

**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 80 000 МЗ/ДОБУ**

Виконав:

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

Захаров В. О.

Керівник доц. Галкіна О. П.

Рецензент к.т.н., доц. Гайдучок О. Г.

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**

**Захарову Вадиму Олександровичу**

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра «Очисні споруди стічних вод продуктивністю 80 000 м<sup>3</sup>/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 80 тис. м<sup>3</sup>/доб, рН – 7,3 од.; ХСК – 999 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, БСК<sub>5</sub> – 471 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, завислі речовини – 230 мг/дм<sup>3</sup>; азот амонійний – 46,56 мг/дм<sup>3</sup>; азот нітратів – 0,18 мг/дм<sup>3</sup>; азот нітритів – 0,0 мг/дм<sup>3</sup>; фосфор фосфатів – 3,83 мг/дм<sup>3</sup>; температура 12–23 °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 – 30.05.2026	
2	Загальні відомості	11.05 – 30.05.2026	
3	Технологічна частина	25.05 – 06.06.2026	
4	Автоматизація технологічних процесів	25.05 – 06.06.2026	
5	Охорона праці	25.05 – 06.06.2026	
6	Допуск до захисту	25.05 – 06.06.2026	

Здобувач освіти



Вадим ЗАХАРОВ

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 .....	10
1.3 Обґрунтування прийнятої схеми та методу очищення стічних вод .....	10
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	18
2.1 Розрахунок витрати стічних вод та їх складу .....	18
2.2 Розрахунок споруд механічного очищення стічних вод .....	19
2.2.1 Розрахунок відходів з решіток тонкого очищення .....	20
2.2.2 Розрахунок піскоуловлювачів .....	21
2.2.3 Розрахунок первинних відстійників .....	23
2.3 Розрахунок біологічного очищення стічних вод .....	26
2.3.1 Розрахунок будівлі споруд .....	26
2.3.2 Моделювання роботи споруд біологічного очищення .....	34
2.3.3 Розрахунок споживання повітря .....	37
2.3.4 Розрахунок споруд видалення фосфору .....	39
2.4 Розрахунок споруд для обробки осадів .....	41
2.4.1 Зневоднення осадів .....	41
2.4.2 Майданчики тимчасового зберігання кеку.....	42
2.4.3 Акумулюючий резервуар для приймання залпових скидів.....	42
2.5 Основні технологічні параметри проєктованих очисних споруд .....	43
3 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ .....	45

4	ОХОРОНА ПРАЦІ .....	49
4.1	Забезпечення вибухо- та пожежобезпеки на об'єкті.....	49
4.2	Технічні заходи з вибухозахисту .....	50
4.3	Заходи з пожежної безпеки .....	53
4.4	Іскробезпека .....	54
4.5	Організаційні заходи .....	55
4.6	Заходи проти розгерметизації та викидів .....	56
4.7	Заходи безпеки в умовах військової агресії .....	57
4.4	Охорона праці на об'єкті .....	58
	ВИСНОВКИ .....	60
	СПИСОК ДЖЕРЕЛ .....	62

## ВСТУП

Кваліфікаційна робота бакалавра містить 4 розділи, висновок, список джерел з 22 найменувань та 7 креслень графічного матеріалу. Загальний об'єм роботи складає 64 сторінки тексту, зокрема 5 рисунків та 10 таблиць.

Сучасний розвиток міст, зростання чисельності населення та збільшення обсягів водоспоживання призводять до постійного підвищення навантаження на системи водовідведення та очисні споруди стічних вод. Одним із найважливіших завдань комунального господарства є забезпечення ефективного очищення стічних вод до показників, що відповідають вимогам природоохоронного законодавства та гарантують збереження екологічного стану водних об'єктів.

Особливої актуальності набуває впровадження сучасних технологій очищення стічних вод, здатних забезпечити не лише видалення органічних забруднень і завислих речовин, а й ефективно вилучення біогенних елементів, насамперед сполук азоту та фосфору, які є основною причиною евтрофікації природних водойм.

У якості об'єкту проектування при розробленні технологічної схеми очищення є очисні споруди стічних вод продуктивністю 80 000 м<sup>3</sup>/добу. У кваліфікаційній роботі бакалавра розглядаються технологічні процеси механічного, біологічного та фізичного очищення стічних вод, а також процеси обробки осадів, що утворюються під час очищення.

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є розроблення та обґрунтування технологічної схеми очищення стічних вод продуктивністю 80 000 м<sup>3</sup>/добу, яка забезпечує досягнення нормативних показників якості очищених стічних вод, підвищення ефективності роботи очисних споруд та зменшення негативного впливу на навколишнє природне середовище.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішено такі завдання:

- проаналізовано склад і властивості стічних вод, що надходять на очищення;
- обґрунтовано вибір технологічної схеми очищення стічних вод;

- виконано розрахунок споруд механічного очищення;
- здійснено розрахунок споруд біологічного очищення з видаленням сполук азоту та фосфору;
- визначено параметри споруд для обробки осадів;
- розглянуто питання автоматизації технологічних процесів;
- розроблено заходи з охорони праці та безпеки експлуатації об'єкта.

Практичне значення роботи полягає у застосуванні сучасних технологічних рішень для очищення стічних вод, що забезпечують стабільну роботу очисних споруд, зниження екологічного навантаження на водні об'єкти та відповідність очищених стоків встановленим нормативним вимогам.

**ОЧИСТКА СТИЧНИХ ВОД, РЕШІТКИ, БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ, ЗНЕВОДНЕННЯ ОСАДУ.**

## 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Відповідно до завдання на проектування необхідно розробити та спроектувати очисні споруди стічних вод із потужністю 80 тис. м<sup>3</sup>/добу для досягнення нормативних значень з очищення. Це обумовлено тим, що існуюча технологія очищення стічних вод не забезпечує досягнення нормативів допустимого скиду за рядом показників, зокрема за вмістом завислих речовин, біохімічного споживання кисню (БСК<sub>п</sub>), сполук азоту та фосфору. Це, у свою чергу, зумовлює необхідність реконструкції очисних споруд із впровадженням сучасних технологій біологічного очищення.

Запропонована реконструкція передбачає впровадження процесів нітрифікації–денітрифікації та біолого-хімічної дефосфотації, що дозволить забезпечити досягнення нормативних показників якості очищених стічних вод відповідно до ДБН В.2.5-75:2013 «Каналізація. Зовнішні мережі та споруди» та чинного природоохоронного законодавства України.

Метою даного проекту є забезпечення ефективного очищення стічних вод, що надходять на очисні споруди проектною продуктивністю 80 000 м<sup>3</sup>/добу, з досягненням встановлених вимог до якості очищення стічних вод, а також підвищення надійності функціонування очисних споруд шляхом впровадження сучасних програмно-технічних комплексів (ПТК).

Розрахунок параметрів споруд та їх компоновання виконано згідно з чинними будівельними нормами, державними стандартами та технічними регламентами з урахуванням практичного досвіду експлуатації аналогічних очисних станцій.

### 1.1 Характеристика об'єкта

Об'єкт проектування – очисні споруди каналізації потужністю 80 000 м<sup>3</sup>/доб. Очисні споруди призначені для очищення суміші господарсько-побутових стічних вод і стічних вод промислових підприємств міста.

Проектування очисних споруд для очищення стічних вод виконується відповідно до встановлених нормативних показників [1, 4-6], з урахуванням

прийнятої технологічної схеми, генерального плану території та інших вихідних даних.

Розрахунок споруд здійснюється згідно з режимом роботи підприємства. Прийнято наступний режим роботи: безперервний, цілорічний, щоденний, тривалістю 24 години на добу. Робота організована у дві зміни по 12 годин кожна, при цьому кількість бригад на підприємстві становить чотири.

Розташування території у внутрішній частині материка зумовлює континентальний тип клімату, для якого характерні тривала сувора зима та коротке спекотне літо. Основні кліматичні показники наступні:

- середньорічна температура повітря — + 2,4 °С;
- середньомісячна температура січня — - 16,6 °С;
- середньомісячна температура липня — + 19,6 °С;
- абсолютний мінімум температури повітря — - 48,0 °С;
- абсолютний максимум температури повітря — + 41,0 °С;
- середня місячна відносна вологість повітря у січні — 75 %;
- середня місячна відносна вологість повітря у липні — 66 %;
- кількість опадів за період листопад–березень становить 93 мм, за період квітень–жовтень — 289 мм;
- переважаючий напрямок вітру у зимовий період — південний, у літній — північний;
- середня тривалість безморозного періоду становить 180–200 діб;
- температура повітря найбільш холодної п'ятиденки — - 40,0 °С;
- територія належить до III снігового району, II вітрового району та II району ожеледі;
- за показниками вологості територія відноситься до сухої зони.

Температура повітря за місяцями наведена в таблиці 1.1.

Температурний режим ґрунтів залежить від інтенсивності сонячної радіації, рельєфу місцевості, характеру природного та штучного покриву, типу забудови, механічного складу та вологості ґрунтів. Сніговий покрив, маючи низьку теплопровідність, зменшує глибину промерзання ґрунтів.

Таблиця 1.1 – Температура повітря за місяцями

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Середня температура, °С	-16,6	-14,8	-6,7	4,9	12,6	17,9	19,6	16,9	11,0	3,2	-6,1	-13,4

На ділянках вулиць, автомобільних доріг та інших територіях, де проводиться прибирання снігу, ґрунти промерзають глибше та інтенсивніше. Зазвичай промерзання ґрунту починається із середини грудня. Наприкінці місяця глибина промерзання досягає 40–50 см. У січні–лютому нульова ізотерма опускається приблизно до 80 см, а в окремі холодні та малосніжні зими від’ємні температури можуть спостерігатися на глибині до 160 см.

### 1.2 Показники якості вихідної води, що надходять на очисні споруди

Об’єкт проектування – це очисні споруди каналізації потужністю 80 000 м<sup>3</sup>/доб, які призначені для очищення суміші господарсько-побутових стічних вод, якісну характеристику яких див. у Табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Склад стічних вод та вимоги до скидання

№ з/п	Найменування	Одиниці вимірювань	Значення	Вимоги на скид [4-6]
1.	рН	од.	7,3	6,5-8,5
2.	ХСК	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	999	70
3.	БСК <sub>5</sub>	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	471	7
4.	Завислі речовини	мг/дм <sup>3</sup>	230	4,0
5.	Азот амонійний	мг/дм <sup>3</sup>	46,56	15
6.	Азот нітритів	мг/дм <sup>3</sup>	0,0	0,1
7.	Азот нітратів	мг/дм <sup>3</sup>	0,18	9,0
8.	Фосфор фосфатів	мг/дм <sup>3</sup>	3,83	0,7
9.	Температура мін./макс.	°С	12/23	-

### 1.3 Обґрунтування прийнятої схеми та методу очищення стічних вод

Для забезпечення відповідності показників якості очищених стічних вод

встановленим нормативам скидання у водний об'єкт, технологічна схема очищення стічних вод продуктивністю 80 тис. м<sup>3</sup>/добу має передбачати такі основні вузли (рисунок 1.2).

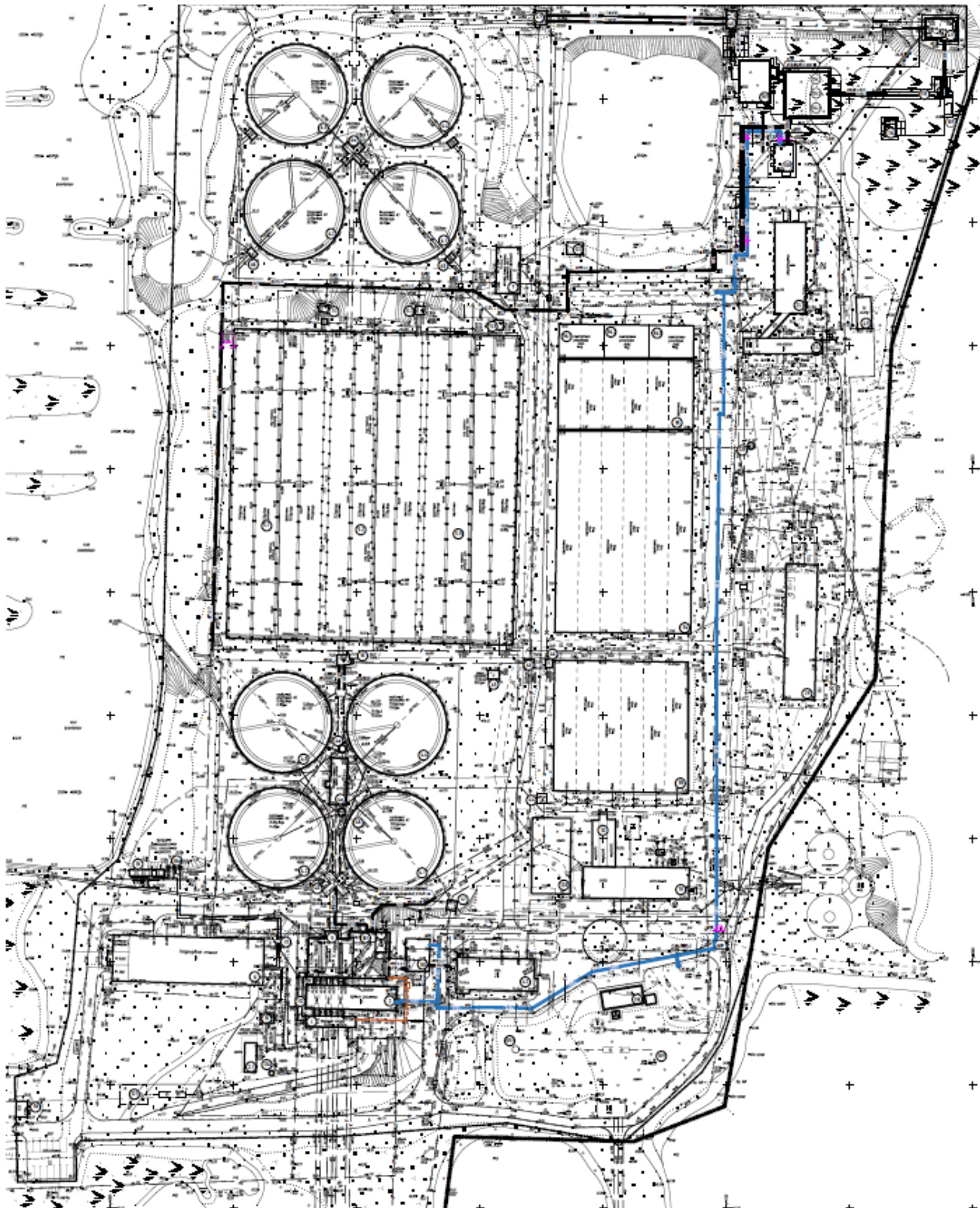


Рисунок 1.2 – Технологічна схема очисних споруд

1. Приймальна камера. Стічні води від міста надходять до приймальної камери від чотирьох каналізаційних насосних станцій.

