

**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  
першого (бакалаврського) рівня освіти

на тему «Комплекс водовідведення продуктивністю 30 000 м<sup>3</sup>/добу»

Виконав: здобувач освіти 4-го курсу,  
групи ЦІ ВВ 2022– 1  
спеціальності  
192 – Будівництво та цивільна  
інженерія  
освітня програма «Цивільна інженерія»  
Торяник О. М.  
Керівник доц. Тітов А.А.  
Рецензент доц. Сироватський О.А.

Харків – 2026 року

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

**Факультет** Факультет навчально-науковий інститут будівництва, землеустрою та цивільної інженерії

**Кафедра** Водопостачання, водовідведення і очищення вод

**Освітній рівень** перший (бакалаврський)

**Спеціальність** 192 – Будівництво та цивільна інженерія

**Освітня програма** «Цивільна інженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**Завідувач кафедри ВВ і ОВ**

                     проф. Карагяур А.С.  
“22” травня 2026 року



**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ОСВІТИ**  
Торянику Олександру Миколайовичу

1. Тема роботи «Комплекс водовідведення продуктивністю 30 000 м<sup>3</sup>/добу»  
»

керівник роботи Тітов Андрій Анатолійович, канд. техн. наук, доцент  
затверджені наказом вищого навчального закладу від 22.05.2026 року № 447-03











2. Строк подання студентом роботи 24.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: запроектувати системи водовідведення населеного пункту з можливістю очищення, підземної дощової каналізації та системи Обробки осаду. Щільність населення 200 осіб/га, 300 осіб/га, 500 осіб/га, норми водовідведення відповідно – 300 л/люд\*добу, 350 л/люд\*добу, 400 л/люд\*добу. У місті працює підприємство електронної промисловості та завод підйомно-транспортного обладнання.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 4.1 Загальні відомості. 4.2 Технологічна частина 4.3 Спеціальна частина 4 Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу [6, 7] (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
5.1 Технологічна частина – 6 креслень; 1 план об'єкту, 2 – система комунікацій, 3 – насосна станція 4,5, 6 – технологічні креслення.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 30.05.2026 року

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

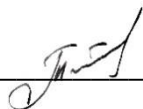
№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальні відомості	<b>30.05 – 3.06.2026</b>	
2	Технологічна частина	<b>4.06 - 8.06.2026</b>	
3	Спеціалізована частина	<b>9.06 – 12.06.2026</b>	
4	Охорона праці	<b>13.06 – 15.06.2026</b>	
5	Графічна частина	<b>30.05 – 15.06.2026</b>	
6	Оформлення і захист	<b>16.06 – 23.06.2026</b>	

Здобувач освіти



Торяник О.М.

Керівник роботи



Тітов А.А.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ .....	3
ВСТУП.....	5
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ .....	7
1.1 Природно-кліматичні умови .....	8
1.1.1 Кліматична характеристика району будівництва .....	10
1.1.2 Характеристика водотоку-приймача стічних вод.....	15
1.2 Стан питання.....	16
1.2.1 Аналіз існуючих рішень водовідведення.....	16
1.3 Обґрунтування проєктних рішень .....	20
1.3.1 Аналіз завдання кваліфікаційної роботи .....	20
1.3.2 Вибір системи та схеми водовідведення.....	21
1.3.3 Вибір місця розташування очисної станції .....	22
1.3.4 Загальна оцінка обсягів водовідведення.....	24
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	24
2.1 Визначення обсягів водовідведення.....	24
2.1.1 Визначення розрахункових витрат побутових стічних вод.....	24
2.1.2 Визначення витрат від промислових підприємств .....	26
2.2 Трасування та проєктування водовідвідної мережі.....	31
2.2.1 Складання схеми притоку стічних вод до головного колектора.....	31
2.2.2 Трасування вуличної мережі та колекторів.....	32
2.3 Проєктування каналізаційної насосної станції .....	35

	2
2.3.1	Визначення розрахункових витрат і напору..... 35
2.3.2	Вибір насосного устаткування та режиму роботи ..... 37
2.4	Розрахунок споруд очищення стічних вод ..... 40
2.4.1	Визначення необхідного ступеня очищення та обґрунтування технологічної схеми..... 40
2.4.2	Розрахунок споруд механічного очищення ..... 43
2.4.3	Розрахунок споруд біологічного очищення ..... 45
2.4.4	Розрахунок споруд обробки та знешкодження осаду..... 48
3.	СПЕЦІАЛІЗОВАНА ЧАСТИНА ..... 51
3.1.	Експлуатація системи водовідведення..... 51
3.2	Захист трубопроводів і споруд від корозії..... 59
3.3.	Охорона навколишнього середовища у системі сталого водовідведення ..... 62
4.	ОХОРОНА ПРАЦІ ..... 65
4.1	Охорона праці на водовідвідних мережах ..... 66
4.2	Охорона праці на насосних станціях..... 67
4.3	Охорона праці на локальних очисних спорудах промислових підприємств ..... 67
4.4	Охорона праці на спорудах очищення та оброблення стоків..... 68
4.5	Закордонні нормативи охорони праці: відмінності, переваги та пропозиції..... 69
4.6	Висновки до розділу ..... 72
	ВИСНОВКИ..... 73
	СПИСОК ДЖЕРЕЛ ..... 75

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

У цій розрахунково-пояснювальній записці вжито такі скорочення, умовні позначення, символи та терміни:

### **Скорочення:**

РПЗ -розрахунково-пояснювальна записка

КРБ -кваліфікаційна робота бакалавра

ОС -очисні споруди (очисна станція)

ГНС -головна каналізаційна насосна станція

КНС -каналізаційна насосна станція

ППР -планово-попереджувальний ремонт

КВП -контрольно-вимірювальні прилади

ЗІЗ -засоби індивідуального захисту

БПК (БПКповн) -біохімічне споживання кисню (повне)

ХСК -хімічне споживання кисню

ГДК -гранично допустима концентрація

ГДС -гранично допустимий скид забруднювальних речовин

ДБН -державні будівельні норми

ДСТУ -національний стандарт України

УФ (UV) -ультрафіолетове знезараження

MBR -мембранний біореактор (membrane bioreactor)

MBBR -біореактор із рухомим завантаженням (moving bed biofilm reactor)

SBR -реактор послідовно-циклічної дії (sequencing batch reactor)

СЕРТ -хімічно інтенсифіковане первинне очищення (chemically enhanced primary treatment)

### **Умовні позначення та символи:**

$C_{en}$  -середня концентрація завислих речовин у суміші стічних вод, що надходять на очищення, мг/л

$L_{en}$  -повне біохімічне споживання кисню (БПКповн) суміші стічних вод, мг/л

$C_{ex}$  -допустимий вміст завислих речовин у стічних водах, що скидаються у водотік, мг/л

$L_{ex}$  -допустиме значення БПКповн стічних вод, що скидаються у водотік, мг/л

$N_p$  -розрахункова чисельність населення, осіб

$N_{екв}$  -еквівалентна чисельність населення, осіб

$N$  -приведена чисельність населення, осіб

$E$  -потрібний (розрахунковий) ефект очищення, %

$\gamma$  -коефіцієнт змішання стічних вод із водою водотоку

$Q_p$  -розрахункова витрата води у водотоці-приймачі, м<sup>3</sup>/с

$q$  -середньосекундна витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/с

$Q_{доб}$  -середньодобова витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/добу

$Q_{год.мах}$  -максимальна годинна витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/год

$U_0$  -гідравлічна крупність частинок завислих речовин, мм/с

$a_i$  -доза активного мулу в аеротенку, г/л

$J_i$  -муловий індекс, см<sup>3</sup>/г

$R_i$  -ступінь рециркуляції активного мулу

$D_{set}$  -діаметр відстійника, м

$W_{at}$  -об'єм аеротенка, м<sup>3</sup>

### **Одиниці вимірювання:**

мг/л -міліграм на літр; м<sup>3</sup>/добу -кубічний метр на добу; м<sup>3</sup>/год -кубічний метр на годину; м<sup>3</sup>/с -кубічний метр на секунду; г/(чол.·добу) -грам на одного мешканця на добу; мм/с -міліметр на секунду; кг/год -кілограм на годину.

## ВСТУП

Розрахунково-пояснювальну записку викладено на 82 сторінках; вона містить 1 рисуноків, 11 таблиць, 22 джерел за переліком посилань та 6 аркушів графічного матеріалу (кількісні показники уточнюються після остаточного складання роботи).

ВОДОВІДВЕДЕННЯ, СТІЧНІ ВОДИ, ОЧИСНІ СПОРУДИ, БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ, АЕРОТЕНК, ЗНЕЗАРАЖЕННЯ, ОБРОБКА ОСАДУ, ПРОТИКОРОЗІЙНИЙ ЗАХИСТ, ОХОРОНА ПРАЦІ, СТАЛЕ ВОДОВІДВЕДЕННЯ

Забезпечення населених пунктів надійними системами відведення та очищення стічних вод належить до першочергових завдань сучасної комунальної інженерії. Скидання недостатньо очищених стічних вод у природні водотоки спричиняє забруднення поверхневих і підземних вод, погіршення санітарно-епідеміологічного стану території та порушення екологічної рівноваги водних екосистем. Тому проектування системи водовідведення міста, що поєднує економічну доцільність із відповідністю чинним екологічним нормативам, є актуальним інженерним завданням.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення проєкту системи водовідведення міста Торянівськ (умовна назва, асоційована з реальним містом Олександрія Кіровоградської області) з розрахунковою чисельністю населення близько 80 тис. осіб, що забезпечує відведення, очищення та знезараження побутових і виробничих стічних вод до показників, допустимих для скиду у водотік-приймач, із подальшим знешкодженням осаду.

Поставлену мету досягнуто через послідовне розв'язання таких завдань: визначення розрахункових витрат і концентрацій забруднень стічних вод; трасування та гідравлічний розрахунок водовідвідної мережі; проектування головної насосної станції; обґрунтування технологічної схеми та розрахунок споруд механічного й

біологічного очищення, знезараження і обробки осаду; визначення необхідного ступеня очищення за санітарними показниками; а також опрацювання питань експлуатації, протикорозійного захисту трубопроводів і споруд, охорони навколишнього середовища та охорони праці.

У роботі поряд із розрахунком традиційного складу очисних споруд для кожного етапу очищення розглянуто й оцінено сучасні технологічні альтернативи (зокрема ультрафіолетове знезараження, мембранні та біоплівкові біореактори, анаеробне зброджування осаду з утилізацією біогазу), що становить елемент новизни роботи та орієнтує проєктні рішення на принципи сталого водовідведення й ресурсозбереження.

Практичне значення роботи полягає в тому, що отримані проєктні рішення та результати розрахунків можуть бути використані як основа для подальшого детального проєктування системи водовідведення міста відповідного класу й потужності.

## 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Кіровоградська область, розташована в центральній частині України, є однією з ключових адміністративно-територіальних одиниць, що відіграє значну роль у формуванні агропромислового та індустріального потенціалу держави. Її географічне положення є надзвичайно вигідним, оскільки вона знаходиться на перетині важливих транспортних коридорів, що сприяє активному розвитку економічних зв'язків як на внутрішньодержавному, так і на міжнародному рівнях. Територія області переважно розташована в межах Придніпровської височини, що зумовлює її характерний рівнинний рельєф з незначними перепадами висот, які поступово знижуються у західному та південно-західному напрямках. Абсолютні відмітки висот коливаються в діапазоні від 90 до 120 метрів над рівнем моря, що створює сприятливі умови для формування розгалуженої гідрографічної мережі, представлені численними річками, струмками та балками.

У контексті розробки бакалаврської кваліфікаційної роботи, що передбачає проектування системи водовідведення для міста Торянівськ (умовна назва, яка асоційована з реальним містом Олександрія), надзвичайно важливим є врахування специфіки регіону. Олександрійський район, до складу якого входить місто, розташований у східній частині Кіровоградської області. Це обумовлює певні природно-географічні, кліматичні та геологічні особливості, які безпосередньо впливають на інженерні рішення, що стосуються будівництва та подальшої експлуатації об'єктів водовідведення. Населення Олександрії, що становить близько 76–82 тис. осіб, є значним показником, який вимагає розробки сучасної, надійної та ефективної інфраструктури водовідведення. Така система повинна забезпечувати належний рівень санітарно-епідеміологічного благополуччя населення та ефективну охорону навколишнього природного середовища від забруднення стічними водами.

Проектування системи водовідведення для м. Торянівськ є комплексним завданням, що вимагає глибокого аналізу різноманітних факторів. До них належать природні умови території, детальні кліматичні показники, особливості геологічної будови ділянки будівництва та гідрологічний режим річки Інгулець, яка визначена як основний приймач стічних вод. Всі ці аспекти є фундаментальними для вибору оптимальних технологій очищення стічних вод, розробки ефективних інженерних рішень та забезпечення сталого функціонування всієї системи. Комплексне врахування місцевих особливостей дозволить мінімізувати потенційний негативний вплив на довкілля, забезпечити довговічність та економічну ефективність інженерних споруд, а також відповідати сучасним екологічним стандартам та нормативам. Це є запорукою успішної реалізації проекту та забезпечення комфортних умов проживання для мешканців міста.

### **1.1 Природно-кліматичні умови**

Природно-геологічні умови Олександрійського району Кіровоградської області є фундаментальними факторами, що визначають підходи до проектування, будівництва та подальшої експлуатації будь-яких інженерних споруд, зокрема систем водовідведення. Територія району розташована в межах Українського кристалічного щита (УКЩ) -однієї з найдавніших та найстабільніших геологічних структур Східноєвропейської платформи. Ця особливість зумовлює залягання на відносно невеликих глибинах (від кількох метрів до десятків метрів) магматичних та метаморфічних порід архейського та протерозойського віку. До таких порід належать граніти, гнейси, мігматити, кварцити та кристалічні сланці. Ці породи характеризуються високою міцністю та низькою водопроникністю, але часто є сильно дислокованими, тріщинуватими та розсіченими численними тектонічними порушеннями (розломами, тріщинами). Наявність таких порушень може суттєво впливати на стійкість ґрунтових масивів, гідрогеологічні умови та потребує ретельного інженерно-геологічного вивчення на етапі вишукувань.

Поверхневі відклади, що перекривають кристалічний фундамент, представлені переважно осадовими породами четвертинного та неогенового (третинного) періодів. Найбільш поширеними є лесові суглинки, які мають значну потужність, що може сягати 10-20 метрів і більше. Лесові суглинки характеризуються специфічними інженерно-геологічними властивостями, зокрема високою пористістю, макропористістю та просадністю при зволоженні. Це означає, що при контакті з водою (наприклад, при витоках з водопровідних або каналізаційних мереж) вони здатні давати значні та нерівномірні осідання, що може призвести до деформацій та руйнувань фундаментів будівель і споруд, а також трубопроводів. Тому при проектуванні необхідно передбачати спеціальні заходи для боротьби з просадністю ґрунтів, такі як ущільнення основи, влаштування ґрунтових подушок або пальових фундаментів. Також зустрічаються моренні відклади, представлені червонувато-бурими суглинками з включеннями піщано-глинистого матеріалу та невеликих валунів. Валуни, як правило, складаються з міцних порід – гранітів, гнейсів та пісковиків. У південній частині району поширені перевідкладені талими водами льодовиків матеріали морен, що заповнюють зниження рельєфу та можуть мати неоднорідний склад.

Рельєф Олександрійського району, незважаючи на загальну рівнинність, є досить розчленованим густою мережею річкових долин, балок та ярів. Це є наслідком тривалих ерозійних процесів, що відбуваються в умовах високого залягання порід кристалічного фундаменту та значної потужності осадових порід, схильних до розмиву. Глибокі яри та балки, особливо ті, що врізаються в правобережжя Дніпра, можуть мати глибину до 40–100 метрів, створюючи складний мікрорельєф. Такі особливості рельєфу вимагають ретельного врахування при трасуванні самопливних та напірних трубопроводів, виборі місць для розміщення насосних станцій та очисних споруд. Необхідно передбачати заходи щодо захисту від ерозії та зсувних процесів, особливо на схилах балок та ярів.

Гідрогеологічні умови району характеризуються наявністю кількох водоносних горизонтів. Перший від поверхні водоносний горизонт зазвичай пов'язаний з четвертинними відкладами (лесовими суглинками, пісками) і має неглибоке залягання (1-5 м). Його рівень може коливатися залежно від кількості атмосферних опадів та пори року. Нижче залягають водоносні горизонти у палеогенових та крейдових відкладах, а також у тріщинуватих породах кристалічного фундаменту. Високий рівень ґрунтових вод може ускладнювати будівельні роботи, вимагаючи влаштування водозниження та дренажних систем. При проектуванні каналізаційних мереж необхідно передбачати заходи щодо захисту трубопроводів від підтоплення та забезпечення їх герметичності для запобігання інфільтрації ґрунтових вод у систему та витоків стічних вод у ґрунт.

