізувати їхній розрахунковий об'єм.

З метою забезпечення стабільної роботи очисних споруд за максимальних витрат стічних вод, а також з урахуванням необхідного часу відстоювання, прийнято шість первинних радіальних відстійників.

Висновок. Для досягнення проєктної ефективності освітлення стічних вод на рівні 60 % та забезпечення надійної роботи комплексу біологічного очищення доцільним є застосування шести первинних відстійників.

2.3 Розрахунок біологічного очищення стічних вод

2.3.1 Розрахунок аеротенків

Для забезпечення нормативної якості очищення стічних вод на проєктованих очисних спорудах прийнято технологію біологічного очищення з видаленням сполук азоту та фосфору. З цією метою застосовано схему ЛНВ (Johannesburg Biological Process), яка поєднує процеси нітрифікації, денітрифікації та біологічного дефосфатування в єдиному технологічному циклі.

Вибір даної технології обумовлений необхідністю досягнення високих показників очищення при раціональному використанні об'єму споруд та зниженні експлуатаційних витрат. Схема ЛНВ забезпечує стабільне видалення біогенних елементів навіть за змінних навантажень на очисні споруди та широко використовується на сучасних станціях очищення стічних вод великої продуктивності.

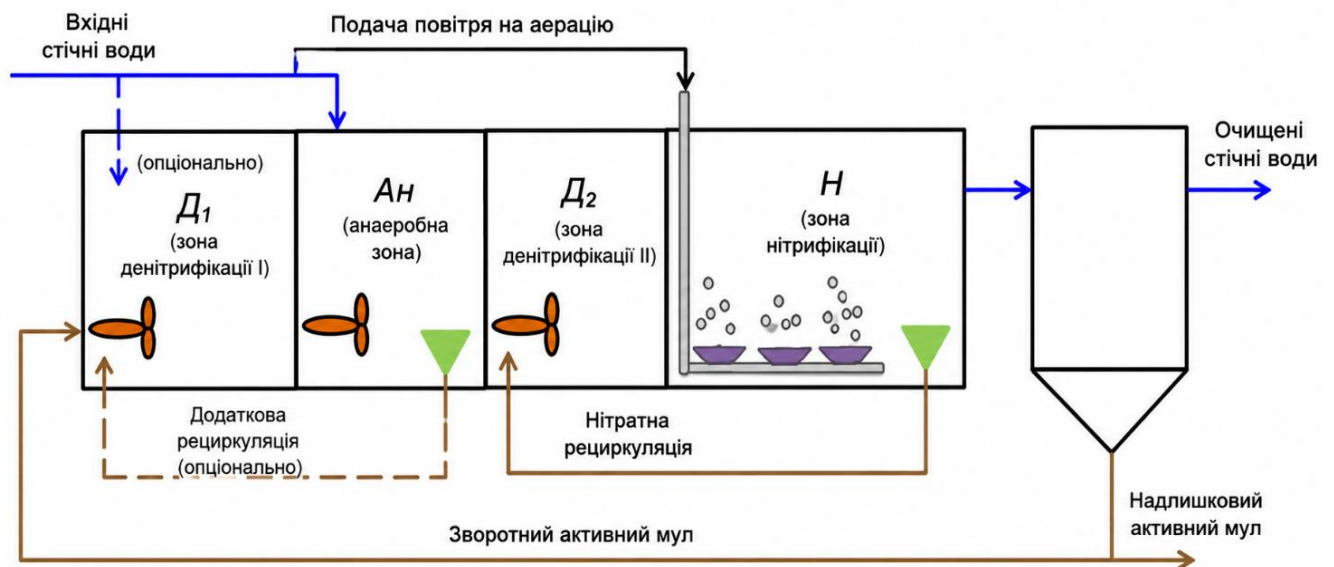


Рисунок 2.3 – Схема ЛНВ-процесу біологічного видалення азоту та фосфору:

D_1 – перша зона денітрифікації; AN – анаеробна зона;
 D_2 – друга зона денітрифікації; H – зона нітрифікації (аераційна зона).

Технологічна схема передбачає послідовне проходження стічних вод через анаеробну, аноксидну та аеробну зони. В анаеробній зоні створюються умови для розвитку фосфатакумулюючих мікроорганізмів, в аноксидних зонах відбувається денітрифікація, а в аеробній зоні здійснюється окиснення органічних забруднень та нітрифікація амонійного азоту.

Функціональне зонування аеротенків 1-ї черги . Для реалізації процесів біологічного видалення азоту та фосфору аеротенки поділено на окремі функціональні зони, кожна з яких виконує визначені технологічні завдання.

- Зона денітрифікації D_1 розташована на початку першого коридору та має довжину 23,5 м. До цієї зони надходить 18 % загальної витрати стічних вод і весь потік зворотного активного мулу. Для забезпечення перемішування ілової суміші встановлено дві занурювальні мішалки.
- Анаеробна зона (Ан) розміщена в середній частині першого коридору та має довжину 28 м. У зону надходить ілова суміш із зони D_1 та 82 % загальної витрати стічних вод. Для підтримання необхідних безкисневих умов передбачено встановлення двох занурювальних мішалок.
- Зона денітрифікації D_2 розташована в кінці першого коридору та має довжину 26,5 м. До неї надходить ілова суміш після анаеробної зони, а також нітратний рецикл із кінцевої частини аеротенка. Перемішування забезпечується двома занурювальними мішалками.
- Зона нітрифікації N_1 (перша аераційна зона) охоплює кінцеву частину першого коридору та початкову частину другого коридору загальною довжиною 34 м. У цю зону надходить ілова суміш із зони D_2 . Аерація здійснюється дисковою системою аерації, додатково передбачено встановлення оксиметра та електрозасувки на повітропроводі.
- Перемінна зона (П) виділена в межах зони N_1 . Залежно від режиму роботи вона може функціонувати як аерована або як зона перемішування. Для цього передбачено встановлення трьох механічних мішалок.
- Зона нітрифікації N_2 (друга аераційна зона) розташована в середній та кінцевій частинах другого коридору і має довжину 56 м. До неї надходить увесь потік ілової суміші із зони N_1 . Для насичення суміші киснем передбачено дискову систему аерації, оксиметр та електрозасувку подачі повітря.
- Зона нітрифікації N_3 (третя аераційна зона) займає весь третій коридор довжиною 84 м. У цю зону надходить ілова суміш із зони N_2 . Технологічне оснащення включає дискову систему аерації, оксиметр, мутномір, електрозасувку на повітропроводі та насос нітратного рециклу для подачі ілової суміші до зони D_2 .

Схему нітри-денітрифікації аеротенків наведено на рисунку 2.4.