2. Для видалення з стічних вод великих включень передбачено використання решіток грубого очищення з прозором 16 мм та тонкого очищення з прозором не більше 6 мм у існуючій будівлі.

3. Для затримання мінеральних домішок зі швидкістю осідання понад 0,15 мм/с передбачено будівництво чотирьох горизонтальних пісколовок.

4. Для видалення завислих речовин передбачені первинні відстійники, а для подальшого видалення біогенних елементів — можливість регулювання ефективності освітлення стічних вод.

5. Аеротенки.

6. Вторинні відстійники.

7. Знезараження стічних вод із застосуванням ультрафіолетового випромінювання.

8. Механізоване згущення, зневоднення та стабілізація осадів.

9. Майданчик для тимчасового зберігання зневодненого осаду.

10. Влаштування акумулюючого резервуара для приймання залпових скидів.

*Приймальна камера.* Стічні води від міста надходять до приймальної камери від чотирьох каналізаційних насосних станцій.

*Будівля решіток.* Решітки грубого очищення призначені для затримання великих і волокнистих включень (зокрема ефективно затримують ганчір'я, ветош, текстильні матеріали). Решітки тонкого очищення, завдяки розміру та формі перфорації, забезпечують вилучення більш дрібнодисперсних домішок. Додатково утримання дрібних відходів відбувається за рахунок формування на поверхні решітки фільтрувального шару.

Із приймальної камери стічні води надходять до реконструйованої будівлі решіток. Для вилучення грубодисперсних домішок передбачено встановлення двоступеневого комплексу механічного очищення.

Першим ступенем очищення є вертикальні решітки ковшового типу з

прозором 16 мм. Відходи затримуються на екрані решітки, який складається з ламелей прямокутного перерізу, закріплених у рамі. Ковш, закріплений на текстильній стрічці, входить гребінками у прозори екрана та переміщується по напрямних рами знизу вгору. Під час руху ковш знімає затримані механічні домішки. Переміщення ковша відбувається з боку очищеної води. Очищення ковша здійснюється за допомогою скребка, який спрямовує відходи на шнековий безосьовий транспортер.

Затримані на решітках відходи транспортуються шнековим транспортером до гвинтового промивного преса, де відбувається їх зневоднення та відмивання органічних домішок. Зневоднені відходи накопичуються у контейнерах і надалі вивозяться на полігон.

Другим ступенем очищення є решітки тонкого очищення з перфорованим екраном із прозором 6 мм (2 роб., 1 рез.). Екран являє собою безперервне фільтрувальне полотно, сформоване з перфорованих панелей ступінчастої форми. Під час руху вгору панелі вилучають із потоку стічних вод дрібні домішки, що осіли на їх поверхні.

У верхній частині решітки панелі очищуються: із зовнішнього боку — обертовою циліндричною щіткою з полімерною щетиною, що рухається назустріч потоку, а з внутрішнього — струменями води під тиском через форсунки. Щітка розміщена в знімному кожусі, нижня частина якого виконує функцію направляючого жолоба для відведення відходів. У кожусі також встановлено гумовий скребок, що запобігає поверненню видалених домішок у канал.

Панелі на зворотному боці фільтрувального полотна встановлюються паралельно до потоку, що дозволяє зменшити гідравлічний опір і запобігти накопиченню відходів у корпусі решітки.

Відходи, затримані на решітках тонкого очищення, також транспортуються шнековими транспортерами до гвинтового промивного преса для зневоднення та відмивання органічних домішок. Після обробки вони накопичуються у контейнерах і вивозяться на полігон.

Застосування решіток тонкого очищення дозволяє ефективно затримувати

дрібні та плоскі відходи (зокрема шкірку овочів, волосся тощо), які зазвичай не вилучаються іншими типами решіток і можуть осідати у пісколовках та первинних відстійниках.

*Пісколовки.* Стічні води після проходження решіток надходять до проєктованих пісколовок. Проєктом передбачено встановлення трьох пісколовок із такими геометричними параметрами: довжина — 14,0 м, ширина — 3,8 м, гідравлічна глибина — 1,2 м (будівельна глибина — 1,7 м).

*Обробка піску.* Для відмивання піску, що видаляється з пісколовок, від органічних домішок, а також зменшення об'єму піску з подальшою можливістю його вивезення автотранспортом, проєктом передбачено використання сепараторів піску (1 роб.; 1 рез.).

Для знезараження піску передбачено використання біологічного дезінфекційного препарату.

*Первинні відстійники.* Після проходження пісколовок стічні води через розподільчу чашу надходять до первинних відстійників, призначених для видалення завислих речовин шляхом гравітаційного осадження.

У первинних відстійниках відбувається механічне очищення стічних вод за рахунок осадження важчих частинок на дно споруди та видалення плаваючих домішок з поверхні води. Для забезпечення ефективного збору осаду і плаваючих речовин передбачено встановлення скребкових систем.

Скребкова система являє собою два скребкових крила, жорстко з'єднаних між собою тросовими розтяжками. До рами підвіски за допомогою кронштейнів із регульованою довжиною кріпиться напрямний циліндр, який забезпечує заглиблений впуск стічних вод у відстійник та обмежує потік у радіальному напрямку.

На скребкових крилах встановлені скребки з гумовими ущільнювальними елементами, що дозволяє компенсувати нерівності днища відстійника. Під час руху скребкових крил осад, що накопичується на дні споруди, переміщується у приямок. Для запобігання ущільненню осаду у приямок та його подальшого

транспортування до відповідного трубопроводу передбачено встановлення додаткових скребків приямка.

Обертова конструкція мосту спирається периферійною частиною на приводний візок, що забезпечує рівномірний рух скребкової системи та стабільну роботу первинного відстійника.

*Аеротенки.* Під час проектування вузла біологічного очищення передбачається застосування процесів нітрифікації, денітрифікації та біологічного видалення фосфору.

Використання цих технологій дозволяє підвищити ефективність очищення стічних вод від органічних речовин, сполук азоту та фосфору, а також запобігти розвитку нитчастого набрякання активного мулу.

Процес денітрифікації базується на створенні умов, за яких мікроорганізми активного мулу використовують кисень нітратів, у результаті чого азот переходить у газоподібний стан і видаляється в атмосферу.

Ефективність процесів нітрифікації та денітрифікації залежить від тривалості перебування стічних вод у відповідних зонах аеротенка, інтенсивності перемішування та аерації.

*Вторинні відстійники* призначені для відокремлення активного мулу від очищеної води після процесу біологічного очищення. Для забезпечення стабільної роботи споруд прийнято іловий індекс  $160 \text{ см}^3/\text{г}$  з урахуванням можливих залпових надходжень органічних забруднень.

З метою запобігання повторному виділенню фосфатів та утворенню плаваючого мулу передбачено мінімальний час перебування осаду в зоні ущільнення. Для видалення осаду використовуються регульовані мулососи, які дозволяють змінювати витрату рециркуляційного мулу безпосередньо під час експлуатації споруди.

Для підвищення ефективності роботи вторинних відстійників передбачено системи збору спливаючого мулу та регулювання рециркуляції осаду, що забезпечує стабільність технологічного процесу та зменшує ризик погіршення якості очищеної води.

*Знезараження стічних вод.* Після вторинних відстійників біологічно очищені стічні води надходять на вузол знезараження. Знезараження здійснюється за допомогою установок ультрафіолетового випромінювання.

Принцип роботи ультрафіолетового обладнання полягає у подачі стічних вод до загального каналу з подальшим їх розподілом по лотках, у яких встановлені УФ-модулі. Під час проходження стічних вод відбувається обтікання кварцових чохлах, усередині яких розміщені бактерицидні лампи. Під впливом ультрафіолетового випромінювання здійснюється знезараження стічних вод.

Застосування ультрафіолетових систем на основі низьконапірних ламп високої потужності дозволяє створювати компактні станції знезараження, які можуть бути розміщені на діючих очисних спорудах при мінімальних енерговитратах та високій ефективності очищення.

*Механізоване згущення, зневоднення та стабілізація осадів.* Проєктом передбачено організацію комплексу з обробки осадів, до складу якого входять вузол згущення надлишкового активного мулу, вузол механічного зневоднення осадів, вузол знезараження кеку, вузол транспортування зневодненого осаду, а також вузол приготування розчину флокулянту. Крім того, передбачено будівництво ємностей для сирого осаду, надлишкового активного мулу, ущільненого надлишкового мулу та резервуара брудних промивних вод.

Відповідно до прийнятої технологічної схеми передбачено механічне згущення надлишкового мулу на барабанних згущувачах, подальше механічне зневоднення осаду на стрічкових фільтр-пресах, а також знезараження осаду із застосуванням вапновмісного реагенту. Після обробки осад підлягає подальшому вивезенню та розміщенню на полігоні твердих побутових відходів.

Для покращення водовіддаючих властивостей осаду перед процесом зневоднення передбачено введення розчину флокулянту.

*Майданчик для тимчасового зберігання зневодненого осаду.* Для зберігання механічно зневодненого осаду проєктом передбачено відкриті майданчики складування з твердим покриттям. Місткість майданчиків прийнята з урахуванням накопичення місячного об'єму утворення осаду.

*Влаштування акумулюючого резервуара для приймання залпових скидів.* У процесі експлуатації періодично спостерігається перевищення розрахункових концентрацій ХСК у стічних водах, що надходять від КНС-3 до приймальної камери решіток, унаслідок залпових скидів зі станції зливу.

У разі перевищення допустимого значення ХСК стічні води від КНС-3 перенаправляються до акумулюючого резервуара для приймання залпових скидів з метою вирівнювання пікових навантажень. Надалі накопичені стічні води в години мінімального притоку рівномірно подаються насосами до приймальної камери. Загалом, основні споруди, які можуть бути застосовані під час розроблення технологічної схеми очищення стічних вод, наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Параметри технологічних будівель та споруд

№ з/п	Будівлі та споруди	Параметри, м	Кількість, шт.
1.	Приймальна камера	20×4 м	1
2.	Будівля решіток	36×9 м	1
3.	Пісколовки	4,5х12х3,65	4
4.	Пісколовки	14х3,8х1,7 м	3
5.	Будівля обробки піску	9х12м	1
6.	Первинні відстійники	Д=40м	4
7.	Насосна станція №3 сирого осаду	18×6м	1
8.	Будівля ультрафіолетового знезараження	12х16,5м	1
9.	Насосна станція технічної води	7,2х10,75м	1
10.	Пункт контролю стічних вод на скиді	3,5х2,35х2,5(н)м	1
11.	Аераційний резервуар (трьохсекційний)	16,8х18х5,5(н)м	1
12.	Насосна станція на випуску	4,5х7,0м	1
13.	Лабораторія	30х15х7,1(н)м	1
14.	Аеротенки	123×36×6 м	3
15.	Вторинні відстійники	Д=40м	4
16.	Насосна станція зворотного та надлишкового мулу	15х13м	1
17.	Будівля дефосфотації	12х17,8м	1
18.	Повітродувна станція	60,5×18м	1
19.	Цех механічного зневоднення мулу та сирого осаду з блоком резервуарів	30х43м	1
20.	Майданчик тимчасового зберігання кеку	30х25х1,5(н)м	4
21.	Акумулюючий резервуар для приймання залпових скидів	32,4х20х5(н)м	1

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

У технологічній частині кваліфікаційної роботи бакалавра виконуються розрахунки основних параметрів роботи очисних споруд стічних вод міста продуктивністю 80 тис. м<sup>3</sup>/добу.

### 2.1 Розрахунок витрати стічних вод та їх складу

Розрахункові витрати стічних вод, що надходять на очисні споруди, наведені в таблиці 2.1 та прийняті відповідно до вихідних даних технічного завдання для подальшого виконання технологічних розрахунків.

Визначення розрахункових показників здійснювалось згідно з вимогами нормативної документації у сфері проектування систем каналізації та очисних споруд.

Середньодобову господарсько-побутову витрату стічних вод населеного пункту визначають за відповідною розрахунковою залежністю [1, 3, 9].

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

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

$N$  – кількість жителів,  $N = 333\,900$  чол.

Середньосекундна витрата стічних вод визначається за наступною формулою:

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

Середньогодинна витрата стічних вод визначається за наступною формулою:

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

Максимальна годинна витрата стічних вод визначається за наступною формулою:

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

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

Максимальна секундна витрата визначається за наступною формулою:

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

Отже, у таблиці 2.1 наведені розрахункові показники витрат стічних вод, прийняті на основі вихідних даних для проектування комплексу очисних споруд.

Таблиця 2.1 – Показники розрахункових значень витрат стічних вод

№ з/п	Показник	Од. вимірювання	Значення
1	Добова витрата	м <sup>3</sup> /доб	80 000
2	Середньо годинна витрата	м <sup>3</sup> /год	3 330
3	Середньо секундна витрата	л/с	926
4	Коефіцієнт максимальної нерівномірності	–	1,4
5	Максимальна годинна витрата	м <sup>3</sup> /год	4 662
6	Максимальна секундна витрата	л/с	1296

## 2.2 Розрахунок споруд механічного очищення стічних вод

Розрахунок споруд механічного очищення стічних вод розпочинають із визначення кількості відходів, що затримуються на решітках грубого очищення.

Розрахункова витрата стічних вод, що надходять на очисні споруди, становить 80 000 м<sup>3</sup>/добу. Для подальших технологічних розрахунків визначають еквівалентну чисельність населення за показниками БСК та завислих речовин.

