

**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 населеного пункту з кількістю
мешканців 50 000 осіб. »**

Виконав: здобувач освіти 4-го курсу,
групи ЦІ ВВ 2023– 1у
спеціальності
192 – Будівництво та цивільна
інженерія
освітня програма «Цивільна інженерія»
Жулінський В. С.
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
Жулінському Володимирі Сергійовичу**

1. Тема роботи «Комплекс водовідведення населеного пункту з кількістю мешканців 50 000 осіб. »

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.







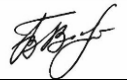
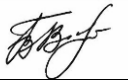


3. Вихідні дані до роботи: запроєктувати системи водовідведення населеного пункту з можливістю очищення, підземної дощової каналізації та системи Обробки осаду. Щільність населення 130 осіб/га, 200 осіб/га, 280 осіб/га, норми водовідведення відповідно – 200 л/люд*добу, 260 л/люд*добу, 300 л/люд*добу. У місті працює підприємство харчової промисловості та залізничне депо.

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 (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	30.05 – 3.06.2026	
2	Технологічна частина	4.06 - 8.06.2026	
3	Спеціалізована частина	9.06 – 12.06.2026	
4	Охорона праці	13.06 – 15.06.2026	
5	Графічна частина	30.05 – 15.06.2026	
6	Оформлення і захист	16.06 – 23.06.2026	

Здобувач освіти

 Жулінський В.С.

Керівник роботи

 Тітов А.А.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	4
ВСТУП.....	6
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ.....	8
1.1 Природно-кліматичні умови	8
1.1.1 Кліматична характеристика району будівництва	8
1.2 Стан питання.....	14
1.2.1 Актуальність улаштування системи водовідведення об’єкта	14
1.2.2 Аналіз існуючих рішень водовідведення.....	15
1.3 Обґрунтування проєктних рішень	18
1.3.1 Аналіз завдання кваліфікаційної роботи	18
1.3.2 Вибір системи та схеми водовідведення.....	19
1.3.3 Вибір місця розташування очисної станції	19
1.3.4 Загальна оцінка обсягів водовідведення.....	19
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	21
2.1 Визначення обсягів водовідведення.....	21
2.1.1 Визначення розрахункових витрат побутових стічних вод.....	21
2.1.2 Визначення витрат від промислових підприємств	21
2.1.3 Визначення зосереджених витрат	22
2.1.4 Побудова графіка надходження стічних вод.....	22
2.2 Трасування та проєктування водовідвідної мережі.....	23
2.2.1 Вибір системи водовідведення	23
2.2.2 Вибір схеми водовідведення	25
2.2.3. Умови приймання стічних вод у водовідвідні мережі	26
2.2.4 Трасування вуличної мережі та колекторів.....	27
2.3 Гідравлічний розрахунок водовідвідної мережі	27
2.3.1 Визначення розрахункових витрат на ділянках.....	28
2.3.2.Визначення розрахункових витрат промислових стічних вод	30

2.3.3. Визначення розрахункових витрат побутових стічних вод від житлових кварталів міста.....	33
2.3.4 Гідравлічний розрахунок самопливних колекторів.....	34
2.3.5.Визначення глибини закладання головного і бокового колекторів.....	34
2.3.6 Побудова поздовжніх профілів колекторів	37
2.4.Трасування дощової водовідвідної мережі.....	37
2.4.1. Визначення розрахункових витрат дощових стоків	37
2.4.2. Гідравлічний розрахунок колекторів дощової мережі	40
2.4.3. Визначення глибини закладання дощового колектора	40
2.4.4. Улаштування основ під труби.....	43
2.4.5. Ізоляція труб	43
2.5 Проектування каналізаційної насосної станції	44
2.5.1 Визначення розрахункових витрат і напору.....	44
2.5.2 Вибір насосного устаткування та режиму роботи	45
2.5.3 Розрахунок приймального резервуара	46
2.6 Розрахунок споруд очищення стічних вод	46
2.6.1 Визначення необхідного ступеня очищення та обґрунтування технологічної схеми.....	46
2.6.2 Розрахунок споруд механічного очищення.....	48
2.6.3 Розрахунок споруд біологічного очищення	49
2.6.4 Розрахунок споруд знезараження	50
3 СПЕЦІАЛІЗОВАНА ЧАСТИНА	53
3.1 Експлуатація системи водовідведення.....	53
3.2 Захист трубопроводів і споруд від корозії.....	64
3.2.1 Біологічна корозія	65
3.2.3 Захист поліетиленових труб від корозії.....	65
3.3 Охорона навколишнього середовища	66
3.3.1 Охорона поверхневих та підземних вод від забруднення.....	66
3.3.2 Охорона атмосферного повітря	66
3.3.3 Охорона земельних ресурсів та рекультивація	67
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	68
4.1 Охорона праці на водовідвідних мережах.....	69

4.2 Охорона праці на насосних станціях.....	71
4.3 Охорона праці на локальних очисних спорудах промислових підприємств....	73
4.4 Охорона праці на спорудах очищення та оброблення стоків.....	74
4.5 Закордонні нормативи охорони праці: відмінності, переваги та пропозиції....	76
4.6 Висновки до розділу	78
ВИСНОВКИ.....	80
СПИСОК ДЖЕРЕЛ	82

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

У пояснювальній записці використано такі скорочення, умовні позначення та символи.

Скорочення:

БСКповн - повне біохімічне споживання кисню;

ГДК - гранично допустима концентрація;

ГДС - гранично допустимий скид;

ГНС - головна насосна станція;

КНС - каналізаційна насосна станція;

СЗЗ - санітарно-захисна зона;

ДБН - державні будівельні норми;

ДСТУ - національний стандарт України;

НПАОП - нормативно-правовий акт з охорони праці;

ПЛАС - план локалізації та ліквідації аварійних ситуацій;

УФ - ультрафіолетове знезараження;

ЧРП - частотно-регульований привід;

SBR - послідовно-періодичний реактор біологічного очищення;

MBR - мембранний біореактор;

MBBR - біореактор із біоплівкою на рухомому завантаженні;

ATEX - європейські директиви щодо обладнання у вибухонебезпечних середовищах;

ISO 45001 - міжнародний стандарт систем управління охороною здоров'я та безпекою праці;

Умовні позначення та символи:

N_p - розрахункове населення, ос.;

F - площа (житлових кварталів, живого перерізу), га, м²;

ρ - щільність житлової забудови, ос./га;

β - коефіцієнт забудови кварталу;

n - норма водовідведення, л/(ос·добу);

$Q_{сер.доб}$ - середньодобова витрата стічних вод, м³/добу;

$q_{сер}$ - середньосекундна витрата стічних вод, л/с;

$K_{ген.мах}$ - загальний коефіцієнт нерівномірності припливу;

$q_{ПП}$ - розрахункова витрата стоків промислового підприємства, л/с;

$C_{ен}, L_{ен}$ - концентрації завислих речовин і БСКповн на вході очисних споруд, мг/л;

$C_{ех}, L_{ех}$ - те саме у воді, що скидається у водотік, мг/л;

E_C, E_L - потрібний ступінь очищення за завислими речовинами та БСКповн, %;

$K_{ГДС}$ - коефіцієнт гранично допустимого скиду, %;

M_0 - модуль стоку річки, л/(с·км²);

Q_0 - середньобагаторічна витрата річки, м³/с;

Q_p - витрата річки заданої забезпеченості, м³/с;

C_v, C_s - коефіцієнти варіації та асиметрії річного стоку;

γ - коефіцієнт змішання;

H - потрібний напір насосів, м;

W - місткість (об'єм) резервуара, споруди, м³;

a_i - доза активного мулу, г/л;

J_i - муловий індекс, см³/г;

R_i - ступінь рециркуляції активного мулу;

v - швидкість руху стічних вод, м/с;

D, d - діаметр трубопроводу (споруди), мм, м;

i - похил трубопроводу.

ВСТУП

Пояснювальна записка: 78 с., 14 рис., 19 табл., 4 додатки, 22 джерела.
Графічна частина: 6 аркушів формату А1.

ВОДОВІДВЕДЕННЯ, СТІЧНІ ВОДИ, КАНАЛІЗАЦІЙНА МЕРЕЖА, ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК, НАСОСНА СТАНЦІЯ, ОЧИСНІ СПОРУДИ, БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ, ЗНЕЗАРАЖЕННЯ, ОБРОБКА ОСАДУ, ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ

Забезпечення населених пунктів надійними системами відведення та очищення стічних вод належить до першочергових завдань комунальної інженерії, оскільки безпосередньо впливає на санітарно-епідемічний добробут населення та екологічний стан водних об'єктів. Скидання недостатньо очищених стоків у поверхневі води спричиняє їх евтрофікацію, погіршення кисневого режиму та накопичення токсичних сполук, тому проєктування каналізаційних систем має ґрунтуватися на чинних нормативних вимогах і сучасних технологічних рішеннях.

Актуальність роботи зумовлена потребою в розробленні комплексної системи водовідведення міста у Миколаївській області, що скидає очищені стічні води у річку Південний Буг. Запроєктовані споруди повинні гарантувати приймання розрахункових об'ємів побутових і виробничих стоків, їх транспортування, очищення до нормативних показників та екологічно безпечне відведення у водотік-приймач.

Метою кваліфікаційної роботи є проєктування системи водовідведення населеного пункту, що охоплює зовнішню каналізаційну мережу, головну насосну станцію, комплекс споруд механічного й біологічного очищення стічних вод, їх знезараження та оброблення утвореного осаду [6].

Для досягнення поставленої мети розв'язано такі завдання: обґрунтовано вибір системи та схеми водовідведення; визначено розрахункові витрати стічних вод і виконано гідравлічний розрахунок мережі з побудовою поздовжніх профілів колекторів; запроєктовано головну насосну станцію з підбором насосного устаткування; обчислено необхідний ступінь очищення та обґрунтовано технологічну схему очисної станції; розраховано споруди механічного,

біологічного очищення, знезараження й оброблення осаду; опрацьовано питання захисту трубопроводів від корозії та охорони навколишнього середовища.