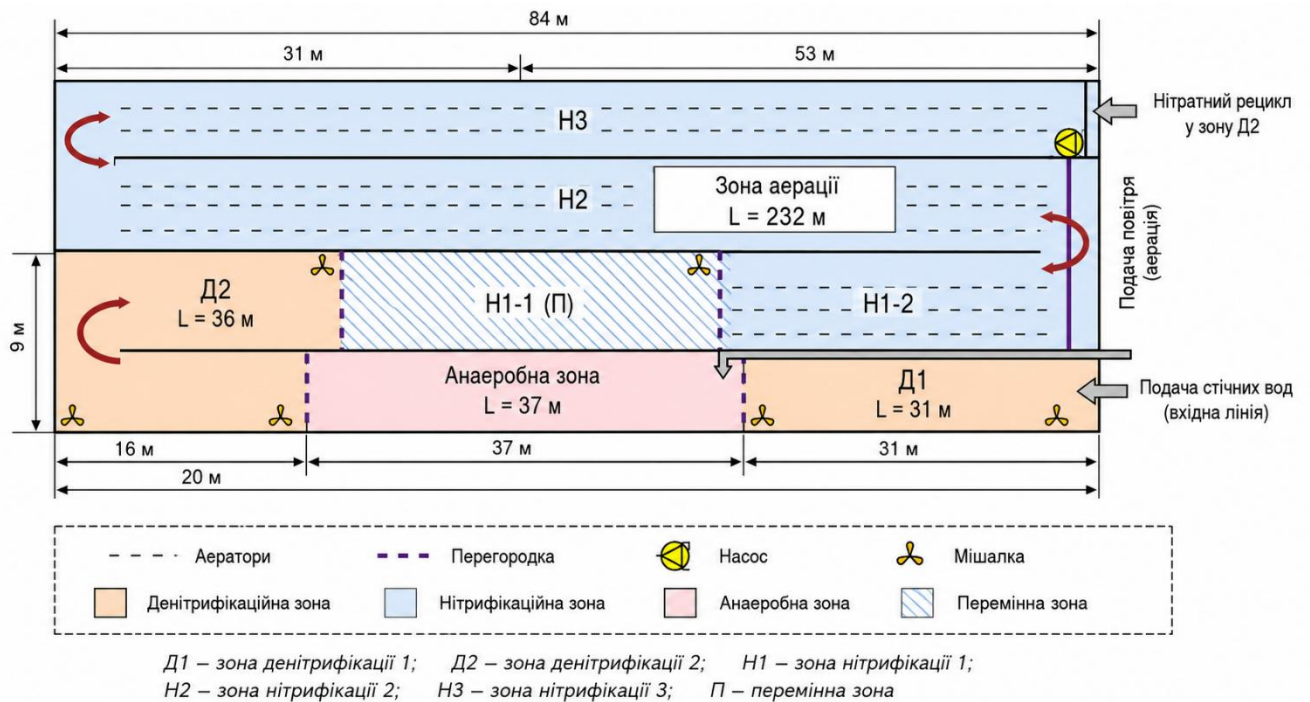


Рисунок 2.4 – Схема нітри-денітрифікації аеротенків

Аеротенки першої черги (1/3 загальної місткості). Об'єм зони денітрифікації D_1 визначається за формулою:

$$0,47 \times 51\,862,7 \times 0,223 \times 1/3 = 1\,811,9 \text{ м}^3$$

Довжина зони D_1 у кожній із двох секцій аеротенка при ширині коридору 9 м та робочій глибині 4,4 м становить:

$$D_1 (1 \text{ черг.}) = 1\,811,9 / 2 / 9 / 4,4 = 22,9 \sim 23,5 \text{ м.} \quad (2.35)$$

Об'єм зони денітрифікації D_2 визначається за залежністю:

$$(1 - 0,47) \times 51\,862,7 \times 0,223 \times 1/3 = 2\,043,2 \text{ м}^3$$

Відповідно довжина зони D_2 у кожній із двох секцій аеротенка становить:

$$D_2 (1 \text{ черг.}) = 2\,043,2 / 2 / 9 / 4,4 = 25,8 \sim 26,5 \text{ м.} \quad (2.36)$$

Сумарна довжина зон денітрифікації в аеротенках першої черги складає:

$$D_1 + D_2 = 50 \text{ м.}$$

Аеротенки третьої черги (2/3 загальної місткості). Для аеротенків третьої черги, на які припадає 2/3 загального об'єму споруд біологічного очищення, місткість першої зони денітрифікації D_1 визначається

$$0,47 \times 51\,862,7 \times 0,223 \times 2/3 = 3\,623,9 \text{ м}^3$$

Довжина зони D_1 у кожній із трьох секцій аеротенка при ширині коридору 9 м та робочій глибині 4,4 м становить:

$$D_1 \text{ (3 черг.)} = 3\,623,9 / 3 / 9 / 4,4 = 30,5 \sim 31,0 \text{ м.} \quad (2.37)$$

Об'єм зони денітрифікації D_2 визначається за залежністю:

$$(1 - 0,47) \times 51\,862,7 \times 0,223 \times 2/3 = 4\,086,5 \text{ м}^3$$

Відповідно довжина зони D_2 у кожній із двох секцій аеротенка становить:

$$D_2 \text{ (3 черг.)} = 4\,086,5 / 3 / 9 / 4,4 = 34,4 \sim 36,0 \text{ м.} \quad (2.38)$$

Сумарна довжина зон денітрифікації в аеротенках третьої черги складає:

$$D_1 + D_2 = 67 \text{ м}$$

Отримані значення використані під час компонування функціональних зон аеротенків та розроблення їх планувальних рішень.

Розрахунок споруд виконано з урахуванням середньодобової витрати стічних вод та необхідності забезпечення нормативних показників якості очищення. Концентрація активного мулу в аеротенках прийнята на рівні $3,5 \text{ г/дм}^3$, що відповідає сучасним рекомендаціям щодо експлуатації споруд біологічного очищення з видаленням азоту та фосфору.

Розрахунковий вік активного мулу становить 9,32 доби. Таке значення забезпечує необхідні умови для розвитку нітрифікуючих бактерій та стабільного перебігу процесів нітрифікації.

Кожний аеротенк виконано у вигляді багатокоридорної споруди з робочою глибиною 4,4 м. Довжина коридору становить 84 м, ширина — 9 м. Такі розміри забезпечують необхідний час контакту стічної води з активним мулом та рівномірний розподіл кисню по всьому об'єму споруди.

Для підтримання необхідних технологічних режимів передбачено систему внутрішньої рециркуляції мулової суміші. Кратність внутрішнього рециркуляційного потоку становить 2,05, а кратність рециркуляції активного мулу — 1,44. Зазначені параметри забезпечують ефективне повернення нітратів до денітрифікаційних зон та підтримання необхідної концентрації активного мулу в аеротенках.

У структурі аеротенків виділено анаеробні, аноксидні та аеробні зони. Частка зон денітрифікації становить близько 22 % загального об'єму споруд, що забезпечує необхідні умови для видалення сполук азоту зі стічних вод.

Розрахункова потреба в кисні для забезпечення процесів біологічного очищення становить 1667 кг/год. Для подачі повітря передбачено використання сучасної дрібнобульбашкової аерації, що дозволяє підвищити ефективність масообміну та знизити енергетичні витрати на аерування.

Отримані результати свідчать про достатність прийнятого об'єму аеротенків та правильність вибору технологічної схеми. Прийняті параметри забезпечують ефективне видалення органічних забруднень, сполук азоту та фосфору, а також створюють резерв потужності для стабільної роботи очисних споруд упродовж усього розрахункового періоду експлуатації.

2.3.2 Розрахунок споживання повітря

Визначимо потребу в повітрі відповідно до методики ATV-DVWK-A 131E.

Питоме споживання кисню на окиснення органічних речовин становить:

$$OU_{d,C} = B_{d,BOD} \left(0,56 + \frac{0,15 \times t_{SS} \times F_T}{1 + 0,17 \times t_{SS} \times F_T} \right) \quad (2.39)$$

$$OU_{d,C} = 23501,9 \left(0,56 + \frac{0,15 \times 10,72 \times 0,88}{1 + 0,17 \times 10,72 \times 0,88} \right) = 17\,818 \text{ кг O}_2/\text{доб.}$$

Споживання кисню під час нітрифікації:

$$OU_{d,N} = Q_d \times 4,3 \times (S_{NO_3,D} - S_{NO_3,IAT} + S_{NO_3,EST}) / 1000 \quad (2.40)$$

$$OU_{d,N} = 85\,898,4 \times 4,3 \times (31,33 - 0,70 + 9,0) / 1000 = 14\,631 \text{ кг O}_2/\text{доб.},$$

де $S_{NO_3,D}$ – розрахункове значення денітрифікованого азоту, яке становить 31,33 мг/дм³;

$S_{NO_3,IAT}$ – концентрація азоту нітратів перед аеротенками, 0,70 мг/дм³;

$S_{NO_3,EST}$ – концентрація азоту нітратів в очищених стічних водах після вторинних відстійників, 9,0 мг/дм³.

Споживання кисню під час денітрифікації:

$$OU_{d,D} = Q_d \times 2,9 \times S_{NO3,D} / 1000 \quad (2.41)$$

$$OU_{d,D} = 85\,898,4 \times 2,9 \times 31,33 / 1000 = 7\,802 \text{ кг O}_2/\text{доб}$$

Загальне споживання кисню визначається за формулою:

$$OU_h = \frac{f_C \times (OU_{d,C} - OU_{d,D}) + f_N \times OU_{d,N}}{24}, \text{ кгO}_2/\text{Год}, \quad (2.42)$$

де:

f_C – коефіцієнт пікового споживання кисню під час окиснення органічних речовин, який приймається рівним 1,193;

f_N – коефіцієнт пікового споживання кисню під час видалення сполук азоту, значення якого становить 1,757.

Для визначення пікової потреби в кисні при окисненні органічних речовин виконують два розрахунки: перший – при ($f_C = 1$) та прийнятому значенні коефіцієнта (f_N), другий – при ($f_N = 1$) та прийнятому значенні коефіцієнта (f_C). Для подальших розрахунків приймають більше із отриманих значень (OU_h).