Загалом, інженерно-геологічні умови Олександрійського району характеризуються як складні та вимагають проведення комплексних інженерно-геологічних вишукувань на всіх стадіях проектування. Це дозволить своєчасно виявити потенційні ризики, пов'язані з просадними ґрунтами, карстовими явищами, ерозійними та зсувними процесами, високим рівнем ґрунтових вод та неоднорідністю кристалічного фундаменту. На основі отриманих даних будуть розроблені відповідні заходи для забезпечення надійності, довговічності та безпеки об'єктів системи водовідведення, а також для мінімізації негативного впливу на навколишнє природне середовище.

### **1.1.1 Кліматична характеристика району будівництва**

Клімат району будівництва, що охоплює місто Торянівськ (умовна назва, аналогічна Олександрії) та прилеглі території Кіровоградської області, є помірно-континентальним. Цей тип клімату характеризується значними річними та добовими коливаннями температури повітря, нерівномірним розподілом атмосферних опадів протягом року, а також чітко вираженою сезонністю. Такі кліматичні умови мають суттєвий вплив на всі етапи проектування, будівництва та подальшої експлуатації

систем водовідведення. Зокрема, вони визначають вибір матеріалів для трубопроводів та споруд, глибину їх закладання, необхідність теплоізоляції, розрахунок гідравлічних навантажень на мережі та очисні споруди, а також заходи щодо захисту від негативних природних явищ.

**Температурний режим.** Середньорічна температура повітря в регіоні становить близько  $+8,8$  °C. Однак, цей показник є усередненим і не відображає значних сезонних коливань. Найтеплішим місяцем є липень, коли середні температури коливаються в діапазоні від  $+13$  °C до  $+27$  °C, а максимальні температури можуть сягати  $+35$  °C і вище. Таке спекотне літо вимагає врахування при проектуванні відкритих споруд, таких як мулові майданчики або біологічні ставки, для запобігання інтенсивному випаровуванню та утворенню непріємних запахів. Натомість, найхолоднішим місяцем є січень, де середні температури коливаються від  $-8$  °C до  $-1$  °C, а мінімальні можуть опускатися до  $-25$  °C і нижче. Значні негативні температури в зимовий період є критичним фактором для проектування каналізаційних мереж. Глибина нормативного промерзання ґрунту для даного регіону становить  $0,9-1,0$  м. Це означає, що трубопроводи повинні закладатися нижче цієї позначки, щоб уникнути замерзання стічних вод у трубах, що може призвести до їх пошкодження, руйнування та порушення функціонування всієї системи. Для напірних трубопроводів, що прокладаються на меншій глибині, необхідно передбачати теплоізоляцію.

**Режим атмосферних опадів.** Розподіл атмосферних опадів протягом року є нерівномірним, що характерно для помірно-континентального клімату. Середньорічна кількість опадів становить приблизно 456 мм. Максимальна кількість опадів припадає на теплий період року, зокрема на червень-липень, що часто супроводжується інтенсивними зливами. Ці зливи можуть призводити до значного збільшення обсягу поверхневого стоку, що створює підвищене навантаження на дощову каналізацію та комбіновані системи водовідведення. При проектуванні необхідно враховувати максимальні інтенсивності дощів для розрахунку пропускної

здатності колекторів та запобігання їх переповненню та підтопленню територій. Зимові опади переважно випадають у вигляді снігу, проте сніговий покрив зазвичай нестійкий і його висота рідко перевищує 10-20 см. Швидке танення снігу навесні також може спричиняти значний поверхневий стік, який необхідно враховувати при проектуванні дренажних систем та систем водовідведення.

**Вологість повітря та вітровий режим.** Відносна вологість повітря також має сезонні коливання: максимальні значення спостерігаються взимку (80-85%), що сприяє утворенню туманів та ожеледиці, а мінімальні -влітку (50-60%). Переважними напрямками вітру є північно-західний та західний. Вітровий режим має значення при виборі місця розташування очисних споруд та їх окремих елементів [5], щоб мінімізувати розповсюдження неприємних запахів на житлові райони міста. Також вітер впливає на інтенсивність аерації в аеротенках та на швидкість випаровування з відкритих водних поверхонь, що може впливати на технологічні процеси очищення.

Для детального аналізу кліматичних умов та їх впливу на проектування системи водовідведення, нижче наведено узагальнені кліматичні показники для м. Олександрія (Торянівськ) на основі багаторічних спостережень:

Таблиця 1.1. Температурний режим міста будівництва

Місяць	Середня температура, (мін/макс)	Середня кількість опадів, мм	Відносна вологість, %	Переважаючий напрямок вітру
Січень	-8 / -1	24	85	З, Пн-З
Лютий	-7 / +1	23	83	З, Пн-З
Березень	-4 / +9	26	78	З, Пн-З
Квітень	+1 / +18	33	68	З, Пн-З
Травень	+7 / +23	47	60	З, Пн-З
Червень	+11 / +25	58	55	З, Пн-З
Липень	+13 / +27	62	50	З, Пн-З
Серпень	+12 / +26	49	52	З, Пн-З
Вересень	+7 / +23	36	65	З, Пн-З
Жовтень	+1 / +17	37	75	З, Пн-З
Листопад	-3 / +7	33	80	З, Пн-З
Грудень	-6 / +2	28	84	З, Пн-З
<b>Рік</b>	<b>+2,8 / +14,8 (сер. ~8,8)</b>	<b>~456</b>	<b>~70</b>	<b>З, Пн-З</b>

Значні перепади температур протягом року вимагають використання матеріалів для трубопроводів, які стійкі до термічних деформацій [8]. Для підземних трубопроводів важливо забезпечити глибину закладання нижче нормативної глибини промерзання [3] ґрунту (0,9–1,0 м) для запобігання замерзанню стічних вод. У разі неможливості дотримання цієї умови (наприклад, при перетині з іншими комунікаціями або при прокладанні напірних трубопроводів), необхідно передбачати теплоізоляцію трубопроводів. Для відкритих споруд, таких як аеротенки або біофільтри, необхідно враховувати вплив низьких температур на ефективність

біологічних процесів очищення, що може вимагати їх утеплення або використання спеціальних технологій, адаптованих до холодного клімату. Високі літні температури можуть призводити до інтенсивного випаровування з відкритих поверхонь, що впливає на обсяг мулу та концентрацію забруднюючих речовин.

У разі проектування комбінованої системи водовідведення, де дощові та господарсько-побутові стоки надходять в одну мережу, необхідно враховувати пікові навантаження під час дощів та забезпечити відповідну потужність очисних споруд або передбачити скид частини розбавлених стоків після механічного очищення в приймач. Швидке танення снігу навесні також може спричиняти значний поверхневий стік, який необхідно враховувати при проектуванні дренажних систем та систем водовідведення.

Переважні напрямки вітру (північно-західний та західний) є важливим фактором при виборі місця розташування очисних споруд та їх окремих елементів, що можуть бути джерелами неприємних запахів (наприклад, первинні відстійники, мулові майданчики). Розміщення таких об'єктів з підвітряного боку від житлових районів дозволить мінімізувати негативний вплив на якість повітря в місті. Також вітер впливає на інтенсивність аерації в аеротенках та на швидкість випаровування з відкритих водних поверхонь, що може впливати на технологічні процеси очищення.

Висока відносна вологість взимку може сприяти утворенню конденсату на поверхнях споруд та обладнання, що вимагає використання антикорозійних покриттів [9] та забезпечення належної вентиляції. Низька вологість влітку, у поєднанні з високими температурами, може посилювати випаровування, що необхідно враховувати при розрахунку водного балансу очисних споруд.

Врахування всіх цих кліматичних факторів дозволить розробити надійну, ефективну та економічно обґрунтовану систему водовідведення, яка буде стійкою до впливу несприятливих погодних умов та забезпечить стабільне функціонування протягом усього терміну експлуатації.

### 1.1.2 Характеристика водотоку-приймача стічних вод

У якості основного водотоку-приймача стічних вод для проекрованої системи водовідведення міста Торянівськ (умовна назва, аналогічна Олександрії) обрано річку Інгулець. Ця річка є правою притокою Дніпра і відіграє ключову роль у гідрографічній мережі та екологічному балансі Кіровоградської області. Інгулець належить до басейну Чорного моря, що підкреслює її значення як транскордонного водного об'єкта та елемента великої екосистеми.

Річка Інгулець характеризується значною довжиною, що становить 549 км, а площа її водозбірного басейну сягає 14 870 км<sup>2</sup>. Це типова рівнинна річка, гідрологічний режим якої визначається сезонними коливаннями. Для Інгульця характерне виражене весняне водопілля, що зумовлене таненням снігів та весняними дощами, під час якого рівень води та витрати значно зростають. Натомість, літня та зимова межені характеризуються низькими рівнями води. Середньорічна витрата води в районі Олександрії коливається в межах 1,5–2,5 м<sup>3</sup>/с, проте під час весняних паводків ці показники можуть збільшуватися в кілька разів, досягаючи пікових значень. Швидкість течії у меженний період є відносно невеликою – 0,1–0,3 м/с, що сприяє процесам самоочищення, але під час паводків може зростати до 1,0–1,5 м/с, збільшуючи ерозійну активність. Глибина русла в районі міста зазвичай становить 1,5–3,0 м, а на окремих плесах, де відбувається природне поглиблення, може сягати до 5 м. Ці гідрологічні характеристики є важливими для розрахунку умов розбавлення стічних вод та визначення зони впливу скидів.

Річка Інгулець є джерелом водопостачання для низки населених пунктів та сільськогосподарських угідь, а також відіграє важливу роль у підтримці біорізноманіття регіону. Тому, скидання стічних вод у річку вимагає обов'язкового застосування сучасних та високоефективних методів очищення. Ступінь очищення стічних вод повинен відповідати найсуворішим екологічним нормативам та стандартам, встановленим для водних об'єктів рибогосподарського призначення. Це

включає механічне, біологічне та, за необхідності, доочищення (наприклад, фізико-хімічні методи, знезараження) для видалення специфічних забруднювачів. Метою є забезпечення такого рівня якості очищених стічних вод, який не призведе до перевищення гранично допустимих концентрацій [12] (ГДК) забруднюючих речовин у річці після їх змішування та розбавлення.

Русло річки Інгулець пролягає в межах Українського кристалічного щита, що зумовлює наявність порожистих ділянок та виходів гранітів, гнейсів та інших кристалічних порід у долині річки. Долина річки переважно трапецієподібна, завширшки до 2–4 км, з пологими схилами, що переходять у заплаву. Ці геологічні особливості необхідно враховувати при проектуванні випусків стічних вод, виборі місць для будівництва насосних станцій та інших гідротехнічних споруд. Наявність твердих порід може ускладнювати земляні роботи, але водночас забезпечує стабільність основи для фундаментів.

## **1.2 Стан питання**

### **1.2.1 Аналіз існуючих рішень водовідведення**

Аналіз існуючих рішень водовідведення є критично важливим етапом проектування нової системи, оскільки дозволяє оцінити переваги та недоліки різних підходів, врахувати місцеві умови та обрати найбільш оптимальні технології. Традиційно системи водовідведення поділяються на централізовані та децентралізовані, а також на загальносплавні, роздільні та напівроздільні за схемою відведення стоків. Сучасні тенденції також включають гібридні та інтегровані рішення, що поєднують елементи різних систем.

#### **Централізовані системи водовідведення:**

- **Опис:** Характеризуються наявністю єдиної мережі колекторів, що збирають стічні води з усього міста та транспортують їх до централізованих очисних споруд. Після очищення вода скидається у водний об'єкт-приймач.

- **Переваги:** Висока ефективність очищення за рахунок масштабу, можливість впровадження складних технологій, централізований контроль та управління, менша площа під очисні споруди на одиницю населення порівняно з децентралізованими.
- **Недоліки:** Високі капітальні витрати на будівництво протяжних мереж, значні експлуатаційні витрати на перекачування стоків, вразливість до аварій на магістральних колекторах, складність адаптації до швидкого зростання міста, великі втрати води та інфільтрація ґрунтових вод у застарілих мережах.

**Застосування:** Найбільш поширені у великих та середніх містах.

#### **Децентралізовані (локальні) системи водовідведення:**

- **Опис:** Передбачають збір та очищення стічних вод на рівні окремих будівель, кварталів або невеликих населених пунктів за допомогою локальних очисних споруд (ЛОС). Очищена вода може скидатися у місцеві водні об'єкти, використовуватися для зрошення або інфільтруватися в ґрунт.
- **Переваги:** Менші капітальні витрати на мережі, гнучкість та можливість поетапного будівництва, швидка адаптація до розвитку території, можливість повторного використання очищеної води безпосередньо на місці [19], зниження навантаження на централізовані системи.
- **Недоліки:** Потреба у більшій кількості ЛОС, що може вимагати додаткових земельних ділянок, складність контролю за якістю очищення та експлуатацією, потенційно вищі експлуатаційні витрати на одиницю об'єму стоків.
- **Застосування:** Актуальні для приватної забудови, невеликих населених пунктів, промислових об'єктів, а також як доповнення до централізованих систем у віддалених районах.

#### **3. Загальносплавна система водовідведення:**

- **Опис:** Всі види стоків (господарсько-побутові, промислові та дощові) відводяться однією мережею колекторів до очисних споруд.

- **Переваги:** Простота конструкції мережі, менші капітальні витрати на будівництво однієї мережі.
- **Недоліки:** Значне збільшення обсягу стоків під час дощів, що призводить до перевантаження очисних споруд та необхідності скиду частини неочищених або недостатньо очищених стоків у водні об'єкти (так звані «зливи» або «перепуски»), що є джерелом значного забруднення. Складність регулювання роботи очисних споруд через значні коливання витрат та концентрації забруднень.
- **Застосування:** Історично поширені у старих містах, але зараз вважаються застарілими та екологічно неприйнятними.

#### **4. Роздільна система водовідведення:**

- **Опис:** Передбачає дві окремі мережі: одна для господарсько-побутових та промислових стоків (господарсько-побутова каналізація), що прямують на очисні споруди, інша – для дощових та талих вод (дощова каналізація), що скидаються безпосередньо у водні об'єкти або після механічного очищення.
- **Переваги:** Стабільніші витрати на очисних спорудах, що дозволяє оптимізувати їх роботу; зменшення обсягу стоків, що підлягають біологічному очищенню; менше забруднення водних об'єктів під час дощів.
- **Недоліки:** Вищі капітальні витрати на будівництво двох паралельних мереж, необхідність ретельного контролю за підключеннями для запобігання несанкціонованому скиду господарсько-побутових стоків у дощову каналізацію.
- **Застосування:** Сучасний стандарт для нових міст та районів, а також при реконструкції існуючих систем.

#### **5. Напівроздільна система водовідведення:**

- **Опис:** Комбінація загальносплавної та роздільної систем. Зазвичай передбачає дві мережі, але під час сильних дощів частина дощових вод може надходити до господарсько-побутової каналізації для подальшого очищення, або ж частина

змішаних стоків скидається у водний об'єкт через спеціальні перепуски після механічного очищення.

- **Переваги:** Дещо менші капітальні витрати порівняно з повністю роздільною системою, можливість використання існуючих мереж.
- **Недоліки:** Все ще існує ризик забруднення водних об'єктів під час сильних дощів, складність управління потоками.
- **Застосування:** Часто використовується при реконструкції старих загальносплавних систем.

#### **Сучасні технології очищення стічних вод:**

Сучасні очисні споруди інтегрують передові технології для досягнення високого ступеня очищення та відповідності жорстким екологічним нормативам. До основних технологій належать:

- **Механічне очищення:** Решітки, пісколовки, первинні відстійники для видалення великих домішок, піску та завислих речовин.
- **Біологічне очищення:** Аеротенки з активним мулом (класичні, з нітриденітрифікацією, з видаленням фосфору), біофільтри, біореактори з рухомим завантаженням (MBBR), мембранні біореактори (MBR). Ці технології забезпечують видалення органічних забруднень, азоту та фосфору.
- **Доочищення:** Фільтрація (піщані фільтри, мікрофільтрація), сорбція (активоване вугілля), зворотний осмос, ультрафільтрація для видалення мікробабруднювачів, важких металів та досягнення високої якості води для повторного використання.
- **Знезараження:** Ультрафіолетове опромінення, хлорування, озонування для знищення патогенних мікроорганізмів.
- **Обробка осаду:** Згущення, стабілізація (анаеробне зброджування, аеробна стабілізація), зневоднення (механічне, на мулових майданчиках), термічна обробка. Особлива увага приділяється анаеробному зброджуванню для отримання біогазу.

При виборі конкретних рішень для міста Торянівськ необхідно враховувати чисельність населення, характер забудови, наявність промислових підприємств, гідрологічні та гідрогеологічні умови, а також вимоги до якості очищених стічних вод, що скидаються у річку Інгулець. Оптимальним буде рішення, що поєднує високу ефективність очищення, енергетичну ефективність, можливість відновлення ресурсів та стійкість до кліматичних змін.