За завислими речовинами:

$$N_{\text{екв.}}^{\text{з.р.}} = \frac{C_{\text{з.р.}} \cdot Q^{\text{mid}}}{a_1}, \quad (2.6)$$

$$N_{\text{екв.}}^{\text{з.р.}} = \frac{230 \cdot 80\ 000}{65} = 283\ 077 \text{ чол.}$$

Якщо вихідна концентрація БСК<sub>5</sub> становить 471 мг/дм<sup>3</sup>, то еквівалентну кількість населення за показником БСК<sub>5</sub> визначають відповідно до прийнятої норми навантаження на одного жителя.

Розрахунок виконується за такою формулою:

$$N_{\text{екв.}}^{\text{БСК}} = \frac{C_{\text{БСК}} \cdot Q^{\text{mid}}}{a_2}, \text{ чол} \quad (2.7)$$

$$N_{\text{екв.}}^{\text{БСК}} = \frac{471 \cdot 80\,000}{60} = 628\,000 \text{ чол.}$$

За умови, що еквівалентна чисельність населення становить 628 000 осіб, а питома норма утворення грубих відходів дорівнює 4,2 л/(екв. жителя·рік), кількість відходів вологістю 80 %, затриманих на решітках із прозором 16 мм, визначається за наступною формулою:

$$W = \frac{N_{\text{екв.}}^{\text{БСК}} \cdot n}{365 \cdot 1000}, \text{ м}^3 / \text{доб} \quad (2.8)$$

$$W = \frac{628\,000 \cdot 4,2}{365 \cdot 1000} = 7,23 \text{ м}^3 / \text{доб}$$

Масу відходів при густині 700 кг/м<sup>3</sup> визначають за наступною формулою:

$$W = \frac{7,23 \cdot 700}{1000} = 5,06 \text{ Т} / \text{доб} \quad (2.9)$$

Маса зневоднених відходів при вологості 50 % визначається за наступною формулою:

$$M_{\text{відх}} = \frac{W \cdot ((100 - 80) \cdot 10)}{(100 - 50) \cdot 10}, \text{ Т} / \text{доб} \quad (2.10)$$

$$M_{\text{відх}} = \frac{5,06 \cdot ((100 - 80) \cdot 10)}{(100 - 50) \cdot 10} = 2,02 \text{ Т} / \text{доб} \text{ або } 737,3 \text{ Т} / \text{рік}$$

Кількість зневоднених відходів з вологістю 50 % визначається за наступною формулою:

$$Q = \frac{W \cdot ((100 - 80) \cdot 10)}{(100 - 50) \cdot 10}, \text{ м}^3 / \text{доб} \quad (2.11)$$

$$Q = \frac{7,23 \cdot ((100 - 80) \cdot 10)}{(100 - 50) \cdot 10} = 2,89 \text{ м}^3 / \text{доб} \text{ або } 1\,054,85 \text{ м}^3 / \text{рік}$$

### 2.2.1 Розрахунок відходів з решіток тонкого очищення

За еквівалентної чисельності населення 628 000 осіб та питомої норми утворення відходів 25 л/(екв. жителя·рік), кількість відходів вологістю 80 %, що

затримуються на решітках із прозором 6 мм, з урахуванням віднімання відходів грубого очищення, визначається за формулою:

$$W = \frac{N_{\text{ЕКВ}}^{\text{БСК}} \cdot n}{365 \cdot 1000}, \text{ м}^3 / \text{доб} \quad (2.12)$$

$$W = \frac{628\,000 \cdot 25}{365 \cdot 1000} = 43,01 - 7,23 = 35,78 \text{ м}^3 / \text{доб} \text{ або } 13\,060 \text{ м}^3 / \text{рік}$$

Маса затриманих відходів розраховується за наступною формулою:

$$M = W \cdot P, \text{ кг} / \text{доб} \quad (2.13)$$

де  $P$  – щільність забруднень,  $750 \text{ кг} / \text{м}^3$ .

$$M = 35,78 \cdot 750 = 26\,835 \text{ кг} / \text{доб} \text{ або } 26,84 \text{ т} / \text{доб}$$

Маса зневоднених відходів при вологості 50 % визначається за наступною формулою:

$$M_{\text{відх}} = \frac{W \cdot ((100 - 80) \cdot 10)}{(100 - 50) \cdot 10}, \text{ т} / \text{доб} \quad (2.14)$$

$$M_{\text{відх}} = \frac{26,84 \cdot ((100 - 80) \cdot 10)}{(100 - 50) \cdot 10} = 10,74 \text{ т} / \text{доб} \text{ або } 3\,920 \text{ т} / \text{рік}.$$

### 2.2.2 Розрахунок піскоуловлювачів

Подальші розрахунки блоку механічного очищення стічних вод очисних споруд включали технологічні розрахунки піскоуловлювачів, а саме кількість та тип пісколовок, кількість затриманого піску, масу зневодненого піску та об'єм технічної води, необхідної для промивання сепаратору. Основні отримані показники зведені до Таблиці 2.2.

За результатами розрахунку прийнято три пісколовки з такими розмірами: довжина – 14,0 м, ширина – 3,8 м, гідравлічна глибина – 1,2 м, будівельна глибина – 1,7 м.

Таблиця 2.2 — Розрахункові значення пісколовок

№ з/п	Показник	Позначення	Одиниця вимірюв.	Значення	Примітка
1	Максимальний притік стічних вод	$Q_{z \max}$	м <sup>3</sup> /год	4 892,0	
2	Максимальна секундна витрата	$Q_{c \max}$	м <sup>3</sup> /с	1,36	
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 при максимальному притоку	$v_{\max}$	м/с	0,20	
7	Кількість секцій пісколовок	$n$	шт.	3	
8	Глибина проточної частини	$H_{\max}$	м	0,60	не більше 1,0 м
9	Загальна глибина	$H_{\text{заг}}$	м	1,20	з урахуванням зони скребка
10	Вертикальна складова поздовжньої швидкості	$\omega$	—	0,01	
11	Коефіцієнт турбулентності потоку	$K$	—	1,53	
12	Довжина пісколовок	$L$	м	13,93	
13	Площа поперечного перерізу однієї секції	$F_{\text{сеч}}$	м <sup>2</sup>	2,27	
14	Ширина однієї пісколовки	$b$	м	3,78	0,6–6 м
15	Загальна ширина пісколовок	$B_{\text{заг}}$	м	11,4	
16	Час перебування у проточній частині	$t$	с	70	не менше 30–60 с
17	Загальний час перебування	$T_{\text{заг}}$	с	140	

Кількість піску, що затримується в пісколовках, визначається за питомою нормою 0,02 л/(особу·добу) та чисельністю населення 333 900 осіб.

$$Q = \frac{n \cdot q}{1000} = \frac{333900 \cdot 0,02}{1000} = 6,7 \text{ м}^3/\text{доб} \quad (2.15)$$

Розрахунковий об'єм затриманого піску становить 6,7 м<sup>3</sup>/добу.

Маса зневодненого піску вологістю 40 % при питомій вазі 1,75 т/м<sup>3</sup> становить:

$$M = 6,7 \times 1,75 = 11,7 \text{ т/добу}, \quad (2.16)$$

або 4270,0 т/рік.

Для відмивання піску, що видаляється з пісколовок, від органічних домішок, а також зменшення його об'єму з можливістю подальшого вивезення автотранспортом, проектом передбачено встановлення сепараторів піску (1 роб.; 1 рез.).

Витрата технічної води для промивання сепаратора становить 5 м<sup>3</sup>/год. Подача технічної води здійснюється насосами (1 роб.; 1 рез.) з витратою 5 м<sup>3</sup>/год та напором 50 м.

Для забезпечення санітарної безпеки піску передбачено його обробку дезінфекційним реагентом.

### **2.2.3 Розрахунок первинних відстійників**

Розрахунок первинних відстійників виконано відповідно до рекомендацій щодо технологічного проектування споруд видалення азоту та фосфору зі стічних вод. Вихідні дані для розрахунку наведені в таблиці 2.3.

Під час розрахунку враховано концентрації завислих речовин, БСК<sub>5</sub>, ХСК, загального азоту та фосфору у стічних водах, а також показники, необхідні для забезпечення процесу денітрифікації.

На початковому етапі було визначено ефективність освітлення стічних вод, необхідну для стабільного проходження процесу денітрифікації. Оскільки концентрація БСК<sub>5</sub> після первинного відстоювання безпосередньо впливає на

співвідношення БСК<sub>5</sub>/загальний азот, було проведено оцінку залежності цього співвідношення від ефективності освітлення.

Таблиця 2.3 – Вихідні дані для розрахунку первинних відстійників

№ з/п	Показник	Од. вим.	Позначення	Значення
1	Розрахункова концентрація забруднювальних речовин			
1.1	Завислі речовини	мг/дм <sup>3</sup>	$C_{SSdim}$	165
1.2	БСК <sub>5</sub>	мг/дм <sup>3</sup>	$C_{BODdim}$	382
1.3	ХСК	мг/дм <sup>3</sup>	$C_{CODdim}$	835
1.4	Загальний азот	мг/дм <sup>3</sup>	$C_{Ndim}$	41
1.5	Загальний фосфор	мг/дм <sup>3</sup>	$C_{Pdim}$	5,0
2	Концентрації для розрахунку процесу денітрифікації	мг/дм <sup>3</sup>		
2.1	БСК <sub>5</sub>	мг/дм <sup>3</sup>	$C_{BODD}$	292
2.2	Завислі речовини	мг/дм <sup>3</sup>	$C_{SSD}$	160
3	Мінімальна середньомісячна температура	°C	$T_{mindim}$	12
4	Середня годинна витрата у добу з притоком 15 % забезпеченості	м <sup>3</sup> /год	$Q_{h mid d 15}$	3887

У результаті розрахунків встановлено, що навіть при високому ступені видалення завислих речовин співвідношення БСК<sub>5</sub>/загальний азот залишається достатнім для ефективного перебігу денітрифікації. Для подальших технологічних розрахунків прийнято ефективність освітлення на рівні 50 %.

Розрахунок первинних відстійників виконано з урахуванням гідравлічної крупності частинок, тривалості відстоювання, температури стічних вод та характеристик радіальних відстійників. За результатами розрахунку прийнято чотири робочі первинні відстійники (рис. 2.1).

Розраховані показники якості освітлених стічних вод наведені в таблиці 2.4. У разі погіршення співвідношення БСК<sub>5</sub>/загальний азот передбачено можливість підвищення рівня осаду шляхом виведення одного первинного відстійника з експлуатації для забезпечення необхідної ефективності процесу денітрифікації.

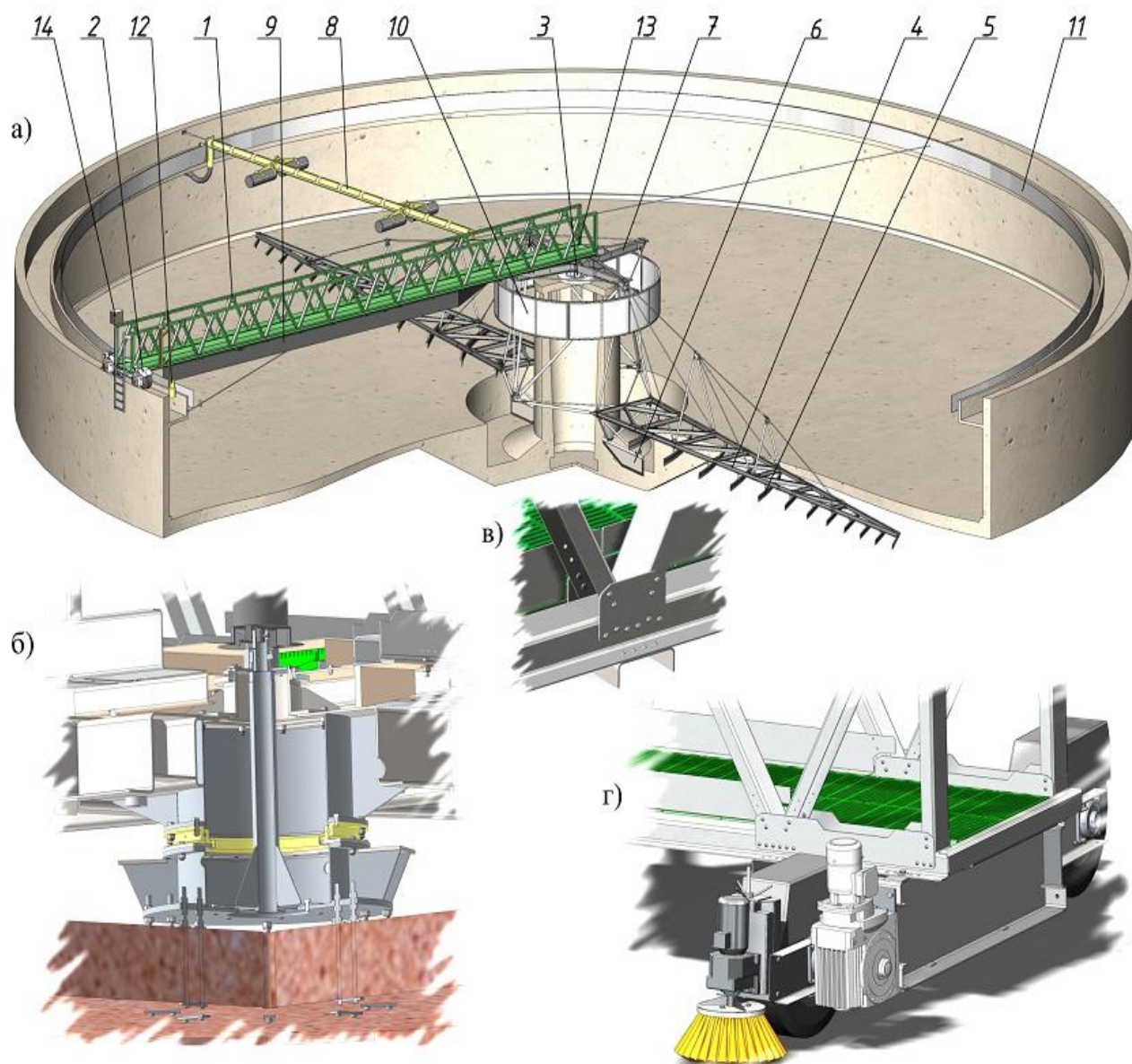


Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд та принципова конструкція мулоскреба

## 2.3 Розрахунок біологічного очищення стічних вод

### 2.3.1 Розрахунок будівлі споруд

Технологічний розрахунок вторинних відстійників виконано для максимального годинного притоку в розрахункову добу. Додатково проведено перевірку роботи споруд за умов абсолютного максимального годинного надходження стічних вод, а також для інших режимів притоку.