Загальну потребу в кисні OU_h визначають за формулою:

$$f_C=1: OU_h = \frac{1 \times (17818 - 7802) + 1,757 \times 14631}{24} = 1\,488,4 \text{ кгO}_2/\text{Год} \quad (2.43)$$

$$f_N=1: OU_h = \frac{1,193 \times (17818 - 7802) + 1 \times 14631}{24} = 1\,107,5 \text{ кгO}_2/\text{Год} \quad (2.44)$$

Витрату повітря за стандартних умов визначають за формулою:

$$Q_{air} = \frac{OR \times 100 \times C_{ast}}{w \times \rho_{air} \times SOTE \times K_t \times \alpha \times (C_a \times \beta - C_o)} = 44\,519,3 \text{ м}^3/\text{Год}, \quad (2.45)$$

2.3.3 Розрахунок вторинних відстійників

Передбачено використання існуючих вторинних відстійників третьої черги діаметром 30 м у кількості 5 одиниць, а також будівництво додаткових вторинних відстійників діаметром 30 м у кількості 4 одиниць. Із них три відстійники передбачено для першої черги, а один — для третьої черги.

Нові вторинні відстійники проектується зі збільшеною глибиною, що дозволяє підвищити ефективність розділення мулової суміші та забезпечити стабільну роботу споруд за розрахункових навантажень.

Розрахункова еквівалентна глибина відстійної частини вторинних відстійників прийнята рівною 3,5

Розрахунок вторинних відстійників за методикою ATV-DVWK-A 131E

Для перевірки працездатності вторинних відстійників виконано розрахунок гідравлічного навантаження на поверхню споруди відповідно до рекомендацій ATV-DVWK-A 131E.

Гідравлічне навантаження на поверхню вторинного відстійника, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, визначають за формулою:

$$q_A = \frac{q_{sv}}{SS_{eat} \times SVI}, \quad (2.46)$$

$$q_A = \frac{q_{sv}}{SS_{eat} \times SVI} = \frac{500}{3,5 \times 160} = 0,893 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год},$$

де q_{sv} – допустиме навантаження за об'ємом мулу, яке при співвідношенні вертикальної та горизонтальної складових потоку у відстійнику приймається рівним $500 \text{ дм}^3/\text{м}^2$;

SVI – іловий індекс, який для процесу денітрифікації приймається рівним $160 \text{ см}^3/\text{г}$;

SS_{eat} – середня концентрація активного мулу в муловій суміші на виході з аеротенків, $3,5 \text{ г}/\text{дм}^3$.

Розрахункове гідравлічне навантаження на вторинні відстійники відповідає вимогам ATV-DVWK-A 131E та не перевищує $1,6 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$.

Мінімально необхідну площу поверхні вторинних відстійників при максимальній витраті стічних вод визначають за формулою:

$$A_{ST} = \frac{Q_{ww,h}}{q_A} = \frac{5344,6}{0,893} = 5983,8 \text{ м}^2. \quad (2.47)$$

Необхідна кількість запроєктованих радіальних вторинних відстійників діаметром 30 м із площею поверхні $706,9 \text{ м}^2$ становить:

$$n = \frac{A_{ST}}{S} = \frac{5983,8}{706,9} = 8,46 \sim 9 \text{ шт.} \quad (2.48)$$

Загальна площа поверхні запроєктованих радіальних вторинних відстійників діаметром 30 м у кількості 9 одиниць становить:

$$A_{ST,проектн} = S \times n = 706,9 \times 9 = 6\,362,1 \text{ м}^2. \quad (2.49)$$

2.3.4 Розрахунок споруд видалення фосфору

Кількість фосфору, що підлягає видаленню:

$$C_P = C_{P,IAT} - C_{P,EST} = 8,20 - 1,12 = 7,08 \text{ мг/дм}^3. \quad (2.50)$$

де $C_{P,IAT}$ – концентрація загального фосфору у стічних водах, що надходять до аеротенка; становить 8,20 мг/дм³;

$C_{P,EST}$ – концентрація загального фосфору в очищених стічних водах після проходження технологічного циклу очищення; становить 1,12 мг/дм³.

Кількість фосфору, що видаляється біологічним шляхом:

$$X_{Bio} = X_{P,BioP} + X_{P,BM} = 3,42 + 2,74 = 6,16 \text{ мг/дм}^3, \quad (2.51)$$

де $X_{P,BioP}$ – концентрація фосфору, необхідна для приросту біомаси активного мулу; становить 3,42 мг/дм³;

$X_{P,BM}$ – кількість фосфору, необхідна для накопичення гетеротрофної біомаси; становить 2,74 мг/дм³.

Частка фосфору, що видаляється біологічним шляхом:

$$\mathcal{E} = 100 - \frac{C_P - X_{Bio}}{C_P} \times 100 = 100 - \frac{7,08 - 6,16}{7,08} \times 100 = 86,4\%. \quad (2.52)$$

Частка фосфору, що видаляється хімічним способом, становить: 100 – 86,4 = 13,6%.

Кількість фосфору, що підлягає хімічному видаленню, визначають за формулою:

$$X_{P,Prec} = C_P \times \mathcal{E}_{хим} = 7,08 \times 0,136 = 0,93 \text{ мг/дм}^3, \quad (2.53)$$

Отримане значення відповідає величині $X_{P,Prec}$

Масу фосфору, що видаляється хімічним способом, з урахуванням 10 % експлуатаційного запасу визначають за формулою:

$$M_{Prec} = Q \times X_{P,Prec} \times 1000 = 85\,898,4 \times 0,93 \times 1,1 / 1000 = 87,9 \text{ кг/доб} \quad (2.54)$$

2.4 Розрахунок споруд для обробки осадів

2.4.1 Механічне зневоднення суміші осадів

Проектом передбачено механічне зневоднення суміші сирого осаду та ущільненого надлишкового активного мулу із застосуванням стрічкових фільтр-пресів. Використання такого обладнання забезпечує зменшення вологості осаду до значень, необхідних для його подальшого транспортування та утилізації.

Розрахункові характеристики осадів, що надходять на механічне зневоднення, наведені в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Розрахункові характеристики осадів перед механічним зневодненням

№ з/п	Показник	Од-ця вимірюв.	Сирий осад	Спливні речовини	Ущільнений надлишковий мул	Суміш осадів
1	Маса за сухою речовиною	кг/добу	23 213,6	399,0	17 239,0	40 851,6
2	Кількість	м ³ /добу	464,3	8,0	344,8	817,0
3	Концентрація сухої речовини	кг/м ³	50	50	50	50
4	Кінцева вологість після зневоднення	%	–	–	–	75

Механічне зневоднення осаду є початковим і обов'язковим етапом технологічного процесу підготовки осадів стічних вод до подальшої обробки та утилізації незалежно від обраного способу їх кінцевого використання. Основним завданням цього етапу є зниження вологості осаду, зменшення його об'єму та маси, що дозволяє скоротити витрати на транспортування, зберігання і подальшу переробку. Крім того, механічне зневоднення забезпечує отримання осаду з характеристиками, придатними для подальшого використання або утилізації відповідно до чинних екологічних вимог.

Доза флокулянту приймається в межах 3,0–5,0 кг на 1 т сухої речовини осаду. Остаточне значення уточнюється під час пусконаладжувальних робіт за результатами випробування різних марок флокулянтів.

Масу флокулянту при розрахунковій дозі $C_{\text{фл}} = 4,0$ кг/т за сухою речовиною осаду визначають за формулою:

$$M_{\text{фл}} = M_{\text{см}} \times C_{\text{фл}} / 1000 = 40\,851,6 \times 4,0 / 1000 = 163,4 \text{ кг/доб} \quad (2.55)$$

Кількість 0,15 %-го розчину флокулянту визначають за формулою:

$$Q_{\text{фл}} = \frac{163,4 \times 100}{0,15 \times 1000} = 108,9 \text{ м}^3/\text{доб} \quad (2.56)$$

Масу суміші осадів і флокулянту, що надходить на механічне зневоднення, визначають за формулою:

$$M_{\text{мо}} = M_{\text{см}} + M_{\text{фл}} = 40\,851,6 + 163,4 = 41\,015,0 \text{ кг/доб по а.с.р.} \quad (2.57)$$

Кількість суміші осадів і флокулянту, що надходить на стрічкові фільтр-преси, визначають за формулою:

$$Q_{\text{tot}} = Q_{\text{сбр}} + Q_{\text{фл}} = 817,0 + 108,9 = 926,0 \text{ м}^3/\text{доб} \quad (2.58)$$

Концентрацію суміші осадів із флокулянтом перед механічним зневодненням визначають за формулою:

$$C = M_{\text{мо}} / Q = 41\,015,0 / 926,0 = 44,3 \text{ кг/м}^3 \text{ (} W = 95,57\% \text{)} \quad (2.59)$$

Режим роботи обладнання механічного зневоднення приймається 23 год/добу.