Проектні рішення прийнято відповідно до вимог чинних будівельних норм, зокрема ДБН В.2.5-75:2013 «Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проєктування» [7, 8], з урахуванням природно-кліматичних і гідрологічних особливостей району будівництва.

Практична цінність роботи полягає в тому, що прийняті технічні та технологічні рішення забезпечують очищення стічних вод до показників, які задовольняють умови скиду у річку Південний Буг без потреби в доочищенні, а також передбачають заходи з підвищення довговічності й надійності каналізаційних споруд.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

1.1 Природно-кліматичні умови

1.1.1 Кліматична характеристика району будівництва

Систему водовідведення розроблено для умовного міста Володимирівка - адміністративного центру Жуліновського району Миколаївської області. Місто розташоване в нижній течії річки Південний Буг, на її лівобережжі, у межах південної степової зони України. Чисельність населення становить близько 54,9 тис. осіб, що узгоджується з розрахунковим населенням, прийнятим у роботі. Забудова переважно сельбищна мало- та середньоповерхова; у відокремленій промисловій зоні розташовані борошномельний завод і залізничне депо, стоки яких надходять до спільної мережі. Природно-кліматичні, геологічні та гідрогеологічні умови майданчика безпосередньо визначають глибину закладання трубопроводів, конструкцію основ і вибір протикорозійних заходів, тому їх розглянуто докладно.

У кліматичному відношенні району притаманний помірно континентальний клімат із тривалим жарким посушливим літом та порівняно м'якою малосніжною зимою. Середньорічна температура повітря становить близько +10,0 °С; середня температура найхолоднішого місяця (січня) дорівнює -3,4 °С, найтеплішого (липня) - +23,3 °С. Абсолютний мінімум сягає -30 °С, абсолютний максимум - +39 °С. Тривалість безморозного періоду становить близько 200-210 діб, а сума активних температур (понад +10 °С) перевищує 3200 °С, що характеризує район як теплозабезпечений.

Річна сума атмосферних опадів невелика - близько 480 мм, з максимумом у теплий період року, коли опади випадають переважно у вигляді короткочасних злив. Через те що випаровуваність перевищує суму опадів, район характеризується недостатнім зволоженням, що враховують під час розрахунку дощової мережі та озеленення території. Сніговий покрив нестійкий і маломіцний, із середньою висотою 8-12 см. Переважають вітри східних і північно-східних напрямків узимку та південних - улітку; середня річна швидкість вітру 4-5 м/с.

Розрахункові кліматичні параметри (температури, опади, вітрове й снігове навантаження, глибину промерзання) приймають згідно з ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія» [11]. Нормативна глибина сезонного промерзання суглинистих ґрунтів для південної степової зони становить близько 0,8 м; у гідравлічних розрахунках мережі прийнято з певним запасом $h_{\text{пром}} = 1,0$ м. З огляду на незначне промерзання закладання самопливних колекторів призначають насамперед з умов захисту від механічних навантажень і забезпечення потрібних ухилів, а не з умов теплозахисту.

У геоморфологічному відношенні територія належить до Причорноморської низовини і є слабкохвилястою лесовою рівниною, розчленованою балками та долиною Південного Бугу. Поверхня має пологий ухил (у середньому 1-3 %) у бік річки; абсолютні позначки поверхні землі в межах міста змінюються приблизно від 100 до 116 м. Саме такий рельєф з рівномірним падінням до водотоку уможливорює максимальне охоплення території самопливною мережею та обґрунтовує прийняту пересічену схему водовідведення.

У геоструктурному відношенні майданчик приурочений до південного схилу Українського кристалічного щита, що поступово занурюється в бік Причорноморської западини. Кристалічний фундамент (граніти, гнейси) залягає на значній глибині й перекритий потужною товщею осадових відкладів неогену та антропогену. Узагальнений інженерно-геологічний розріз майданчика, прийнятий за матеріалами вишукувань, наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Узагальнений інженерно-геологічний розріз майданчика

Вік відкладів	Назва ґрунтів	Потужність, м	Стисла характеристика
e Q	Ґрунтово-рослинний шар (чорнозем південний)	0,3-0,5	родючий, підлягає зрізанням та складуванню
vd Q	Леси і лесоподібні суглинки	8-18	палево-жовті, макропористі, просадні (I тип)
N ₂	Глини червоно-бурі	3-6	щільні, тугопластичні, відіграють роль водотриву
N ₁	Вапняки-черепашники понтичні	5-12	тріщинуваті, частково обводнені
N ₁	Піски та глини меотис-сармату	> 10	дрібнозернисті водоносні піски

Несучим шаром в основі мережі та більшості споруд слугують лесоподібні суглинки. Їхньою істотною особливістю є просадність: за додаткового зволоження під навантаженням вони дають додаткові осідання. Майданчик віднесено до I типу ґрунтових умов за просадністю, тому під відповідальні споруди (первинні та вторинні відстійники, метантенки, насосну станцію) передбачають протипросадні заходи - ущільнення основи, влаштування ґрунтових подушок та надійний відвід поверхневих і технологічних вод. Розрахунковий опір лесоподібних суглинків у природному заляганні орієнтовно становить $R_0 = 150-200$ кПа; остаточні значення уточнюють за результатами інженерно-геологічних вишукувань на конкретному майданчику.

Гідрогеологічні умови визначаються наявністю першого від поверхні водоносного горизонту, приуроченого до лесових суглинків і неогенових пісків. Рівень ґрунтових вод за даними вишукувань залягає на глибині близько 4,0 м; сезонні коливання рівня становлять $\pm 0,5-1,0$ м. Живлення горизонту відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів і втрат із водонесних комунікацій, а розвантаження - у долину Південного Бугу. Слід ураховувати, що витoki зі стічних мереж здатні спричинити підняття рівня ґрунтових вод і активізацію просадних процесів, тому для заглиблених споруд передбачають гідроізоляцію, а за потреби - дренаж.

За хімічним складом ґрунтова вода прісна, гідрокарбонатно-кальцієві; за наявними даними вони неагресивні до бетону та сталі. Попри це, ступінь агресивності ґрунтового середовища до бетонних і залізобетонних конструкцій належить уточнювати за вмістом сульфатів і показником рН відповідно до ДСТУ Б В.2.6-145:2010. Прийняті в роботі поліетиленові трубопроводи до дії ґрунтових вод хімічно стійкі (див. підрозділ 3.2).

Поверхневі ґрунти представлені переважно південними чорноземами, які мають сільськогосподарську цінність; родючий шар перед початком робіт знімають і складають для подальшої рекультивації (див. 3.3.3). За сейсмічним районуванням згідно з ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво в сейсмічних районах України» територія характеризується розрахунковою сейсмічністю 6 балів, що враховують під час конструювання споруд.

Підсумовуючи, природні умови майданчика загалом сприятливі для влаштування системи водовідведення: рівнинний рельєф із пологим падінням до річки забезпечує самопливний режим мережі, а неагресивність ґрунтових вод у поєднанні із застосуванням поліетиленових труб спрощує протикорозійний захист. Водночас наявність просадних лесових ґрунтів і неглибоке залягання ґрунтових вод вимагають ретельного ущільнення основ, гідроізоляції заглиблених споруд та організованого відведення води, що враховано в подальших розділах роботи.

1.1.2 Характеристика водотоку-приймача стічних вод

Приймачем очищених стічних вод проєктованого міста є річка Південний Буг - найбільша з річок, басейн яких цілком лежить у межах України. Її довжина становить 806 км, а площа водозбірного басейну - близько 63 700 км². Витоки річки розташовані на Волино-Подільській височині поблизу села Холодець Хмельницької області, а гирло - у Дніпро-Бузькому лимані Чорного моря; на своєму шляху Південний Буг перетинає лісостепову та степову фізико-географічні зони.

Гідрографічна мережа басейну розвинена нерівномірно: у ньому налічується 6594 водотоки, серед яких переважають малі річки (6582), тоді як середніх - 11, а великих - лише одна. Сумарна довжина річок сягає 22,4 тис. км за густоти мережі 0,35 км/км². Характерною рисою є висока зарегульованість стоку: у басейні споруджено понад 8 тис. штучних водойм сумарним об'ємом близько 1,5 км³, у тому числі 188 водосховищ, з яких 16 руслових розташовані безпосередньо на Південному Бузі. Живлення річки змішане з переважанням снігового складника навесні та дощового - влітку; частка підземного стоку незначна.

Метою гідрологічних розрахунків є визначення характеристик річкового стоку, потрібних для водогосподарських обґрунтувань та оцінки умов скиду очищених стічних вод у створі випуску.

Норму стоку визначено за картою ізоліній середньобаторічного модуля стоку. Для розглядуваного створу модуль стоку прийнято $M_0 = 0,6$ л/(с·км²), а площу водозбору до створу випуску - $F = 53\,700$ км² (менша за повну площу

басейну, оскільки створ розташований вище гирла). Середньобагаторічну витрату обчислюють за залежністю:

$$Q_0 = M_0 \cdot F / 1000 = 0,6 \cdot 53700 / 1000 = 32,22 \text{ м}^3/\text{с} \quad (1.1)$$

Річний об'єм стоку визначають за формулою:

$$W_0 = Q_0 \cdot T = 32,22 \cdot 31,56 \cdot 10^6 = 1016,86 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{рік} \quad (1.2)$$

де T - кількість секунд у році, $T = 31,56 \cdot 10^6 \text{ с}$.

Коливання річкового стоку мають випадковий характер і зумовлені кліматичними та гідрогеологічними чинниками, тому розрахункові витрати визначають методами математичної статистики - за кривими забезпеченості. Забезпеченістю витрати називають імовірність того, що середньорічна витрата дорівнюватиме заданій величині або перевищить її. Ординати теоретичної кривої обчислюють за виразом:

$$Q_p = Q_0 \cdot (\Phi_p \cdot C_v + 1) = Q_0 \cdot K_p \quad (1.3)$$

де Φ_p - число Фостера-Рибкіна, що приймають за таблицями залежно від забезпеченості P та коефіцієнта асиметрії C_s ; C_v - коефіцієнт варіації (мінливості) річного стоку, $C_v = 0,8$; C_s - коефіцієнт асиметрії, $C_s = 2C_v = 1,6$; K_p - модульний коефіцієнт стоку. Результати розрахунку у таблиці 1.2. .