З урахуванням можливих залпових надходжень органічних забруднень муловий індекс прийнято рівним  $160 \text{ см}^3/\text{г}$ .

Доза активного мулу в аеротенку залежить від концентрації поверненого мулу та ступеня його рециркуляції. Ці показники визначаються на основі масового балансу вторинного відстійника та враховують тип обладнання для відведення мулу.

Для запобігання повторному виділенню фосфатів і утворенню плаваючого мулу внаслідок небажаної денітрифікації необхідно забезпечити мінімальний час перебування осаду в зоні ущільнення. Водночас збільшення концентрації мулу, що відводиться з відстійника, потребує більшого шару осаду та, відповідно, більшого часу його перебування в зоні ущільнення.

Для споруд біологічного очищення з процесами нітрифікації та денітрифікації час ущільнення мулу прийнято 2,5 години. При цьому передбачено використання систем збору спливаючого активного мулу та регульованих мулососів.

Видалення осаду здійснюється за допомогою регульованих мулососів, що дозволяють безпосередньо у відстійнику змінювати витрату ущільненого мулу та регулювати коефіцієнт рециркуляції. Для таких мулососів прийнято коефіцієнт 0,7.

У розрахунковий період, що відповідає найбільш холодним місяцям року, рецикл поверненого активного мулу прийнято до 1,2. В інші періоди року його значення становить 1,0 і менше.

Для забезпечення стабільної роботи вторинних відстійників прийнято застосування мулососів із можливістю регулювання витрати мулу через кожний всмоктувальний пристрій.

#### Розрахунок робочої глибини відстоювання та поверхневого навантаження на вторинні відстійники

Розрахунок вторинних відстійників виконано для найбільш несприятливих умов роботи при іловому індексі 160 см<sup>3</sup>/г.

Під час розрахунку враховано дві основні умови:

- забезпечення необхідної робочої глибини відстоювання без її зменшення внаслідок збільшення шару ущільненого мулу;
- досягнення нормативних показників за виносом завислих речовин після вторинних відстійників.

На початковому етапі визначено висоту шару ущільнення мулу для різних значень поверхневого навантаження на вторинні відстійники. Далі для робочої глибини існуючих відстійників, що становить 4,35 м, розраховано відповідні умовні глибини відстоювання.

Після цього визначено концентрацію завислих речовин у очищеній воді для різних варіантів навантаження на відстійники. Під час розрахунків враховано коефіцієнт використання об'єму зони відстоювання для радіальних вторинних відстійників.

Оскільки поверхневе навантаження визначається для максимального годинного притоку стічних вод, додатково виконано перерахунок середньодобового виносу завислих речовин на пікові умови роботи споруд.

Для визначення пікового значення виносу завислих речовин використано коефіцієнт нерівномірності, який враховує співвідношення між концентрацією завислих речовин у години максимального притоку та середньодобовим значенням.

За результатами розрахунків встановлено, що прийняті параметри вторинних відстійників забезпечують необхідну ефективність очищення стічних вод та стабільну роботу споруд у розрахункових режимах експлуатації.

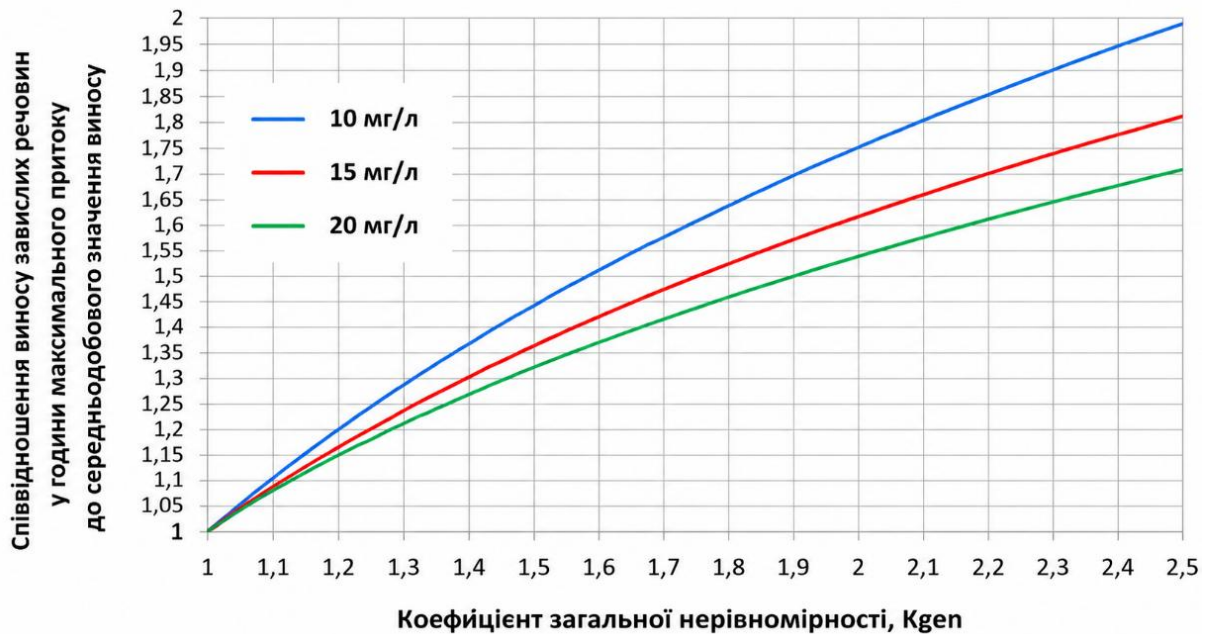


Рисунок 2.2 – Співвідношення виносу завислих речовин у годину максимального притоку до середньозваженого добового виносу (з урахуванням типової залежності годинних витрат від загального коефіцієнта нерівномірності)

Середньодобовий винос завислих речовин для доби з притоком 15 % забезпеченості прийнято рівним 10 мг/л (рис. 2.2).

З урахуванням коефіцієнта нерівномірності пікове значення виносу завислих речовин у годину максимального притоку становить:

$$C_{SSEXhmaxd\ 15} = 10 \cdot 1,4 = 14 \text{ МГ/Л} \quad (2.15)$$

На основі отриманих значень визначено розрахункове поверхнєве навантаження на вторинні відстійники для максимального годинного притоку стічних вод.

Загальна необхідна площа вторинних відстійників становить:

$$F_{SS} = \frac{Q_{hmaxd\ 15}}{q_{ssadim}} = 4941,41 \text{ м}^2 \quad (2.16)$$

Для забезпечення необхідної ефективності очищення прийнято чотири вторинні відстійники діаметром 40 м із сумарною площею поверхні 4910 м<sup>2</sup>.

Продуктивність насосів рециркуляції поверненого активного мулу прийнята з урахуванням рециркуляції 120 % від максимального розрахункового притоку стічних вод.

Проектом передбачено підтримання стабільного коефіцієнта рециркуляції шляхом регулювання витрати мулу, що відводиться з вторинних відстійників, пропорційно зміні притоку стічних вод.

Максимальна подача групи насосів поверненого активного мулу повинна забезпечувати 120 % від максимального розрахункового притоку та становить 5930 м<sup>3</sup>/год.

**Аеротенки.** Розрахункові значення аеробного віку активного мулу залежать від температури у біореакторі, необхідних показників очищення за амонійним азотом та азотом нітритів, а також продуктивності очисних споруд.

Вік активного мулу визначено для мінімальної розрахункової температури стічних вод, прийнятої рівною 12 °С.

Проектне значення аеробного віку мулу встановлюється з урахуванням мінімального теоретичного значення, необхідного для забезпечення стабільного процесу нітрифікації, а також коефіцієнта надійності, що враховує нерівномірність надходження забруднень, можливі зміни температури, рН середовища та інші відхилення від розрахункових умов.

Для навантаження за БСК<sub>5</sub> понад 6000 кг/добу коефіцієнт надійності прийнято рівним 1,2. Під час розрахунку враховано автоматичне підтримання концентрації розчиненого кисню в аеротенках.

Мінімальний аеробний вік мулу визначався з урахуванням забезпечення нормативних концентрацій амонійного азоту та азоту нітритів в очищеній воді. За результатами розрахунку прийнято максимальне значення, яке становить 9,6 доби.

Розрахунок кількості нітратів, що підлягають видаленню у процесі денітрифікації, виконується за балансовим рівнянням. Концентрація нітратного азоту, який необхідно видалити, визначається з урахуванням вмісту загального азоту в освітленій стічній воді, концентрації органічного азоту, амонійного азоту та залишкової концентрації нітратів в очищеній воді за:

$$C_{NO3D} = C_{N\ dim\ IAT} - C_{Norg\ f} - C_{NH4EX} - C_{NO3EX} - X_{Norg\ i} \quad , \quad (2.17)$$

де  $C_{N \text{ dim IAT}}$  – вміст загального азоту в освітленій стічній воді, що надходить на біологічне очищення ( $C_{N \text{ dim IAT}} = C_{ND \text{ set}}$ ), мг/дм<sup>3</sup>;

$C_{Norg f}$  – концентрація органічного азоту у фільтрованій пробі очищеної води, прийнята рівною 1 мг/дм<sup>3</sup>;

$C_{NH4 EX}$  – концентрація амонійного азоту в очищеній воді, прийнята рівною 1 мг/дм<sup>3</sup>;

$C_{NO3 EX}$  – розрахункова концентрація нітратного азоту в очищеній воді, прийнята рівною 9 мг/дм<sup>3</sup>;

$X_{Norg i}$  – кількість азоту, що входить до складу приросту біомаси активного мулу. Її значення приймається рівним 0,045 від концентрації БСК<sub>5</sub> в освітленій стічній воді, яка надходить до аеротенків ( $C_{BOD D IAT}$ ).

Концентрація нітритного азоту в очищеній воді є незначною, тому при розрахунках не враховується.

$$C_{NO3 D} = 38,2 - 1 - 1 - 9 - 260 * 0,045 = 15,5 \text{ мг/дм}^3$$

Визначення співвідношення об'єму зони денітрифікації до загального об'єму біологічного реактора виконують з урахуванням необхідної кількості нітратного азоту, що підлягає видаленню, та концентрації БСК<sub>5</sub> у стічній воді, яка надходить на біологічне очищення.

Загальний вік активного мулу в системі нітрифікації-денітрифікації залежить від співвідношення аеробних та аноксидних зон біореактора. Під аеробними й аноксидними зонами розуміють як фактичні об'єми споруд, у яких підтримуються відповідні умови, так і умовні об'єми, що характеризують частку цих режимів у загальному об'ємі біореактора.

Розрахунок частки аноксидної зони виконується з урахуванням витрати кисню на окиснення органічних речовин, концентрації БСК<sub>5</sub> у стічних водах та впливу легкозасвоюваних органічних сполук на процес денітрифікації.

Оскільки окремі показники залежать від загального віку активного мулу, розрахунок виконується ітераційним методом. На першому етапі приймається

орієнтовне значення віку мулу, після чого уточнюються розрахункові коефіцієнти та частка зони денітрифікації.

За результатами послідовного уточнення розрахункових параметрів отримано остаточні значення, які забезпечують стабільне проходження процесів нітрифікації та денітрифікації. Частка аноксидної зони прийнята на рівні 0,36, а загальний вік активного мулу становить 12,6 доби.

Для реалізації процесів нітрифікації та денітрифікації прийнято Йоганнесбурзький процес (JNB-процес). Особливістю даної технології є наявність двох окремих зон денітрифікації, призначених для обробки зовнішнього та внутрішнього рециркуляційних потоків.

У процесі JNB денітрифікація зворотного активного мулу здійснюється у зоні Д1. У цій зоні мікроорганізми використовують органічні речовини стічної води, а також продукти ендогенного дихання активного мулу. Через переважання процесів ендогенного окиснення швидкість денітрифікації у зоні Д1 є нижчою, ніж у середньому по аеротенку, однак концентрація активного мулу в цій зоні є вищою.

Частка об'єму зони Д1 у загальному об'ємі денітрифікації визначалась з урахуванням локального коефіцієнта процесу та дози активного мулу. Розрахунок витрати стічної води, що подається до денітрифікатора зворотного мулу, виконано на основі співвідношення мас БСК<sub>5</sub> та азоту, який підлягає денітрифікації.

За результатами розрахунків встановлено, що основна частина процесу денітрифікації відбувається саме у зоні Д1, де зосереджується практично весь об'єм денітрифікації.

#### Розрахунок приросту надлишкового активного мулу.

Приріст активного мулу визначається як сума мулу, що утворюється у процесі біологічного окиснення органічних речовин і сорбції забруднень, а також мулу, який формується під час видалення фосфору визначається за такою формулою:

$$SP_i = SP_{org} + SP_p \quad (2.18)$$

де  $SP_{org}$  — приріст активного мулу, що утворюється внаслідок біологічного окиснення органічних речовин та сорбції забруднювальних домішок, кг/добу;

$SP_p$  — приріст активного мулу, зумовлений процесом видалення фосфору, кг/добу.

Розмір  $SP_p$  визначено за формулами:

$$SP_p = SP_{P\ prec} + SP_{P\ bio} \quad (2.19)$$

$$SP_{P\ prec} = K_{P\ prec} D_m Q_{d\ mid\ dim} \quad (2.20)$$

$$SP_{P\ bio} = K_{P\ bio} X_{P\ bio} Q_{d\ mid\ dim} \quad (2.21)$$

де  $K_{P\ prec}$  — коефіцієнт утворення осаду при введенні реагенту, прийнятий рівним 4 кг сухої речовини на 1 кг доданого алюмінію;

$K_{P\ bio}$  — коефіцієнт утворення осаду при інтенсифікованому біологічному видаленні фосфору, прийнятий рівним 3 кг сухої речовини мулу на 1 кг вилученого загального фосфору. Даний коефіцієнт враховує накопичення додаткових поліфосфатів у біомасі фосфат-акумуляуючих організмів, що не пов'язане безпосередньо з приростом біомаси внаслідок споживання органічного субстрату.