Годинну продуктивність обладнання визначають за формулою:

$$q = Q_{\text{tot}} / t = 926,0 / 23 = 40,3 \text{ м}^3/\text{доб} \quad (2.60)$$

Розрахункова кількість стрічкових фільтр-пресів приймається 4 одиниці, з яких 2 установки передбачені в роботі, 1 установка — у резерві та ще 1 установка — у додатковому резерві.

За умови роботи двох фільтр-пресів питоме навантаження на одну установку за об'ємом осаду становить: $40,3 / 2 \text{ шт.} = 20,1 \text{ м}^3/\text{год}$

Навантаження на одну установку за сухою речовиною становить: $41,0 \text{ т} / (23 \text{ ч} \times 2 \text{ шт.}) = 0,89 \text{ т/год}$

Вихідні дані для вузла механічного зневоднення суміші осадів наведені в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Вимоги до вузла механічного зневоднення суміші осадів

№ з/п	Показник	Од-ця вимірюв.	без урахування флокулянту	з урахуванням флокулянту (0,15 %)
1	Маса суміші осадів за сухою речовиною	кг/добу	40 851,6	41 015,0
2	Кількість суміші осадів за об'ємом	м ³ /добу	817,0	926,0
3	Доза флокулянту	кг/т сухої речовини	-	4,0
4	Концентрація суміші осадів	кг/м ³	50,0	44,3
5	Тривалість роботи обладнання	год/добу	23	23
6	Кількість робочих одиниць обладнання	шт.	2	2
7	Навантаження на один фільтр-прес за сухою речовиною	т/год	0,89	0,89
8	Гідравлічне навантаження на один фільтр-прес	м ³ /год	17,8	20,1
9	Кінцева вологість осаду	%	75,0	75,0

Маса зневодненого осаду при ефективності затримання завислих речовин $E=98,25\%$:

$$M_{00} = 41\,015,0 \times 0,9825 = 40\,296,6 \text{ кг/добу} \quad (2.61)$$

Концентрацію зневодненого осаду (кеку) при вологості ($W = 75\%$) та густині ($\rho = 900$) кг/м³ визначають за формулою:

$$C = \frac{100-W}{100} \rho = \frac{100-75}{100} 900 = 225 \text{ кг/м}^3. \quad (2.62)$$

Кількість зневодненого осаду (кеку) при концентрації сухої речовини 225,0 кг/м³ (за вологості ($W = 75\%$)) визначають за формулою:

$$Q_{00} = M_{00} / C = 40\,296,6 / 225,0 = 179,1 \text{ м}^3/\text{добу} \quad (2.63)$$

Кількість фільтрату, що утворюється в процесі механічного зневоднення осаду, визначають за формулою:

$$Q_{\Phi} = Q_{tot} - Q_{00} = 926,0 - 179,1 = 746,9 \text{ м}^3/\text{добу} \quad (2.64)$$

Кількість промивних вод від двох стрічкових фільтр-пресів при витраті води на промивання 15 м³/год та тривалості роботи обладнання 23 год/добу визначають за формулою:

$$Q_{ПВ} = 2 \times 15 \times 23 = 690,0 \text{ м}^3/\text{доб} \quad (2.65)$$

Кількість фільтрату та промивних вод, що утворюються під час роботи стрічкових фільтр-пресів, визначають за формулою:

$$Q_{ИП} = Q_{Ф} + Q_{ПВ} = 746,9 + 690,0 = 1\,436,9 \text{ м}^3/\text{доб} \quad (2.66)$$

Масу завислих речовин у фільтраті та промивних водах стрічкових фільтр-пресів визначають за формулою:

$$M_{ФП} = M_{МО} - M_{ОО} = 41\,015,0 - 40\,296,6 = 718,4 \text{ кг/доб} \quad (2.67)$$

Концентрацію завислих речовин у фільтраті та промивних водах визначають за формулою:

$$C = M_{ФП} / Q_{ИП} = 718,4 / 1\,436,9 = 0,50 \text{ кг/м}^3. \quad (2.68)$$

2.4.2 Мембранне компостування осадів стічних вод

Процес мембранного аеробного компостування здійснюється в умовах контрольованого повітрообміну під напівпроникним мембранним покриттям. Така технологія забезпечує створення оптимального середовища для інтенсивного перебігу біологічних процесів та ефективного розкладання органічної речовини [3, 10].

Максимальна швидкість біодеструкції органічних компонентів досягається завдяки автоматизованому регулюванню подачі повітря. Система керування підтримує необхідну концентрацію кисню в компостній масі шляхом періодичного аерування, що сприяє активному розвитку аеробних мікроорганізмів.

Напівпроникна мембрана забезпечує рівномірний розподіл температури та вологості по всьому об'єму компостованого матеріалу, а також мінімізує вплив атмосферних факторів. У результаті створюються стабільні умови для знезараження та біологічної стабілізації осаду.

Під час компостування температура всередині буртів може перевищувати +80 °С, що забезпечує ефективне знищення патогенних мікроорганізмів, вірусів,

спор грибів та насіння бур'янів. Завдяки цьому отриманий продукт відповідає санітарно-гігієнічним вимогам щодо подальшого використання.

На початковому етапі зневоднений осад стічних вод змішують із структуроутворюючим наповнювачем (деревною щепкою, корою, листям або іншими рослинними матеріалами), після чого сформований бурт накривають мембранним покриттям. У товщу бурта встановлюють датчики температури та концентрації кисню для безперервного контролю параметрів процесу.

Подача атмосферного повітря здійснюється через аераційні канали, розташовані в основі бурта. Одночасно ці канали виконують функцію збору та відведення фільтрату. Завдяки герметичному кріпленню мембрани до основи бурта всередині компостної маси створюється незначний надлишковий тиск, що забезпечує рівномірне поширення повітря по всьому об'єму матеріалу та сприяє однорідному температурному режиму.

Тривалість процесу мембранного компостування, як правило, становить 7–8 тижнів і включає три основні стадії:

1. Фаза інтенсивного компостування. Осад змішують із наповнювачем, формують бурт і накривають тришаровою мембраною. Протягом 3–4 тижнів відбувається активний біологічний розклад органічної речовини.
2. Фаза стабілізації. Після завершення першої стадії мембрану знімають, а компостну масу переміщують на наступний майданчик. Матеріал знову вкривають мембраною та витримують близько двох тижнів для подальшого біологічного розкладання і стабілізації.
3. Фаза дозрівання. На завершальному етапі компост витримують протягом приблизно двох тижнів без обов'язкового використання мембранного покриття. У цей період завершується формування стабільного органічного продукту з контрольованими показниками якості.

Після завершення процесу компостування готовий матеріал за необхідності піддають просіюванню для розділення на окремі фракції.

Для забезпечення оптимальної структури компостної маси осад змішують із наповнювачем у співвідношенні близько 1:1 за масою. З метою зменшення

експлуатаційних витрат крупну деревну щепу після просіювання допускається використовувати повторно в наступних циклах компостування (рис. 2.5).

Розрахункові параметри процесу мембранного компостування осадів наведено в Таблиці 2.9.