Таблиця 1.2 - Ординати теоретичної кривої забезпеченості

P, %	Φ_p	K_p	$Q_p, \text{ м}^3/\text{с}$
1	3,39	3,61	109,6
5	1,96	2,25	72,43
10	1,33	1,87	60,28
25	0,46	1,33	42,90
50	-0,25	0,86	27,82
75	-0,73	0,52	16,72
85	-0,90	0,38	12,32
90	-0,99	0,31	10,02
95	-1,10	0,22	7,09
97	-1,14	0,17	5,41

Проектований об'єкт відносять до I категорії надійності, для якої розрахунковою приймають забезпеченість $P = 95\%$; їй відповідає витрата $Q_{95} = 7,09$ м³/с. За даними таблиці 1.2 побудовано криву забезпеченості (рисунок 1.1).

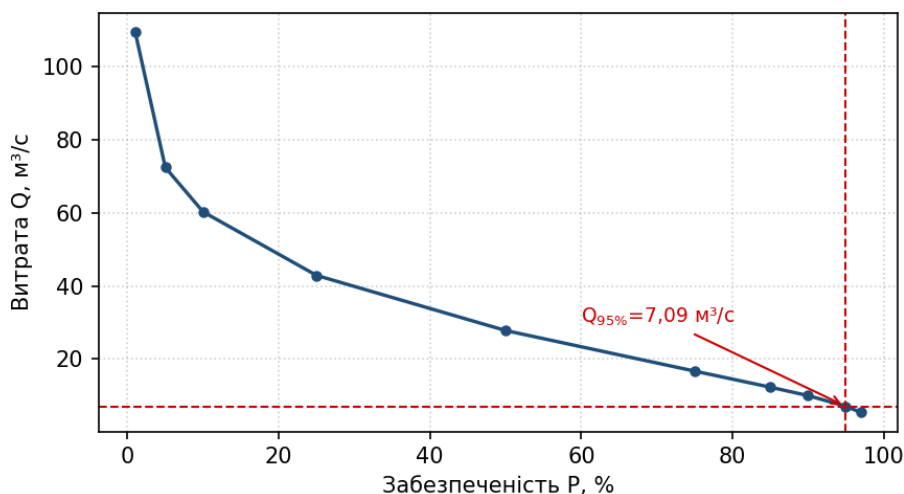


Рисунок 1.1 - Крива забезпеченості річкового стоку

Окрім середньорічної витрати заданої забезпеченості, для оцінки умов скиду потрібен внутрішньорічний розподіл стоку, який подають у відсотках від річного значення та ілюструють гідрографом. Середньомісячну витрату обчислюють за формулою:

$$Q_{\text{міс}} = 365 \cdot Q_{95} / 30 = 365 \cdot 7,09 / 30 = 86,24 \text{ м}^3/\text{с} \quad (1.4)$$

Витрату за кожний місяць визначають із співвідношення:

$$Q'_{\text{міс}} = Q_{\text{міс}} \cdot K_i / 100 \quad (1.5)$$

де K_i - середньомісячний модульний коефіцієнт, який приймають за таблицями залежно від природної зони (для степової зони).

Таблиця 1.3 - Внутрішньорічний розподіл стоку ($P = 95\%$)

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$K_i, \%$	1,8	2,0	2,1	48,0	22,4	9,7	2,0	3,2	2,1	2,3	2,8	1,6
$Q'_{\text{міс}}, \text{м}^3/\text{с}$	1,55	1,72	1,81	41,4	19,32	8,37	1,72	2,76	1,81	1,98	2,41	1,38

Розподіл стоку протягом року наведено у вигляді гідрографа (рисунок 1.2); він засвідчує яскраво виражене весняне водопілля (квітень-травень) та глибоку літньо-осінню межень.

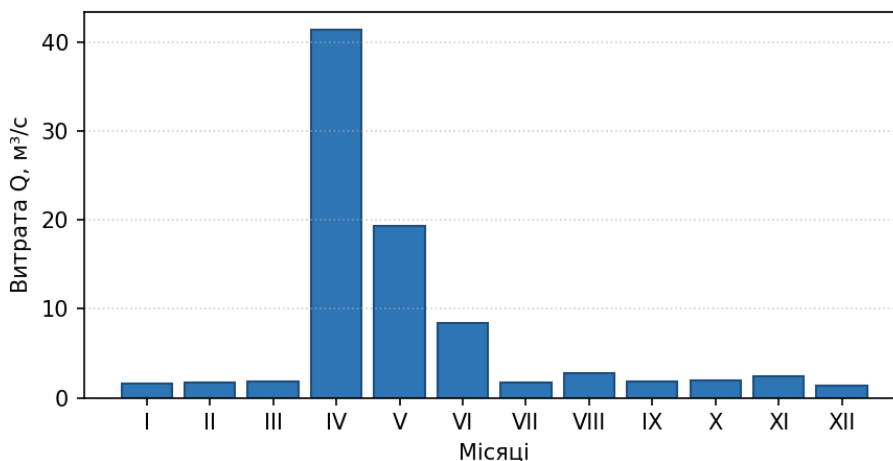


Рисунок 1.2 - Гідрограф річки за забезпеченості $P = 95 \%$

Можливість скиду очищених стічних вод оцінюють за коефіцієнтом гранично допустимого скиду, який визначають як відношення витрати стічних вод до мінімальної середньомісячної витрати річки:

$$\text{КГДС} = Q_{\text{с.в}} / Q_{\text{мін}} \cdot 100 \% = 0,341 / 1,38 \cdot 100 \% = 24,71 \% \quad (1.6)$$

де $Q_{\text{с.в}}$ - загальна витрата стічних вод, що підлягають очищенню та скиду, м³/с;
 $Q_{\text{мін}}$ - мінімальна середньомісячна витрата річки (грудень, таблиця 1.3), м³/с.

Із санітарно-екологічних міркувань допустимим вважають скид, за якого коефіцієнт КГДС не перевищує 20-25 % мінімальної витрати річки у маловодний рік. Одержане значення 24,71 % перебуває в межах допустимого, отже екологічні умови водовідведення задовольняються, а самоочисної здатності річки Південний Буг достатньо для прийняття очищених стічних вод міста без додаткового доочищення.

1.2 Стан питання

1.2.1 Актуальність улаштування системи водовідведення об'єкта

Організоване відведення стічних вод є невід'ємною умовою благоустрою сучасного населеного пункту. За відсутності централізованої каналізації побутові та виробничі стоки накопичуються на території забудови, проникають у ґрунт і ґрунтові води, створюючи загрозу поширення інфекційних захворювань та

забруднення джерел водопостачання. Тому спорудження системи водовідведення з повним циклом очищення безпосередньо забезпечує санітарно-епідемічну безпеку міста та охорону водотоку-приймача.

Для розглядуваного міста актуальність завдання посилюється близькістю річки Південний Буг: неочищені або недостатньо очищені скиди здатні швидко погіршити якість води у створі нижче випуску. Відтак проєктування мережі, насосної станції та очисних споруд, розрахованих на перспективні витрати, є нагальним інженерним завданням.

1.2.2 Аналіз існуючих рішень водовідведення

Вибір системи та схеми водовідведення є комплексним техніко-економічним та екологічним завданням, яке розв'язують з урахуванням рельєфу місцевості, санітарно-гігієнічних вимог, категорії водокористування водотоку-приймача, черговості будівництва та перспективного розвитку населеного пункту. Якщо донедавна вибір зводився переважно до порівняння будівельної вартості варіантів, то сучасна практика, передусім європейська, дедалі більше підпорядковує його вимогам захисту довкілля, керування дощовим стоком і відновлення ресурсів. Тому нижче розглянуто як класичну класифікацію систем, так і сучасні тенденції, що визначають проєктні рішення [1].

За способом сумісного або роздільного відведення окремих категорій стічних вод (побутових, виробничих, дощових) розрізняють такі системи водовідведення:

- загальносплавна - усі категорії стоків відводять єдиною мережею; з санітарного погляду сприятлива, бо весь стік (крім скидів через зливоспуски) надходить на очищення, проте потребує колекторів великого перерізу, має підвищену будівельну вартість і нерівномірний гідравлічний режим;

- повна роздільна - для кожної категорії стоків передбачають окремі мережі (з можливим об'єднанням виробничих із побутовими); забезпечує рівномірне наповнення труб, дає змогу вести будівництво чергами, проте збільшує сумарну довжину мереж та ускладнює прокладання на проїздах;

- неповна роздільна - побутові й виробничі стоки відводять мережею, а дощові скидають відкритими лотками без очищення; застосовна лише в невеликих населених пунктах через ризик забруднення водойми;

- напівроздільна - передбачає дві мережі з камерами-роздільниками, які спрямовують найбільш забруднені перші порції дощового стоку на очищення, а відносно чисті - скидають у водойму; екологічно вигідніша за загальносплавну за нижчого рівня забруднення водойми;

- комбінована - поєднує загальносплавну систему в одному районі з повною роздільною в іншому; характерна для великих міст, що історично розвивалися, з населенням понад 100 тис. осіб.

Більшість старих європейських міст (Лондон, Париж, Берлін, Відень) історично обладнані загальносплавними системами. Їхнім головним недоліком є переливи з загальносплавної каналізації під час інтенсивних дощів (combined sewer overflows, CSO), коли суміш господарсько-побутового та дощового стоку скидається у водойми неочищеною. Саме боротьба з такими залповими скидами стала однією з ключових причин перегляду європейського водного законодавства, тоді як у новій забудові перевагу дедалі частіше віддають роздільним системам, що дають змогу окремо керувати дощовим стоком і піддавати очищенню його найзабрудненішу частину.