Приріст активного мулу, що отримується в процесі біологічної деструкції органічних речовин і сорбції забруднень  $SP_{org}$ , визначений за формулою:

$$SP_{org} = sp_{BOD} C_{BOD} Q_{d\ mid\ dim} \quad (2.22)$$

де  $sp_{BOD}$  — питомий приріст активного мулу, кг/кг БСК<sub>5</sub>, який залежить від температури процесу, співвідношення концентрацій завислих речовин і БСК<sub>5</sub> (показник  $K_{\frac{SS}{BOD}}$ ), а також від віку активного мулу.

Для освітлених стічних вод значення зазначеного показника визначається за такою залежністю:

$$K_{\frac{SS}{BOD}} = \frac{C_{SS\ set}}{C_{BOD\ set}} \quad (2.23)$$

Значення показника  $sp_{BOD}$  визначається за наступною формулою:

$$sp_{BOD} = 0,75 + 0,6K_{\frac{SS}{BOD}} - \frac{0,1 t_{BR} F_T}{1+0,17 t_{BR} F_T} \quad (2.24)$$

де  $F_T$  — температурна поправка, що враховує вплив ендогенного окиснення мікроорганізмів активного мулу та визначається для мінімальної розрахункової температури стічних вод.

$$F_T = 1,072^{(T_{Imin} - 15)} \quad (2.25)$$

де  $t_{BR}$  — загальний вік активного мулу в біореакторі з урахуванням анаеробної зони.

Урахування часу перебування мулу в анаеробній зоні є необхідним через протікання в ній процесів гідролізу завислих речовин та відмирання нітрифікуючих мікроорганізмів, що впливає на загальну величину приросту активного мулу. Оскільки на даному етапі розрахунків об'єми технологічних споруд ще не визначені, загальний вік мулу в біореакторі для схем із біологічним видаленням фосфору приймається орієнтовно. У даному розрахунку  $t_{BR}$  прийнято рівним 1,15 від  $t_{it}$ .

Таким чином, відповідно до наведених вище розрахунків, приріст активного мулу визначається без урахування реагентного осадження, оскільки за нормальних умов експлуатації застосування реагентів не передбачається.

$$SP_{P\ bio} = 3 * 3,27 * \frac{80000}{1000} = 785 \text{ кг/доб}$$

$$SP_p = 785 \text{ кг/доб}$$

$$F_T = 1,072^{(12-15)} = 0,81$$

$$K_{\frac{SS}{BOD}} = \frac{80}{260} = 0,31$$

$$t_{BR} = 1,15 * t_{it} = 1,15 * 12 = 13,8 \text{ дiб}$$

$$sp_{BOD} = 0,75 + 0,6 * 0,31 - \frac{0,1 * 13,8 * 0,81}{1 + 0,17 * 13,8 * 0,81} = 0,55$$

$$SP_{org} = 0,55 * 260 * \frac{80000}{1000} = 11440 \text{ кг/доб}$$

$$SP_i = 785 + 11440 = 12225 \text{ кг/доб.}$$

За результатами розрахунків отримано:

- загальний вік активного мулу — 13,8 доби;
- коефіцієнт температурної поправки — 0,81;
- питомий приріст активного мулу — 0,31;

- приріст активного мулу внаслідок біологічного очищення — 11 440 кг/добу.

Додаткове утворення осаду внаслідок реагентного видалення фосфору не враховується, оскільки застосування реагентів у штатному режимі роботи не передбачається.

Розрахунок об'ємів біореакторів та окремих технологічних зон.

Розрахунок об'ємів біореакторів виконано для двох варіантів роботи споруд: при низькому та високому навантаженні за амонійним азотом.

За результатами розрахунку мінімально необхідний об'єм споруд нітрифікації-денітрифікації становить 45 843 м<sup>3</sup>. З урахуванням анаеробної зони об'ємом 6 340 м<sup>3</sup> загальний розрахунковий об'єм біореактора складає 52 183 м<sup>3</sup>.

Фактичний об'єм існуючих аеротенків становить 67 400 м<sup>3</sup>, що перевищує розрахункову потребу на 29 %. Це забезпечує додатковий технологічний запас і дозволяє досягати необхідної якості очищення при меншій дозі активного мулу.

Для подальшого розрахунку прийнято об'єм анаеробної зони 6 340 м<sup>3</sup>.

Відповідно, об'єм зони нітрифікації-денітрифікації становить:

$$67\,400 - 6\,340 = 61\,060 \text{ м}^3.$$

Для першого варіанта частка зони денітрифікації прийнята 0,20 від загального об'єму зони нітрифікації-денітрифікації. Отже, об'єм денітрифікатора становить 12 212 м<sup>3</sup>, а об'єм нітрифікатора — 48 848 м<sup>3</sup>.

За уточненими розрахунками при зниженій дозі активного мулу об'єм зони денітрифікації зворотного мулу Д1 становить 3 300 м<sup>3</sup>, а об'єм зони денітрифікації внутрішнього рециклу Д2 — 8 912 м<sup>3</sup>.

Для другого варіанта роботи споруд частка зони денітрифікації становить 0,38 від об'єму зони нітрифікації-денітрифікації. У цьому випадку об'єм денітрифікатора дорівнює 23 200 м<sup>3</sup>, а об'єм нітрифікатора — 37 860 м<sup>3</sup>.

Частка денітрифікатора зворотного мулу Д1 для другого варіанта становить 0,33. Відповідно, об'єм зони Д1 прийнято 7 656 м<sup>3</sup>, а об'єм зони Д2 — 15 544 м<sup>3</sup>.

З урахуванням запасу об'єму та більш несприятливих умов другого варіанта для подальшого конструювання аеротенка прийнято більші розрахункові значення зон денітрифікації.

Результати розрахунку об'ємів технологічних зон аеротенка наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Об'єми технологічних зон біореактора

Технологічні зони біореактора	<b>Варіант 1</b>	<b>Варіант 2</b>
	навантаження за амонійним азотом, м <sup>3</sup>	
	низьке	високе
<b>Розрахункові значення</b>		
Денітрифікатор зворотного мулу (зона Д1)	3 300	7 656
Анаеробна зона	6 340	6340
Денітрифікатор внутрішнього рециклу (зона Д2)	8 912	15 544
Нітрифікатор	48 848	37 860
<b>Проектні значення</b>		
Денітрифікатор зворотного мулу (зона Д1)	7 656	
Анаеробна зона	6 340	
Денітрифікатор внутрішнього рециклу (зона Д2)	8 912	
Змінна зона (Н/Д)	6 632	
Нітрифікатор	37 860	

### 2.3.2 Моделювання роботи споруд біологічного очищення

Відповідно до вимог нормативної документації при застосуванні технологій одночасного біологічного видалення азоту та фосфору доцільним є використання математичного моделювання роботи споруд біологічного очищення.

Для перевірки ефективності роботи аеротенків і вторинних відстійників виконано математичне моделювання технологічних процесів із використанням програмного комплексу GPS-X. Під час моделювання проаналізовано різні моделі активного мулу для найбільш повного опису біохімічних процесів, що відбуваються у спорудах біологічного очищення.

Протоколи математичного моделювання роботи аеротенків та вторинних відстійників наведені нижче.

На основі виконаних розрахунків і результатів моделювання розроблено технологічну схему роботи аеротенка.

Проєктом передбачено впровадження Йоганнесбурзького процесу (JNB-процесу) з карусельним рухом мулової суміші між другим і третім коридорами аеротенка (рис.2.3).

У проєктованому аеротенку передбачено:

1. Виділення аноксидних зон Д1 та Д2 для забезпечення процесу денітрифікації.
2. Зона Д1 призначена для денітрифікації нітратів, що надходять із поверненим активним мулом, з метою запобігання потраплянню нітратів в анаеробну зону.
3. Зона Д2 використовується для денітрифікації нітратів та забезпечення нормативних показників очищення стічних вод.
4. Анаеробна зона передбачена для процесу біологічного видалення фосфору.
5. Виділено аеробні зони для перебігу процесів нітрифікації.
6. Одна із зон передбачена як маневрена та може працювати в аеробному або аноксидному режимі залежно від умов експлуатації.
7. В аеробних зонах встановлюється дрібнопухирцева система аерації на базі тороїдальних аераторів.
8. Подача поверненого активного мулу здійснюється на початок першого коридору аеротенка.
9. Подача стічних вод до аеротенка передбачена у дві точки: частина потоку надходить у першу зону, а основний об'єм — у другу зону. Остаточний розподіл витрат уточнюється під час пусконаладжувальних робіт.
10. Нітратний рецикл реалізовано за рахунок карусельного руху мулової суміші між другим і третім коридорами.
11. Для запобігання осіданню мулової суміші в аноксидних зонах передбачено встановлення низькооберткових електромеханічних мішалок.

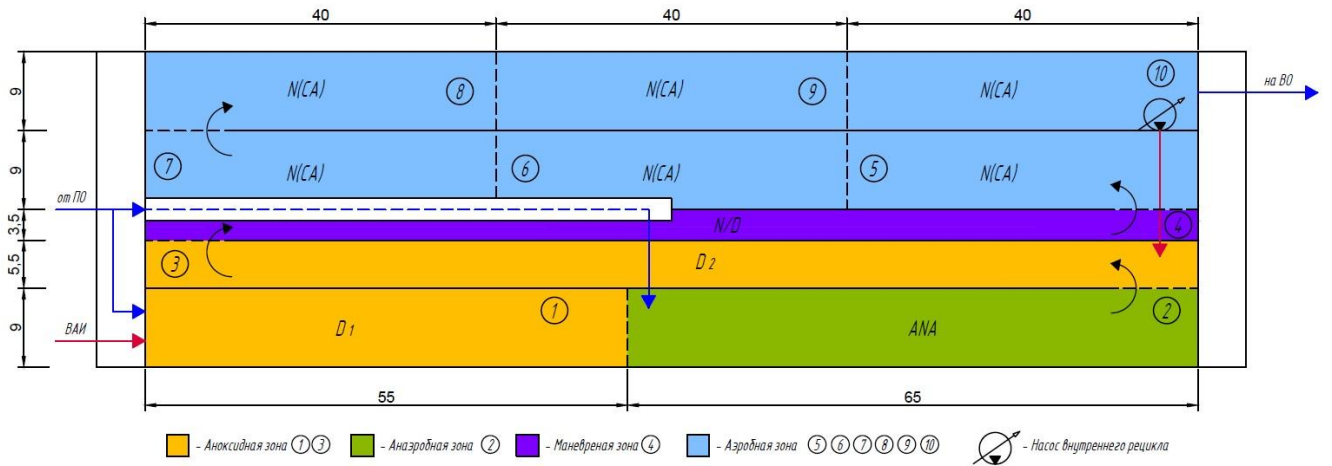


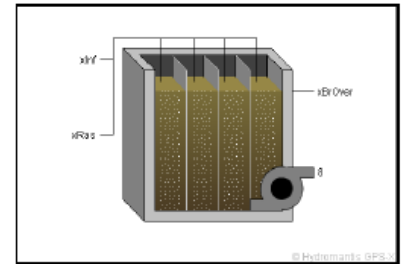
Рисунок 2.3 – Пропонована технологічна схема роботи аеротенка

Таблиця 2.5 – Протокол математичного моделювання роботи аеротенків

		xInf	xBrOver	8	xRas
Flow	m3/d	93292	205242	0	111950

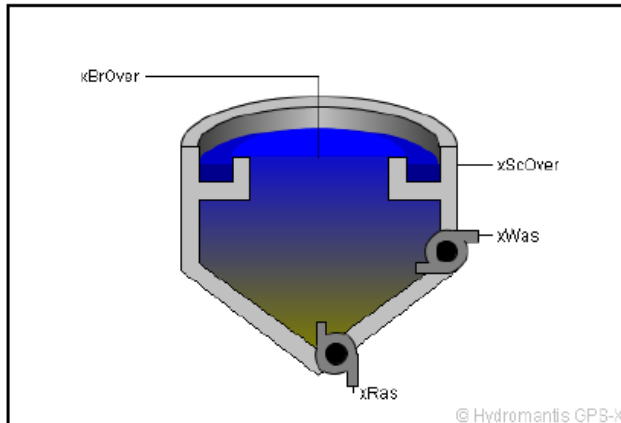
<b>Operational Variables</b>		xBrOver
Total Air Flow	m3/h	31108
Total Actual OTR	kg/h	1258
RAS Recycle Ratio	%	120



Simulation Results		xInf	xBrOver(1)	xBrOver(2)	xBrOver(3)	xBrOver(4)	xBrOver(5)	xBrOver(6)	xBrOver(7)	xBrOver(8)	xBrOver(9)	xBrOver(10)	xBrOver(11)	xBrOver(12)
MLSS	mg/L	201,0	5442,8	5428,7	3424,0	3411,3	3439,0	3439,2	3437,9	3438,1	3438,7	3433,4	3426,7	3426,7
MLVSS	mg/L	150,7	3246,3	3242,9	2075,5	2081,1	2054,4	2054,2	2055,6	2055,1	2054,7	2047,7	2041,0	2041,0
Soluble COD	mg/L	208,4	58,7	55,5	83,1	71,3	57,4	57,4	58,1	57,7	57,5	56,7	55,3	55,3
Ammonia N	mgN/L	38,6	5,0	5,8	18,4	18,9	2,6	2,4	3,2	3,2	2,8	0,5	0,1	0,1
Nitrite N	mgN/L	0,0	0,3	0,1	0,0	0,0	1,6	1,6	1,5	1,5	1,6	0,5	0,1	0,1
Nitrate N	mgN/L	0,0	1,5	0,2	0,0	0,0	5,4	5,5	5,2	4,9	5,2	7,8	8,3	8,3
Soluble PO4-P	mgP/L	3,6	1,5	4,7	11,2	16,8	0,3	0,2	1,0	0,8	0,5	0,1	0,1	0,1
Total Alkalinity	mgCaCO3/L	275,8	149,2	157,3	202,6	203,8	122,5	121,1	125,3	126,1	123,9	109,4	108,2	108,2
pH	-	7,0	7,1	7,0	6,9	6,9	7,2	7,2	7,1	7,1	7,2	7,2	7,2	7,2
HRT	h	-	0,7	0,7	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	1,0	1,0	-
DO	mgO2/L	-	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	2,0	0,5	0,1	2,0	2,0	2,0	-
Total OUR	mgO2/(L.h)	-	0,0	0,0	0,0	0,0	36,0	35,4	27,4	7,3	36,3	23,8	15,0	-
Nitrification Rate	mgN/(L.h)	-	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	4,9	4,0	1,0	5,1	2,5	1,0	-
Nitrate Util. Rate	mgN/(L.h)	-	8,0	1,8	0,2	0,0	0,6	0,6	1,8	5,0	0,6	0,5	0,5	-
Air Flow	m3/h	-	0,0	0,0	0,0	0,0	4542,0	4470,4	0,0	0,0	14005,1	4973,7	3116,7	-
SOTE	%	-	28,8	28,8	28,8	28,8	28,8	28,8	28,8	28,8	28,8	28,8	28,8	-
Actual OTR	kg/h	-	0,0	0,0	0,0	0,0	183,8	180,9	0,0	0,0	566,6	201,2	126,1	-