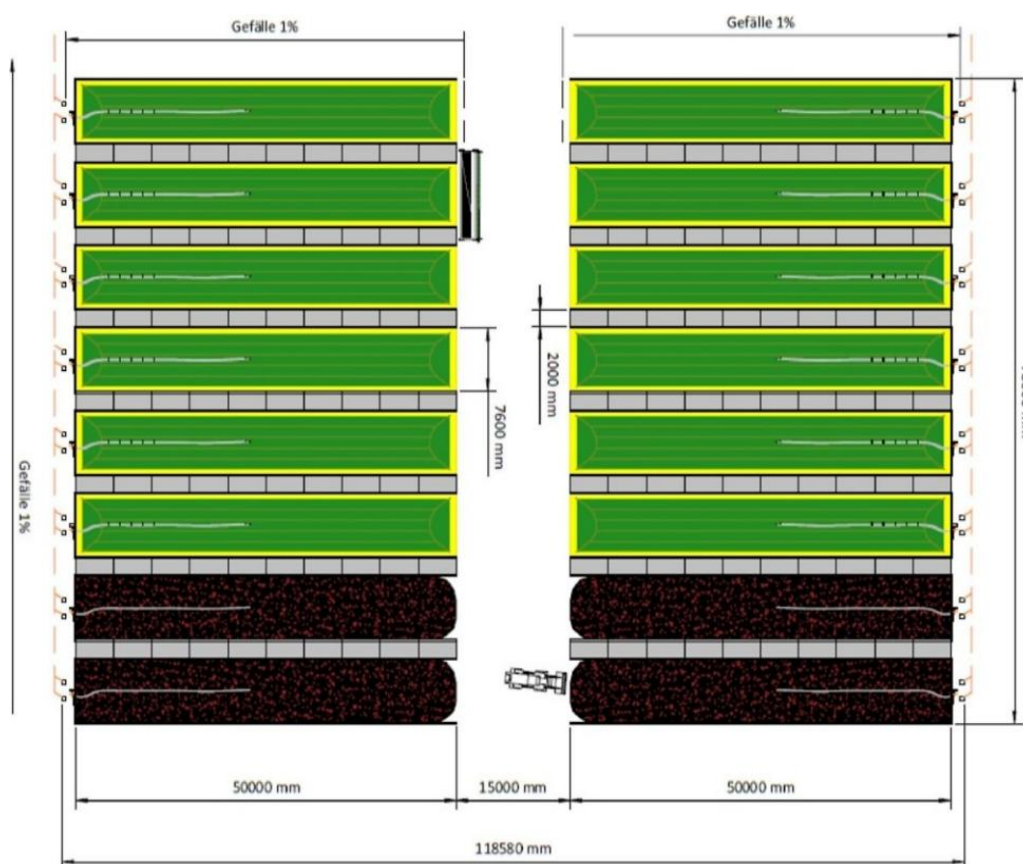


Рисунок 2.5 – Схема компонування майданчика мембранного компостування осадів стічних вод

Таблиця 2.9 – Розрахункові показники мембранного компостування осадів

Показник	Значення	Од.вим.
Вихідний осад		
Вологість осаду	75,0	%
Кількість осаду	179,1	м ³ /добу
Концентрація осаду	225,0	кг/м ³
Маса осаду за сухою речовиною	40 296,6	кг/добу
Густина осаду	900,0	кг/м ³
Маса осаду	161,2	т/добу
Вихідний наповнювач (щепи, кора, тирса...) фракцією <100мм		
Вологість наповнювача	42,5	%
Кількість наповнювача	268,6	м ³ /добу
Концентрація наповнювача	201,3	кг/м ³
Маса наповнювача за сухою речовиною	54 064,6	кг/добу
Густина наповнювача	350,0	кг/м ³
Маса наповнювача	94,0	т/добу
Суміш перед компостуванням		
Вологість суміші	63,0	%
Кількість суміші	335,8	м ³ /добу
Концентрація суміші	281,0	кг/м ³
Маса суміші за сухою речовиною	94 361,2	кг/добу
Густина суміші	760,0	кг/м ³
Маса суміші	255,2	т/добу
Суміш після компостування		
Вологість компостної маси	46,4	%
Кількість суміші	235,1	м ³ /добу
Концентрація суміші	316,6	кг/м ³
Маса суміші за сухою речовиною	74 415,5	кг/добу
Густина суміші	590,1	кг/м ³
Маса суміші	138,72	т/добу
Компост після просіювання (фракція 0–10 мм)		
Вологість компосту	40,0	%
Кількість компосту	152,8	м ³ /добу
Концентрація компосту	390,0	кг/м ³
Маса компосту за сухою речовиною	51 759,3	кг/добу
Густина компосту	650,0	кг/м ³
Маса компосту	99,3	т/добу
Структурний матеріал після просіювання (фракція 10–80 мм)		
Вологість структурного матеріалу	42,5	%
Кількість структурного матеріалу	112,6	м ³ /добу
Концентрація структурного матеріалу	201,3	кг/м ³
Маса структурного матеріалу за сухою речовиною	22 656,2	кг/добу
Густина структурного матеріалу	350,0	кг/м ³
Маса структурного матеріалу	39,4	т/добу
Потреба в наповнювачі без повторного використання	156,1	м ³ /добу
	54,6	т/добу

Корисна площа майданчиків мембранного компостування становить 0,6 га. З урахуванням внутрішніх проїздів, зон зберігання структурного наповнювача, майданчиків для змішування осаду з наповнювачем, а також ділянок складування готового компосту загальна необхідна площа земельної ділянки становить 1,1 га.

Розрахункові параметри тунельних буртів наведено в таблиці 2.10-2.11.

Таблиця 2.10 – Розрахункові параметри тунельних буртів мембранного компостування

Тривалість витримування	Фази мембранного компостування	Розрахункова корисна площа тунельних буртів, м ²	Площа, га	Розрахункова місткість, м ³	Місткість одного бурта, м ³	Кількість буртів, шт.
4 тижні	Фаза 1 (інтенсивне компостування)	2 938,3	0,29	9 402,5	1 216	7,7
2 тижні	Фаза 2 (стабілізація)	1 469,1	0,15	4 701,3	1 216	3,9
2 тижні	Фаза 3 (дозрівання)	1 469,1	0,15	4 701,3	1 216	3,9
8 тижнів	Разом	5 876,6	0,59	18 805,1	–	15,5

Таблиця 2.11 – Параметри тунельного бурта

Показник	Значення	Одиниця вимірювання
Довжина бурта	50,0	м
Ширина бурта	7,6	м
Еквівалентна висота бурта	3,2	м

У процесі мембранного компостування відбувається суттєве зменшення кількості та маси осадів внаслідок біологічного розкладання органічної речовини, випаровування вологи та стабілізації компостної маси. За результатами розрахунків зменшення об'єму компостованого матеріалу становить 14,7 %, тоді як зниження його загальної маси досягає 38,4 %.

Отримані показники свідчать про високу ефективність процесу компостування та дозволяють істотно скоротити витрати на подальше транспортування, зберігання й утилізацію осадів стічних вод.

2.5 Параметри основних ємнісних споруд

Основні ємнісні споруди очисних споруд прийняті на підставі виконаних технологічних розрахунків та забезпечують необхідний час перебування стічних вод і осадів на кожному етапі очищення. Розміри та об'єми споруд визначені з урахуванням розрахункової продуктивності комплексу, нерівномірності надходження стічних вод, технологічних вимог до процесів очищення та необхідності забезпечення надійної експлуатації споруд.

До основних ємнісних споруд належать аеротенки, первинні та вторинні відстійники, ущільнювачі осаду, резервуари технологічних потоків, а також споруди для оброблення та зберігання осадів. Прийняті параметри забезпечують досягнення нормативних показників очищення стічних вод, стабільність роботи технологічної схеми та можливість резервування окремих елементів системи.

Основні розрахункові характеристики ємнісних споруд наведено в Таблиці 2.12.

Аналіз прийнятих параметрів показує, що сумарна місткість основних ємнісних споруд становить 94 864,7 м³. Найбільшу частку загального об'єму займають аеротенки — 59 875,2 м³, що обумовлено необхідністю забезпечення нормативного часу перебування стічних вод у процесі біологічного очищення. Загальний середній час перебування стічних вод у спорудах становить 28,12 год, що відповідає прийнятій технологічній схемі очищення та забезпечує досягнення нормативних показників якості очищених стічних вод.

Таблиця 2.12 – Параметри основних ємнісних споруд

№ з/п	Споруда	Од. вим.	I черга	III черга	Разом
1	Первинні відстійники				
	Діаметр	м	30	30	30,0
	Площа поверхні 1 од.	м ²	706,9	706,9	706,9
	Глибина зони відстоювання	м	3,1	3,1	3,1
	Місткість 1 од.	м ³	2 191,3	2 191,3	2 191,3
	Кількість	шт.	2	4	6
	Загальна місткість	м ³	4 382,5	8 765,0	13 147,6
	Середній час перебування	год	–	–	3,90
	Частка місткості	%	33,33	66,7	100,0
2	Аеротенки				
	Довжина	м	84,0	84,0	84,0
	Ширина коридору	м	9,0	9,0	9,0
	Кількість коридорів	шт.	3	4	4
	Робоча глибина	м	4,4	4,4	4,4
	Місткість 1 од.	м ³	9 979,2	13 305,6	13 305,6
	Кількість	шт.	2	3	5
	Загальна місткість	м ³	19 958,4	39 916,8	59 875,2
	Середній час перебування	год	–	–	17,75
	Частка місткості	%	33,33	66,7	100,0
3	Вторинні відстійники				
	Діаметр	м	30	30	30,0
	Площа поверхні 1 од.	м ²	706,9	706,9	706,9
	Гідравлічна глибина	м	4,65	3,65	4,09*
	Глибина зони відстоювання	м	4,10	3,10	3,54*
	Місткість 1 од.	м ³	2 898,1	2 191,3	2 505,4
	Кількість	шт.	3	6	9
	Загальна місткість	м ³	8 694,4	13 147,6	21 841,9
	Середній час перебування	год	–	–	6,47
	Частка місткості	%	39,81	60,2	100,0
4	Разом	м ³	33 035,3	61 829,4	94 864,7
	Середній час перебування	год	–	–	28,12
5	Середньодобовий приплив	м ³ /доб	26 992,5	53 985,0	80 977,5

Примітка: *приведена глибина

3 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Ефективна експлуатація сучасних очисних споруд неможлива без використання автоматизованих систем контролю та керування технологічними процесами [18-20]. Враховуючи складність технологічної схеми очищення стічних вод, що включає механічне очищення, біологічне видалення сполук азоту та фосфору, доочищення, знезараження та обробку осадів, проектом передбачено створення програмно-технічного комплексу автоматизованої системи керування технологічними процесами (АСУ ТП).