### **1.3 Обґрунтування проєктних рішень**

Обґрунтування проєктних рішень є ключовим етапом у розробці будь-якої інженерної системи, особливо такої складної та відповідальної, як система водовідведення міста. На цьому етапі відбувається систематичний аналіз усіх вихідних даних, технічних вимог, нормативних документів, а також сучасних технологічних можливостей. Метою є вибір оптимальних рішень, які забезпечать ефективне функціонування системи, її економічну доцільність, екологічну безпеку та відповідність принципам сталого розвитку. Процес обґрунтування включає детальне вивчення актуальності завдання, аналіз існуючих аналогів, вибір оптимальної схеми та технологій, а також попередню оцінку основних параметрів системи.

#### **1.3.1 Аналіз завдання кваліфікаційної роботи**

Завданням бакалаврської кваліфікаційної роботи є проектування системи водовідведення для умовного міста Торянівськ, яке за своїми характеристиками аналогічне місту Олександрія Кіровоградської області. Це завдання має комплексний характер і вимагає глибокого розуміння інженерних, екологічних, економічних та соціальних аспектів. Основна мета полягає у розробці технічно обґрунтованих рішень, що забезпечать надійний збір, транспортування, очищення та безпечний скид стічних вод, мінімізуючи негативний вплив на навколишнє природне середовище та сприяючи сталому розвитку міста.

### 1.3.2 Вибір системи та схеми водовідведення

Вибір оптимальної системи та схеми водовідведення для міста Торянівськ є одним з найважливіших проектних рішень, що визначає ефективність, надійність та економічну доцільність всієї інфраструктури. Враховуючи сучасні вимоги до сталого розвитку, екологічної безпеки та адаптації до кліматичних змін, необхідно ретельно проаналізувати доступні варіанти та обґрунтувати вибір. Основними типами систем водовідведення є загальносплавна, роздільна та напівроздільна.

**Обрано роздільну систему** - Передбачає окреме відведення господарсько-побутових та промислових стоків (господарсько-побутова каналізація) на очисні споруди, та окреме відведення дощових і талих вод (дощова каналізація) безпосередньо у водні об'єкти або після механічного очищення. Ця система має низку суттєвих переваг:

- **Стабільність роботи очисних споруд:** Відсутність значних коливань витрат та концентрації забруднень дозволяє оптимізувати технологічні процеси очищення та забезпечити стабільно високу якість очищених стічних вод.
- **Зменшення обсягу стоків для біологічного очищення:** Дощові води, як правило, не потребують біологічного очищення, що зменшує навантаження на очисні споруди та знижує експлуатаційні витрати.
- **Екологічна безпека:** Запобігає скиду неочищених господарсько-побутових стоків у водні об'єкти під час дощів, що є критично важливим для річки Інгулець.
- **Можливість адаптації до кліматичних змін:** Дозволяє ефективніше управляти дощовим стоком, впроваджуючи елементи водночутливого міського планування та акумулюючі ємності для регулювання пікових витрат.

#### **Схема водовідведення:**

Схема водовідведення міста Торянівськ передбачатиме дві незалежні мережі:

1. **Господарсько-побутова каналізація:** Збиратиме стічні води від житлових будинків, громадських будівель та промислових підприємств. Мережа буде складатися з самотливних колекторів, що відводитимуть стоки до головного

колектора, який транспортуватиме їх до очисних споруд. У місцях, де самопливне відведення неможливе через рельєф, будуть передбачені каналізаційні насосні станції (КНС).

2. **Дощова каналізація:** Збиратиме поверхневий стік з території міста (дощові та талі води) та відводитиме його до річки Інгулець. Для зменшення забруднення річки, перед скидом дощових вод передбачається їх механічне очищення на локальних очисних спорудах дощового стоку (пісковловлювачі, нафтовловлювачі, сорбційні фільтри). Також будуть розглянуті можливості впровадження елементів водочутливого міського планування для децентралізованого управління дощовим стоком.

Такий підхід забезпечить комплексне та ефективне вирішення проблеми водовідведення міста, відповідаючи сучасним екологічним та інженерним стандартам.

### **1.3.3 Вибір місця розташування очисної станції**

Вибір місця розташування очисної станції (ОС) є одним з найбільш відповідальних рішень у проектуванні системи водовідведення, оскільки він впливає на капітальні та експлуатаційні витрати, ефективність роботи системи, а також на екологічну та санітарну безпеку прилеглих територій. Для міста Торянівськ, з урахуванням його географічних, геологічних та гідрологічних особливостей, необхідно врахувати низку критеріїв.

#### **Основні критерії вибору місця розташування ОС:**

1. **Рельєф місцевості:** Бажано розміщувати ОС у найнижчій точці території, що обслуговується, щоб забезпечити максимальне самопливне відведення стічних вод. Це дозволяє мінімізувати кількість каналізаційних насосних станцій (КНС) та, відповідно, знизити експлуатаційні витрати на перекачування. Однак, у випадку розчленованого рельєфу Олександрійського району, може знадобитися комбінація самопливних та напірних ділянок.

2. **Відстань до житлової забудови:** Відповідно до санітарних норм та правил, очисні споруди повинні розташовуватися на певній відстані від житлових та громадських будівель для запобігання поширенню неприємних запахів, шуму та інших негативних впливів. Розмір санітарно-захисної зони (СЗЗ) залежить від типу та потужності ОС, а також від технології очищення. Для сучасних ОС з високим ступенем очищення та закритими спорудами СЗЗ може бути зменшена, але все одно потребує значної території.

3. **Наявність водного об'єкта-приймача:** ОС повинна бути розташована поблизу річки Інгулець, щоб мінімізувати довжину випускного колектора та витрати на його будівництво. При цьому необхідно враховувати гідрологічний режим річки, її асиміляційну здатність та вимоги до якості скиду.

4. **Геологічні та гідрологічні умови:** Місце розташування ОС повинно мати сприятливі інженерно-геологічні умови, що забезпечують стійкість фундаментів споруд. Необхідно уникати ділянок з просадними ґрунтами, високим рівнем ґрунтових вод, карстовими явищами або зсувними процесами. У разі наявності таких умов, необхідно передбачати спеціальні інженерні заходи, що може значно збільшити вартість будівництва.

5. **Наявність інженерних комунікацій:** До місця розташування ОС необхідно забезпечити підведення електроенергії, водопостачання (для технічних потреб), а також під'їзні шляхи для транспортування матеріалів та обслуговуючого персоналу.

6. **Можливість розширення:** При виборі ділянки необхідно передбачити можливість подальшого розширення ОС у разі зростання міста та збільшення обсягів стічних вод. Це дозволить уникнути необхідності будівництва нових ОС у майбутньому.

### **Попередній вибір місця:**

З урахуванням вищезазначених критеріїв, найбільш доцільним є розміщення очисної станції за межами міста, нижче за течією річки Інгулець відносно основної забудови.

Це дозволить забезпечити максимальне самопливне відведення стоків, дотриматися необхідних санітарно-захисних зон та мінімізувати вплив на житлові райони. Конкретна ділянка буде визначена на основі детальних інженерно-геологічних вишукувань та містобудівної документації, з урахуванням рози вітрів для мінімізації поширення запахів.

### **1.3.4 Загальна оцінка обсягів водовідведення**

Загальна оцінка обсягів водовідведення є відправною точкою для розрахунку потужності очисних споруд, діаметрів колекторів та насосних станцій. Вона базується на чисельності населення, нормах водоспоживання та водовідведення [4], а також на обсягах промислових стоків. Для міста Торянівськ (аналог Олександрії) з населенням 76–82 тис. осіб, оцінка обсягів водовідведення буде включати господарсько-побутові та промислові стоки.

## **2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА**

### **2.1 Визначення обсягів водовідведення**

#### **2.1.1 Визначення розрахункових витрат побутових стічних вод**

Обсяг господарсько-побутових стоків визначається за формулою:

$$Q_{г-п} = (N \times q_{г-п}) / 1000 \times K_{доб} \times K_{год} \quad (2.1)$$

Де  $Q_{г-п}$  - середньодобова витрата господарсько-побутових стічних вод, м<sup>3</sup>/добу;

$N$  - розрахункова чисельність населення, осіб (приймаємо 80 000 осіб для розрахунків);

$q_{г-п}$  - норма водовідведення на 1 мешканця, л/добу (приймаємо 200-250 л/добу, згідно з ДБН В.2.5-75:2013 для міст з повним благоустроєм);

$K_{доб}$  - коефіцієнт добової нерівномірності (приймаємо 1,2-1,5); \*  $K_{год}$  - коефіцієнт годинної нерівномірності (приймаємо 1,8-2,5).

Приймаючи середні значення, орієнтовний середньодобовий обсяг господарсько-побутових стоків складе:

$$Q_{г-п} = (80000 \times 225) / 1000 = 18000 \text{ м}^3/\text{добу} \quad (2.2)$$

З урахуванням коефіцієнтів нерівномірності, максимальна добова витрата може сягати 21 600 – 27 000 м<sup>3</sup>/добу, а максимальна годинна – 32 400 – 45 000 м<sup>3</sup>/добу.

Таблиця 2.1 -Визначення середніх витрат побутових стічних вод від житлових кварталів міста

№ розрахункових ділянок колектора	№ житлових кварталів	Площа житлових кварталів, F, га	Щільність жилової забудови, P, осіб/га	Розрахункове населення, Np, осіб	Питоме середньодобове водовідведення, n, л/осіб·доба	Середні витрати
<b>Боковий колектор</b>						
1 - 2	81; 87	4.88	300	1248	350	436.8
2 - 3	82; 88	4.88	300	1248	350	436.8
3 - 4	83; 89	4.88	300	1248	350	436.8
4 - 5	84; 90	4.88	300	1248	350	436.8
5 - I	85; 91	4.07	300	1038	350	363.3
Разом					2012.5	83.84
<b>Головний колектор</b>						
I - II	86; 92	4.07	300	1038	350	363.3
II - III	71-75; 76-80	33.09	300	8448	350	2956.8
	65; 70	4.07	500	1714	400	685.6
III – IV	61-64; 66-69	27.6	500	11880	400	4752
	54	2.24	500	944	400	377.6
IV – V	47-53; 55-60	37.62	500	15924	400	6369.6

№ розрахункових ділянок колектора	№ житлових кварталів	Площа житлових кварталів, F, га	Щільність жилової забудови, P, осіб/га	Розрахункове населення, Np, осіб	Питоме середньодобове водовідведення, n, л/осіб·доба	Середні витрати
	42	1.74	500	735	400	294
V – VI	35-41; 43-46	29.17	500	12424	400	4969.6
	27; 34	4.07	300	1038	350	363.3
VI – VII	19-26; 28-33	31.07	300	7943	350	2780.05
	9, 18	5.00	200	850	300	255
VII – ГНС	1-8; 10-17	46.29	200	7870	300	2361
Разом					25012.55	1042.19
Всього					27025.05	1126.03

### 2.1.2 Визначення витрат від промислових підприємств

Опис технологічних процесів виробництва

Підприємство з виробництва низьковольтної контактної апаратури, друкованих плат і комплектних пристроїв

Технологічні процеси

Підприємства цього типу спеціалізуються на виробництві електронних компонентів, зокрема:

Виробництво друкованих плат (РСВ):

Травлення міді: Видалення зайвої міді з поверхні плат за допомогою хімічних реагентів (наприклад, хлорного заліза або аміачного персульфату).

Гальванічне покриття: Нанесення шарів металів (золото, срібло, нікель, олово) на контактні ділянки плат.

Свердління отворів: Механічна обробка плат для створення отворів під монтаж електронних компонентів.

Пайка: З'єднання електронних компонентів з платами за допомогою припоїв.

Збирання та тестування: Монтаж комплектних пристроїв і перевірка їх працездатності.

Виробництво низьковольтної контактної апаратури:

Штампування та обробка металевих деталей: Виготовлення контактів, клем, роз'ємів з міді, латуні або алюмінію.

Гальванічне покриття: Нанесення захисних або декоративних покриттів (нікель, цинк, золото).

Збирання: Монтаж готових виробів з окремих компонентів.

Комплектація пристроїв:

Збирання електронних модулів, тестування та пакування.

Вода у виробничому процесі

Вода використовується на таких етапах:

Промивка після травлення та гальванічного покриття.

Охолодження обладнання.

Приготування розчинів для гальванічних ванн.

### **Завод з виробництва підйомно-транспортного обладнання**

Технологічні процеси

Підприємства цього типу спеціалізуються на виробництві:

Крани (мостові, козлові, баштові):

Різка металу: Використання газового, плазмового або лазерного різання.

Зварювання: З'єднання металевих деталей.

Механічна обробка: Токарна, фрезерна та шліфувальна обробка.

Гальванічне покриття: Нанесення захисних покриттів (цинк, нікель).

Збирання та монтаж: Складання кранових конструкцій.

Системи керування:

Виробництво електронних компонентів для автоматизації кранів.

Сміжна техніка:

Виробництво допоміжного обладнання (лебідки, гальмівні системи).

Вода у виробничому процесі

Вода використовується на таких етапах:

Охолодження зварювального та різального обладнання.

Промивка деталей після механічної обробки.

Гідравлічні системи.

Приготування розчинів для гальванічного покриття.

Можливий склад стічних вод підприємств наведений у таблицях 2.2 та 2.3., технологія видалення – у таблиці 2.4.

Таблиця 2.2. - Прогнозуємий склад стічних вод підприємства з виробництва низьковольтної контактної апаратури

Тип забруднювача	Джерело утворення	Можлива концентрація	Небезпека
Важкі метали (мідь, нікель, олово, золото, срібло)	Гальванічне покриття, травлення	1–100 мг/л	Токсичність для водних організмів.
Кислоти (соляна, сірчана)	Травлення, гальванічні ванни	pH 1–4	Корозія, небезпека для здоров'я.
Луги (натрію гідроксид)	Нейтралізація, гальванічні процеси	pH 9–12	Подразнення шкіри.

Органічні розчинники	Очистка плат, знежирення	10–500 мг/л	Токсичність, ЛОС.
Нафтопродукти	Обробка обладнання	5–50 мг/л	Кисневе голодування водойм.
Цианідні сполуки	Гальванічне покриття	0.1–10 мг/л	Висока токсичність.
Суспендовані речовини	Механічна обробка, промивка	50–500 мг/л	Замулення водойм.

Таблиця 2.3. - Прогнозуємий склад стічних вод заводу з виробництва підйомно-транспортного обладнання

Тип забруднювача	Джерело утворення	Можлива концентрація	Небезпека
Важкі метали (залізо, цинк, нікель, хром)	Зварювання, гальванічне покриття	1–50 мг/л	Токсичність для водних організмів.
Нафтопродукти	Обробка металу, експлуатація обладнання	10–100 мг/л	Кисневе голодування водойм.
Суспендовані речовини	Механічна обробка, різання	100–1000 мг/л	Замулення водойм.
Кислоти (соляна, сірчана)	Травлення, очистка металу	pH 2–5	Корозія, небезпека для здоров'я.
Органічні сполуки	Фарбування, очистка обладнання	5–50 мг/л	Токсичність.

Таблиця 2.5 - Технології очистки промислових стічних вод

Критерій	Електронна промисловість	Машинобудування
Основні забруднювачі	Важкі метали, цианіди, кислоти	Нафтопродукти, суспендовані речовини
Попередня обробка	Решітки, пісколовки, відстійники	Решітки, пісколовки, відстійники
Нейтралізація	Вапно, сода, кислоти	Вапно, сода, кислоти
Видалення металів	Хімічне осадження, електрохімія	Хімічне осадження, електрохімія
Видалення органіки	Флотація, сорбція, окиснення	Флотація, біологічна очистка
Біологічна очистка	Аеробна очистка	Аеробна очистка

Таблиця 2.6 -Визначення середніх витрат стічних вод від промислових підприємств

№ п/п	№ зміни	Години роботи	Кількість робітників, осіб	Виробничі стоки, $q_{\text{техн.}}$	Побутові стоки, $q_{\text{поб}}$	Душові стоки, $q_{\text{душ}}$	Загальна розрахункова витрата, $q^{\text{пп}}$ , л/с
Завод з виробництва підйомно-транспортного обладнання							
1	I	8 - 16	1806	1264	25	3	15.05
2	II	16 - 24	1264	885	25	3	10.71
Разом			3070				25.76
Підприємство з виробництва низьковольтної контактної апаратури							

№ п/п	№ зміни	Години роботи	Кількість робітників, осіб	Виробничі стоки, $q_{\text{техн.}}$	Побутові стоки, $q_{\text{поб}}$	Душові стоки, $q_{\text{душ}}$	Загальна розрахункова витрата, $q^{\text{пп}}$ , л/с
1	I	8 - 16	1008	706	25	3	8.40
2	II	16 - 24	896	627	25	3	7.30
3	III	0 - 8	336	235	25	3	2.63
Разом			2240				18.33
Загальний підсумок							44.09

## 2.2 Трасування та проєктування водовідвідної мережі

### 2.2.1 Складання схеми притоку стічних вод до головного колектора

У рамках проєкту виконано складання гідравлічної схеми притоку стічних вод до головного колектора, що дозволяє візуалізувати розподіл витрат і напрямки потоків від окремих ділянок каналізаційної мережі.