Сучасна європейська концепція передбачає не просто відведення дощового стоку, а його сталий менеджмент за принципом затримання й очищення «у джерелі». Системи сталого дренажу (Sustainable Drainage Systems, SuDS) та синьо-зелена інфраструктура - біоретенційні смуги, проникні покриття, інфільтраційні басейни, дощові сади, акумулювальні ставки та зелені дахи - зменшують пікові витрати, знижують навантаження на мережу й очисні споруди, поповнюють підземні води та пом'якшують ефект «теплових островів» у місті. Близькою за змістом є концепція «міста-губки» (sponge city), що набула поширення і поза межами Європи.

Чинною правовою основою у сфері відведення та очищення міських стічних вод у Європейському Союзі є Директива (ЄС) 2024/3019 про очищення міських стічних вод (recast), ухвалена 27 листопада 2024 року; вона замінює Директиву

91/271/ЄЕС і застосовується з 1 серпня 2027 року. Серед її ключових нововведень - поширення вимог щодо збирання та очищення стоків на агломерації від 1000 еквівалентних мешканців, обов'язкове складання планів інтегрованого управління міськими стічними водами для обмеження переливів дощового стоку, запровадження додаткового (четвертинного) ступеня очищення для видалення мікрозабруднень, посилені вимоги до вилучення біогенних елементів, а також поетапне досягнення енергетичної нейтральності сектора (з орієнтиром на середину 2040-х років) за рахунок, зокрема, виробництва біогазу з осаду. Україна, відповідно до Угоди про асоціацію з ЄС та Водної рамкової директиви 2000/60/ЄС, поступово гармонізує національне законодавство з цими вимогами.

Поряд із класичними самопливними мережами в європейській і світовій практиці застосовують альтернативні технології збирання стоків. Вакуумна каналізація транспортує стоки за рахунок розрідження, а напірна (тиснева) - за допомогою малогабаритних насосних модулів на ділянках абонентів. Такі системи доцільні на пласкому рельєфі, за високого рівня ґрунтових вод, у розосередженій малоповерховій або курортній забудові та на природоохоронних територіях: вони використовують труби малого діаметра, потребують меншого обсягу земляних робіт і виключають інфільтрацію, хоча й вимагають витрат енергії та кваліфікованого обслуговування. У периферійних районах дедалі ширше впроваджують децентралізовані (локальні) очисні споруди як доповнення до централізованої схеми.

Окремий сучасний напрям - перехід від простого знешкодження стоків до відновлення ресурсів у руслі циркулярної економіки: виробництво біогазу під час зброджування осаду, вилучення біогенних елементів (передусім фосфору), а також повторне використання очищеної води для зрошення та технічних потреб. Передбачене в цій роботі анаеробне зброджування осаду з утилізацією біогазу безпосередньо відповідає цьому напрямку та узгоджується з європейським курсом на енергетичну ефективність очисних споруд.

За конфігурацією трасування головних колекторів відносно водотоку-приймача розрізняють такі схеми водовідведення:

- перпендикулярна - колектори басейнів трасують перпендикулярно до напрямку течії; застосовна для стоку, що не потребує очищення;
- пересічена (перехоплювальна) - колектори перехоплює головний колектор, прокладений паралельно річці; застосовна за пологого падіння рельєфу до водойми та потреби в очищенні стоків;
- паралельна (віялова) - застосовна за різкого падіння рельєфу; дає змогу уникнути надмірних швидкостей у колекторах;
- зонна (поясна) - територію поділяють на самопливну верхню та перекачувану нижню зони;
- радіальна - децентралізоване очищення на двох і більше станціях; застосовна у великих містах зі складним рельєфом.

Узгоджуючи наведений аналіз із умовами проєктованого міста Володимирівка, для нього прийнято повну роздільну систему водовідведення та пересічену схему трасування. Повна роздільна система забезпечує рівномірний гідравлічний режим побутово-виробничої мережі, уможлиблює поетапне будівництво й окреме керування дощовим стоком, а отже узгоджується із сучасною європейською практикою та залишає простір для подальшого впровадження елементів сталого дренажу. Пересічена схема відповідає пологому падінню рельєфу до Південного Бугу. З огляду на віднесення річки до водойм питного водокористування передбачено повне біологічне очищення з ультрафіолетовим знезараженням, а збродження осаду з виробництвом біогазу відповідає курсу на енергоефективність, закладеному Директивою (ЄС) 2024/3019. Детальне обґрунтування й вибір цих рішень наведено в підрозділі 1.3.

1.3 Обґрунтування проєктних рішень

1.3.1 Аналіз завдання кваліфікаційної роботи

Завданням роботи передбачено розроблення системи водовідведення міста у Миколаївській області з відведенням очищених стічних вод у річку Південний Буг. Проєкт має охоплювати повний технологічний ланцюг: збирання та транспортування стоків самопливною мережею, їх перекачування головною

насосною станцією, очищення на спорудах механічного й біологічного очищення, знезараження та оброблення осаду. Прийняті рішення повинні відповідати чинним нормам проєктування каналізаційних систем і забезпечувати скид у водотік без перевищення гранично допустимих концентрацій забруднень [4].

1.3.2 Вибір системи та схеми водовідведення

З урахуванням санітарних вимог, можливості поетапного будівництва та забезпечення стабільного гідравлічного режиму для проєктованого міста прийнято повну роздільну систему водовідведення: побутові та виробничі стічні води відводять єдиною мережею, тоді як дощовий стік відокремлено в самостійну мережу.

Схему трасування мережі визначають рельєф місцевості, розташування водотоку-приймача й очисних споруд, а також геологічні та гідрогеологічні умови. Оскільки поверхня території плавно знижується у бік річки, прийнято пересічену схему: колектори басейнів водовідведення трасують перпендикулярно до напрямку течії, а перехоплює їх головний колектор, прокладений паралельно річці. Головний колектор завершується головною насосною станцією, від якої стічні води напірними трубопроводами подаються на очисні споруди [10].

1.3.3 Вибір місця розташування очисної станції

Майданчик очисної станції розміщують нижче міста за течією річки, з підвітряного боку відносно житлової забудови, на ділянці з рельєфом, що забезпечує самопливний рух води спорудами. Таке розташування дає змогу організувати випуск очищених стічних вод у Південний Буг у створі нижче населеного пункту та витримати нормовані санітарно-захисні зони між очисними спорудами й житловою територією. Остаточне положення майданчика узгоджують із генеральним планом міста та межами зон санітарної охорони.

1.3.4 Загальна оцінка обсягів водовідведення

Сумарний об'єм стічних вод, що підлягають відведенню та очищенню, складається з побутового стоку житлових кварталів, виробничих стоків промислових підприємств і зосереджених витрат від окремих об'єктів. Попередня оцінка показує, що загальна витрата відповідає значенню $Q_{с.в} \approx 0,341 \text{ м}^3/\text{с}$, прийнятому в гідрологічному обґрунтуванні (формула 1.6); детальне визначення розрахункових витрат за категоріями споживачів та коефіцієнтами нерівномірності виконано у розділі 2 (підрозділ 2.1) [3].

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Визначення обсягів водовідведення

Обсяги стічних вод, на які проєктують споруди системи водовідведення, складаються з побутового стоку житлової забудови, виробничих стоків промислових підприємств та зосереджених витрат від окремих об'єктів. Розрахункові витрати визначають за нормами водовідведення та коефіцієнтами нерівномірності з подальшим підсумовуванням по розрахункових ділянках мережі.

2.1.1 Визначення розрахункових витрат побутових стічних вод

Розрахункову кількість мешканців, які обслуговуються ділянкою мережі, визначають за площею та щільністю житлової забудови:

$$N_p = F \cdot \rho \cdot \beta \quad (2.1)$$

де F - площа житлових кварталів за генеральним планом, га; ρ - щільність житлової забудови, ос./га; β - коефіцієнт забудови кварталу будівлями, $\beta = 0,8-0,9$.

Середні витрати побутових стічних вод обчислюють за питомим водовідведенням n , що приймають рівним питомому водоспоживанню (без поливу):

$$Q_{\text{сер.доб}} = n \cdot N_p / 1000; \quad q_{\text{сер}} = n \cdot N_p / (24 \cdot 3600) \quad (2.2)$$

Розрахунки виконано по ділянках бокового та головного колекторів із підсумовуванням бічних, попутних і транзитних витрат. Сумарна середня витрата побутових стічних вод міста становить $Q_{\text{сер.доб}} = 14\,995,85$ м³/добу, що відповідає секундній витраті $q_{\text{сер}} = 173,56$ л/с. Прийняті норми водовідведення диференційовано за зонами забудови (200, 260 та 300 л/(ос.·добу)) залежно від щільності населення.

2.1.2 Визначення витрат від промислових підприємств

У межах міста розташовано два промислові підприємства - борошномельний завод і залізничне депо. Загальну розрахункову витрату стоків підприємства складають із технологічного, побутового та душового складників:

$$Q_{\text{пп}} = Q_{\text{техн}} + Q_{\text{поб}} + Q_{\text{душ}} \quad (2.3)$$

Технологічну витрату визначають за об'ємом стоків за зміну та коефіцієнтом годинної нерівномірності виробництва; побутову - за нормами водовідведення на одного працівника холодних (25 л/зміну) і гарячих (45 л/зміну) цехів з коефіцієнтами нерівномірності 3,0 і 2,5 відповідно; душову - з розрахунку 500 л/год на одну сітку протягом 45 хв після зміни. Найбільші розрахункові витрати по підприємствах у зміну з максимальним числом працівників становлять близько 195,6 л/с (борошномельний завод) та 169,2 л/с (залізничне депо).

2.1.3 Визначення зосереджених витрат

Стоки промислових підприємств надходять у мережу як зосереджені витрати у вузлах приєднання. Сумарна зосереджена витрата, що додається до головного колектора в кінцевому вузлі перед головною насосною станцією, дорівнює 364,75 л/с. Виробничі стічні води приймаються до спільної мережі, оскільки не містять речовин, агресивних до матеріалу труб, вибухонебезпечних або токсичних сполук; за потреби передбачають локальне очищення на майданчику підприємства.