Основним призначенням АСУ ТП є забезпечення стабільної роботи технологічного обладнання, підтримання оптимальних режимів очищення стічних вод, підвищення надійності функціонування споруд та зниження експлуатаційних витрат. Система дозволяє здійснювати безперервний моніторинг технологічних параметрів, оперативно реагувати на зміну режимів роботи обладнання та забезпечувати необхідні показники якості очищених стічних вод.

Автоматизована система керування охоплює всі основні технологічні вузли комплексу очищення стічних вод та забезпечує централізований збір, обробку, архівування і візуалізацію інформації про стан технологічного процесу [18-20]. Програмно-технічний комплекс будується за ієрархічним принципом і включає польовий, локальний та диспетчерський рівні.

На польовому рівні розміщуються первинні перетворювачі, датчики, аналізатори, виконавчі механізми та регулююча арматура, що забезпечують безпосередній контроль параметрів технологічного процесу.

Локальний рівень представлений програмованими логічними контролерами та шафами керування, які здійснюють обробку інформації, виконання алгоритмів автоматичного регулювання та керування технологічним обладнанням.

Верхній рівень системи реалізується за допомогою автоматизованих робочих місць операторів і диспетчерів, що забезпечують візуалізацію технологічних процесів, формування звітів, архівування інформації та дистанційне керування обладнанням.

Обмін даними між окремими елементами системи здійснюється через промислові мережі передачі даних із використанням стандартних протоколів зв'язку, зокрема Modbus TCP.

Для забезпечення ефективного керування процесами очищення стічних вод передбачається автоматичний контроль основних технологічних показників:

- витрати сирих та очищених стічних вод;
- витрати повітря, що подається в аеротенки;
- витрати технічної води;
- витрати реагентів;
- витрати зворотного активного мулу та надлишкового мулу;
- рівнів рідин у резервуарах і насосних станціях;
- концентрації розчиненого кисню в аеротенках;
- концентрації завислих речовин в аеротенках;
- концентрації амонійного азоту та фосфатів;
- значень рН і температури стічних вод;
- мутності очищеної води;
- рівня осаду у первинних та вторинних відстійниках.

Для вимірювання зазначених параметрів застосовуються електромагнітні та термомасові витратоміри, ультразвукові рівнеміри, киснеміри, мутноміри, рН-метри, аналізатори азотних і фосфорних сполук, а також інші сучасні засоби вимірювальної техніки.

Система автоматизації забезпечує роботу обладнання в автоматичному, дистанційному та місцевому режимах керування.

Особливу увагу приділено автоматизації процесів біологічного очищення стічних вод. Регулювання подачі повітря до аеротенків здійснюється за сигналами стаціонарних датчиків розчиненого кисню. Зміна продуктивності повітродувок виконується за допомогою частотних перетворювачів, що дозволяє підтримувати необхідну концентрацію кисню в окремих технологічних зонах та мінімізувати споживання електроенергії.

Робота насосного обладнання організовується за сигналами рівнемірів із автоматичним підключенням резервних агрегатів при відмові робочих насосів або досягненні аварійних рівнів.

Для вирівнювання напрацювання обладнання реалізується алгоритм автоматичного чергування робочих та резервних механізмів.

Запірно-регулююча арматура, що бере участь у технологічному регулюванні, оснащується електроприводами та інтегрується до загальної системи керування.

Усі параметри технологічного процесу відображаються на автоматизованих робочих місцях операторів у режимі реального часу. Система забезпечує візуалізацію технологічних схем, стану обладнання, графіків зміни параметрів та повідомлень про аварійні ситуації.

Передбачається автоматичне ведення електронних журналів подій, аварійних повідомлень і режимів роботи обладнання. Архівування технологічної інформації дозволяє здійснювати подальший аналіз роботи споруд, оцінювати ефективність очищення та планувати профілактичне обслуговування обладнання.

Для аварійних ситуацій реалізується світлова та звукова сигналізація з автоматичною реєстрацією подій у базі даних системи.

У проєкті передбачено застосування промислових засобів автоматизації, призначених для безперервної роботи в умовах очисних споруд.

Передача аналогових сигналів від польових приладів здійснюється за уніфікованим стандартом 4–20 мА, що забезпечує високу завадостійкість та надійність вимірювань.

Обладнання, розташоване всередині виробничих приміщень, повинно мати ступінь захисту не нижче IP54, а обладнання зовнішнього встановлення – не нижче IP65.

Для забезпечення безпечної експлуатації всі технічні засоби автоматизації підлягають захисному заземленню відповідно до вимог чинних нормативних документів.

Впровадження запропонованої системи автоматизації дозволить підвищити стабільність роботи очисних споруд, забезпечити нормативну якість очищених стічних вод, зменшити витрати електроенергії та підвищити загальну ефективність експлуатації комплексу.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Забезпечення вибухо- та пожежобезпеки на об'єкті

Очисні споруди належать до об'єктів підвищеної небезпеки, оскільки під час очищення стічних вод та обробки осадів можливе утворення вибухонебезпечних і горючих газів. Найбільшу небезпеку становлять метан (CH_4), сірководень (H_2S), аміак (NH_3) та інші газоподібні продукти розкладання органічних речовин.

Потенційно небезпечними зонами є насосні станції, камери перемикання, резервуари осадів, приміщення механічного зневоднення осаду та майданчики мембранного компостування. Для запобігання виникненню аварійних ситуацій проектом передбачено автоматичний контроль технологічних параметрів, постійний повітрообмін у виробничих приміщеннях та застосування обладнання відповідного ступеня захисту.

При експлуатації споруд необхідно забезпечувати постійний контроль концентрації небезпечних газів, дотримання технологічних режимів роботи обладнання та своєчасне проведення профілактичних оглядів [21, 22].

4.2 Технічні заходи з вибухозахисту

Для мінімізації ризику виникнення вибухонебезпечних ситуацій на об'єкті передбачаються такі технічні рішення [20-23, 25]:

- застосування примусової припливно-витяжної вентиляції;
- встановлення газоаналізаторів для контролю концентрацій метану, сірководню та аміаку;
- використання електрообладнання у відповідному вибухозахищеному виконанні;
- автоматичне відключення технологічного обладнання при перевищенні допустимих концентрацій газів;
- застосування частотних перетворювачів із захистом від перевантаження та короткого замикання;
- контроль рівня стічних вод і осадів у резервуарах із передачею сигналів до диспетчерського пункту.

Особливу увагу приділено насосним станціям і спорудам обробки осадів, де концентрація газів може досягати небезпечних значень.

4.3 Заходи з пожежної безпеки

Для забезпечення пожежної безпеки територія очисних споруд обладнується системами пожежного захисту відповідно до вимог чинних нормативних документів [24]. У роботі передбачається:

- обладнання виробничих приміщень автоматичною пожежною сигналізацією;
- встановлення систем оповіщення про пожежу;
- забезпечення об'єкта необхідною кількістю вогнегасників;
- облаштування зовнішнього протипожежного водопроводу;
- встановлення пожежних гідрантів;
- організація безпечних шляхів евакуації.

Усі працівники повинні проходити інструктажі з пожежної безпеки та брати участь у протипожежних тренуваннях.