Схема побудована на основі розрахункових витрат стічних вод, визначених відповідно до нормативних питомих норм водовідведення та даних про кількість підключених споживачів.

На схемі відображено основні точки притоку, діаметри трубопроводів, позначки лотків колодязів та розрахункові швидкості течії, що забезпечує контроль за пропускнуою здатністю головного колектора в умовах максимального навантаження.

Запропонована схема є основою для подальшої оптимізації режимів роботи каналізаційної системи та запобігання перевантаженням у критичних вузлах мережі.

### **2.2.2 Трасування вуличної мережі та колекторів**

У ході проєкту виконано трасування вуличної каналізаційної мережі та колекторів з урахуванням існуючого планування території, рельєфу місцевості та нормативних вимог до мінімальних ухилів і глибин закладення трубопроводів.

Трасування забезпечує оптимальне спрямування потоків стічних вод від вуличних випусків до головного колектора, з мінімальною кількістю поворотів і камер, що знижує гідравлічні втрати та експлуатаційні витрати.

На схемі трасування відображено координати та позначки лотків оглядових колодязів, діаметри труб, матеріали трубопроводів та місця перетину з іншими інженерними мережами, що гарантує технічну сумісність і безпеку будівництва. Визначення сумарних розрахункових витрат стічних вод наведено у таблиці 2.7., гідравлічний розрахунок головного і бокового колекторів – у таблиці 2.8.

Запропоноване трасування дозволяє забезпечити надійність роботи системи у розрахунковий період та створює умови для перспективного розвитку каналізаційної інфраструктури прилеглих територій.

Таблиця 2.7 -Визначення сумарних розрахункових витрат стічних вод від житлових кварталів та підприємств

№ розрахункових ділянок колектора	Середні витрати від населення, $q_{\text{поб.сер.}}$ , л/с	Загальний коефіцієнт нерівномірності, $K_{\text{gen.max}}$	Витрати, л/с
Бокова	попутна	транзитна	загальна
Боковий колектор			
1 – 2	5.06	-	-
2 – 3	5.06	-	5.06
3 – 4	5.06	-	10.12
4 – 5	5.06	-	15.18
5 – I	4.21	-	20.24
Головний колектор			
I – II	4.21	-	24.45
II – III	34.22	7.94	28.66
III – IV	55.00	4.37	70.82
IV – V	73.72	3.40	130.19
V – VI	57.52	4.21	207.31
VI - VII	32.18	2.95	269.04
VII - ГНС	27.33	-	304.17

Таблиця 2.8 - Гідравлічний розрахунок головного і бокового колекторів

№ розрахункових ділянок	Довжина ділянки, L, м	Сумарна розрахункова витрата, Q, л/с	Діаметр труб, D, мм	Швидкість руху стоків, V, м/с	Наповнення труб, H/d	Ухил труб, і	Ухил землі, і <sub>з</sub>	Падіння позначок лотків труб, L·і	Позначки по розрахункових ділянках мережі, м	
									поверхні землі	лотка
<b>Боковий колектор</b>										
1 – 2	180	117.17	500	1.40	0.60	0.0055	0.0053	0.99	115.65	114.70
2 – 3	180	127.03	500	1.47	0.60	0.0060	0.0067	1.08	114.70	113.50
3 – 4	180	137.40	500	1.52	0.60	0.0064	0.0106	1.15	113.50	111.60
4 – 5	155	147.29	500	1.56	0.60	0.0070	0.0077	1.09	111.60	110.40
5 – I	202	154.52	500	1.60	0.60	0.0075	0.0114	1.52	110.40	108.10
<b>Головний колектор</b>										
I – II	465	162.99	630	1.05	0.70	0.0025	0.0024	1.16	108.10	107.00
II – III	390	243.07	630	1.08	0.75	0.0025	0.0015	0.98	107.00	106.40
III – IV	230	342.25	700	1.15	0.75	0.0025	0.0022	0.58	106.40	105.90
IV – V	150	468.92	800	1.18	0.75	0.0035	0.0047	0.53	105.90	105.20
V – VI	385	573.11	800	1.45	0.75	0.0045	0.0047	1.73	105.20	103.40
VI - VII	460	627.72	800	1.58	0.75	0.0045	0.0046	2.07	103.40	101.30
VII – ГНС	365	780.51	900	1.65	0.75	0.0035	0.0033	1.28	101.30	100.10

## 2.3 Проектування каналізаційної насосної станції

### 2.3.1 Визначення розрахункових витрат і напору

У кінці головного колектора для перекачування виробничо-побутових стічних вод міста на очисні споруди було запроєктовано головну насосну станцію (ГНС), розраховану на максимальну годинну витрату стічних вод та потрібний напір.

Для визначення максимальної, мінімальної та інших витрат стічних вод складена сумарна таблиця припливу стічних вод за годинами доби у приймальний резервуар насосної станції. При цьому враховано:

- Режим припливу стічних вод від населення міста на насосну станцію залежно від коефіцієнта загальної нерівномірності (оновленого).
- Технологічні стоки промислових підприємств надходять нерівномірно протягом кожної зміни.
- Побутові стоки промислових підприємств надходять нерівномірно протягом кожної зміни. Розподіл витрат за годинами упродовж кожної зміни враховано в Таблиці 2.9. Душові стоки надходять у першу годину після кожної зміни протягом 45 хвилин.

Таблиця 2.9 - Розрахункові дані припливу стічних вод від міста у приймальний резервуар ГНС

Години доби	Від міста, м <sup>3</sup> /год	Завод з виробництва підйомно-транспортного обладнання	Підприємство з виробництва низьковольтної контактної апаратури	Сумарна витрата, м <sup>3</sup> /год
		Технологічні стоки, м <sup>3</sup> /год	Побутові стоки від цехів, м <sup>3</sup> /год	Душові стоки, м <sup>3</sup> /год
0-1	270.45	—	—	—
1-2	270.45	—	—	—

Години доби	Від міста, м <sup>3</sup> /год	Завод з виробництва підйомно-транспортного обладнання	Підприємство з виробництва низьковольтної контактної апаратури	Сумарна витрата, м <sup>3</sup> /год
2-3	270.45	—	—	—
3-4	270.45	—	—	—
4-5	270.45	—	—	—
5-6	684.50	—	—	—
6-7	958.30	—	—	—
7-8	958.30	—	—	—
Разом за нічну зміну (0-8)	4365.02	—	—	—
8-9	958.30	4600	12.50	4.69
9-10	958.30	4600	6.25	2.34
10-11	958.30	4600	6.25	2.34
11-12	833.30	4600	6.25	2.34
12-13	684.50	4600	18.75	7.03
13-14	958.30	4600	37.50	14.06
14-15	958.30	4600	6.25	2.34
15-16	958.30	4600	6.25	2.34
Разом за денну зміну (8-16)	7200.00	36800	100	38.70
16-17	958.30	3800	12.50	3.75
17-18	930.25	3800	6.25	1.88

Години доби	Від міста, м <sup>3</sup> /год	Завод з виробництва підйомно-транспортного обладнання	Підприємство з виробництва низьковольтної контактної апаратури	Сумарна витрата, м <sup>3</sup> /год
18-19	850.20	3800	6.25	1.88
19-20	770.15	3800	6.25	1.88
20-21	670.10	3800	18.75	5.63
21-22	460.05	3800	37.50	11.25
22-23	270.45	3800	6.25	1.88
23-24	270.45	3800	6.25	1.88
Разом за вечірню зміну (16-24)	5200.00	28800	100	31.25
Всього за добу	16765.27	6000	—	80.00

### 2.3.2 Вибір насосного устаткування та режиму роботи

Напірних трубопроводів від насосних станцій першої категорії (кількість мешканців  $N > 5000$  осіб) повинно бути не менше 2.

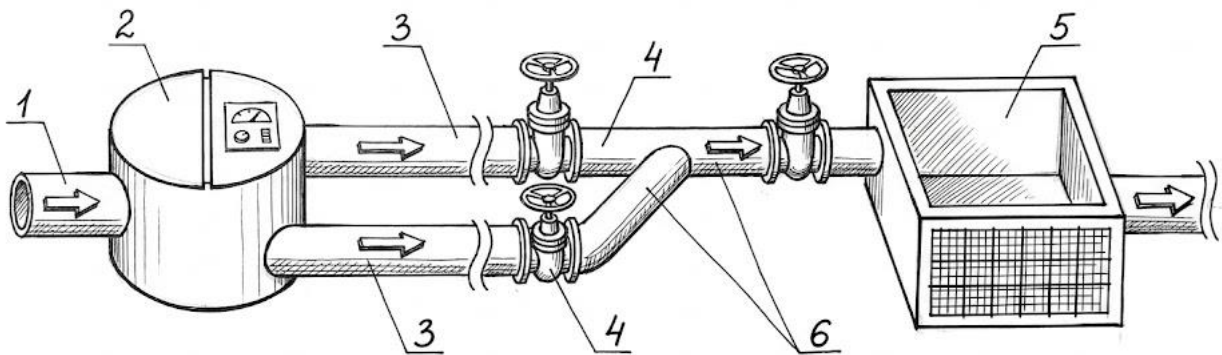
Згідно з першою категорією надійності прийнято 2 напірні водоводи. Посередині довжини влаштовується перемичка, обладнана 5 засувками (рисунок 2.1). У разі аварії за допомогою цієї перемички виключається з роботи лише половина одного з водоводів.

Витрати у напірних водоводах від насосної станції до очисних споруд визначені за максимальною годинною витратою (Таблиця 2.1). Максимальний приплив за годину становить 2350.08 м<sup>3</sup>/год (652.8 л/с). Фактично, через регулюючу роль приймального резервуара, напірними водоводами проходить витрата, менша за

максимальний приплив. Після остаточного розрахунку насосної станції (визначення максимальної подачі насосів) у розрахунок водоводів внесено відповідне уточнення.

Кожен водовід розраховується на два випадки:

1. Без аварійний режим: пропуск 50% від максимальної витрати (652.8 л/с) по кожному водоводу, тобто 326.4 л/с.
2. Аварійний режим: пропуск 100% максимальної витрати (652.8 л/с) на половині довжини одного з водоводів при аварії на іншому (рисунок 2.1).



**Рисунок 2.1** – Схема розташування головної насосної станції і трубопроводів: 1 – головний колектор; 2 – головна насосна станція; 3 – напірні трубопроводи; 4 – перемичка; 5 – приймальна камера очисних споруд; 6 – засувки.

У дипломному проекті запроєктовано два напірні водоводи зі сталевих труб від ГНС до приймальної камери на очисних спорудах. Потрібний напір визначено за таким рівнянням, м:

$$H = H_{\Gamma} + h_{\text{вс}} + h_{\text{вод}} + h_{\text{св}} + h_{\text{м}} + h_{\text{в}} \quad (2.3)$$

де:  $H_{\Gamma}$  -геометрична висота підйому рідини (різниця відміток) відмітка поверхні землі біля ГНС: 100.10 м (з Таблиці 1.4), відмітка середнього рівня стічних вод у приймальному резервуарі ГНС: 98.38 м (нижче відмітки лотка підвідного колектора на 1.0 м).

○  $H_{\Gamma} = 100.10 - 98.38 = 1.72 \text{ м.}$

- $h_{bc}$  -втрати напору у всмоктувальних трубах і внутрішніх комунікаціях насосної станції: 3–5 м  $\rightarrow$  4 м.
- $h_{вод}$  -втрати напору у водомірі: 1.5 м.
- $h_{св}$  -вільний напір на виливання: 1–3 м  $\rightarrow$  2 м.
- $h_m$  -втрати напору на тертя у зовнішніх напірних водоводах (сума втрат по довжині та на місцеві опори, 10% від втрат по довжині).

Розрахунок діаметрів, швидкостей і втрат напору [20]

Кожен водовід довжиною 1.2 км розраховано на два випадки:

1. Без аварійний режим:

- Витрата: 326.4 л/с.
- $d = 600$  мм,  $v = 1.47$  м/с,  $1000i = 3.24$ .
- Втрати напору на тертя по довжині та на місцеві опори:  $h_m = 1.2 \times (3.24 + 0.1 \times 3.24) = 3.89$  м.

2. Аварійний режим:

- Витрата: 652.8 л/с на половині довжини водоводу (0.6 км).
- $d = 600$  мм,  $v = 2.94$  м/с,  $1000i = 12.96$ .
- Втрати напору:  $h_m = 0.6 \times (12.96 + 0.1 \times 12.96) = 7.78$  м.

Потрібний напір насосів ГНС визначено на випадок аварійного режиму та найбільших втрат напору.  $H = 1.72 + 4 + 1.5 + 2 + 7.78 = 17.00$  м.

Підбір насосів виконано за каталогом ABS з урахуванням:

- Максимального годинного припливу на ГНС: 2350.08 м<sup>3</sup>/год (652.8 л/с).
- Потрібного напору:  $H = 17.00$  м.

Кількість робочих агрегатів має бути не менше 2, резервних -згідно з нормами.

Підібрано:

- 2 робочих насоси марки ABS AFP 3002 50 Hz з подачею 650 л/с і напором  $H = 20$  м.
- 2 резервних насоси тієї ж марки.

## 2.4 Розрахунок споруд очищення стічних вод

Склад споруд станції очищення обирають залежно від витрат і концентрацій стічних вод, що надходять на очищення, потрібного ступеня їх очищення та місцевих умов. Розрахунок виконано на підставі витрат, визначених у розділах 2.1–2.4 для населення міста та промислових підприємств; параметри водоток-приймача й концентрації виробничих стічних вод прийнято за прийнятою методикою розрахунку.

Для подальшого розрахунку очисних споруд прийнято єдину розрахункову основу: середньодобова витрата  $Q_{\text{доб}} = 24\,350 \text{ м}^3/\text{добу}$  (побутові від міста  $18\,000 \text{ м}^3/\text{добу}$  за чисельності населення  $80\,000$  осіб та норми  $225 \text{ л}/(\text{особу} \cdot \text{добу})$  і виробничі від підприємств  $6\,350 \text{ м}^3/\text{добу}$ ); максимальна годинна витрата  $Q_{\text{год.мах}} = 2\,350,08 \text{ м}^3/\text{год}$  ( $652,8 \text{ л/с}$ ) -за розрахунком головної насосної станції (підрозділ 2.4); середньосекундна витрата  $q = 0,282 \text{ м}^3/\text{с}$ .

### 2.4.1 Визначення необхідного ступеня очищення та обґрунтування технологічної схеми

Розрахункові витрати стічних вод були визначені за продуктивністю головної насосної станції.

Концентрації забруднень побутових стічних вод за завислими речовинами  $C^{\text{поб}}$ , мг/л, і органічними забрудненнями  $L^{\text{поб}}$ , мг/л, які виражаються їх еквівалентом БПК<sub>повн</sub>, було визначено, виходячи з питомого водовідведення за формулами:

$$C^{\text{поб}} = \frac{a_c \times 1000}{n}, \quad (2.4)$$

$$L^{\text{поб}} = \frac{a_L \times 1000}{n}, \quad (2.5)$$

де:  $a_c$  – питома кількість завислих речовин, яка дорівнює  $65 \text{ г/добу}$  на 1 мешканця [2];

$a_L$  – питома кількість органічних забруднень у неосвітленій рідині, яка дорівнює  $75 \text{ г/добу}$  на 1 мешканця [2];

$n$  – питоме середньодобове водовідведення побутових стічних вод, л/добу на 1 людину де концентрації виробничих стічних вод прийнято  $C_{\text{ПП}} = 423,3$  мг/л,  $L_{\text{ПП}} = 353,3$  мг/л.

Середні концентрації забруднень суміші виробничих і побутових стічних вод, що надходять на очисні споруди, мг/л, було визначено за формулами:

- для завислих речовин:

$$C_{en} = \frac{C^{\text{поб}} \times Q^{\text{поб}} + C^{\text{ПП}} \times Q^{\text{ПП}}}{Q^{\text{поб}} + Q^{\text{ПП}}}, \quad (2.6)$$

- для БПК<sub>повн</sub>:

$$L_{en} = \frac{L^{\text{поб}} \times Q^{\text{поб}} + L^{\text{ПП}} \times Q^{\text{ПП}}}{Q^{\text{поб}} + Q^{\text{ПП}}}, \quad (2.7)$$

де:  $C^{\text{ПП}}, L^{\text{ПП}}$  – відповідно концентрація завислих речовин і значення БПК<sub>повн</sub> виробничих стічних вод, мг/л;

$Q^{\text{поб}}, Q^{\text{ПП}}$  – середньодобові витрати побутових і виробничих стічних вод, м<sup>3</sup>/добу.