Таблиця 2.6 – Протокол математичного моделювання роботи вторинних відстійників

		xBr2Over	xScOver	xWas	xRas
Flow	m <sup>3</sup> /d	205242	90984,7	2307,2	111950



Simulation Results		xBr2Over	xScOver	xWas	xRas
Flow	m <sup>3</sup> /d	205242,4	90984,7	2307,3	111950
TSS	mg/L	3426,7	9,9	6147,6	6147,6
VSS	mg/L	2041,0	5,9	3661,5	3661,5
cBOD5	mg/L	803,7	4,8	1439,9	1439,9
COD	mg/L	3340,1	64,8	5948,3	5948,3
Ammonia N	mgN/L	0,1	0,1	0,1	0,1
Nitrite N	mgN/L	0,2	0,2	0,2	0,2
Nitrate N	mgN/L	8,3	8,3	8,3	8,3
TKN	mgN/L	196,7	4,2	350,0	350,0
TN	mgN/L	205,2	12,6	358,5	358,5
Soluble PO4-P	mgP/L	0,1	0,1	0,1	0,1
TP	mgP/L	142,9	1,0	255,9	255,9
Total Alkalinity	mgCaCO3/L	108,2	108,2	108,2	108,2
pH	-	7,2	7,2	7,2	7,2

Operational Variables		xScOver	xRas	xWas
HRT	h	2,56	-	-
Surf. Overflow Rate	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·d)	18,11	-	-
Solids Loading Rate	kg/(m <sup>2</sup> ·d)	139,99	-	-
Water Level	m	4,35	-	-
Sludge Blanket Height	m	0,51	-	-
RAS Flow	m <sup>3</sup> /d	-	111 950	-
RAS Solids	mg/L	-	6 148	-
WAS Flow	m <sup>3</sup> /d	-	-	2 307
WAS Solids	mg/L	-	-	6 148
WAS Production	kg/d	-	-	14 184

### 2.3.3 Розрахунок споживання повітря

Загальна потреба процесу біологічного очищення в кисні визначається з урахуванням таких складових:

- витрати кисню на окиснення органічних речовин;
- витрати кисню на процес нітрифікації;
- повернення кисню під час процесу денітрифікації.

Потреба кисню для окиснення органічних забруднень визначається з урахуванням процесів біологічного окиснення та ендогенного дихання активного мулу. Питомі витрати кисню залежать від температури стічних вод та умов роботи аеротенка.

Розрахунок виконано для літнього та зимового режимів роботи очисних споруд. Розрахункова температура стічних вод для літнього періоду прийнята 23 °С, для зимового — 12 °С.

Потребу кисню на нітрифікацію визначено з урахуванням окиснення амонійного азоту, а повернення кисню в процесі денітрифікації — з урахуванням відновлення нітратів.

Сумарне споживання кисню визначалось для години максимального навантаження. При цьому враховано, що пікове споживання кисню для окиснення органічних речовин і для нітрифікації не збігаються у часі. Це пов'язано з тим, що органічні речовини спочатку сорбуються активним мулом та проходять стадію гідролізу, тоді як окиснення амонійного азоту починається відразу після надходження стічних вод в аеробну зону.

Для врахування нерівномірності надходження забруднень використано коефіцієнти пікових навантажень для БСК<sub>5</sub> та амонійного азоту окремо для літнього та зимового періодів.

За результатами розрахунків максимальна годинна потреба в кисні прийнята на рівні:

$$Q_{O_2} = 1979,88 \text{ кг/год.}$$

Отримане значення використовується для подальшого підбору системи аерації та повітродувного обладнання.

Розрахунок необхідної витрати повітря для системи пневматичної аерації.

Необхідна витрата кисню, що подається до аерованих зон, визначається на основі сумарної потреби процесу біологічного очищення у кисні та фактичної ефективності передачі кисню аераційною системою.

Фактична ефективність передачі кисню залежить від:

- властивостей мулової суміші;
- температури стічних вод;
- концентрації розчиненого кисню;
- глибини занурення аераторів;
- атмосферного тиску;
- конструктивних характеристик аераційної системи.

Під час розрахунку враховано:

- коефіцієнт якості води (альфа-фактор), що характеризує вплив органічних речовин на процес розчинення кисню;
- бета-фактор, який враховує вплив мінералізації води;
- температурну поправку;
- коефіцієнт залишкового ресурсу аераторів;
- коефіцієнт щільності розташування аераторів.

Для проєкту прийнято дрібнопухирцеву систему аерації з глибиною занурення аераторів 4,8 м. Середня розрахункова концентрація розчиненого кисню в аерованих зонах аеротенка прийнята рівною 2 мг/дм<sup>3</sup>.

Розрахунок виконано окремо для літнього та зимового періодів при температурах стічних вод 23 °С та 12 °С відповідно.

За результатами розрахунків потреба у кисні становить:

- для літнього періоду — 11 510,93 кг/год;
- для зимового періоду — 11 249,32 кг/год.

Необхідна кількість повітря, що подається до системи аерації, визначалась з урахуванням масової частки кисню в повітрі та густини повітря за нормальних умов.

Отримані значення витрати повітря використовуються для подальшого підбору повітродувного обладнання та уточнюються під час математичного моделювання роботи споруд біологічного очищення.

### 2.3.4 Розрахунок споруд та процесів видалення фосфору

Об'єм анаеробної зони для забезпечення процесу біологічного видалення фосфору визначається з урахуванням часу перебування мулової суміші та витрати рециркуляційного потоку. Для проєктованого ЛНВ-процесу як рециркуляційний потік прийнято повернений активний мул.

$$V_{anaer} = t_{anaer} Q_{h\ max\ d15} (1 + R_{anaer}) \quad (2.26)$$

де  $t_{anaer}$  - час перебування мулової суміші в анаеробній зоні, який відповідно до рекомендацій прийнято рівним 0,6 год;

$R_{anaer}$  - коефіцієнт рециркуляції в анаеробну зону, виражений у частках від максимального годинного притоку стічних вод забезпеченістю 15 %. Для проєктованого ЛНВ-процесу таким рециркуляційним потоком є повернений активний мул.

$$V_{anaer} = 0,6 * 4800 * (1,2 + 1) = 6340 \text{ м}^3$$

Для комбінованої технології біолого-хімічного видалення фосфору концентрацію сполук фосфору, що підлягають вилученню шляхом хімічного осадження, визначають за такою формулою:

$$X_{P \text{ prec}} = C_{P \text{ dim IAT}} - C_{P \text{ EX}} - X_{Porg \ i} - X_{P \text{ bio}}, \quad (2.27)$$

де  $C_{P \text{ dim IAT}}$  — вміст загального фосфору у стічній воді, що надходить на біологічне очищення, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_{P \text{ EX}}$  — розрахункова концентрація загального фосфору у стічній воді після вторинних відстійників, прийнята рівною 0,7 мг/дм<sup>3</sup>;

$X_{Porg \ i}$  — концентрація фосфору, що споживається гетеротрофними мікроорганізмами активного мулу в процесі приросту біомаси, з урахуванням виносу мулу із вторинних відстійників, мг/дм<sup>3</sup>;

$X_{P \text{ bio}}$  — концентрація фосфору, яка може бути вилучена зі стічних вод унаслідок біологічного поглинання фосфат-акумулюючими організмами активного мулу, мг/дм<sup>3</sup>.

$$X_{Porg \ i} = 0,01 C_{BOD \ IAT} \quad (2.28)$$

$$X_{P \text{ bio}} = 0,015 * C_{BOD \ IAT} * \left(1 - \frac{Q_{DS}}{Q_{d \ mid}}\right) \quad (2.29)$$

$$X_{Porg \ i} = 0,01 * 295 = 2,95 \text{ мг/л}$$

$$X_{P \text{ bio}} = 0,015 * 295 * \left(1 - \frac{12860}{80000}\right) = 3,71 \text{ мг/л}$$

У результаті розрахунків встановлено, що кількість фосфору, який видаляється біологічним шляхом та витрачається на приріст активного мулу, перевищує необхідний рівень очищення. У зв'язку з цим додаткове реагентне осадження фосфору не передбачається.

$$X_{P \text{ prec}} = 5 - 0,7 - 2,95 - 3,71 = -2,36$$

## **2.4 Розрахунок споруд для обробки осадів**

### **2.4.1 Зневоднення осадів**

Проектом передбачено організацію комплексу обробки осадів у складі вузла згущення надлишкового активного мулу, вузла механічного зневоднення осадів, вузла знезараження кеку, системи транспортування зневодненого осаду та вузла приготування розчину флокулянту. Також передбачено будівництво резервуарів для сирого осаду, надлишкового мулу, ущільненого надлишкового мулу та резервуара забруднених промивних вод.

Відповідно до прийнятої технологічної схеми надлишковий активний мул піддається механічному згущенню на барабанних згущувачах, після чого направляється на механічне зневоднення за допомогою стрічкових фільтр-пресів. Знезараження зневодненого осаду здійснюється із застосуванням вапновмісного реагенту з подальшим вивезенням осаду на полігон твердих побутових відходів. Для покращення водовіддаючих властивостей осаду передбачено введення розчину флокулянту.

З метою мінімізації повторного виділення фосфору, накопиченого під час біологічного очищення, передбачено роздільну обробку сирого осаду та надлишкового активного мулу до стадії їх подачі на зневоднення.

Надлишковий активний мул у напірному режимі подається до резервуарів активного мулу, звідки надходить на вузол згущення. Згущення мулу здійснюється на барабанних згущувачах, а подача осаду на згущення забезпечується шнековими насосами-дозаторами.

Після згущення мул надходить до резервуарів ущільненого мулу, звідки насосами подається до ємностей змішування сирого осаду та ущільненого мулу. Далі суміш осадів транспортується на вузол механічного зневоднення до стрічкових фільтр-пресів.

Фільтрат і забруднені промивні води збираються у резервуарі фугату та промивних вод і насосами перекачуються до приймальної камери очисних споруд.

У резервуарах ущільненого мулу передбачено встановлення механічних мішалок, а в резервуарах надлишкового активного мулу та сирого осаду — систему подачі повітря.

Розчин флокулянту готується із порошкового реагенту у спеціальних установках приготування розчину.

Знезараження механічно зневодненого осаду здійснюється реагентним методом шляхом змішування кеку з вапновмісним реагентом.

#### **2.4.2 Майданчики тимчасового зберігання кеку**

Для зберігання механічно зневодненого осаду проектом передбачено відкриті майданчики складування з твердим покриттям. Місткість майданчиків приймається з урахуванням місячного обсягу утворення осаду.

Об'єм осаду, що підлягає складуванню, становить:

$$Q = 118,22 \times 30 \times 1 = 3546,6 \text{ м}^3. \quad (2.30)$$

При висоті шару осаду 1,5 м необхідна площа майданчиків тимчасового зберігання з урахуванням коефіцієнта використання об'єму 0,79 становить:

$$F = 3546,6 / 1,5 / 0,79 = 2992 \text{ м}^2. \quad (2.31)$$

Кількість карт складування розміром  $30 \times 25$  м (площа однієї карти —  $750 \text{ м}^2$ ) визначається як:

$$n = 2992 / 750 = 3,98 \text{ шт.} \quad (2.32)$$

Проектом прийнято чотири майданчики розміром  $30 \times 25$  м.

Майданчики призначені для тимчасового зберігання зневодненого осаду у випадках обмеження руху вантажного транспорту або виникнення аварійних ситуацій.

#### **2.4.3 Акумуляуючий резервуар для приймання залпових скидів**

Під час експлуатації очисних споруд періодично спостерігається перевищення розрахункових концентрацій ХСК у стічних водах, що надходять від КНС-3 до приймальної камери решіток. Причиною цього є залпові скиди від існуючої зливної станції.

Для вирівнювання пікових навантажень проєктом передбачено акумулюючий резервуар приймання залпових скидів. У разі перевищення допустимого значення ХСК стічні води від КНС-3 перенаправляються до резервуара, де тимчасово накопичуються.

У години мінімального притоку накопичені стічні води рівномірно подаються до приймальної камери насосами з витратою 320 м<sup>3</sup>/год та напором 25 м.

Сумарний робочий об'єм двох секцій акумулюючого резервуара становить 2 560 м<sup>3</sup>.