4.4 Іскробезпека

На очисних спорудах джерелами займання можуть бути електрообладнання, електродвигуни насосів, повітродувки та іншого технологічного устаткування [26]. Тому, для забезпечення іскробезпеки передбачаються наступні заходи захисту:

- використання заземленого технологічного обладнання;
- застосування кабельної продукції з негорючою ізоляцією;
- захист електричних мереж автоматичними вимикачами;
- вирівнювання потенціалів металевих конструкцій;
- використання антистатичних матеріалів у вибухонебезпечних зонах;
- регулярний контроль стану контактних з'єднань.

Усі металеві конструкції, трубопроводи та шафи керування підключаються до загальної системи захисного заземлення підприємства.

4.5 Організаційні заходи

Безпечна експлуатація очисних споруд забезпечується комплексом організаційних заходів [27, 28]:

- проведення вступного та первинного інструктажів;
- періодичне навчання персоналу;
- перевірка знань з охорони праці;
- медичні огляди працівників;
- забезпечення працівників засобами індивідуального захисту;
- оформлення нарядів-допусків на виконання небезпечних робіт;
- контроль дотримання вимог охорони праці відповідальними особами.

Особливу увагу необхідно приділяти роботам у колодязях, резервуарах та інших замкнених просторах.

4.6 Заходи проти розгерметизації та аварійних викидів

Для запобігання аварійним ситуаціям, пов'язаним із розгерметизацією трубопроводів та технологічних ємностей, проєктом передбачаються:

- використання корозійностійких матеріалів;
- автоматичний контроль рівнів у резервуарах;
- аварійна сигналізація;
- резервування насосного обладнання;
- періодичне технічне обслуговування трубопроводів;
- застосування запірної арматури з дистанційним керуванням.

У випадку аварійного витoku система автоматизації передає сигнал на диспетчерський пункт для оперативного реагування персоналу.

4.7 Заходи безпеки в умовах військової агресії

Враховуючи сучасні умови експлуатації об'єктів критичної інфраструктури України, для очисних споруд передбачаються додаткові заходи безпеки [29].

До них належать:

- забезпечення резервного електроживлення від дизель-генераторних установок;
- створення аварійного запасу паливно-мастильних матеріалів;
- резервування критично важливого технологічного обладнання;
- наявність планів дій персоналу під час повітряної тривоги;
- забезпечення доступу до укриттів;
- резервне збереження технологічних даних та архівів АСУ ТП;
- організація аварійного зв'язку між службами підприємства.

Зазначені заходи спрямовані на підтримання безперервної роботи очисних споруд навіть у разі надзвичайних ситуацій.

4.8 Охорона праці на об'єкті

Експлуатація очисних споруд продуктивністю 130 000 м³/добу повинна здійснюватися відповідно до вимог Закону України «Про охорону праці», Кодексу цивільного захисту України та інших нормативних документів [21, 22].

Працівники повинні бути забезпечені:

- спеціальним одягом та взуттям;
- захисними окулярами;
- рукавицями;
- касками;
- фільтрувальними респіраторами;
- страхувальними поясами для робіт на висоті та у резервуарах.

На робочих місцях необхідно контролювати рівні шуму, вібрації, освітленості та параметри мікроклімату. Особливу увагу слід приділяти безпечній експлуатації аеротенків, вторинних відстійників, повітрорудної станції, вузла механічного зневоднення осадів та майданчика мембранного компостування.

Розрахунок штучного освітлення повітрорудної станції

Для забезпечення безпечних та комфортних умов праці обслуговуючого персоналу необхідно передбачити нормативний рівень штучного освітлення у

приміщенні повітрорудної станції [27, 28]. Розрахунок виконано методом світлового потоку. Вихідні дані наступні:

- довжина приміщення ($L = 18$) м;
- ширина приміщення ($B = 12$) м;
- нормована освітленість ($E_n = 200$) лк;
- коефіцієнт запасу ($K_z = 1,5$);
- коефіцієнт використання світлового потоку ($\eta = 0,55$).

Площа приміщення розраховується за формулою:

$$S = L \cdot B \quad (4.1)$$

$$S = 18 \cdot 12 = 216 \text{ м}^2.$$

Необхідний сумарний світловий потік визначається за такою формулою:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_z}{\eta}, \quad (4.2)$$

де Φ – сумарний світловий потік, лм;

E_n – нормована освітленість, лк;

S – площа приміщення, м²;

K_z – коефіцієнт запасу;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

Підставляючи числові значення, одержимо:

$$\Phi = \frac{200 \cdot 216 \cdot 1,5}{0,55} = 117818 \text{ лм.}$$

Для освітлення приймаються світлодіодні світильники зі світловим потоком одного світильника $\Phi_1 = 10\,000$ лм.

Необхідна кількість світильників визначається за формулою:

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_1} = \frac{117\,818}{10\,000} = 11,78.$$

Приймаємо до встановлення $N=12$ шт.

Перевірка фактичної освітленості виконується за формулою[^]

$$E_\Phi = \frac{N \cdot \Phi_1 \cdot \eta}{S \cdot K_z}, \quad (4.3)$$

де E_f – фактична освітленість приміщення, лк.

Після підстановки значень отримаємо:

$$E_f = \frac{12 \cdot 10\,000 \cdot 0,55}{216 \cdot 1,5} = 203,7 \text{ лк} \approx 204 \text{ лк.}$$

Отримане значення фактичної освітленості перевищує нормативну величину 200 лк, тому прийнята система освітлення забезпечує нормативні умови праці персоналу та безпечну експлуатацію обладнання повітрорудовної станції.

Під час експлуатації очисних споруд працівники можуть зазнавати впливу біологічних факторів, які містяться у стічних водах та осадах [29]. До них належать патогенні бактерії, віруси, грибки, яйця гельмінтів та інші мікроорганізми, що здатні викликати інфекційні та паразитарні захворювання. Найбільша ймовірність контакту з біологічними агентами виникає під час обслуговування решіток, пісколовок, первинних відстійників, аеротенків, споруд обробки осадів та виконання ремонтних робіт у резервуарах і колодязях.

Для зниження ризику професійного зараження на об'єкті передбачаються організаційні та технічні заходи захисту. Працівники забезпечуються спеціальним водонепроникним одягом, гумовими чоботами, захисними рукавицями, окулярами або захисними щитками, а також фільтрувальними респіраторами під час виконання робіт у місцях можливого утворення біологічних аерозолів.

Особлива увага приділяється дотриманню правил особистої гієни. Після завершення робіт персонал повинен проводити ретельне миття рук із використанням дезінфекційних засобів, а в разі необхідності – приймати душ. На території очисних споруд передбачаються санітарно-побутові приміщення, обладнані умивальниками, душовими кабінами та засобами для знезараження шкіри.

Для запобігання поширенню патогенних мікроорганізмів технологічні процеси максимально автоматизуються, що дозволяє скоротити безпосередній контакт персоналу зі стічними водами та осадами. У місцях можливого утворення аерозолів передбачаються системи вентиляції, які забезпечують ефективне

видалення забрудненого повітря та підтримання нормативних параметрів мікроклімату.

Працівники, діяльність яких пов'язана з обслуговуванням очисних споруд, повинні проходити попередні та періодичні медичні огляди відповідно до чинних вимог законодавства. Також рекомендується проведення профілактичних щеплень проти захворювань, ризик виникнення яких пов'язаний з виробничою діяльністю.

У разі виконання робіт у замкнених просторах (колодязях, резервуарах, камерах перемикачів) необхідно здійснювати контроль повітряного середовища, використовувати засоби індивідуального захисту органів дихання та оформлювати наряд-допуск на проведення робіт підвищеної небезпеки.

Реалізація зазначених заходів дозволяє мінімізувати вплив біологічних факторів на працівників, запобігти виникненню професійних захворювань та забезпечити безпечні умови праці під час експлуатації очисних споруд стічних вод.

Реалізація наведених технічних і організаційних заходів забезпечує безпечні умови праці персоналу, підвищує надійність функціонування очисних споруд та знижує ризик виникнення аварійних ситуацій.

Висновки до розділу 4

У розділі розглянуто питання охорони праці та промислової безпеки під час експлуатації очисних споруд стічних вод продуктивністю 130 000 м³/добу. Проаналізовано основні небезпечні виробничі фактори та розроблено комплекс технічних і організаційних заходів щодо забезпечення вибухо-, пожежо- та електробезпеки об'єкта.

Обґрунтовано заходи вибухозахисту, пожежної безпеки, іскробезпеки, запобігання аварійним викидам і розгерметизації технологічного обладнання, а також заходи безпеки в умовах воєнного стану. Виконано розрахунок штучного освітлення повітрорудної станції, за результатами якого встановлено, що

прийнята система освітлення забезпечує нормативну освітленість 204 лк при нормі 200 лк.