Отже  $C_{en} = 323,9$  мг/л;  $L_{en} = 338,5$  мг/л.

За завислими речовинами  $N_{\text{екв}} = 41\ 353$  особи, приведене  $N_c = 121\ 353$  особи; за БПК<sub>повн</sub>  $N_{\text{екв}} = 29\ 913$  осіб, приведене  $N_L = 109\ 913$  осіб.

Для врахування витрати ріки, що бере участь у процесі змішання при спуску стічних вод, був розрахований коефіцієнт змішання  $\gamma$ , який указує, котра частина витрати ріки змішується зі стічною водою в даному створі.

При спуску стічних вод у протокові водойми значення  $\gamma$  визначається за методом В.А. Фролова, І.Д. Родзіллера і А.В. Караушева:

$$\gamma = \frac{1 - e^{-\alpha^3 \sqrt{t_\Phi}}}{1 + \frac{Q_p}{q} \times e^{-\alpha^3 \sqrt{t_\Phi}}}, \quad (2.8)$$

де:  $e$  – основа натуральних логарифмів, яка дорівнює 2,72;

$l_{\phi}$  – відстань від створу випуску стічних вод до розрахункового створу по течії (фарватеру) ріки Інгулець, 5 600 м;

$Q_p$  – найменша середньодобова витрата води при (95% забезпеченості) в створі ріки Інгулець біля місця випуску, 1,38 м<sup>3</sup>/с;

$q$  – середньосекундна витрата стічних вод, 29487,51 м<sup>3</sup>/доб = 0,341 м<sup>3</sup>/с;

$\alpha$  – коефіцієнт, що враховує гідравлічні фактори в річці, був визначений за формулою:

$$\alpha = \varphi \times \xi \times \sqrt[3]{E/q}, \quad (2.9)$$

де:  $\varphi$  – коефіцієнт хвилястості ріки. Дорівнює відношенню відстані від місця випуску стічних вод до розрахункового створу по фарватеру,  $l_{\phi}$  до відстані між цими ж пунктами по прямій,  $l_{пр}$ .  $\varphi = l_{\phi}/l_{пр} = 1,1 \div 1,2$ . Було враховано, що розрахунковий створ, для якого визначається коефіцієнт змішання, розташований на 1 км вище від розрахункового;

$\xi$  – коефіцієнт, який залежить від конструкції випуску стічних вод у водойму, при береговому випуску  $\xi = 1,0$ ;

$E$  – коефіцієнт турбулентної дифузії, який для рівнинних рік визначається за формулою:

$$E = \frac{V_p \times H_p}{200}, \quad (2.10)$$

де:  $V_p$  – середня швидкість течії ріки на ділянці, 0,9 м/с;

$H_p$  – середня глибина ріки на тій же ділянці, 2,1 м.

$$E = \frac{0,9 \times 2,1}{200} = 0,00945;$$

$$\alpha = 1,1 \times 1 \times \sqrt[3]{0,00945/0,341} = 0,33;$$

$$\gamma = \frac{1 - 2,72^{-0,33 \sqrt[3]{4\,600}}}{1 + \frac{1,38}{0,341} \times 2,72^{-0,33 \sqrt[3]{4\,600}}} = 0,98.$$

## 2.4.2 Розрахунок споруд механічного очищення

### Приймальна камера

Опис діючої споруди: Приймальна камера слугує для прийняття стічних вод із напірних трубопроводів перед станцією очищення та для гасіння напору; її розміри визначають за максимальною годинною витратою. За  $Q_{\text{год.мах}} = 2\,350,08 \text{ м}^3/\text{год}$  приймаємо камеру з розмірами  $A = 2000 \text{ мм}$ ,  $B = 2300 \text{ мм}$ ,  $H = 1600 \text{ мм}$ .

### Решітки

Опис діючої споруди: Решітки встановлюють для затримання крупних плавучих і завислих домішок; за кількості покидьків понад  $0,1 \text{ м}^3/\text{добу}$  передбачають механізоване очищення з подрібненням сміття. Визначимо потрібну загальну площу живого перерізу робочих ґрат:

$$F = \frac{Q_{\text{мах}}}{v_{\text{гр}}}, \quad (2.11)$$

де  $v_{\text{гр}} = 1,0 \text{ м/с}$  - швидкість руху рідини в прозорах. За живого перерізу однієї решітки типу СУ  $f = 0,25 \text{ м}^2$  кількість робочих решіток  $N = F/f = 3 \text{ шт.}$ , резервних - 1 шт. Добова кількість покидьків  $\Omega_{\text{гр}} = 1,77 \text{ м}^3/\text{добу}$ ; їх подрібнюють на молотковій дробарці.

Сучасна альтернатива. Натомість стержневих решіток доцільні тонкопрозорі ступінчасті (step-screen) або барабанні решітки з прозором 3 мм, які при тій самій витраті  $652,8 \text{ л/с}$  затримують у 1,5–2 рази більше дрібнодисперсних домішок, скорочують винесення волокнистих включень на наступні споруди й передбачають автоматичне промивання та зневоднення покидьків шнековим пресом до вологості 55–60 %.

### Пісковловлювачі

Опис діючої споруди. Пісковловлювачі затримують мінеральні домішки (передусім пісок) для захисту наступних споруд і насосів від абразивного зношення. Приймаємо горизонтальні пісковловлювачі з прямолінійним рухом води (не менше

двох, усі робочі). Довжина проточної частини  $L_s$ , м, однієї пісколовки була визначена за формулою:

$$L_s = \frac{1000 \times K_s \times H_s \times v_s}{u_0}, \quad (2.12)$$

де  $K_s = 1,7$ ;  $H_s = 0,85$  м;  $V_s = 0,2$  м/с;  $U_0 = 18,7$  мм/с. Площа живого перерізу  $F_s = q_{\max}/V_s = 3,26$  м<sup>2</sup>; за двох секцій ширина однієї секції  $b \approx 2,0$  м. Кількість затриманого піску  $\Omega_s \approx 3,6$  м<sup>3</sup>/добу; пісок відмивають і зневоднюють у бункерах з гідроциклонами.

Сучасна альтернатива. Доцільні аеровані пісковловлювачі, що поєднують уловлення піску з відділенням жирів та спливних речовин. За тривалості перебування 2–3 хв розрахунковий об'єм робочої зони  $V = q_{\max} \cdot t = 0,653 \cdot 180 \approx 118$  м<sup>3</sup>; питома витрата повітря 3–5 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> поверхні за годину. Така споруда дає відмитий пісок (зольність понад 90 %) та окреме вилучення жирів, що поліпшує роботу первинних відстійників.

### Первинні відстійники

Опис діючої споруди. Первинні радіальні відстійники освітлюють воду, відділяючи завислі речовини у вигляді сирого осаду. Потрібний ефект освітлення за допустимої концентрації завислих в освітленій воді  $C_{cdp} = 150$  мг/л становить  $E = (C_{en} - C_{cdp})/C_{en} \cdot 100 = 53,7$  %. Діаметр відстійника визначають за формулою:

$$D_{set} = \left[ \frac{4 \times Q}{3,6 \times \pi \times K_{set} \times (u_0 - v_{tb}) \times n_{set}} \right]^{0.5}, \quad (2.9)$$

(2.9)

де  $K_{set} = 0,45$ ; розрахункова гідравлічна крупність  $U_0 = 1,5$  мм/с;  $n_{set} = 3$ . Розрахунок дає  $D_{set} = 20,3$  м; приймаємо 3 робочих радіальних відстійники діаметром 24 м, глибиною проточної частини 3,1 м. Об'єм сирого осаду первинних відстійників 71,7 м<sup>3</sup>/добу, за залежністю:

$$\Omega_{mud} = \frac{K \times Q_{\text{доб}} \times (C_{en} - C_{cdp})}{(100 - P_{mud}) \times \rho_{mud} \times 10^4}, \quad (2.10)$$

(2.10)

де  $K = 1,1$ ;  $P_{\text{mud}} = 93,5 \%$ ;  $\rho = 1 \text{ г/см}^3$ . Механічне очищення вилучає до  $60 \%$  нерозчинених домішок і знижує БПКповн на  $10\text{--}20 \%$ .

Сучасна альтернатива. Тонкошарові (ламельні) модулі в зоні відстоювання дають змогу різко скоротити площу споруд: за поверхневого навантаження  $1,2 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$  потрібна проєкційна площа становить  $F_{\text{л}} = Q_{\text{год.мах}}/1,2 \approx 1958 \text{ м}^2$ , проте за рахунок нахилених пластин фактична площа в плані зменшується у  $8\text{--}10$  разів порівняно зі звичайним радіальним відстійником. Альтернативою є також хімічно інтенсифіковане первинне очищення (СЕРТ) з дозуванням коагулянту й флокулянту, що підвищує ефект освітлення до  $65\text{--}70 \%$  та зменшує навантаження на біологічну стадію.

### 2.4.3 Розрахунок споруд біологічного очищення

#### Аеротенки

Опис діючої споруди. На біологічне очищення надходить вода з показниками: завислі речовини після первинного відстоювання  $-150 \text{ мг/л}$ , БПКповн  $-304,7 \text{ мг/л}$ ; у процесі очищення БПКповн має бути знижено до  $15 \text{ мг/л}$ . Оскільки БПКповн перевищує  $150 \text{ мг/л}$ , аеротенки проєктують як аеротенки-витиснювачі з регенерацією активного мулу. Ступінь рециркуляції активного мулу:

$$R_i = \frac{a_i}{1000/J_i - a_i}, \quad (2.11)$$

де  $a_i = 3 \text{ г/л}$  -доза активного мулу;  $J_i$  -муловий індекс. За тривалості перебування в зоні аерації  $t_{\text{ат}} = 2 \text{ год}$  об'єм зони аерації  $W_{\text{ат}} = t_{\text{ат}} \cdot (1 + R_i) \cdot q_{\text{w}} = 6 \ 110 \text{ м}^3$ , об'єм регенератора  $W_{\text{р}} = t_{\text{р}} \cdot R_i \cdot q_{\text{w}} = 6 \ 225 \text{ м}^3$ ; загальний об'єм аеротенка  $W = 12 \ 336 \text{ м}^3$ .

Приймаємо 2 секції аеротенків, чотирикоридорні, глибиною  $5 \text{ м}$  і шириною коридора  $6 \text{ м}$ . Довжина секції  $l_{\text{ат}} = W/(\text{nat} \cdot \text{Nat} \cdot \text{Wat} \cdot \text{mat}) \approx 51 \text{ м}$ . Приріст активного мулу за сухою речовиною  $P_i = 0,8 \cdot C_{\text{сdp}} + K_{\text{г}} \cdot \text{Len} = 211,4 \text{ мг/л}$ .

## Аерація

Приймаємо пневматичну систему аерації з дрібнобульбашковими аераторами.

Питома витрата повітря:

Питома витрата повітря  $8,84 \text{ м}^3/\text{м}$  була визначена за формулою:

$$q_{air} = \frac{q_0 \times (L_{en} - L_{ex})}{K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_T \times (C_a - C_0)}, \quad (2.12)$$

$$^3, \quad (2.12)$$

де  $q_0 = 1,1$ ;  $K_1 = 1,79$ ;  $K_2 = 2,56$ ;  $K_3 = 0,85$ ;  $K_T = 1,024$ ; розчинність кисню  $C_a = 11,04 \text{ мг/л}$ ;  $C_0 = 2 \text{ мг/л}$ . Загальна витрата повітря  $Q_{air} = q_w \cdot q_{air} \approx 20\,770 \text{ м}^3/\text{год}$ .

## Вторинні відстійники

Розрахунок вторинних відстійників було виконано за гідравлічним навантаженням:

$$q_{ssa} = \frac{4,5 \times K_{ssa} \times H_{set}^{0,8}}{(0,1 \times J_i \times a_i)^{0,5-0,01 \times a_t}}, \quad (2.13)$$

де  $K_{ssa} = 0,4$ ;  $a_t = 12 \text{ мг/л}$ . Загальна площа  $F_{ssa} = q_w/q_{ssa} \approx 2\,408 \text{ м}^2$ . Приймаємо 4 вторинних радіальних відстійники діаметром 30 м, глибиною проточної частини 3,1 м. Частину мулу ( $R_i = 0,3$  від витрати) повертають в аеротенки, надлишковий скеровують на обробку.

### 2.5.4 Розрахунок споруд знезараження

Знезараження очищених стічних вод виконують для зниження кількості патогенних мікроорганізмів і усунення небезпеки зараження води водотоку-приймача. До складу установки традиційно входять хлораторна, змішувач і контактні резервуари.

## Хлораторна

Опис діючої споруди. Найпоширеніший метод -хлорування, тобто введення в стічну воду хлору за допомогою хлоратора. Потрібну кількість активного хлору з урахуванням можливого збільшення розрахункової дози в 1,5 раза за дози  $a = 3 \text{ г/м}^3$  визначають за формулою:

$$V_{cl} = 1,5 \cdot a \cdot qw / 1000 = 1,5 \cdot 3 \cdot 2350,08 / 1000 = 10,58 \text{ кг/год.} \quad (2.14)$$

Приймаємо хлораторну продуктивністю 15 кг/год із доставкою рідкого хлору в контейнерах. Хлорне господарство належить до об'єктів підвищеної небезпеки й потребує суворого дотримання правил безпеки.

### **Змішувач і контактні резервуари**

Опис діючої споруди. Хлорну воду ретельно перемішують зі стічною у змішувачі (приймаємо лоток Паршалья), після чого подають у контактні резервуари, де забезпечують контакт не менш як 30 хв. Робочий об'єм контактних резервуарів:

$$W_{к.р} = qw \cdot t = 2350,08 \cdot 0,5 = 1175 \text{ м}^3. \quad (2.15)$$

Контактні резервуари проєктують за типом горизонтальних відстійників (не менше двох секцій). Кількість осаду, що випадає в контактних резервуарах,  $\Omega_{к.р} = a \cdot Q_{доб} / 1000 = 12,2 \text{ м}^3/\text{добу}$  (за  $a = 0,5 \text{ л/м}^3$ ), його відводять на мулові майданчики.

### **Сучасна альтернатива**

Замість хлорування доцільне ультрафіолетове (УФ) знезараження, яке не залишає у воді токсичних залишкових сполук і не потребує поводження з небезпечним хлором. За дози опромінення  $30 \text{ мДж/см}^2$  та світлопропускання води  $UVT \geq 65 \%$  орієнтовне встановлене електроспоживання УФ-установки на витрату  $2350 \text{ м}^3/\text{год}$  становить близько 70 кВт (питомі витрати  $20\text{--}35 \text{ Вт} \cdot \text{год/м}^3$ ). Реактори компонують модульно, із самоочищенням ламп. Альтернативою є також озонування, що додатково знебарвлює воду й окиснює залишкові органічні забруднення, проте потребує більших капітальних і енергетичних витрат.

#### 2.4.4 Розрахунок споруд обробки та знешкодження осаду

Об'єм осадів, що утворюються на міських очисних спорудах, становить 0,5–1 % витрати оброблюваних стічних вод. На обробку надходять сирий осад первинних відстійників (71,7 м<sup>3</sup>/добу) та надлишковий активний мул. Надлишковий активний мул:

$$\Omega_{надл} = P_i \cdot q_w \cdot 10^2 \cdot 10^{-6} / (100 - P1) = 62,1 \text{ м}^3/\text{год}, \quad (2.16)$$

де  $P_i = 211,4$  мг/л -приріст активного мулу;  $P1 = 99,2$  % -вологість мулу.

##### Ущільнення надлишкового активного мулу

Опис діючої споруди. Для ущільнення надлишкового активного мулу застосовують радіальні мулоущільнювачі гравітаційного типу (не менше двох робочих); мулову воду повертають в аеротенки. Максимальний годинний приплив мулу  $\Omega_{max} = P_{max} \cdot q_w / c = 76,6$  м<sup>3</sup>/год ( $P_{max} = K_M \cdot (P_i - b) = 229,7$  мг/л;  $c = 7050$  г/м<sup>3</sup>).

##### Корисна площа:

$$F_i = \Omega_{max} / q_0 = 76,6 / 0,3 = 255 \text{ м}^2, \quad (2.17)$$

за навантаження  $q_0 = 0,3$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год). Приймаємо 2 мулоущільнювачі діаметром 12,7 м (округлюємо до 12 м). Об'єм ущільненого мулу за добу  $\Omega_{di} \approx 235$  м<sup>3</sup>/добу за вологості 97,3 %.