## 2.5 Основні технологічні параметри проєктованих очисних споруд

За результатами виконаних технологічних розрахунків визначено основні параметри споруд механічного та біологічного очищення стічних вод, а також споруд обробки осадів. Узагальнені технологічні характеристики прийнятих споруд наведено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Основні технологічні параметри проєктованих очисних споруд

Найменування споруди	Основні параметри	Кількість
Приймальна камера	20 × 4 м	1
Будівля решіток	36 × 9 м	1
Решітки грубого очищення	прозір 16 мм	2 роб. + 1рез.
Решітки тонкого очищення	прозір 6 мм	2 роб. + 1 рез.
Горизонтальні пісколовки	14 × 3,8 × 1,7 м	3
Сепаратор піску	продуктивність згідно розрахунку	1 роб. + 1 рез.
Первинні відстійники	D = 40 м	4
Аеротенки	123 × 36 × 6 м	3
Вторинні відстійники	D = 40 м	4
Насосна станція зворотного та надлишкового мулу	15 × 13 м	1
Повітродувна станція	60,5 × 18 м	1
Споруда реагентного видалення фосфору	12 × 17,8 м	1
Установка УФ-знезараження	12 × 16,5 м	1
Насосна станція технічної води	7,2 × 10,75 м	1
Цех механічного зневоднення осаду	30 × 43 м	1
Майданчики тимчасового зберігання осаду	30 × 25 × 1,5 м	4
Акумулюючий резервуар залпових скидів	32,4 × 20 × 5 м	1

У результаті виконаних розрахунків прийнята технологічна схема забезпечує очищення стічних вод продуктивністю 80 000 м<sup>3</sup>/добу до нормативних показників за вмістом органічних забруднень, завислих речовин, сполук азоту та фосфору.

Таким чином, застосування пропонованого механічного очищення, біологічного очищення з процесами нітрифікації–денітрифікації та біологічного видалення фосфору, ультрафіолетового знезараження й сучасних методів обробки осадів забезпечує надійну та ефективну роботу очисних споруд відповідно до вимог чинних нормативних документів.

### 3 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Проєктом пропонованим у кваліфікаційній роботі бакалавра передбачається впровадження комплексу технічних та організаційних заходів, спрямованих на створення програмно-технічного комплексу автоматизованого керування технологічними процесами очищення та знезараження стічних вод. Система автоматизації охоплює як новозбудовані, так і модернізовані технологічні об'єкти, забезпечуючи ефективне управління їх роботою в межах проєктної потужності [13, 14].

Метою розроблюваного програмно-технічного комплексу є підвищення ефективності процесів очищення та знезараження стічних вод, забезпечення видалення біогенних елементів, удосконалення технології обробки осадів із подальшою їх утилізацією, а також досягнення необхідних показників якості очищення при одночасному зниженні експлуатаційних витрат на обслуговування та ремонт обладнання.

Призначення програмно-технічного комплексу полягає у підвищенні оперативності, надійності та якості керування технологічними процесами очисних споруд. Система забезпечує безперервний моніторинг технологічних параметрів, збір та аналіз вхідних і вихідних даних, а також своєчасне формування керуючих впливів для підтримання оптимальних режимів роботи обладнання.

Реалізація зазначених функцій досягається шляхом використання сучасних програмно-технічних засобів автоматизації, що включають програмовані логічні контролери, первинні вимірювальні прилади, виконавчі механізми та програмне забезпечення для збору, обробки й візуалізації технологічної інформації [13, 14].

Сферою застосування розроблюваного програмно-технічного комплексу є технологічні споруди та окремі вузли очисних споруд стічних вод, а також робочі місця оперативного й обслуговуючого персоналу. Комплекс забезпечує збір, обробку, передачу та відображення технологічної інформації, необхідної для контролю й керування процесами очищення стічних вод та обробки осадів.

Відповідно до технічних вимог, режимів роботи технологічного обладнання та функціонального призначення окремих споруд, програмно-технічний комплекс (далі – ПТК) поділяється на низку локальних підсистем автоматизованого керування, кожна з яких забезпечує контроль та управління окремими технологічними процесами [13, 14]. До складу ПТК входять такі підсистеми:

- механічне очищення стічних вод;
- біологічне очищення;
- доочищення стічних вод;
- знезараження очищених стічних вод;
- обробка осадів;
- підготовка технічної води;
- допоміжні технологічні вузли.

Технічними рішеннями передбачено використання сучасних програмно-технічних засобів контролю та керування промислового виконання, що серійно випускаються провідними виробниками обладнання автоматизації.

Для підвищення завадостійкості вимірювальних каналів польового рівня перевага надається контрольно-вимірювальним приладам з уніфікованим аналоговим сигналом 4–20 мА. Контрольні кабелі повинні мати екранування та прокладатися окремо від силових кабельних ліній електрообладнання з метою мінімізації електромагнітних впливів.

Безперебійне електроживлення технічних засобів автоматизації забезпечується від системи електропостачання об'єкта відповідно до встановленої категорії надійності електропостачання згідно з чинними нормативними вимогами.

Усі контрольно-вимірювальні прилади та засоби автоматизації, що за умовами експлуатації не перебувають постійно під напругою, підлягають захисному заземленню. Підключення до контуру заземлення виконується відповідно до вимог правил улаштування електроустановок щодо забезпечення електробезпеки. Для захисного заземлення обладнання автоматизації

використовується загальна мережа заземлення систем електропостачання та силового електрообладнання об'єкта.

Контрольно-вимірювальні прилади та шафове обладнання, що розміщуються всередині виробничих будівель і споруд, повинні відповідати кліматичному виконанню УХЛ4. Ступінь захисту оболонки обладнання має бути не нижче IP54.

Для приладів і шафового обладнання, що встановлюються на відкритому повітрі, передбачається кліматичне виконання УХЛ1 зі ступенем захисту оболонки не нижче IP65, що забезпечує надійну роботу обладнання в умовах впливу атмосферних факторів.

Для програмно-технічного комплексу передбачено інформаційно-аналітичний режим керування технологічним обладнанням. У даному режимі оператор здійснює моніторинг перебігу технологічних процесів та, за необхідності, має можливість дистанційно керувати роботою обладнання.

Програмно-технічний комплекс забезпечує виконання інформаційних, аналітичних і керуючих функцій, зокрема збір, обробку та аналіз даних про стан технологічних процесів і обладнання, захист технологічного устаткування від аварійних режимів роботи, а також автоматичне підтримання заданих параметрів процесу за допомогою локальних систем автоматичного регулювання.

Відповідно до прийнятої структури програмно-технічного комплексу склад функцій і завдань, що реалізуються системою автоматизації, включає інформаційні, керуючі та допоміжні функції.

До інформаційних функцій належать збір, обробка, передача та відображення даних про стан технологічних процесів і обладнання. Керуючі функції забезпечують формування та реалізацію керуючих впливів на технологічне обладнання. Допоміжні функції передбачають архівування даних, ведення звітності, діагностику роботи системи та виконання розрахунково-аналітичних операцій.

Основними завданнями програмно-технічного комплексу є:

– контроль технологічних параметрів процесу очищення стічних вод;

- керування виконавчими механізмами та технологічним обладнанням;
- відображення поточної інформації на автоматизованих робочих місцях операторів;
- формування світлової та звукової сигналізації при виникненні аварійних ситуацій;
- архівування технологічних параметрів, режимів роботи обладнання та обліку його напрацювання;
- реалізація технологічних захистів і блокувань обладнання;
- забезпечення дистанційного та місцевого керування технологічними механізмами;
- автоматичне регулювання основних параметрів технологічного процесу;
- автоматизований контроль показників якості очищених стічних вод та передача інформації до контролюючих органів.

При дистанційному керуванні обладнання може працювати в ручному або автоматичному режимах. У ручному режимі керування здійснюється оператором через локальні панелі керування, а в автоматичному — за алгоритмами, реалізованими програмованими логічними контролерами.

Місцевий режим передбачає керування обладнанням безпосередньо з локальних постів керування з наданням дозволу на виконання операцій на рівні технологічного вузла.

Функціональні можливості програмно-технічних комплексів, що постачаються разом із технологічним обладнанням, визначаються технічною та експлуатаційною документацією виробників. Реалізація керуючих, інформаційних і сервісних функцій таких систем здійснюється штатними засобами автоматизації, що входять до комплексу постачання обладнання.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Організація безпечних умов праці на очисних спорудах стічних вод є важливою складовою ефективною та безаварійною експлуатації об'єктів водовідведення. Виконання виробничих процесів на таких спорудах пов'язане з впливом низки небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що потребує впровадження комплексу організаційних та технічних заходів з охорони праці. Ці заходи повинні відповідати вимогам чинного законодавства України, зокрема Правилам охорони праці під час експлуатації водопровідно-каналізаційного господарства та іншим нормативно-правовим актам у сфері охорони праці [15–18].

### 4.1 Забезпечення вибухо- та пожежобезпеки на об'єкті

Очисні споруди стічних вод належать до об'єктів підвищеної техногенної небезпеки, оскільки під час очищення стічних вод та обробки осадів можливе утворення горючих і токсичних газів, зокрема метану, сірководню та аміаку. Небезпека виникнення пожежі або вибуху може виникати в насосних станціях, камерах перемикання, резервуарах, спорудах обробки осадів, а також у приміщеннях, де встановлене електротехнічне обладнання.

Для забезпечення безпечної експлуатації очисних споруд у кваліфікаційній роботі бакалавра передбачається комплекс інженерно-технічних та організаційних заходів, спрямованих на запобігання утворенню вибухонебезпечних концентрацій газів, виникненню джерел займання та поширенню пожежі.

Планувальні рішення виконуються з дотриманням нормативних протипожежних розривів між будівлями та спорудами. Розміщення технологічного обладнання забезпечує безпечний доступ для його експлуатації, обслуговування та проведення аварійно-відновлювальних робіт [19].

Для своєчасного виявлення небезпечних ситуацій передбачено використання систем автоматичного контролю технологічних параметрів,

аварійної сигналізації та блокувань, які забезпечують зупинку обладнання при відхиленні параметрів від допустимих значень.

З метою зниження ризику виникнення пожежі або вибуху на об'єкті передбачено [19, 20]:

- застосування негорючих і важкогорючих будівельних матеріалів;
- використання сучасних систем автоматизації технологічних процесів;
- контроль концентрацій вибухонебезпечних і токсичних газів у виробничих приміщеннях;
- обладнання приміщень системами вентиляції;
- встановлення систем пожежної сигналізації та оповіщення персоналу;
- виконання захисного заземлення технологічного обладнання та металевих конструкцій;
- використання електрообладнання відповідно до класу вибухонебезпечних зон.

Реалізація зазначених заходів дозволяє мінімізувати ризик виникнення аварійних ситуацій та забезпечити безпечну експлуатацію очисних споруд.

#### **4.2 Технічні заходи з вибухозахисту**

З метою запобігання виникненню вибухонебезпечних ситуацій на очисних спорудах передбачено комплекс технічних рішень, спрямованих на виключення умов утворення вибухонебезпечних газоповітряних сумішей та джерел їх займання.

Основними джерелами потенційної вибухонебезпеки на очисних спорудах є споруди транспортування та накопичення осадів, насосні станції, колодязі, технологічні камери та інші замкнуті простори, в яких можливе накопичення метану або сірководню.

##### *Розрахунок необхідного повітрообміну для вентиляції насосної станції*

Для забезпечення вибухобезпеки та створення нормативних умов праці в насосній станції очисних споруд необхідно забезпечити видалення шкідливих газів і підтримання концентрації вибухонебезпечних речовин нижче допустимих

значень [17, 19, 21]. Відповідно до нормативних вимог для насосних станцій каналізації приймається кратність повітрообміну  $n = 8 \text{ год}^{-1}$ .

Приймаємо довжину приміщення  $L = 12 \text{ м}$ ; ширину  $B = 6 \text{ м}$ ; та висоту приміщення  $H = 4 \text{ м}$ ; при цьому кратність повітрообміну –  $n = 8 \text{ год}^{-1}$ .

Тоді, об'єм приміщення визначається як:

$$V = L \cdot B \cdot H \quad (4.1)$$

і складає  $V = 12 \cdot 6 \cdot 4 = 288 \text{ м}^3$ .

Тоді як, необхідна продуктивність вентиляційної системи визначається за наступною формулою:

$$Q = n \cdot V, \quad (4.2)$$

де  $Q$  – необхідна витрата повітря,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

$n$  – кратність повітрообміну,  $\text{год}^{-1}$ ;

$V$  – об'єм приміщення,  $\text{м}^3$ .

Підставляємо значення та отримуємо необхідну продуктивність вентиляційної системи:

$$Q = 8 \cdot 288 = 2304 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Отже, для забезпечення безпечної експлуатації насосної станції необхідно передбачити припливно-витяжну вентиляцію продуктивністю не менше  $2300 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Таким чином, для підвищення надійності системи доцільно прийняти стандартний вентилятор продуктивністю  $2500 \text{ м}^3/\text{год}$ , що забезпечить додатковий запас повітрообміну та ефективне видалення можливих скупчень метану і сірководню.

Для забезпечення вибухозахисту передбачено [17, 19, 21]:

– обладнання приміщень припливно-витяжною вентиляцією для запобігання накопиченню вибухонебезпечних газів;

– встановлення стаціонарних газоаналізаторів для контролю концентрації метану, сірководню та інших небезпечних газів;

– використання електрообладнання у вибухозахищеному виконанні відповідно до вимог чинних нормативних документів;

- застосування автоматичних систем захисту та блокування обладнання при виникненні аварійних режимів роботи;
- обладнання технологічних споруд системою блискавкозахисту;
- виконання захисного заземлення металевих конструкцій, трубопроводів та технологічного обладнання;
- використання корозійностійких матеріалів для трубопроводів та резервуарів;
- проведення періодичного технічного огляду обладнання та перевірки його герметичності;
- автоматизований контроль основних технологічних параметрів із виведенням інформації на операторські станції.

Застосування зазначених технічних рішень дозволяє значно знизити ймовірність виникнення аварійних ситуацій, пов'язаних із вибухом газоповітряних сумішей, та забезпечити належний рівень промислової безпеки об'єкта.

#### **4.3 Заходи з пожежної безпеки**

Пожежна безпека очисних споруд забезпечується комплексом конструктивних, технічних та організаційних рішень, спрямованих на попередження виникнення пожежі, своєчасне виявлення загоряння та обмеження його поширення.

Під час експлуатації очисних споруд джерелами пожежної небезпеки можуть бути електрообладнання, кабельні мережі, насосні агрегати, повітродувне обладнання, а також технологічні процеси, пов'язані з накопиченням горючих газів.