Особливу увагу приділено захисту персоналу від впливу біологічних факторів, забезпеченню працівників засобами індивідуального захисту та організації безпечного виконання робіт у замкнених просторах. Реалізація запропонованих заходів забезпечує належні умови праці, підвищує надійність роботи очисних споруд і знижує ризик виникнення аварійних ситуацій.

ВИСНОВКИ

У роботі розроблено технологічне рішення та обґрунтовано вибір очисних споруд стічних вод продуктивністю 130 000 м³/добу. На основі аналізу складу стічних вод та сучасних вимог до якості очищення обрано технологічну схему, яка забезпечує ефективне видалення органічних забруднень, завислих речовин, сполук азоту та фосфору.

У роботі виконано розрахунок споруд механічного очищення, до складу яких входять решітки тонкого очищення, пісколовки та первинні відстійники. Прийняті конструктивні та технологічні рішення забезпечують ефективне вилучення грубодисперсних і мінеральних домішок та створюють необхідні умови для подальшого біологічного очищення.

Для глибокого очищення стічних вод прийнято технологію біологічного очищення в аеротенках із реалізацією процесів денітрифікації, анаеробного біологічного видалення фосфору та нітрифікації. Виконано розрахунок аеротенків, систем рециркуляції активного мулу та потреби в кисні для забезпечення стабільної роботи біологічного процесу.

За результатами розрахунків прийнято первинні відстійники діаметром 30 м у кількості 6 одиниць, аеротенки загальним об'ємом 59 875,2 м³ та вторинні відстійники діаметром 30 м у кількості 9 одиниць. Загальний об'єм основних ємнісних споруд становить 94 864,7 м³.

Для знезараження очищених стічних вод передбачено використання ультрафіолетових установок, що забезпечують високий ступінь знезараження без застосування хлорвмісних реагентів та виключають утворення токсичних побічних продуктів.

У кваліфікаційній роботі бакалавра розроблено комплекс споруд для обробки осадів, який включає механічне зневоднення на стрічкових фільтр-пресах та подальше мембранне компостування. Запропонована технологія дозволяє суттєво зменшити об'єм осаду, забезпечити його стабілізацію та отримати компостний продукт, придатний для подальшого використання.

Також розроблено систему автоматизації технологічних процесів, яка забезпечує безперервний контроль параметрів очищення, автоматичне регулювання роботи технологічного обладнання, архівування даних та підвищення надійності функціонування очисних споруд.

У розділі охорони праці розглянуто комплекс технічних та організаційних заходів, спрямованих на забезпечення безпечних умов праці персоналу, попередження аварійних ситуацій, пожеж та виробничого травматизму.

Таким чином, запропоновані проєктні рішення забезпечують досягнення нормативних показників якості очищених стічних вод, підвищення ефективності роботи очисних споруд, скорочення негативного впливу на навколишнє середовище та відповідають сучасним вимогам екологічної та техногенної безпеки.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Весельська М. В., Бовсуновська М. О. Сучасні методи в сфері очистки стічних вод. – 2015.
2. Орлов В. О. Водопостачання та водовідведення : підручник / В. О. Орлов, Я. А. Тугай, А. М. Орлова. – Київ : Знання, 2011. – 359 с.
3. Сорокіна К. Б., Козловська С. Б. Технологія переробки та утилізації осадів: навч. посібник ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. – 2012.
4. Alizadeh S. Physico-chemical characteristics and biodegradability of primary effluent and particulate matter removed by microscreens / S. Alizadeh, P. Chowdhury, V. Ghodsi [та ін.] // Water Environment Research. – 2023. – Vol. 95. – DOI: 10.1002/wer.10854.
5. Campo G. Enhancing the energy efficiency of wastewater treatment plants through the optimization of the aeration systems / G. Campo, A. Miggiano, D. Panepinto, M. Zanetti // Energies. – 2023. – Vol. 16. – DOI: 10.3390/en16062819.
6. Cao B. Enhanced technology based for sewage sludge deep dewatering: A critical review / B. Cao, T. Zhang, W. Zhang, D. Wang // Water Research. – 2020. – Vol. 189. – Article 116650. – DOI: 10.1016/j.watres.2020.116650.
7. Fan Z. A novel partial denitrification, anammox-biological phosphorus removal, fermentation and partial nitrification (PDA-PFPN) process for real domestic wastewater and waste activated sludge treatment / Z. Fan, W. Zeng, H. Liu, Y. Jia, Y. Peng // Water Research. – 2022. – Vol. 217. – Article 118376. – DOI: 10.1016/j.watres.2022.118376.
8. Meng X. Upgrade and reconstruction of biological processes in municipal wastewater treatment plants / X. Meng, Z. Huang, G. Ge // Desalination and Water Treatment. – 2024. – DOI: 10.1016/j.dwt.2024.100299.
9. Patel N. N. Experimental and simulation study of rectangular and circular primary clarifier for wastewater treatment / N. N. Patel, J. Ruparelia, J. Barve //

Environmental Technology and Innovation. – 2021. – Vol. 23. – Article 101610. – DOI: 10.1016/j.eti.2021.101610.

10. Wu B. Critical review on dewatering of sewage sludge: Influential mechanism, conditioning technologies and implications to sludge re-utilizations / B. Wu, X. Dai, X. Chai // Water Research. – 2020. – Vol. 180. – Article 115912. – DOI: 10.1016/j.watres.2020.115912.

11. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: ДБН В.2.5-75:2013 / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – Київ, 2013. – 210 с.

12. ДСанПіН 2.2.1-10-2001. Гігієнічні вимоги до охорони поверхневих вод. – Затверджено МОЗ України 19.06.2001. – Київ, 2001. – 32с.

13. Каналізація населених пунктів і промислових підприємств : довідник проектувальника. – М. : Стройиздат, 1981. – 512 с.

14. Ковальчук В.А. Очистка стічних вод : посібник / В.А. Ковальчук. – Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2002. – 622 с.

15. Qasim S. R. Wastewater Treatment Plants : Planning, Design, and Operation / S. R. Qasim. – 2nd ed. – Boca Raton : CRC Press, 1999. – 1120 p.

16. ATV DVWK A 131E. Dimensioning of Single Stage Activated Sludge Plants (June 2000) / ATV DVWK German Association for Water, Wastewater and Waste. – Hennef : ATV DVWK, 2000. – 84 p.

17. Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering : Treatment and Resource Recovery / G. Tchobanoglous, H. D. Stensel, R. Tsuchihashi, F. L. Burton. – 5th ed. – New York : McGraw Hill, 2014. – 2048 p.

18. Gu Y.-J. Optimization and control strategies of aeration in WWTPs: A review / Y.-J. Gu, Y. Li, F. Yuan, Q. Yang // Journal of Cleaner Production. – 2023. – Vol. 419. – Article 138276.

19. Мороз О. О. Автоматизація водопровідно-каналізаційних споруд : навч. посіб. / О. О. Мороз. – Харків : ХНАМГ, 2010. – 212 с.

20. Kaattan K. H., Mohammed S. J. PLC-SCADA Automation of Inlet

Wastewater Treatment Processes: Design, Implementation, and Evaluation // Journal Européen des Systèmes Automatisés. – 2024. – Vol. 57, No. 3. – P. 349–360. <https://doi.org/10.18280/jesa.570317>

21. Закон України «Про охорону праці» : Закон України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ (зі змін. і доп.).

22. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 № 5403-VI (зі змін. і доп.).

23. Правила пожежної безпеки в Україні : НАПБ А.01.001-2014. – Київ : МВС України, 2014. – 77 с.

24. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. – Київ : Мінрегіон України, 2017. – 94 с.

25. ДСТУ EN 60079-10-1:2015 Вибухонебезпечні середовища. Частина 10-1. Класифікація зон. Вибухонебезпечні газові середовища. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.

26. НПАОП 0.00-1.31-99. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. – Київ : Держнагляд охорони праці України, 1999.

27. Охорона праці в галузі водопровідно-каналізаційного господарства : навч. посіб. / О. О. Мороз, В. В. Козлов та ін. – Харків : ХНАМГ, 2012. – 256 с.

28. Охорона праці : підруч. для ВНЗ / за ред. В. М. Вовка. – Київ : Кондор, 2010. – 528 с.

29. Керівництво з безпечної експлуатації каналізаційних споруд / Мінрегіон України. – Київ, 2013. – 120 с.