##### Механічне зневоднення осаду

Опис діючої споруди. Зневоднення суміші сирого осаду та ущільненого мулу здійснюють на центрифугі-декантері з додаванням катіонного флокулянту. Сумарна витрата осаду на зневоднення  $\Omega = \Omega_{mud} + \Omega_{di} \approx 307$  м<sup>3</sup>/добу, маса за сухою речовиною  $\approx 11,0$  т/добу. Доза флокулянту (5 кг на 1 т сухої речовини) -55 кг/добу. За ефективності затримання 90 % маса зневодненого осаду за сухою речовиною  $\approx 9,9$  т/добу, об'єм кеку (вологість 73 %)  $\approx 35$  м<sup>3</sup>/добу. Фугат повертають на первинні відстійники.

Сучасна альтернатива зневоднення. Поряд із декантером доцільні стрічкові фільтр-преси або шнекові (гвинтові) преси, що споживають менше енергії, або

камерні фільтр-преси, які дають кек вологістю 60–65 %, придатний для подальшого використання чи спалювання.

### **Стабілізація осаду та сучасна альтернатива**

Опис діючої споруди. Стабілізацію осаду виконують зброджуванням або аеробною стабілізацією. Сучасним і ресурсощадним рішенням є анаеробне зброджування суміші осаду в метантенках за мезофільного (33–35 °С) режиму з утилізацією біогазу. За орієнтовного вмісту беззольної речовини 70 %, ступеня її розпаду 45 % та виходу 0,9 м<sup>3</sup> біогазу на 1 кг розкладеної беззольної речовини добовий вихід біогазу становить близько 3120 м<sup>3</sup>/добу. За вмісту метану 63 % і використання біогазу в когенераційній установці [22] орієнтовна електрична потужність -близько 185 кВт, що частково покриває власні потреби станції та реалізує принципи циркулярної економіки. Подальше підвищення газовиділення забезпечує попередня термічна гідролізна обробка осаду.

### **Мулові майданчики**

Опис діючої споруди. Як резервна споруда природного зневоднення передбачено мулові майданчики. Корисна площа:

$$S' = \Omega \cdot 0,2 \cdot 365 / (K \cdot k) = 11\,195 \text{ м}^2; \quad S = 1,2 \cdot S' = 13\,435 \text{ м}^2 (1,34 \text{ га}), \quad (2.18)$$

де  $K = 2 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{рік})$  -навантаження;  $k = 1$  -кліматичний коефіцієнт. Майданчики розбивають на карти; підсушений осад вологістю 80 % вивозять на утилізацію.

Сучасна альтернатива знешкодження. Замість тривалого зберігання осаду доцільні компостування зневодненого осаду з вуглецевмісними наповнювачами, сонячні (геліо-) сушарки або моноспалювання з утилізацією теплоти. Стабілізований і знезаражений осад може використовуватися як органо-мінеральне добриво за умови відповідності нормативам за вмістом важких металів.

Сучасна альтернатива. Замість класичної системи «аеротенк -вторинний відстійник» доцільно розглянути мембранний біореактор (MBR), у якому розділення

мулу й води здійснюють ультра- або мікрофільтраційні мембрани. Орієнтовна площа мембран за середнього питомого потоку  $20 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$  становить близько  $50\,700 \text{ м}^2$ ; MBR дає очищену воду без винесення завислих речовин, працює за вищої дози мулу ( $8\text{--}12 \text{ г}/\text{л}$ ) і не потребує вторинних відстійників. Альтернативою є біореактор із рухомим завантаженням (MBBR): за навантаження за БПКповн  $7\,054 \text{ кг}/\text{добу}$  й питомому знятті  $7 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{добу})$  потрібна площа носія близько  $1,0 \cdot 10^6 \text{ м}^2$  (об'єм носія  $\approx 2\,015 \text{ м}^3$ ), а загальний об'єм реактора  $\approx 4\,030 \text{ м}^3$ , тобто приблизно втричі менший за об'єм класичного аеротенка.

### **3. СПЕЦІАЛІЗОВАНА ЧАСТИНА**

#### **3.1. Експлуатація системи водовідведення**

Збудований комплекс мереж, насосних станцій та очисних споруд має відводити стічні води безперервно; кожна його ланка повинна працювати надійно; перекачування й очищення мають обходитися якнайдешевше; і водночас водойми слід убезпечити від забруднення. Жодну з цих цілей не досягають коштом решти. Зниження витрат реагентів чи енергії, куплене ціною гіршої якості очищеної води, є хибним, а форсування режиму, що підточує надійність споруд, - неприпустимим. Саме така рівновага, а не механічне виконання окремих ремонтів, і становить сутність експлуатації. Підпорядкування цих чотирьох вимог одній спільній меті - тривалій і безвідмовній працездатності об'єкта - є тим управлінським завданням, навколо якого вибудовується вся подальша організація робіт, і саме воно визначає пріоритети під час планування, фінансування та контролю.

За змістом цю діяльність правильніше трактувати як управління технічним станом об'єкта протягом усього його життєвого циклу - від приймання споруд в експлуатацію до реконструкції або виведення з ужитку. Нормативним підґрунтям такого управління в Україні слугують Правила технічної експлуатації систем водопостачання та водовідведення населених пунктів, що їх затверджено наказом Держжитлокомунгоспу від 05.07.1995 № 30 (реєстрація в Міністерстві юстиції 21.07.1995 за № 231/767; чинна редакція - від 22.03.2016).

Диспетчерське керування, планово-попереджувальний ремонт [17], лабораторний і технологічний нагляд, метрологічне забезпечення вимірювань та облік не є самостійними напрямками; вони працюють як єдиний механізм. До того ж концепція не статична: вона передбачає раціоналізацію режимів, упровадження прогресивних технологій, механізацію та автоматизацію процесів і якнайповніше використання резервів потужності.

Організаційним ядром цього механізму виступає диспетчерська служба. Через неї проходить оперативне керування режимами та координація аварійних робіт, і саме її дозвіл є передумовою будь-якого виведення споруд чи обладнання з роботи або резерву -за єдиним винятком ситуацій, що загрожують життю людей або збереженню устаткування. Планове відключення не починають без завчасної заявки, затвердженої головним інженером. Про аварію на каналізаційній мережі негайно повідомляють природоохоронні та санітарні органи. Диспетчер чергує цілодобово: він стежить за дотриманням заданих режимів, веде оперативний журнал, спрямовує дії персоналу під час локалізації та усунення ушкоджень, а за потреби викликає керівництво.

Запобігання, а не усунення наслідків -таким є призначення планово-попереджувального ремонту. Це система періодичних оглядів і ремонтів за наперед укладеним планом, покликана випередити передчасний знос споруд та відвернути аварії. За підсумками оглядів готують дефектні відомості й проектно-кошторисну документацію; поточний ремонт виконує експлуатаційний персонал, капітальний - ремонтно-будівельні організації. Спирається вся ця робота на документацію - затверджені проекти, виконавчі креслення, оперативні технологічні схеми, планшети мереж, паспорти споруд та обладнання, а також журнали з щоденними записами показників. Без її повноти й актуальності неможливі ані буденні рішення, ані дії під час аварій. Через це своєчасність записів і відповідність схем фактичному станові споруд розглядають не як формальність діловодства, а як безпосередню умову керованості системи: застаріла чи неповна документація знецінює навіть бездоганно злагоджену службу.

Порядок повсякденних дій закріплюють посадові та експлуатаційні інструкції. У них недвозначно прописують призначення й характеристику споруди, послідовність пусків і зупинок, правила обслуговування за нормального та порушеного режимів, контрольовані технологічні параметри, строки оглядів і ремонтів, а також заходи із запобігання аваріям і дії персоналу за їх настання.

Переглядають інструкції щоразу, коли змінюються умови чи технологія, але щонайменше раз на три роки. Результати ж експлуатації узагальнюють у звітності: з поточних звітів, споряджених аналітичними записками про здобутки й вади, виростають річні звіти, а ті лягають в основу перспективних планів розвитку. Журнали, зведені відомості та звіти зберігають визначені строки; річні звіти - безстроково.

#### Експлуатація мереж водовідведення

Серед усіх ланок системи каналізаційна мережа - найрозгалуженіша й разом найуразливіша. Вона переважно самопливна, схована під землею й одночасно зазнає гідравлічних, хімічних та біохімічних впливів. Головна мета її обслуговування - утримати проектну пропускну здатність трубопроводів і споруд на них, не допускаючи підпорів, замулення, засмічень та аварійних переливів, і водночас зберегти герметичність та міцність конструкцій. Звідси й предмет постійного нагляду: самопливні колектори, напірні трубопроводи, оглядові та перепадні колодязі, камери, дюкери, аварійні випуски, - стан яких оцінюють за рівнем наповнення, характером потоку й виглядом лотків.

Стан мережі з'ясовують оглядами двох видів. Зовнішній проводять із поверхні, не спускаючись у колодязь: ним установлюють справність кришок і горловин, наявність підпору, осідання ґрунту над колектором, несанкціоновані приєднання. Докладний огляд передбачає спуск усередину споруди; тут перевіряють лотки, полиці, стики й арматуру, виявляють тріщини, просідання, оголення арматури та інфільтрацію ґрунтових вод, яка зраджує втрату герметичності. Виявлене фіксують у журналах і паспортах ділянок, а на підставі дефектних відомостей призначають поточний або капітальний ремонт.

Догляд за мережею тримається на двох опорах - профілактиці та оперативному реагуванні. Перша означає періодичне прочищення й промивання трубопроводів за графіком планово-попереджувального ремонту, причому ділянки з малими ухилами,

де течія заслабка для самоочищення, і місця, де осідають пісок та жирові відклади, обслуговують частіше. Відклади видаляють гідравлічно -промиванням накопиченим об'ємом води чи зворотним потоком -або механічними знаряддями, які добирають за діаметром колектора й характером засмічення. Раптове засмічення усувають негайно. Інакше неминучі підпір і вилив стічних вод на поверхню.

Окремий і чи не найвідповідальніший напрям -контроль газового режиму. Загниваючи, стічні води наповнюють споруди сірководнем, метаном та діоксидом вуглецю; ці гази загрожують отруєнням, задухою та вибухом, а сірководень додатково спричиняє газову корозію бетону в надводній зоні колектора, поступово руйнуючи склепіння труб. Тому спуску працівника в колодезь неодмінно передують перевірка повітря на загазованість і, за потреби, примусове провітрювання, а самі роботи провадить бригада з не менш як трьох осіб, споряджена засобами захисту органів дихання та страхувальними пристроями. Захист від газової корозії, боротьбу з відкладами та запобігання підтопленню трактують як буденну складову догляду, а не як надзвичайний захід. Постійна увага до цих чинників подовжує строк служби трубопроводів і відвертає раптові руйнування склепінь, усунення наслідків яких коштувало б незрівнянно дорожче за планомірну профілактику.

Не менш важливо спостерігати за гідравлічним режимом мережі та його сезонними коливаннями. Служба стежить за наповненням колекторів і швидкостями течії, щоб завчасно розпізнати ділянки, яким загрожує замулення або, навпаки, перевантаження. Там, де мережа приймає дощовий чи поверхневий стік, особливо ретельно готуються до злив та весняного сніготанення з їх раптовим припливом; узимку ж дбають про те, щоб не промерзли дрібнозалеглі ділянки й не обмерзли горловини колодезів. Такий випереджальний нагляд переводить чималу частку втручань з аварійних у планові -цілком у дусі закладеного Правилами пріоритету профілактики.

## Експлуатація насосних станцій

Каналізаційні насосні станції піднімають стічні води з понижених ділянок мережі та подають їх далі, тож від їхньої безвідмовності безпосередньо залежить безперервність усієї системи: щойно станція спиняється, у верхів'ї басейну каналізування виникають підпір і переливи. Звідси й головна вимога -витримувати заданий режим перекачування за найменших питомих витрат електроенергії, тримаючи резервні агрегати готовими до автоматичного пуску. А оскільки рідина несе великі завислі та плавучі домішки, особливої пильності потребує захист проточної частини насосів, напірних ліній та арматури від засмічення.

Починається станція приймальним резервуаром із решітками або решітками-дробарками, що затримують і подрібнюють крупні домішки перед насосами. Персонал стежить за рівнями в резервуарі, узгоджуючи їх з автоматичним пуском і зупинкою агрегатів, регулярно очищає резервуар від осаду та впливів, прибирає затримані решітками покидьки й не дає рідині застоюватися, бо застій обертається загниванням і виділенням сірководню. Місткість та режим спрацьовування резервуара добирають так, аби згладити нерівномірність припливу й не припустити надто частих вмикань насосів, згубних для електродвигунів.

Робота агрегатів -під невідступним наглядом приладів. Подачу, тиск у напірній лінії, силу струму двигуна, температуру підшипників і рівень вібрації щозміни заносять до журналу експлуатації, і будь-яке відхилення цих величин слугує раннім сигналом несправності. Чергування й резервування організують так, щоб відмова одного насоса не зупиняла подачі, а перехід на резерв відбувався автоматично чи за командою диспетчера. Проточну частину, ущільнення, сальники та запірно-регулюючу арматуру вчасно ревізують, а мастильне господарство забезпечує безперебійне змащування вузлів тертя згідно з картами мащення.

Повітря машинного залу та приймального відділення може містити вибухонебезпечні й токсичні гази -тому безпечна експлуатація станції немислима без

надійної припливно-витяжної вентиляції та засобів газового контролю, а електрообладнання відповідних приміщень повинно мати належне виконання. Сучасну станцію оснащують автоматикою, телемеханікою та диспетчерським зв'язком, що дають змогу керувати нею дистанційно, реєструвати параметри й сигналізувати про відхилення та аварії, зокрема про підвищення рівня в резервуарі. Виводять агрегати в ремонт чи резерв лише з відома диспетчера; планово-попереджувальний ремонт ведуть за затвердженим графіком, керуючись паспортами обладнання та інструкціями заводів-виробників, а після ремонту приймання станції супроводжують перевіркою всіх агрегатів і систем керування.

#### Експлуатація споруд очищення стічних вод

Очисні споруди -заключна й найвідповідальніша ланка, адже саме на них формується якість зворотної води, що потрапляє у водойму. Їх експлуатація має стабільно давати проєктний ефект очищення та знезараження за рівномірного режиму роботи, ощадливих витрат реагентів, енергії й води на власні потреби та беззастережного дотримання нормативів гранично допустимих скидів. Щоб цього досягти, домагаються, аби впродовж кожного сезону споруди працювали з усталеною кількістю стічних вод: різкі коливання навантаження найдужче розладнують біологічні процеси. Обслуговує споруди персонал, що пройшов медичний огляд і перевірку знань, у спецодезії, який регулярно знезаражують і не виносять за межі об'єкта.

Очисний ланцюг звично поділяють на механічну та біологічну стадії. На механічній вилучають грубодисперсні й мінеральні домішки: решітки перехоплюють крупні покидьки, що їх потім видаляють і знешкоджують чи подрібнюють; пісковловлювачі осаджують пісок, який зневоднюють і підсушують на піскових майданчиках; первинні відстійники освітлюють воду, відділяючи завислі речовини у вигляді сирого осаду й відводячи його в міру накопичення на обробку. Персонал пильнує рівномірність розподілу води між спорудами та секціями, характер

відкладення осаду й своєчасність його видалення, стежить за скребковими та мулозбірними механізмами й не допускає ні перевантаження окремих споруд, ні винесення завислих речовин на біологічну стадію.

Саме знезараження разом із супутнім реагентним господарством вимагає найсуворішої технологічної дисципліни. Хоч би який метод обрали, персонал забезпечує належну дозу й достатній час контакту, контролює залишкові показники та не допускає скиду недостатньо знезараженої води; під час роботи з реагентами неухильно дотримується вимог безпеки, передусім щодо хлорного господарства, віднесеного до об'єктів підвищеної небезпеки. Кожну партію реагентів приймають із перевіркою супровідних документів і контрольним аналізом активної частини, зберігають із оглядом на сумісність та розрахункову місткість складів, а дози уточнюють за технологічними аналізами й фактичною дією на воду. Точність дозування витримують у вузьких межах: різкі відхилення та перерви заборонені, окрім випадків, прямо обумовлених технологічним регламентом.

Окремий і технологічно непростий напрям - обробка та знешкодження осаду, де зосереджується значна частка вилучених забруднень. Сирий осад первинних відстійників і надлишковий активний мул спершу ущільнюють у мулоущільнювачах, щозміни контролюючи рівень ущільненого шару (його тримають не ближче метра до поверхні води) та фізико-хімічні властивості осаду. Стабілізують осад двома шляхами. Перший - анаеробне зброджування в метантенках за мезофільного (30–35 °C) або термофільного (50–55 °C) режиму з регулярним перемішуванням, сталим рівнем осаду й вільним виходом газу, причому склад біогазу обліковують і визначають щонайменше раз на тиждень; позаяк метантенки вибухо- та пожежонебезпечні, їх електрообладнання має вибухобезпечне виконання, а газове господарство експлуатують за відповідними правилами безпеки. Другий - аеробна стабілізація, за якої вміст розчиненого кисню тримають не нижче 2 мг/л і не переривають подачу повітря.