Для забезпечення пожежної безпеки передбачаються такі заходи [19]:

- обладнання будівель і споруд системами автоматичної пожежної сигналізації;
- встановлення первинних засобів пожежогасіння відповідно до категорії приміщень;

- забезпечення зовнішнього та внутрішнього протипожежного водопостачання;
- використання будівельних конструкцій із нормованими межами вогнестійкості;
- застосування негорючих матеріалів для оздоблення виробничих приміщень;
- облаштування евакуаційних виходів та шляхів евакуації відповідно до нормативних вимог;
- розміщення пожежних гідрантів на території підприємства;
- забезпечення безперешкодного доступу пожежно-рятувальної техніки до будівель і споруд;
- проведення регулярного контролю справності систем пожежного захисту.

Усі працівники повинні проходити інструктажі з пожежної безпеки та знати порядок дій у разі виникнення пожежі. Реалізація зазначених заходів дозволяє знизити ризик виникнення пожежі та забезпечити безпечну евакуацію персоналу у випадку надзвичайної ситуації.

#### **4.4 Іскробезпека**

Однією з умов забезпечення вибухопожежної безпеки очисних споруд є запобігання утворенню іскор, які можуть стати джерелом займання горючих газів або пароповітряних сумішей.

Особливу небезпеку становлять приміщення та споруди, в яких можливе накопичення метану або сірководню. До таких об'єктів належать насосні станції, резервуари осаду, колодязі та технологічні камери.

Для забезпечення іскробезпеки проектом передбачено:

- захисне заземлення всіх металевих конструкцій, трубопроводів і технологічного обладнання;
- систему зрівнювання потенціалів між металевими елементами споруд;
- використання електрообладнання у вибухозахищеному виконанні;

- застосування іскробезпечних кіл контрольно-вимірювальних приладів та засобів автоматизації;
- захист обладнання від статичної електрики;
- виконання блискавкозахисту будівель і споруд відповідно до нормативних вимог;
- використання кабельної продукції з відповідними характеристиками пожежної безпеки;
- проведення періодичних перевірок стану заземлювальних пристроїв.

Застосування зазначених заходів дозволяє мінімізувати ймовірність виникнення джерел займання та забезпечити безпечну експлуатацію технологічного обладнання.

#### **4.5 Організаційні заходи**

Організаційні заходи є важливою складовою системи охорони праці та промислової безпеки на очисних спорудах. Їх основною метою є попередження аварійних ситуацій, зниження виробничого травматизму та забезпечення безпечних умов праці для персоналу [15-18, 21].

Для забезпечення належного рівня безпеки на підприємстві передбачається:

- розроблення та впровадження інструкцій з охорони праці для всіх професій і видів робіт;
- проведення вступного, первинного, повторного, позапланового та цільового інструктажів;
- організація навчання і перевірки знань працівників з питань охорони праці та пожежної безпеки;
- проведення попередніх і періодичних медичних оглядів працівників;
- забезпечення персоналу сертифікованими засобами індивідуального захисту;
- організація безпечного виконання газонебезпечних робіт за нарядами-допусками;

- контроль дотримання вимог охорони праці під час експлуатації технологічного обладнання;
- проведення навчально-тренувальних занять щодо дій у разі аварійних ситуацій;
- розроблення плану локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій;
- проведення регулярного контролю технічного стану обладнання та засобів захисту.

Реалізація організаційних заходів сприяє підвищенню рівня виробничої дисципліни, зменшенню кількості небезпечних ситуацій та забезпеченню безпечної експлуатації очисних споруд.

#### **4.6 Заходи протирозгерметизації та викидів**

Під час експлуатації очисних споруд можливе виникнення аварійних ситуацій, пов'язаних із порушенням герметичності трубопроводів, резервуарів, насосного обладнання та технологічних ємностей. Наслідком таких ситуацій можуть бути витіки стічних вод, осаду, реагентів або виділення шкідливих газів у виробничі приміщення та навколишнє середовище.

Для запобігання аварійним викидам і розгерметизації технологічного обладнання у роботі передбачено комплекс технічних і організаційних заходів.

Основними заходами є:

- використання трубопроводів і резервуарів із матеріалів, стійких до корозійного впливу стічних вод та реагентів;
- контроль технічного стану обладнання шляхом проведення планових оглядів і діагностики;
- автоматичний контроль рівня рідини в резервуарах та технологічних спорудах;
- застосування аварійних блокувань насосного обладнання при перевищенні допустимих параметрів роботи;
- облаштування аварійних переливів і дренажних систем для відведення надлишкових об'ємів стічних вод;

- контроль герметичності трубопроводів та арматури після проведення ремонтних робіт;
- використання систем автоматизації для оперативного виявлення несправностей;
- герметизація ємностей для накопичення та обробки осаду;
- організація збору та повернення фільтрату і промивних вод у початок технологічної схеми очищення.

Зазначені заходи дозволяють забезпечити надійність роботи технологічного обладнання, зменшити ризик забруднення довкілля та підвищити рівень промислової безпеки підприємства.

#### **4.7 Заходи безпеки в умовах військової агресії**

В умовах воєнного стану та збройної агресії особливого значення набуває забезпечення безпечної експлуатації об'єктів критичної інфраструктури, до яких належать очисні споруди стічних вод. Безперервна робота таких об'єктів є необхідною умовою забезпечення санітарно-епідеміологічного благополуччя населення та захисту навколишнього середовища [17].

З метою підвищення стійкості роботи очисних споруд в умовах військових загроз проектом передбачаються такі заходи [17]:

- розроблення плану реагування на надзвичайні ситуації воєнного характеру;
- організація системи оповіщення персоналу про повітряну тривогу та інші загрози;
- забезпечення працівників доступом до захисних споруд цивільного захисту;
- створення аварійного запасу пально-мастильних матеріалів, реагентів та запасних частин;
- забезпечення резервного електроживлення критично важливих технологічних об'єктів за допомогою дизель-генераторних установок;
- резервування систем зв'язку та передачі даних;

- створення аварійних бригад для оперативного виконання відновлювальних робіт;
- забезпечення персоналу засобами індивідуального захисту та медичними аптечками;
- проведення навчання працівників діям у разі виникнення надзвичайних ситуацій воєнного характеру.

Особлива увага приділяється забезпеченню безперервної роботи насосних станцій, аеротенків, повітродувної станції, систем знезараження та споруд обробки осаду. Виконання зазначених заходів дозволяє мінімізувати ризики аварій та забезпечити стабільне функціонування очисних споруд навіть за умов надзвичайних ситуацій.

#### **4.8 Охорона праці на об'єкті**

Експлуатація очисних споруд стічних вод супроводжується впливом на працівників комплексу небезпечних і шкідливих виробничих факторів. До основних із них належать підвищена вологість повітря, шум від роботи насосного та повітродувного обладнання, контакт зі стічними водами та осадами, наявність токсичних газів, а також небезпека ураження електричним струмом.

Для створення безпечних умов праці проектом передбачено впровадження комплексу організаційних і технічних заходів [20].

На території очисних споруд забезпечуються:

- безпечні умови експлуатації технологічного обладнання;
- нормативні параметри мікроклімату виробничих приміщень;
- природне та штучне освітлення відповідно до вимог чинних нормативних документів;
- припливно-витяжна вентиляція виробничих приміщень;
- заходи щодо зниження рівнів шуму та вібрації;
- захисне заземлення електрообладнання;
- огороження рухомих частин механізмів;

– безпечний доступ до обладнання для проведення ремонтних і профілактичних робіт.

Працівники забезпечуються необхідними засобами індивідуального захисту, зокрема [19]:

- спеціальним одягом і взуттям;
- захисними касками;
- рукавицями та окулярами;
- засобами захисту органів дихання;
- страхувальними поясами для виконання робіт на висоті;
- переносними газоаналізаторами під час виконання газонебезпечних робіт.

Для персоналу організуються попередні та періодичні медичні огляди, проводяться навчання з питань охорони праці, пожежної безпеки та електробезпеки.

Особлива увага приділяється безпеці виконання робіт у колодязях, резервуарах, насосних станціях та інших замкнутих просторах. Допуск до таких робіт здійснюється лише за нарядом-допуском після перевірки повітряного середовища на вміст кисню, сірководню, метану та інших небезпечних газів.

Реалізація зазначених заходів забезпечує зниження рівня професійних ризиків, попередження виробничого травматизму та створення безпечних умов праці для обслуговуючого персоналу очисних споруд.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі бакалавра виконано розроблення технологічної схеми очисних споруд стічних вод продуктивністю 80 000 м<sup>3</sup>/добу та проведено розрахунок основних споруд комплексу очищення.

На основі аналізу складу стічних вод встановлено необхідність застосування багатоступеневої схеми очищення, що включає механічне очищення, біологічне очищення з видаленням сполук азоту та фосфору, ультрафіолетове знезараження очищених стічних вод і комплексну обробку осадів. У роботі також обґрунтовано використання решіток грубого та тонкого очищення, пісколовок, первинних відстійників, аеротенків, вторинних відстійників та установок ультрафіолетового знезараження. Виконано розрахунок споруд механічного очищення, визначено кількість відходів, що затримуються на решітках, та розраховано параметри пісколовок і первинних відстійників.

Для забезпечення нормативних показників якості очищення прийнято технологію біологічного очищення з процесами нітрифікації, денітрифікації та біологічного видалення фосфору. Виконано розрахунок аеротенків, вторинних відстійників та систем рециркуляції активного мулу, що забезпечують стабільне функціонування біологічного очищення за розрахункових умов експлуатації.

Розроблено комплекс споруд для обробки осадів, який включає згущення, механічне зневоднення, знезараження та подальшу стабілізацію осадів. Передбачені технологічні рішення дозволяють зменшити об'єм утворених осадів та забезпечити їх безпечно подальше поводження.

У розділі автоматизації розглянуто впровадження програмно-технічного комплексу керування технологічними процесами, що дозволяє підвищити надійність роботи споруд, оперативність контролю та ефективність експлуатації обладнання.

У розділі охорони праці розроблено комплекс заходів щодо забезпечення безпечних умов праці персоналу, пожежної та вибухової безпеки захисту від аварійних ситуацій і забезпечення стійкої роботи об'єкта в умовах воєнного

стану, а також здійснено розрахунок необхідного повітрообміну для вентиляції насосної станції.

Прийнята технологічна схема, яка розроблена у роботі, забезпечує ефективне очищення стічних вод до нормативних показників, зменшення негативного впливу на навколишнє природне середовище та надійну експлуатацію очисних споруд продуктивністю 80 000 м<sup>3</sup>/добу.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди (зі Зміною №1 та Поправкою №2). – Затверджено Міністерством регіонального розвитку, будівництва та ЖКГ України, 2013. – Київ, 2013. – 128 с.
2. Айрапетян Т. С. Технологія очистки стічних вод : конспект лекцій для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології) / Т. С. Айрапетян; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 120 с.
3. Айрапетян Т. С. Технологія очистки стічних вод : конспект лекцій / Т. С. Айрапетян; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 120 с.
4. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. – Затверджено МОЗ України 12.05.2010. – Київ, 2010. – 25 с.
5. ДСанПіН 2.2.1-10-2001. Гігієнічні вимоги до охорони поверхневих вод. – Затверджено МОЗ України 19.06.2001. – Київ, 2001. – 32 с.
6. Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами. – Затверджено постановою Кабінету Міністрів України №465 від 25.03.1999. – Київ, 1999. – 8 с.
7. Каналізація населених пунктів і промислових підприємств : довідник проєктувальника. – М. : Стройиздат, 1981. – 512 с.
8. Ковальчук В.А. Очистка стічних вод : посібник / В.А. Ковальчук. – Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2002. – 622 с..
9. Орлов В. О. Водопостачання та водовідведення : підручник / В. О. Орлов, Я. А. Тугай, А. М. Орлова. – Київ : Знання, 2011. – 359 с.
10. Тюлюкіна В. К., Саблій Л. А. Аналіз біологічних методів очищення стічних вод від сполук азоту та фосфору. - КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2019.

11. Василенко О. А. Впровадження технології біологічної очистки стічних вод від сполук азоту і фосфору на міських очисних спорудах / О. А. Василенко, О. В. Поліщук, Л. О. Василенко // Екологічна безпека та природокористування. – 2014. – №. 15. – С. 90-101.

12. Enhancement of sewage sludge thickening and energy self-sufficiency with advanced process control tools in a full-scale wastewater treatment plant / Romero-Güiza, M., Flotats, X., Asiain-Mira, R., & Palatsi, J. // Water research, 222, 2022. – 118924.

13. Сангінова О. В. Оптимізація процесів керування біологічного очищення стічних вод / О. В. Сангінова, Н. М. Толстопалова, С. Г. Бондаренко, В. К. Янкаускайте // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». – 2021. – № 1 (20). – С. 31–37. – DOI: 10.20535/2617-9741.1.2021.228092.

14. Kaïttan K. H. PLC-SCADA Automation of Inlet Wastewater Treatment Processes: Design, Implementation, and Evaluation / K. H. Kaïttan, S. J. Mohammed // Journal Européen des Systèmes Automatisés. – 2024. – Vol. 57, № 3. – P. 787–796. – DOI: 10.18280/jesa.570317. <https://doi.org/10.18280/jesa.570317>.

15. Кодекс цивільного захисту України; Відомості Верховної Ради України, 2015, № 14, ст. 96.

16. Закон України «Про охорону праці» // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 1992. – №. 49. – С. 668.

17. ДСТУ ISO 45001:2019 *Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування.* (ISO 45001:2018, IDT). URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=88004](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=88004) , вільний доступ.

18. Стасюк В. М. Безпека технологічних процесів на підприємствах водопровідно-каналізаційного господарства / В.М. Стасюк //Рекомендовано до друку Вченою радою Луцького національного технічного університету (протокол № 8 від 27 березня 2018 р.). – 2018. – С. 75.

19. Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні. – Наказ МВС України № 1417 від 30.12.2014. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15#Text> , вільний доступ.

20. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=14283](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=14283), вільний доступ.

21. Постанова КМУ від 21.08.2019 № 771 «Про затвердження Технічного регламенту засобів індивідуального захисту». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/771-2019-%D0%BF#Text> .

22. Розпорядження КМУ № 116-р від 05.02.2026 р. «Про затвердження плану основних заходів цивільного захисту України на 20206 рік». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/116-2026-%D1%80#Text> , вільний доступ.