2.1.4 Побудова графіка надходження стічних вод

Для визначення максимальної, мінімальної та середньогодинної витрат, на які розраховують насосну станцію та споруди очищення, складено зведену відомість погодинного припливу стічних вод у приймальний резервуар. Враховано режим надходження побутового стоку міста (через коефіцієнт загальної нерівномірності), нерівномірний приплив технологічних і побутових стоків підприємств за змінами та надходження душових стоків у першу годину після кожної зміни. Сумарний добовий приплив становить 29 487,51 м³/добу,

максимальний годинний (період 8-9 год) - 1893,56 м³/год (526 л/с). Графік надходження наведено на рисунку 2.1.

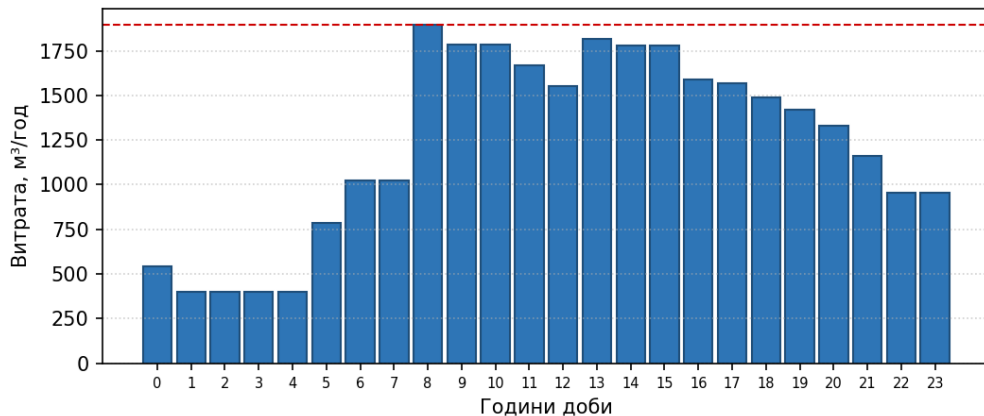


Рисунок 2.1 - Графік погодинного надходження стічних вод на головну насосну станцію

2.2 Трасування та проєктування водовідвідної мережі

2.2.1 Вибір системи водовідведення

Система водовідведення обирається на основі техніко-економічних порівнянь, з урахуванням рельєфу місцевості і санітарно-гігієнічних вимог.

Загальносплавна система водовідведення має одну мережу для відводу побутових, виробничих та дощових стічних вод і, з санітарної точки зору, найкраще, бо всі стічні води, за винятком тих, які скидаються через зливоспуски, надходять до водойми після обробки їх на очисних спорудах.

Недоліки:

- висока будівельна вартість у зв'язку зі збільшенням перерізу колекторів;
- великі експлуатаційні витрати за наявності районних насосних станцій;
- аномальний гідравлічний режим роботи колекторів (нормальний режим можливий під час випадіння дощів).

Повна роздільна система передбачає самостійні мережі для роздільного водовідведення стічних вод усіх категорій, можливе об'єднання виробничо-побутових, виробничо-дощових стічних вод.

Усі мережі, серед них і дощові, закінчуються очисними спорудами перед випуском стічних вод у водоймище.

З санітарної точки зору, повна роздільна система менш припустима, ніж попередня, якщо скид дощових вод до водойми проектується без очищення.

Переваги цієї системи:

- зниження попередніх витрат на будівництво за рахунок черговості;
- забезпечення нормального гідравлічного режиму роботи мережі завдяки рівномірному наповненню труб побутовими стоками упродовж доби.

Недоліки:

- збільшення вартості будівництва через роздільне прокладання мереж для побутових і дощових вод;
- збільшення площ для прокладання мереж;
- ускладнення виробництва робіт на проїздах населених пунктів.

Неповна роздільна система застосовується для відводу побутових або виробничо-побутових стічних вод однією мережею. Дощові води стікають природним шляхом кюветами і без очищення надходять у водойму.

Недоліки цієї системи, з санітарної точки зору:

- забруднення водоймища дощовими водами;
- можливість затоплення ними проїздів та підземних приміщень.

Незважаючи на меншу вартість неповної роздільної системи порівняно із загально сплавною і повною, її застосовують тільки в невеликих населених пунктах.

Напівроздільна система передбачає дві мережі: одну - для відведення побутових та виробничих стічних вод, другу - дощових. З використанням камер інтерцепторів перші порції найбільш забруднених дощових вод автоматично направляються в мережу побутових і виробничих стоків і далі - на очисні споруди. Наступні, порівняно чисті, - скидаються без очищення у водоймище.

З санітарних міркувань, напівроздільна система більш припустима, бо дозволяє знизити ступінь забруднення водоймища.

В економічному відношенні вона вигідніша, ніж загальносплавна, тому що очисні споруди можуть бути менших розмірів і, таким чином, вона дешевша.

Комбінована система водовідведення являє собою загальносплавну систему в одному районі міста, повну роздільну - в іншому, і характерна для міст, які розвиваються, з числом мешканців понад 100тис.

Остаточний вибір системи водовідведення не може бути виконаний без урахування санітарно-гігієнічних вимог, але основними показниками є наведені витрати, а також собівартість відведення й очищення 1м^3 стічних вод.

У дипломному проекті була прийнята повна роздільна система - відведення виробничих і побутових стічних вод міста однією мережею.

2.2.2 Вибір схеми водовідведення

Схеми водовідведення мереж міста залежить від:

- рельєфу місцевості;
- розташування водоймища, якщо водоймище - річка, то і від напрямку течії;
- розташування очисних споруд, до яких має забезпечуватися транспортування стічних вод;
- геологічних та гідрогеологічних умов будівництва трубопроводів.

Вони підрозділяються на:

перпендикулярну - колектори басейнів водовідведення трасуються перпендикулярно до напрямку течії води у водоймищі. Таку схему застосовують при ухилі поверхні землі до водоймища і при відводі стічних вод, які не потребують очищення (дощові, умовно чисті);

пересічену - колектори басейнів водовідведення трасуються перпендикулярно до течії води у водоймищі і перехоплюються головним колектором, трасування якого здійснюється паралельно до річки. Таку схему застосовують при плавному падінні рельєфу місцевості до водоймища і необхідності очищення стічних вод;

паралельну (віялову) - колектори басейнів водовідведення трасуються паралельно або під невеликим кутом до напрямку течії води у водоймищі і перехоплюються головним колектором, який транспортує стічні води до очисних споруд перпендикулярно до напрямку течії води у водоймищі. Цю схему

застосовують при різкому падінні рельєфу місцевості до водоймища. Вона дозволяє уникнути в колекторах підвищення швидкості руху води, яке спричиняє руйнування трубопроводів;

зонну (поясну) - територія, що обслуговується, розбивається на дві зони: з верхньої - стічні води відводяться до очисних споруд самопливом, з нижньої - перекачуються насосною станцією. Кожна зона має схему, аналогічну одній із наведених вище. Зонну схему застосовують при невеликому або помірному падінні рельєфу місцевості до водоймища і відсутності можливості відводу стічних вод з частини території самопливом;

радіальну - очищення стічних вод здійснюється на двох або більше очисних станціях. Ця схема мережі обумовлена наявністю децентралізованої схеми водовідведення. Її використовують при складному рельєфі місцевості та у великих містах.

Схема водовідведення в даному місті Миколаївської області прийнята пересічена, тому що рельєф місцевості плавно знижується до річки. Колектори басейнів водовідведення трасуються перпендикулярно до течії води в річці і перехоплюються головним колектором, який трасується паралельно до річки.

Головний колектор закінчується головною насосною станцією, від якої стічні води напірними трубопроводами прямують до очисних споруд.

2.2.3. Умови приймання стічних вод у водовідвідні мережі

Умови приймання стічних вод у водовідвідні мережі визначаються, виходячи зі складу забруднень і доцільності сумісного очищення побутових, виробничих і дощових вод на одних очисних спорудах [18].

Виробничі стічні води можуть бути прийняті в роздільну або загальну сплавну мережу, якщо не містять забруднень, що викликають корозію матеріалів труб, не утворюють вибухонебезпечних сумішей, не токсичні, тобто не діють пригнічувально на процеси очищення стічних вод.

Не припускається скидання стічних вод без попереднього очищення підприємствами важкої промисловості, заводами чорної металургії, рудозбагачувальними фабриками і хімічними комбінатами.

У міській водовідвідній мережі не приймаються (без попереднього очищення) стічні води, які містять жири, масла, смоли, бензин, нафтопродукти, нерозчинні домішки з великою питомою вагою, а також волоконні та об'ємні домішки, котрі засмічують мережі й ускладнюють роботу насосних станцій [9].

Стічні води, що приймаються до мережі, не повинні:

- порушувати роботу мереж і споруд;
- містити більше 500мг/л завислих і спливових речовин;
- містити речовини, здатні засмічувати труби або відкладатися на їх стінках;
- справляти руйнівну дію на матеріал труб;
- містити горючі домішки, здатні утворювати вибухонебезпечні суміші в мережах і спорудах;
- містити шкідливі речовини в концентраціях, які заважають біологічному очищенню стічних вод або скиду їх до водойми;
- мати температуру вище 40⁰С.

2.2.4 Трасування вуличної мережі та колекторів

Проектування виробничо-побутової водовідвідної мережі було розпочато з розбивки території міста на басейни каналізування, межами яких є природні водорозділи. Місто має плоский рельєф місцевості й одноманітний ухил, тому є можливість найбільшого охоплення самопливною мережею. Було враховано, що трасування мережі залежить від рельєфу місцевості, геологічних і гідрогеологічних умов і значною мірою визначається місцем розташування очисних споруд. Спочатку було нанесено на план головний колектор, який прокладається уздовж ріки. Після чого на плані були трасовані бокові колектори. При цьому було спрямовано найкоротшим шляхом і самопливом відведено стічні води до головного колектора.

2.3 Гідравлічний розрахунок водовідвідної мережі

2.3.1 Визначення розрахункових витрат на ділянках

Для визначення середніх витрат у першу чергу було обчислено площі житлових кварталів (га), і позначено на генеральному плані міста. Потім на план нанесено виробничо-побутову мережу. Розрахункові боковий і головний колектори. Для цього розбиваємо їх на розрахункові ділянки. Середню витрату побутових стічних вод для кожної ділянки колектора було знайдено як суму бокових і попутних витрат, які визначаються за розрахунковим населенням.