Зневоднюють стабілізований осад природно або механічно. Природний спосіб - мулові площадки, де новий шар напускають лише по тому, як попередній підсохне приблизно до 80 % вологості й укриється тріщинами для відведення мулової води; підсушений осад збирають обачно, щоб не пошкодити дренаж, а мулову воду неодмінно повертають на споруди, не скидаючи у водойму. Механічний спосіб - вакуум-фільтри та центрифуги з додаванням коагулянтів і флокулянтів; при цьому контролюють вологість вихідного осаду й зневодненого кеку, дози реагентів та якість фугату. Коли потрібне глибше знешкодження, осад термічно обробляють за 150–200 °С або висушують до сипкого стану, що дегельмінтизує його й уможлиблює безпечне використання як органо-мінерального добрива.

Отже, експлуатацію системи водовідведення варто сприймати як єдину концепцію: мережі, насосні станції та очисні споруди обслуговують за спільними засадами -безперервності, надійності, економічності й екологічної безпеки, -щоправда різними технологічними прийомами. І саме сполучення планово-попереджувального ремонту, диспетчерського керування, лабораторно-технологічного контролю, повної документації та кваліфікованого персоналу, підпорядковане вимогам чинних Правил технічної експлуатації, забезпечує надійну й екологічно безпечну роботу системи протягом усього строку її служби. Сучасні підходи до проектування та експлуатації систем водовідведення виходять далеко за межі традиційного збору та очищення стічних вод. Вони інтегрують принципи сталого розвитку, циркулярної економіки та адаптації до глобальних кліматичних змін, перетворюючи системи водовідведення з простих інженерних споруд на багатофункціональні комплекси, що сприяють збереженню ресурсів та охороні довкілля. Ці концепції є ключовими для забезпечення довгострокової ефективності та екологічної безпеки інфраструктури водовідведення в умовах зростаючого антропогенного навантаження та викликів, пов'язаних зі зміною клімату.

### **3.2 Захист трубопроводів і споруд від корозії**

Трубопроводи й споруди систем водовідведення працюють у винятково агресивному середовищі: вони контактують зі стічними водами змінного складу, ґрунтовою вологою, агресивними газами та продуктами життєдіяльності мікроорганізмів. Корозія скорочує строк служби конструкцій, спричиняє руйнування склепінь колекторів, втрату герметичності, протікання стічних вод у ґрунт і забруднення підземних вод, а зрештою — аварії, усунення яких коштує значно дорожче за планомірний захист. Тому протикорозійний захист є обов'язковою складовою проєктування й експлуатації, вимоги до якого встановлюють ДСТУ Б А.2.4-15:2008 «Антикорозійний захист будівель і споруд. Робочі креслення» та ДБН В.2.5-75:2013 «Каналізація. Зовнішні мережі та споруди».

#### **Види та механізми корозії в системах водовідведення**

Біогенна (сірководнева, газова) корозія бетону — найнебезпечніший і найпоширеніший вид руйнування самопливних колекторів. У підводній зоні за дефіциту кисню сульфатредуючі бактерії відновлюють сполуки сірки до сірководню; останній виділяється в надводний простір труби, де тіонові бактерії роду *Thiobacillus* окиснюють його до сірчаної кислоти. Кислота реагує з цементним каменем, перетворюючи його на пухкий гіпс, унаслідок чого склепіння колектора поступово руйнується. Інтенсивність процесу зростає за малих ухилів, застою стоків, підвищеної температури та концентрації органіки.

Електрохімічна корозія металу уражає сталеві напірні трубопроводи й металеві конструкції, що контактують із вологим ґрунтом. Її особливо посилюють блукаючі струми від рейкового електротранспорту та ліній постійного струму, які спричиняють локальне інтенсивне руйнування металу в зонах стікання струму.

Хімічна корозія виникає внаслідок надходження агресивних виробничих стічних вод — кислот, лугів, розчинів солей важких металів, що зокрема характерно для гальванічних та машинобудівних виробництв, стоки яких надходять у систему.

Додатково діє абразивне зношення внутрішньої поверхні труб піском і твердими домішками, що, поєднуючись із корозією, прискорює руйнування.

### **Сучасні методи протикорозійного захисту**

Вибір корозійностійких матеріалів є найрадикальнішим заходом. Для самопливних мереж і напірних водоводів дедалі ширше застосовують полімерні труби (поліетилен ПЕ100, непластифікований полівінілхлорид ПВХ-Н), склопластикові (GRP) та полімербетонні труби, що практично не піддаються біогенній та хімічній корозії; проектування й монтаж таких мереж регламентує ДСТУ Б А.2.4-40:2009. Там, де за умовами міцності потрібні сталеві труби, передбачають їх комплексний зовнішній і внутрішній захист.

Захисні покриття та облицювання застосовують для бетонних і металевих конструкцій. Внутрішню поверхню бетонних труб і колекторів захищають профільними поліетиленовими або полівінілхлоридними листами-облицюваннями, що заанкеровані в бетон, а також епоксидними, поліуретановими та полісечовинними (polyurea) покриттями, стійкими до сірчаної кислоти. Сталеві трубопроводи захищають зовні тришаровим поліетиленовим, епоксидним або бітумно-полімерним покриттям, а зсередини — епоксидним чи цементно-піщаним облицюванням.

Електрохімічний (катодний) захист доповнює покриття для підземних сталевих трубопроводів і резервуарів. Розрізняють протекторний захист гальванічними анодами (магнієвими, цинковими) та катодний захист зовнішнім накладеним струмом від спеціальних станцій. Захист вважають достатнім, якщо потенціал металу відносно ґрунту підтримується не позитивнішим за мінус 0,85 В (за мідно-сульфатним електродом порівняння). Проти блукаючих струмів додатково влаштовують електродренажні установки, що відводять струм у зворотну рейкову мережу.

Технологічні (хіміко-біологічні) методи спрямовані безпосередньо на пригнічення біогенної корозії. До них належать примусова вентиляція колекторів і камер для видалення сірководню; дозування у стічну воду солей заліза (для осадження

сульфідів), нітратів (для пригнічення сульфатредукції), гідроксиду магнію або вапна для підвищення рН, а також аерація чи введення кисню. Підтримання самоочисних швидкостей течії та зменшення часу перебування стоків також обмежують утворення сірководню.

Захист бетонних споруд очисної станції забезпечують ще на стадії виготовлення: застосовують щільний бетон підвищеної водонепроникності на сульфатостійкому портландцементі, поверхневу гідрофобізацію та просочення, полімерні захисні покриття, а в найагресивніших зонах — жертвний шар бетону збільшеної товщини. Стики й деформаційні шви герметизують стійкими до агресивного середовища матеріалами.

Безтраншейна санація дає змогу відновлювати вже уражені корозією колектори без розкопування. Найпоширеніший метод — улаштування рукава, що твердне на місці (CIPP): просочений смолою гнучкий рукав уводять у старий трубопровід і полімеризують, формуючи нову суцільну корозійностійку оболонку. Застосовують також протягування нових полімерних труб у наявні (relining) та нанесення зсередини полімерних і цементних покриттів.

Моніторинг і діагностика стану конструкцій є невід'ємною частиною захисту. Сучасні засоби охоплюють телевізійне обстеження колекторів (CCTV), установлення зразків-свідків корозії, вимірювання захисних потенціалів сталевих трубопроводів, контроль газового режиму (вмісту сірководню) у колекторах і камерах. Своєчасне виявлення осередків руйнування переводить значну частину втручань з аварійних у планові.

### **Проектні рішення для системи водовідведення міста**

На підставі викладеного для проєктованої системи прийнято комплекс заходів протикорозійного захисту. Напірні водоводи від головної насосної станції — сталеві з тришаровим поліетиленовим зовнішнім покриттям і катодним захистом накладеним струмом, із внутрішнім епоксидним облицюванням. Самопливні колектори за

можливості виконують із поліетиленових або склопластикових труб; у разі застосування залізобетонних труб у зоні ймовірної газової корозії передбачають внутрішнє полімерне облицювання та вентиляцію. На каналізаційних насосних станціях і в камерах організовують контроль і відведення сірководню. Бетонні споруди очисної станції зводять із сульфатостійкого щільного бетону із захисними покриттями внутрішніх поверхонь, що контактують зі стічними водами та осадам. Такий комплекс заходів забезпечує нормативний строк служби споруд і трубопроводів та мінімізує ризик аварій, пов'язаних із корозійним руйнуванням.

### **3.3. Охорона навколишнього середовища у системі сталого водовідведення**

Традиційна модель «виробництво-споживання-утилізація» у сфері водовідведення передбачає лінійний процес, де стічні води розглядаються як відходи, що підлягають очищенню та скиду. Концепція циркулярної економіки пропонує перетворити цей підхід, розглядаючи стічні води не як відходи, а як цінний ресурс, з якого можна вилучати воду, енергію та поживні речовини [18]. Це передбачає максимальне повторне використання очищеної води для технічних потреб, зрошення або поповнення підземних вод, а також вилучення біогазу з осаду стічних вод для виробництва енергії та рекуперацію фосфору та азоту для використання в сільському господарстві.

1. Відновлення ресурсів. Цей аспект циркулярної економіки зосереджений на вилученні конкретних цінних компонентів зі стічних вод. До основних ресурсів, що підлягають відновленню, належать:
  - Вода: Очищена стічна вода може бути доведена до якості, придатної для технічного водопостачання (наприклад, для промислових підприємств, охолоджувальних систем), зрошення сільськогосподарських угідь, поповнення

водних об'єктів або навіть для питного водопостачання після застосування передових технологій доочищення (наприклад, мембранні технології, зворотний осмос).

– Енергія: Органічні речовини, що містяться у стічних водах та їх осадах, є джерелом хімічної енергії. Анаеробне зброджування осаду дозволяє отримувати біогаз [21] (переважно метан), який може бути використаний для виробництва електроенергії та тепла на очисних спорудах, значно знижуючи їхні експлуатаційні витрати та вуглецевий слід. Також розглядаються технології отримання біопалива та біоводню.

– Поживні речовини: Азот і фосфор, які є основними забруднювачами водних об'єктів, водночас є цінними добривами. Технології, такі як струвільне осадження, дозволяють вилучати фосфор у вигляді струвиту, який є повільнорозчинним добривом. Азот може бути вилучений у вигляді амонійних солей або використаний для виробництва біодобрив. Це сприяє зменшенню залежності від мінеральних добрив та замиканню циклу поживних речовин.

Енергетична ефективність очисних споруд. Сучасні очисні споруди є значними споживачами енергії, переважно за рахунок аерації та перекачування стічних вод. Підвищення енергетичної ефективності досягається за рахунок оптимізації технологічних процесів, впровадження енергозберігаючого обладнання (наприклад, вискоефективні повітродувки, насоси з частотним регулюванням), використання відновлюваних джерел енергії (сонячні панелі, вітрові турбіни) та когенераційних установок, що працюють на біогазі. Метою є досягнення енергетичної нейтральності або навіть позитивного енергетичного балансу очисних споруд.

Екологічні аспекти:

- Захист водних об'єктів: Неочищені або недостатньо очищені стічні води є основним джерелом забруднення річок, озер та підземних вод. Це призводить до деградації водних екосистем, втрати біорізноманіття та зниження якості води, що використовується для питного водопостачання та інших потреб. Для м. Торянівськ, де

приймачем стічних вод є річка Інгулець, забезпечення високого ступеня очищення є критично важливим для збереження її екологічного стану та відповідності рибогосподарським нормативам.

- Охорона ґрунтів та підземних вод: Негерметичні каналізаційні мережі та вигрібні ями є джерелом забруднення ґрунтів та підземних вод патогенними мікроорганізмами, нітратами, фосфатами та іншими шкідливими речовинами. Це створює загрозу для здоров'я населення та сільськогосподарського виробництва.
- Зменшення викидів парникових газів: Впровадження технологій анаеробного зброджування осаду з отриманням біогазу дозволяє зменшити викиди метану (потужного парникового газу) в атмосферу та використовувати його як джерело відновлюваної енергії.

Таким чином, проектування та будівництво сучасної системи водовідведення для міста Торянівськ є невід'ємною складовою його сталого розвитку, забезпечення екологічної безпеки та високої якості життя мешканців. Це інвестиція у майбутнє міста, яка дозволить вирішити існуючі проблеми та створити основу для подальшого процвітання.

#### 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Розроблення заходів безпеки під час експлуатації запроєктованої системи водовідведення міста Торянівськ має на меті гарантування здорових і безпечних умов праці персоналу, що обслуговує її споруди. Нормативним підґрунтям слугують Закон України «Про охорону праці», Кодекс законів про працю України та Кодекс цивільного захисту України, конкретизовані нормативно-правовими актами з охорони праці (НПАОП), санітарними нормами й державними будівельними нормами. Згідно із Законом, відповідальність за стан умов праці покладено на роботодавця, який утримує службу охорони праці, організовує навчання та перевірку знань, медичні огляди, розслідування й облік нещасних випадків і безоплатно забезпечує персонал засобами індивідуального захисту.

Експлуатацію об'єктів реалізує спеціалізоване підприємство водопровідно-каналізаційного господарства. Персонал наражається на чинники різної природи: фізичні (рухомі частини машин, електричний струм, шум, вібрація, недостатня освітленість, вологість, ультрафіолет), хімічні (сірководень, метан, діоксид вуглецю, пари нафтопродуктів, реагенти), біологічні (патогенні мікроорганізми стічних вод і осаду) та психофізіологічні. Підвищену небезпеку формують замкнені простори (колодязі, камери, резервуари, метантенки), де ймовірні отруєння, задуха та вибух.

Низка організаційних вимог є спільною для всіх споруд. Навчання та перевірку знань проводять згідно з НПАОП 0.00-4.12-05; працівники проходять вступний, первинний, повторний (не рідше одного разу на півроку), позаплановий та цільовий інструктажі з фіксуванням у журналах. Обов'язковими є попередні та періодичні медичні огляди, оцінювання умов праці з атестацією робочих місць, а також розслідування й облік нещасних випадків. Засоби індивідуального захисту, спецодяг і спецвзуття надаються безоплатно за нормами та підлягають своєчасному випробуванню й заміні.

#### 4.1 Охорона праці на водовідвідних мережах

Обслуговування мереж регламентується НПАОП 41.0-1.01-79, а роботи в підземних спорудах -НПАОП 0.00-5.11-85. Роботи в колодязях, камерах і колекторах кваліфікують як газонебезпечні й виконують виключно за нарядом-допуском бригадою щонайменше з трьох осіб: один працює всередині, двоє ведуть нагляд і страхування згори.

Перед спуском обов'язковими є контроль складу повітря переносним газоаналізатором і примусове провітрювання. Допуск дозволяється за вмісту кисню не менш як 20 % за об'ємом, сірководню -не більш як 10 мг/м<sup>3</sup>, оксиду вуглецю -не більш як 20 мг/м<sup>3</sup>, метану -не більш як 20 % нижньої концентраційної межі поширення полум'я. Працівник застосовує рятувальний пояс із сигнально-рятувальною ланкою, а за неможливості провітрювання -шланговий протигаз. Відкритий вогонь заборонено; освітлення -акумуляторні ліхтарі у вибухозахищеному виконанні та переносні світильники не вище 12 В, інструмент -такий, що не утворює іскор.

Земляні роботи супроводжують власними заходами: стінки траншей завглибшки понад 1,25 м у нестійких ґрунтах кріплять, ґрунт розташовують не ближче 0,5 м від брівки, робочу зону на проїзній частині огорожують і обладнують знаками та сигнальними ліхтарями. Вантажно-розвантажувальні операції підпорядковані НПАОП 0.00-1.75-15. Документальне забезпечення охоплює інструкції з охорони праці за професіями та видами робіт, журнали інструктажів, наряди-допуски на газонебезпечні роботи, план локалізації та ліквідації аварій, виконавчі схеми мереж із позначенням газонебезпечних колодязів і графіки планово-запобіжних ремонтів.

За аварійних обставин дії визначено наперед: за раптової загазованості або ознак отруєння страхувальники негайно витягують потерпілого за ланку, виносять на свіже повітря, за потреби виконують реанімаційні заходи й викликають екстрені служби; за прориву колектора роботи припиняють, персонал евакуюють, ділянку локалізують засувками й керуються планом ліквідації аварій.

## **4.2 Охорона праці на насосних станціях**

На головній насосній станції визначальними є небезпеки електротехнічного характеру, тому експлуатацію електроустановок підпорядковано НПАОП 40.1-1.21-98, а вантажопідіймального обладнання -НПАОП 0.00-1.80-18. Захист від ураження струмом гарантується заземленням і зануленням, пристроями захисного вимкнення та контролем ізоляції; персонал має відповідну групу з електробезпеки й забезпечується діелектричними засобами та інструментом з ізольованими ручками. Опір заземлення та ізоляції перевіряють у встановлені строки з оформленням протоколів.