Розрахункове населення, N_p , чол.

$$N_p = F \times \rho \times \beta, \quad (2.3)$$

де: F – площа житлових кварталів, га, визначається за генеральним планом;

ρ – щільність житлової забудови, чол./га ;

β – коефіцієнт, що враховує забудову кварталу будівлями, 0,8 - 0,9[7].

Визначення середніх витрат побутових стічних вод від населення міста:

- добових, м³/добу:

$$Q_{\text{сер.доб.}} = \frac{n \times N_p}{1000}, \quad (2.4)$$

- годинних, м³/год:

$$Q_{\text{сер.год.}} = \frac{n \times N_p}{24 \times 1000}, \quad (2.5)$$

- секундних, л/с:

$$q_{\text{сер.с}} = \frac{n \times N_p}{24 \times 3600}, \quad (2.6)$$

де: n – питома середньодобове (за рік) водовідведення на 1 мешканця або норма водовідведення, л/(чол.* добу).

Усі розрахункові дані з визначення середніх витрат побутових стічних вод наведені у таблиці 2.1.

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

№ розрахункових ділянок	№ житлових кварталів,	Параметри розрахунків					Питоме водовідведення $n, л/чол \times$ доб	Середні витрати		
		Тип витрати	Площа кварталів $F, га$	Щільність забудови $P, чол/га$	коєф β	Розрах. населення $N_p, чол$		Добові $Q_{доб}, м^3/доб$	Годинні $Q_{год}, м^3/год$	Секундні $q, л/с$
1,2	81; 87	бокові	4,88	200	0,9	878	260	228,38	9,52	2,64
2,3	82; 88	бокові	4,88	200	0,9	878	260	228,38	9,52	2,64
3,4	83; 89	бокові	4,88	200	0,9	878	260	228,38	9,52	2,64
4,5	84; 90	бокові	4,88	200	0,9	878	260	228,38	9,52	2,64
5, I	85; 91	бокові	4,07	200	0,9	733	260	190,48	7,94	2,20
								1104,01	46,00	12,78
I-II	86; 92	бок	4,07	200	0,9	733	260	190,48	7,94	2,20
	-	попут	-	-	-	-	-	-	-	-
II-III	71-75; 76-80,	бок	33,09	200	0,9	5956	260	1548,61	64,53	17,92
	65; 70	попут	4,07	280	0,9	1026	300	307,69	12,82	3,56
III-IV	61-64; 66-69,	бок	27,6	280	0,9	6955	300	2086,56	86,94	24,15
	54	попут	2,24	280	0,9	564	300	169,34	7,06	1,96
IV-V	47-53; 55-60,	бок	37,62	280	0,9	9480	300	2844,07	118,50	32,92
	42	попут	1,74	280	0,9	438	300	131,54	5,48	1,52
V-Vi	35-41; 43-46,	бок	29,17	280	0,9	7351	300	2205,25	91,89	25,52
	27; 34	попут	4,07	200	0,9	733	260	190,48	7,94	2,20
VI-VII	21-26; 28-33;	бок	31,07	200	0,9	5593	260	1454,08	60,59	16,83
	9, 18	попут	5	130	0,8	520	200	104,00	4,33	1,20
VII-ГНС	1-8; 10 - 17	бок	46,29	130	0,8	4814	200	962,83	40,12	11,14
			249,62			48409		12194,94	508,12	141,15
								13298,95	554,12	153,92

2.3.2.Визначення розрахункових витрат промислових стічних вод

Розрахунок виробничо-побутової водовідвідної мережі був виконаний на розрахункові максимальні витрати, які визначаються від промислових підприємств та житлових кварталів міста.

Від промислового підприємства розрахункові витрати визначені за формулою, л/с:

$$q^{\text{ПП}} = q_{\text{техн}} + q_{\text{поб}} + q_{\text{душ}}, \quad (2.6)$$

1) $q_{\text{техн}}$ – розрахункова витрата технологічних стічних вод, л/с:

$$q_{\text{техн}} = \frac{q_{\text{зм}} \times K_{\text{год}}}{T \times 3,6}, \quad (2.7)$$

де: $q_{\text{зм}}$ – витрата технологічних стічних вод за зміну, м³/зм, що обчислюється згідно з розподілом за змінами у відсотках від добової витрати $Q_{\text{ПП}}$, м³/добу, стічних вод підприємства;

$K_{\text{год}}$ – коефіцієнт годинної нерівномірності технологічного водовідведення, залежить від галузі виробництва;

T – тривалість зміни, год.

2) $q_{\text{поб}}$ – витрата побутових стічних вод підприємства:

- у зміну, м³/зм:

$$Q_{\text{зм}} = \frac{n_1 \times N_1 + n_2 \times N_2}{1000}, \quad (2.8)$$

- у секунду, л/с:

$$q_{\text{поб}} = \frac{n_1 \times N_1 \times K_1 + n_2 \times N_2 \times K_2}{T \times 3600}, \quad (2.9)$$

де: n_1, n_2 – норма водовідведення на одного працюючого у зміну у холодних цехах і цехах з підвищеним тепловиділенням, $n_1 = 25, n_2 = 45$ л/(чол. зміну) [7];

N_1, N_2 – число працюючих у зміну в холодних і гарячих цехах, чол.;

K_1, K_2 – коефіцієнти годинної нерівномірності водовідведення для холодних цехів $K_1 = 3,0$ для цехів з високим тепловиділенням $K_2 = 2,5$ [7];

T – тривалість зміни, год.

3) $q_{\text{душ}}$ – розрахункові витрати душових стічних вод, л/с:

$$q_{\text{душ}} = \frac{c \times n_{\text{душ}}}{3600}, \quad (2.10)$$

де: $n_{\text{душ}}$ – норма водовідведення душових стічних вод, 500 л/год на 1 сітку протягом 45 хв після закінчення зміни, л/с [7] ;

c – кількість душових сіток залежить від кількості робітників $N_{\text{душ}}$, які користуються душем у зміну з максимальним числом працюючих, і кількості робітників, які користуються однією сіткою N_c .

$$c = \frac{N_{\text{душ}}}{N_c}. \quad (2.11)$$

Визначені розрахункові витрати стічних вод від промислових підприємств наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Визначення середніх витрат стічних вод від промислових підприємств

№ п/п	№ зміни	Години роботи	Кількість робітників, чол.			Виробничі стоки, $q_{\text{техн.}}$		Побутові стоки, $q_{\text{поб}}$						Душові стоки, $q_{\text{душ}}$			Загально розрахункова витрата $q^{\text{пн}}$, л/с
			по змінах	У холодних цехах, N_1	У гарячих цехах, N_2	Розрахункова витрата за зміну, $\text{м}^3/\text{зм}$	Розрахункова витрата, л/с	Холодні цехи			Гарячі цехи			Число душових сіток, С	Норма водовідведення, $n_{\text{душ}}$, л/гол	Розрахункова витрата, л/с	
								Норма водовідведення, n , л/(чол·змін)	Коефіцієнт нерівномірності, К	Розрахункова витрата, л/с	Норма водовідведення, n , л/(чол·змін)	Коефіцієнт нерівномірності, К	Розрахункова витрата, л/с				
1	I	8 - 16	2580	1548	1032	3600	187,5	25	3	4,03	45	2,5	4,03	-	-	-	195,56
	II	16 - 24	1720	1032	688	2400	125,0	25	3	2,69	45	2,5	2,69	232,2	500	32,3	162,63
	III	0 - 8												154,8	500	21,5	21,50
Σ			4300			6000											379,69
2	I	8 - 16	1440	1008	432	3600	162,5	25	3	2,63	45	2,5	1,69	17,1	500	2,4	169,19
	II	16 - 24	1280	896	384	3200	144,4	25	3	2,33	45	2,5	1,50	51,4	500	7,1	155,42
	III	0 - 8	480	336	144	1200	54,2	25	3	0,88	45	2,5	0,56	45,7	500	6,3	61,95
Σ			3200			8000											386,57

Примітки:

1-борошномельний завод;

2-залізничне депо.

2.3.3. Визначення розрахункових витрат побутових стічних вод від житлових кварталів міста

Відповідно до прийнятої пересіченої схеми водовідведення боковий та головний колектори розбитий на окремі розрахункові ділянки.

При визначенні розрахункової витрати побутових стічних вод підсумовано бокову, попутну і транзитну середні витрати відповідно до таблиці 1.1, знайдено середню витрату при урахуванні загального коефіцієнта нерівномірності $K_{gen.max}$.

Розрахункова витрата побутових стічних вод визначається, л/с:

$$Q_{max.сер.} = Q_{поб.сер.} \times K_{gen.max.} \quad (2.12)$$

де: $Q_{поб.сер.}$ – середня секундна витрата побутових ст. вод від міста, л/с.

Розрахункові витрати побутових стічних вод від житлових кварталів міста, а також виробничих - від підприємств занесені до таблиці 2.3, і визначені сумарні розрахункові витрати стічних вод міста.

Таблиця 2.3 - Визначення сумарних розрахункових витрат стічних вод від житлових кварталів та підприємств

№ розрахункових ділянок колектора	Середні витрати від населення, $Q_{поб.сер.}$, л/с				Загальний коефіцієнт нерівномірності, $K_{gen.max}$	Витрати, л/с		
	бокова	попутна	транзитна	загальна		Розрахункова від населення, $Q_{max.сер.}$	Зосереджена від підприємства, $Q_{п.п.}$	Сумарна розрахункова, Q , л/с
Боковий колектор								
1 - 2	3,17	-	-	3,17	2,50	7,93	169,19	177,12
2 - 3	3,17	-	3,17	6,34	2,39	15,16	169,19	184,35
3 - 4	3,17	-	6,34	9,52	2,14	20,36	169,19	189,55
4 - 5	3,17	-	9,52	12,69	2,05	26,01	169,19	195,20
5 - I	2,65	-	12,69	15,33	1,99	30,51	169,19	199,70
Головний колектор								
I - II	2,65	-	15,33	17,98	1,94	34,87	169,19	204,06
II - III	21,51	3,82	17,98	43,30	1,75	75,77	169,19	244,96
III - IV	25,88	2,10	43,30	71,27	1,66	118,32	169,19	287,51
IV - V	35,27	1,63	71,27	108,17	1,60	173,08	169,19	342,27
V - VI	27,35	2,65	108,17	138,17	1,59	219,69	169,19	388,88
VI - VII	20,20	1,48	138,17	159,84	1,58	252,55	169,19	421,74
VII - ГНС	13,72	-	159,84	173,56	1,58	274,22	364,75	638,97

2.3.4 Гідравлічний розрахунок самопливних колекторів

Для запобігання замулювання водовідвідних мереж було прийнято мінімальні припустимі швидкості руху стічних вод (v_{min} , м/с) залежно від діаметра труб і ступеня їх наповнення (h/d), тобто самоочисні швидкості [7].