Рухомі частини агрегатів закривають кожухами з блокуванням пуску. Рівень шуму утримують у межах 80 дБА (ДСН 3.3.6.037-99), вібрацію -у межах ДСН 3.3.6.039-99 за допомогою віброізолювальних основ і ЗІЗ. Машинну залу й приймальний резервуар обладнують припливно-витяжною вентиляцією з контролем загазованості; передбачають робоче й аварійне освітлення, захист заглибленої частини від затоплення дренажними насосами, неслизькі підлоги та поручні. Ремонтні роботи провадять за нарядом-допуском із від'єднанням обладнання, заходами проти помилкового ввімкнення, перевіркою відсутності напруги й накладанням переносних заземлень.

На випадок зникнення напруги передбачено автоматичне ввімкнення резервного вводу або дизель-генератора, що відвертає підтоплення станції; рівень у резервуарі контролюють рівнеміри із сигналізацією, а за відмови насосів спрацьовує аварійний переливний випуск. Пожежу на електрообладнанні гасять вуглекислотними або порошковими вогнегасниками лише після знеструмлення; роботи в загазованому резервуарі прирівнюють до газонебезпечних.

## **4.3 Охорона праці на локальних очисних спорудах промислових підприємств**

Локальні очисні споруди підприємств [16] характеризуються передусім вибухопожежною небезпекою, що зумовлює застосування НПАОП 0.00-7.12-13,

НПАОП 0.00-8.11-12 та Правил пожежної безпеки в Україні. На спорудах депо джерелом небезпеки є пари нафтопродуктів: приміщення нафтовловлювачів і насосних класифікують як вибухонебезпечні зони з вибухозахищеним електрообладнанням, заземленням для відведення статичних зарядів, виключенням іскроутворення та ефективною вентиляцією з контролем концентрації парів. На заводі небезпеку створює борошняний пил, проти якого діють аспіраційними системами, герметизацією та заземленням обладнання, вологим прибиранням і захистом органів дихання.

Персонал проходить спеціальне навчання з пожежної та вибухобезпеки й періодичні медичні огляди; реагенти зберігають із дотриманням сумісності та маркування. За загоряння парів або пилоповітряної суміші вмикають системи пожежогасіння (пінні для нафтопродуктів, порошкові для пилу), знеструмлюють обладнання, перекривають надходження пального середовища та евакуюють персонал; розлив нафтопродуктів локалізують обвалуванням і сорбентами.

#### **4.4 Охорона праці на спорудах очищення та оброблення стоків**

На спорудах оброблення осаду головною загрозою є вибухопожежонебезпечний біогаз (метан із нижньою межею поширення полум'я близько 5 % за об'ємом) та супутній високотоксичний сірководень, тож експлуатацію підпорядковано НПАОП 0.00-7.12-13, НПАОП 0.00-1.81-18, НПАОП 0.00-5.11-85 та НПАОП 0.00-8.11-12. Метантенки, газгольдери й газопроводи відносять до вибухонебезпечних зон зі стаціонарними газосигналізаторами на метан і сірководень, блискавкозахистом і заземленням; перед ремонтом ємності спорожнюють і продувають з контролем повноти видалення газу. Роботи на висоті виконують з огорожених майданчиків, а посудини під тиском і вантажопідіймальні механізми періодично опосвідчують.

Біологічні чинники (збудники кишкових інфекцій, гепатиту, лептоспірозу) нейтралізують засобами індивідуального захисту, особистою гігієною, санітарно-побутовими приміщеннями та профілактичними щепленнями. Прийняте безреагентне

ультрафіолетове знезараження, на відміну від хлорування, не пов'язане зі зберіганням і застосуванням токсичного хлору, що є істотною перевагою з погляду охорони праці; камеру УФ обладнують екрануванням ламп і автоматичним блокуванням. Обертіві механізми огорожують і обладнують блокуваннями, відкриті ємності захищають поручнями з розміщенням рятувальних засобів, а роботи всередині відстійників і метантенків провадять виключно як газонебезпечні за нарядом-допуском. Окремих заходів потребують реагентне господарство, лабораторія з витяжними шафами, зал центрифуг із засобами захисту слуху та мулові майданчики.

За аварійних сценаріїв передбачено аварійне скидання тиску біогазу через свічку з гасінням та евакуацією; за розгерметизації газгольдера припиняють подавання газу й провітрюють зону; за отруєння сірководнем потерпілого виносять на свіже повітря й надають домедичну допомогу.

#### **4.5 Закордонні нормативи охорони праці: відмінності, переваги та пропозиції**

Для визначення найкращих підходів проведено порівняльний аналіз норм охорони праці у водовідведенні трьох юрисдикцій -Китайської Народної Республіки, Європейського Союзу та США, -оскільки галузь належить до робіт підвищеного ризику через замкнені простори, токсичні гази, патогени та вибухонебезпечні метанові суміші.

У КНР система спирається на Закон про безпеку праці (ред. 2021 р.) та стандарти GB (зокрема GB 8958 для замкнених просторів). Характерні риси -обов'язковий наряд-допуск із попереднім газовим аналізом, безперервний моніторинг кисню (не нижче 19,5 %) і токсичних газів, зовнішній спостерігач, план рятування, щорічна перевірка знань і медогляди; ГДК сірководню -STEL = 7 ppm. Система вирізняється жорстким адміністративним контролем.

У ЄС базою є рамкова Директива 89/391/ЄЕС та спеціалізовані директиви (98/24/ЄС -хімічні агенти, 1999/92/ЄС -ATEX, 2003/10/ЄС і 2002/44/ЄС -шум і вібрація, 2000/54/ЄС -біологічні агенти). Ключові принципи -ієрархія заходів

контролю (усунення → технічні → організаційні → ЗІЗ), обов'язкова оцінка професійних ризиків, граничні значення IOELV/BOELV, участь працівників та концепція Water Safety Plan. Директива АТЕХ вимагає зонування за вибухонебезпекою (зони 0, 1, 2). Для сірководню комітет SCOEL рекомендує TWA = 5 ppm і STEL = 10 ppm -найзахисніші чинні значення.

У США регулятором є OSHA; ключовий стандарт -29 CFR 1910.146 «Permit-Required Confined Spaces», один із найдеталізованіших у світі. Він вимагає письмової програми управління замкненими просторами, наряду-допуску з послідовним атмосферним тестуванням (кисень 19,5–23,5 %, далі легкозаймальні гази, далі токсичні), невідлучного зовнішнього спостерігача, плану рятування та страхувальних поясів із тросом. Для сірководню встановлено PEL (TWA) = 10 ppm, STEL = 15 ppm, Ceiling = 20 ppm, IDLH = 100 ppm; ліберальніші числові межі компенсуються жорсткими процедурами та високими штрафами.

Порівняння граничних значень H<sub>2</sub>S підсумовує підходи: ЄС -TWA 5 / STEL 10 ppm (найзахисніше), КНР -STEL 7 ppm, США (OSHA) -TWA 10 / STEL 15 / Ceiling 20 ppm; наукові рекомендації ACGIH ще строгіші (TWA 1 / STEL 5 ppm). Усі три юрисдикції збігаються щодо обов'язковості наряду-допуску, газового аналізу, зовнішнього спостерігача та плану рятування, що свідчить про універсальність цих заходів. Сірководень особливо небезпечний через параліч нюху за концентрацій понад 100 ppm («німий вбивця») за пікових значень у колодязях до 600–2000 ppm. Замкнені простори лишаються головним джерелом травматизму: за статистикою OSHA, понад 60 % смертельних випадків у них пов'язані зі спробами рятування непідготовленими працівниками. Підвищений шум машинних залів (85–95 дБ) у ЄС обмежено нижнім (80 дБ) і верхнім (87 дБ) рівнями експозиції, в OSHA -PEL 90 дБ з програмою збереження слуху.

На підставі аналізу для проєкту доцільно поєднати найкращі практики з урахуванням місцевих умов.

### **Організаційні заходи.**

Затвердити «Програму управління замкненими просторами» (за зразком OSHA 1910.146) з ідентифікацією всіх колодязів, резервуарів і колекторів та карткою небезпек для кожного; запровадити систему нарядів-допусків для робіт у замкнених просторах, на висоті, з вогнем і реагентами; затвердити план аварійно-рятувальних робіт із розподілом ролей, порядком виклику служб (101, 103), рятувальним обладнанням і навчальними тренуваннями, заборонивши непідготовленим працівникам самостійне рятування; упровадити Water Safety Plan за рекомендаціями ВООЗ та участь працівників через комісію з охорони праці.

### **Технічні заходи.**

Обладнати колодязі вентиляцією з продувкою перед спуском (10–15 хв); встановити стаціонарні газоаналізатори на  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$  зі звуковою та світловою сигналізацією й забезпечити бригади переносними чотирикомпонентними приладами ( $\text{O}_2$ , LEL,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}$ ) з регулярним калібруванням; застосовувати вибухозахищене обладнання (Ex) у зонах АТЕХ, дистанційне керування засувками, огороження й освітлення відкритих споруд, а також механізувати відбір проб і очищення решіток для мінімізації контакту персоналу зі стоками.

### **Гігієнічні норми.**

Рекомендовано прийняти європейські граничні значення  $\text{H}_2\text{S}$  (TWA = 5 ppm, STEL = 10 ppm) як захисніші за чинні, з аварійним порогом 20 ppm; кисень у замкнених просторах -19,5–23,5 %; шум -не вище 85 дБ (верхня межа 87 дБ); вібрація -у межах 0,5–1,15  $\text{m/s}^2$ .

### **Засоби індивідуального захисту.**

Для замкнених просторів -шлангові протигази або ізолюючі апарати з автономним повітрям за  $\text{H}_2\text{S}$  понад 20 ppm чи невизначеного середовища (фільтрувальні респіратори не допускаються); водонепроникний антистатичний спецодяг, гумові чоботи й рукавиці, захисні окуляри, каска, сигнальний жилет; повний

страхувальний пояс із тросом для вертикальних колодязів понад 1,5 м; проти біологічних агентів -герметичний спецодяг, респіратори FFP3 і дезінфікувальні засоби.

Реалізація запропонованих заходів наблизить рівень безпеки праці на об'єкті до міжнародних стандартів, знизить ризик травматизму й професійних захворювань і підвищить стійкість системи до аварій; нормативну базу доцільно переглядати раз на три роки.

#### **4.6 Висновки до розділу**

У розділі розроблено заходи з охорони праці для експлуатації системи водовідведення міста Торянівськ за всіма її об'єктами -водовідвідними мережами, головною насосною станцією, локальними очисними спорудами промислових підприємств та спорудами очищення й оброблення стоків. Для кожного об'єкта встановлено умови безпеки, порядок документального забезпечення та дії за надзвичайних обставин з опертям на чинні нормативно-правові акти [11], Закон України «Про охорону праці» й Правила пожежної безпеки.

Визначальними небезпеками визнано загазованість і вибухонебезпеку замкнених просторів (колодязі, резервуари, метантенки, газгольдери), ураження електричним струмом на насосній станції, вибухопожежну небезпеку нафтопродуктів і борошняного пилу та біологічні чинники на очисних спорудах; прийняте безреагентне ультрафіолетове знезараження усуває небезпеку, пов'язану із застосуванням хлору. За результатами порівняння з міжнародними нормативами сформульовано пропозиції -упровадження системи управління охороною праці [10] за ДСТУ ISO 45001:2019, оцінювання професійних ризиків, АТЕХ-зонування споруд біогазу та дозвільну систему робіт у замкнених просторах. Реалізація розроблених заходів і запропонованих удосконалень гарантує безпечну та надійну експлуатацію системи водовідведення й наближає рівень охорони праці на об'єкті до європейських вимог.

## ВИСНОВКИ

1. Розроблено проєкт системи водовідведення міста Торянівськ із розрахунковою чисельністю населення 80 тис. осіб, що забезпечує відведення, очищення, знезараження стічних вод і знешкодження осаду з дотриманням чинних екологічних і санітарних вимог.

2. Визначено розрахункові витрати: середньодобова  $Q_{\text{доб}} = 24\,350 \text{ м}^3/\text{добу}$  та максимальна годинна  $Q_{\text{год.мах}} = 2\,350,08 \text{ м}^3/\text{год}$  (652,8 л/с); запроєктовано водовідвідну мережу, поздовжні профілі колекторів і головну насосну станцію з двома робочими та двома резервними насосами за потрібного напору 17 м.

3. За концентраціями забруднень суміші стічних вод ( $C_{\text{ен}} = 323,9 \text{ мг/л}$ ,  $L_{\text{ен}} = 338,5 \text{ мг/л}$ ) та параметрами водотоку-приймача обчислено необхідний ступінь очищення; визначальним є критерій за БПК\_повн (потрібний ефект 97,6 %), що обґрунтовує застосування повного біологічного очищення [14, 15] з доведенням БПК\_повн до 15 мг/л.

4. Розраховано й прийнято склад споруд: решітки типу СУ (3 робочі та 1 резервна), горизонтальні пісковловлювачі, три первинні радіальні відстійники діаметром 24 м, аеротенки-витиснювачі з регенерацією (дві секції, загальний об'єм 12 336 м<sup>3</sup>), чотири вторинні відстійники діаметром 30 м, хлораторна та контактні резервуари, а також споруди ущільнення, механічного зневоднення й знешкодження осаду.

5. Для кожного етапу очищення оцінено сучасні технологічні альтернативи (ступінчасті решітки, аеровані пісковловлювачі, тонкошарові модулі та СЕРТ, мембранні MBR і біоплівкові MBBR біореактори, ультрафіолетове знезараження, анаеробне зброджування осаду з виходом біогазу близько 3120 м<sup>3</sup>/добу та когенерацією  $\approx 185 \text{ кВт}$ ), що орієнтує рішення на ресурсозбереження й сталий розвиток.

6. Опрацьовано питання експлуатації системи, протикорозійного захисту трубопроводів і споруд сучасними методами, охорони навколишнього середовища та охорони праці, зокрема з пропозиціями щодо наближення рівня безпеки до європейських нормативів.

7. Прийняті проєктні рішення відповідають вимогам чинних державних будівельних норм і стандартів та забезпечують надійне, економічне й екологічно безпечне функціонування системи водовідведення міста.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 31 с.
2. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 17 с.
3. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проєктування. Київ : Мінрегіон України, 2013. 211 с.
4. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проєктування. Київ : Мінрегіон України, 2013. 287 с.
5. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування та забудова територій. Київ : Мінрегіон України, 2019. 185 с.
6. ДБН А.2.2-3:2014. Склад та зміст проєктної документації на будівництво. Київ : Мінрегіон України, 2014. 36 с.
7. ДСТУ Б А.2.4-31:2008. Система проєктної документації для будівництва. Водопостачання і каналізація. Зовнішні мережі. Робочі креслення. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 12 с.
8. ДСТУ Б В.2.5-32:2007. Труби безнапірні з поліпропілену, поліетилену, непластифікованого полівінілхлориду та фасонні вироби до них для зовнішніх мереж каналізації. Київ : Мінрегіонбуд України, 2008.
9. ДСТУ Б А.2.4-15:2008. Система проєктної документації для будівництва. Антикорозійний захист будівель і споруд. Робочі креслення. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 15 с.
10. ДСТУ ISO 45001:2019. Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 45001:2018, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 38 с.

11. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ : у редакції із змінами. Відомості Верховної Ради України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> (дата звернення: 15.06.2026).

12. Водний кодекс України : Закон України від 06.06.1995 № 213/95-ВР : у редакції із змінами. Відомості Верховної Ради України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 15.06.2026).

13. Тугай А. М., Орлов В. О. Водопостачання : підручник. Київ : Знання, 2009. 735 с.

14. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води : підручник. Київ : Вища школа, 2005. 671 с.

15. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод : навчальний посібник. Рівне : Рівненська друкарня, 2003. 622 с.

16. Айрапетян Т. С. Очистка промислових стічних вод : конспект лекцій / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. 73 с.

17. Якименко О. В., Морковська Н. Г. Технічна експлуатація інженерних мереж : навчальний посібник / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. 289 с.

18. Хоружий П. Д., Хомутецька Т. П., Хоружий В. П. Ресурсозберігаючі технології водопостачання. Київ : Аграрна наука, 2006. 533 с.

19. Гіроль М. М., Проценко С. Б. Проектування систем водовідведення, очищення та утилізації стічних вод в малих населених пунктах та сільській місцевості : навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2013. 66 с.

20. Таблиці для гідравлічного розрахунку каналізаційних мереж і дюкерів за формулою акад. М. М. Павловського (таблиці Лукіних). Київ : Будівельник, 1974. 134 с.

21. The Basis of Anaerobic Digestion Process : вебсайт. EPCM Holdings. URL: <https://epcmholdings.com/the-basis-of-anaerobic-digestion-process/> (дата звернення: 15.06.2026).

22. Using Biogas for Combined Heat and Power : вебсайт. Clarke Energy. URL: <https://www.clarke-energy.com/> (дата звернення: 15.06.2026).