При проектуванні водовідвідних колекторів була виконана основна вимога - забезпечення мінімального заглиблення колектора. У зв'язку з цим було запроєктовано колектори з нахилом рівним та близьким до нахилу поверхні землі.

При підборі за таблицями [22] діаметрів труб була дотримана умова зростання або постійності швидкостей від ділянки до ділянки.

З'єднання труб різних діаметрів виконується в оглядових колодязях за методом "шелига в шелигу".

2.3.5.Визначення глибини закладання головного і бокового колекторів

Мінімальна глибина закладання першого колодязя на початку внутрішньоквартальної мережі, м:

$$h_{min} = h_{пром} - a + d + \delta \geq (0,7 + d), \quad (2.13)$$

де: $h_{пром}$ – глибина промерзання ґрунту, [7] (для прийнятого району будівництва становить 1,0 м);

a – величина зменшення глибини закладання через плюсову температуру побутових стічних вод, $a = 0,3 \div 0,5$ м [7] ;

d – діаметр внутрішньоквартальної мережі, $d = 100$ мм ;

δ – товщина стінок труб, $\delta = 0,02$ м .

$$h_{min} = 1,0 - 0,3 + 0,1 + 0,02 = 0,82 \text{ м}$$

Мінімальна глибина закладання колодязя за умови приєднання внутрішньоквартальної мережі вуличної:

$$H_{min} = h_{min} + i_{min} \times (L + l_k) - (z_{п} - z_k) + \Delta d, \quad (2.14)$$

де: h_{min} – мінімальне заглиблення першого (найбільш віддаленого) колодязя внутрішньоквартальної мережі, м;

i_{min} – нахил труб внутрішньоквартальної мережі (при діаметрі 150-200мм $i_{min} = 0,007 \dots 0,01$) [7] ;

$L + l_k$ – довжина від найбільш віддаленого колодязя внутрішньоквартальної мережі до першого колодязя на вуличній, м;

$z_{п}, z_{к}$ – відмітки поверхні землі на початку і в кінці внутрішньоквартальної мережі, м;

Δd – перепад між діаметрами внутрішньоквартальної і вуличної мереж, м.

$$H_{min} = 0,82 + 0,01 \times (150 + 15) - (117,0 - 116,3) + 0,1 = 1,87 \text{ м}$$

Глибина закладання першого колодязя бокового колектора:

$$H_{min}^1 = H_{min} + i_{min} \times L - (z_{п} - z_{к}) + \Delta d , \quad (2.15)$$

де: H_{min} – глибина закладання колодязя за умови приєднання внутрішньоквартальної мережі вуличної;

i_{min} – нахил вуличного колектора;

L – довжина вуличного колектора;

$z_{п}, z_{к}$ – відмітки поверхні землі на початку і в кінці ділянки, м;

Δd – перепад між діаметрами вуличного і бокового колектора, м.

$$H_{min}^1 = 1,87 + 0,005 \times 350 - (116,3 - 115,65) + 0,15 = 3,12 \text{ м}$$

Усі дані розрахунку бокового та головного колекторів були занесенні до таблиці 1.4.

У розрахунковій точці 5(I) запроектовано перепадний колодязь-стояк з поворотом напрямку колектора в плані. Перепадний колодязь установлено також для зменшення швидкості течії стічних вод при зміні рельєфу.

За даними гідравлічного розрахунку, на підставі розрахункових даних, що були наведені у таблиці 2.4, виконано повздовжній профіль бокового та головного колекторів.

Таблиця 2.4 - Гідралічний розрахунок головного і бокового колекторів

№ розрахункових ділянок	Довжина ділянки, L, м	Сумарна розрах. витрата, Q, л/с	Діаметр труб, D, мм	Швидкість руху стоків, V, м/с	Наповнення труб, H / d	Нахил труб, i	Нахил землі, i _з	Падіння позначок лотків труб, L * i	Позначки по розрахункових ділянках мережі, м				Глибина закладання лотка, h, м	
									поверхні землі		лотка		на початку	в кінці
									на початку	в кінці	на початку	в кінці		
Боковий колектор														
1 - 2	180	177,12	500	1,44	0,6	0,0055	0,0053	0,99	115,65	114,7	112,53	111,54	3,12	3,16
2 - 3	180	184,35	500	1,50	0,6	0,0060	0,0067	1,08	114,7	113,5	111,54	110,46	3,16	3,04
3 - 4	180	189,55	500	1,54	0,6	0,0064	0,0106	1,15	113,5	111,6	110,46	109,31	3,04	2,29
4 - 5	155	195,20	500	1,58	0,6	0,0070	0,0077	1,09	111,6	110,4	109,31	108,22	2,29	2,18
5 - I	202	199,70	500	1,62	0,6	0,0075	0,0114	1,52	110,4	108,1	108,22	106,71	2,18	1,39
Головний колектор														
I - II	465	204,06	560	1,09	0,75	0,0025	0,0024	1,16	108,1	107,0	106,15	104,99	1,95	2,01
II - III	390	244,96	560	1,10	0,80	0,0025	0,0015	0,98	107,0	106,4	104,99	104,01	2,01	2,39
III - IV	230	287,51	630	1,16	0,80	0,0025	0,0022	0,58	106,4	105,9	103,94	103,37	2,46	2,53
IV - V	150	342,27	630	1,55	0,75	0,0045	0,0047	0,68	105,9	105,2	103,37	102,69	2,53	2,51
V - VI	385	388,88	630	1,56	0,80	0,0045	0,0047	1,73	105,2	103,4	102,69	100,96	2,51	2,44
VI - VII	460	421,74	630	1,64	0,80	0,0045	0,0046	2,07	103,4	101,3	100,96	98,89	2,44	2,41
VII - ГНС	365	638,97	800	1,66	0,75	0,0035	0,0033	1,28	101,3	100,1	98,72	97,44	2,58	2,66

2.3.6 Побудова поздовжніх профілів колекторів

Мінімальну глибину закладання вуличної мережі визначають з умов захисту труб від промерзання та механічних навантажень:

$$h_{\min} = h_{\text{пром}} - a + d + \delta \geq 0,7 + d \quad (2.16)$$

де $h_{\text{пром}}$ - глибина промерзання ґрунту (1,0 м); a - зменшення глибини за рахунок плюсової температури стоків, 0,3-0,5 м; d - діаметр труби; δ - товщина стінки.

Глибину закладання початкового колодязя бокового колектора одержано на рівні 3,12 м; уздовж колекторів глибина закладання змінюється в межах 1,4-3,2 м відповідно до рельєфу. У вузлі 5(І) запроєктовано перепадний колодязь-стояк, що зменшує швидкість потоку при зміні рельєфу та повороті траси. За даними гідравлічного розрахунку побудовано поздовжні профілі бокового та головного колекторів.

2.4.Трасування дощової водовідвідної мережі

Трасування дощової водовідвідної мережі було проведено з урахуванням рельєфу та загального нахилу місцевості, характеру планування, місць випусків дощових колекторів найкоротшим шляхом у найближчу водойму, насиченості території підземними комунікаціями та техніко-економічних розрахунків.

Вуличні колектори влаштуванні за охоплюючою схемою, дощові води приймаються з усіх чотирьох(трьох) сторін кварталу.

У поперечному перерізі проїзду дощові мережі розташовані таким чином: дощовий колектор проходить посередині проїжджої частини та з'єднується із дощоприймальниками, розташованими по краю проїжджої частини, з'єднувальними гілками. Нахил з'єднувальних гілок приймаються не менше 0,02. Глибина колодязя дощоприймальника обирається з умов промерзання ґрунту.

2.4.1. Визначення розрахункових витрат дощових стоків

Ґрунтуючись на метеорологічних параметрах, визначимо залежність інтенсивності дощу л/с, від його тривалості:

$$q_{в} = \frac{z_{mid} \times A^{1,2} \times F}{t_r^{1,2 \cdot n - 0,1}}, \quad (2.17)$$

де: z_{mid} – середньозважене значення коефіцієнта стоку поверхні басейну каналізування;

A, n – параметри, які залежать від району будівництва;

F – розрахункова площа стоку, га;

t_r – розрахункова тривалість дощу, яка дорівнює тривалості протікання поверхневих вод по поверхні та трубах до розрахункової ділянки, хв.

Параметр A визначається за формулою:

$$A = q_{20} \times 20^n \times \left(1 + \frac{\lg P}{\lg m_r}\right)^\gamma, \quad (2.18)$$

де: q_{20} – інтенсивність дощу, л/с на 1 га, для даної місцевості тривалістю 20 хв. при $P = 1$ рік, була визначено за рисунком 1 [7] і складає 75 л/с на 1 га;

n – показник ступеня, було визначено за табл. 4 [7], $n = 0,72$;

P – період одноразового перевищення розрахункової інтенсивності дощу, який був визначений за табл. 4 [7] $P = 1$;

m_r – середня кількість дощів за рік, була визначена за табл.4 [7], $m_r = 115$;

γ - показник ступеня, було визначено за табл. 4 [7], $\gamma = 2,22$.

Середньозважений коефіцієнт стоку z_{mid} визначено у залежності від коефіцієнта z , що характеризує поверхню басейну каналізування, та питомої частки, яку займають поверхні з різним видом покриття та забудови.

Площі, які мають зелені насадження і розташовані всередині кварталу(смуги бульварів, газони і т.п.), слід включати в розрахункову величину площі стоку і враховувати при визначенні коефіцієнта поверхні басейну.

Обчислення середньозваженого значення коефіцієнту стоку наведено у таблиці 2.6.

- Таблиця 2.5 - Середньозважене значення коефіцієнту стоку z_{mid}

Найменування покриття	Частка площі стоку a	z	$a \cdot z$
Покрівлі і асфальт	0,30	0,2752	0,0826
Булижні мостові	0,10	0,145	0,0145
Гравійні доріжки	0,15	0,09	0,0135
Грунтові поверхні	0,20	0,064	0,0128
Зелені насадження, газони	0,25	0,038	0,0095
Σ	1,00		0,1329

Примітка. Значення z були прийняті за [7].

Тоді $z_{mid} = \Sigma(a \cdot z) = 0,1329$.

Площі стоку F були визначені відповідно до схеми дощової мережі і розташування ліній вододілу. Окремі площі стоку, що тяжіють до різних ділянок колектора при обраному трасуванні колекторів, було визначено за методом бісектрис. Територію кварталів, які входять до басейну водовідведення, було розбито бісектрисами кутів на частини, при цьому також були враховані площі проїздів, що тяжіють до них. Потім було обчислено значення площі окремих частин кварталів і знайдено транзитну та прилеглу площі для кожної розрахункової ділянки.

Розрахункову тривалість протікання дощових вод по поверхні та трубах t_r , хв., було визначено за формулою:

$$t_r = t_{con} + t_{can} + t_p, \quad (2.19)$$

де: t_{con} – тривалість протікання дощового стоку від найбільш віддаленої точки кварталу до водостічного лотка (час поверхневої концентрації), 10хв.;

t_{can} – тривалість протікання дощових вод по водостічному лотку, в кінці якого розміщений дощеприймач, хв., визначається за формулою:

$$t_{can} = 0,021 \times \frac{l_{can}}{v_{can}}, \quad (2.20)$$

де: l_{can} – довжина лотка, м, була прийнята згідно [7] $l_{can} = 30$ м ;

v_{can} – швидкість руху води в кінці, м/с, прийнята за [7] $v_{can} = 0,7$ м/с ;

$$t_{can} = 0,021 \times \frac{30}{0,7} = 0,9 \text{ (хв)} \quad (2.21)$$

t_p – тривалість протікання дощових вод по розрахункових ділянках вуличного колектору, хв., визначається за формулою:

$$t_p = 0,017 \sum \frac{l_p}{v_p}, \quad (2.22)$$

де: l_p – довжина розрахункових ділянок колектора, м;

v_p – швидкість руху води на відповідній ділянці, м/с.

2.4.2. Гідравлічний розрахунок колекторів дощової мережі

Гідравлічний розрахунок колекторів дощової мережі проведено методом підбору. Спочатку для кожної ділянки було прийнято попередню швидкість протікання дощових вод v , м/с, знайдено час протікання по ділянці, потім додано час протікання по попередніх ділянках й отримано значення t_r . Для цього часу було знайдено значення q_B з урахуванням того, що $z_{mid} \cdot A^{1,2} = const$ для всіх ділянок колектора, після чого було визначено розрахункові витрати q_r .

$$q_r = q_B \times \beta \times K, \quad (2.23)$$

де: K – коефіцієнт, $K = 1$, бо $F < 300$ га [7] ;

β – коефіцієнт, що враховує заповнення вільної ємності мережі у мить виникнення напірного руху, що визначається за таблицею 5 [7] $\beta = 0,65$.

Діаметр трубопроводу підібрано при повному заповненні ($h/d=1$) і з урахуванням мінімальної швидкості течії рідини.

2.4.3. Визначення глибини закладання дощового колектора

Мінімальне заглиблення кожного дощового колектора H_1 , м, у диктуючій точці 1 було розраховано за формулою:

$$H_1 = h_d + i \times l + (d_{1-2} - d_3), \quad (2.24)$$

де: h_d – глибина дощоприймача, була прийнята рівною глибині промерзання ґрунту для області проектування становить 1,0 м;

i – нахил з'єднувальної гілки, не менше 0,01 [7];

l – довжина з'єднувальної гілки від першого у кварталі дощоприймача до колодязя № 1 на дощовому колекторі, дорівнює 20 м [7];

d_{1-2} – діаметр дощового колектора на першій розрахунковій ділянці, м;

d_3 – діаметр з'єднувальної гілки, що дорівнює 0,25 м.

Усі дані розрахунків колекторів дощової водовідвідної мережі занесені до таблиці 1.6.

За даними гідравлічного розрахунку, що були наведені у таблиці 2.6, було виконано подовжній профіль дощового колектора.

Таблиця 2.6 - Гідралічний розрахунок колектора дощової мережі

Номери ділянок	Довжина ділянки, м	Площа стоку, га			Попередня швидкість, v, м/с	Час протоку, хв			Q _в , л/с	Q _г , л/с	Діаметр, мм	Швидкість, м/с	Нахил	Падіння	Позначки				Глибина закладання, м	
		прилегла	транзитна	загальна		t _р	Σt _р	t _{г-1,2п-0,1}							Поверхні землі		Лотка труби		на початку	у кінці
															на початку	у кінці	на початку	у кінці		
Дощовий колектор																				
1-2	226,5	1,17	-	1,17	0,8	4,8	10,7	6,1	60,1	39	250	0,8	0,005	1,13	112,65	110,45	110,65	109,52	2,00	0,93
2-3	120,5	0,85	1,17	2,02	0,82	2,5	13,2	7,2	88,4	57	315	0,81	0,004	0,48	110,45	109,80	109,45	108,97	1,00	0,83
3-4	123	0,85	6,52	7,37	0,85	2,5	15,7	8,2	283,1	184	450	1,19	0,005	0,62	109,80	109,20	108,84	108,22	0,96	0,98
4-5	173	1,61	10,11	11,72	0,87	3,4	19,1	9,5	387,8	252	500	1,28	0,005	0,87	190,20	108,45	108,17	107,31	1,03	1,14
5-6	253	3,30	14,83	18,13	0,9	4,8	23,8	11,3	505,6	329	560	1,43	0,0055	1,39	108,45	107,30	107,25	105,85	1,20	1,45
6-7	173	1,60	21,26	22,86	0,93	3,2	27,0	12,4	579,6	377	560	1,49	0,006	1,04	107,30	106,30	105,85	104,82	1,45	1,48
7-8	173	1,60	25,86	27,46	0,95	3,1	30,1	13,5	640,9	417	630	1,51	0,0055	0,95	106,30	105,10	104,75	103,79	1,55	1,31
8-9	173	1,60	30,50	32,10	1,0	2,9	33,0	14,5	697,6	453	630	1,58	0,006	1,04	105,10	104,00	103,79	102,76	1,31	1,24
9-10	148	1,20	34,92	36,12	1,4	1,8	34,8	15,1	753,8	490	630	1,71	0,005	0,74	104,00	103,30	102,76	102,02	1,24	1,28
10-11	148	1,20	38,87	40,07	1,6	1,6	36,4	15,6	808,5	526	630	1,75	0,006	0,89	103,30	102,40	102,02	101,13	1,28	1,27
11-12	236	-	41,45	41,45	1,8	2,2	38,6	16,3	799,7	520	710	1,82	0,003	0,93	102,40	101,70	101,05	100,51	1,35	1,19

2.4.4. Улаштування основ під труби

Забезпечення щільності і стійкості трубопроводів вимагає влаштування основи під трубами. Їх слід приймати залежно від несучої здатності ґрунту і фактичних навантажень. У всіх ґрунтах, за винятком скельних, пливунних, болотистих і просідаючих II типу, необхідно передбачати укладення труб безпосередньо на вирівняне й утрамбоване дно траншеї.

Природною основою для труб можуть служити: середні і крупнозернисті піски, супіски в сухому стані, дрібний і крупний гравій, пісок у суміші з щебенем або галькою, глини і важкі суглинки за відсутності в їх товщі водоносних прошарків, а також скельні і близькі до них породи.

Штучні основи під труби необхідні при прокладанні в сухих, водоносних ґрунтах з дрібного піску з домішками мулових часток, лесі і лесовидних суглинках; глинистих ґрунтах, які мають велику неоднорідність; водонасичених суглинках, болотистих і торф'яних ґрунтах.

У скельних ґрунтах труби вкладають на піщану подушку товщиною не менше 10см.

У водонасичених ґрунтах, які добре віддають воду, труби укладають на шар щебеню, гравію або крупного річкового піску (товщиною 0,15-0,2м) з дренажними лотками для відводу води.

У водонасичених ґрунтах і пливунах, які погано віддають воду, передбачаються бетонна плита і бетонний стул.

У болотистих і торф'яних ґрунтах влаштовують жорсткі основи у вигляді паль з ростверком, а по ньому - бетонний стул.

2.4.5. Ізоляція труб

Однією з найважливіших умов довговічної служби каналізаційних труб є запобігання дії на них ґрунтових вод, для чого застосовуються спеціальні цементи та ізоляційні покриття.

Для захисту залізобетонних труб від агресивної дії їх виготовляють на пуцоланових і сульфатостійких цементах з гідралічними добавками. Захисна ізоляція внутрішніх і зовнішніх поверхонь труб може бути жорсткою або пластичною.

До жорсткої ізоляції належать цементна штукатурка з залізненням, торкрет-штукатурка, облицювання плитками, до пластичної - бітумна, обмазана, обклеєна і обмазочно-обклеєна.

Найбільш надійні і довговічні бітумно-гумова і полімерна липка стрічки ПХВ, які навиваються на поверхню труби.

Для захисту поліетиленових труб від агресивної дії вод на їх поверхню нічого не передбачаємо, так як вони самі по собі стійкі до агресивної дії і надійно з'єднані між собою, що виключає ексфільтрацію стічних вод у ґрунти.

2.5 Проєктування каналізаційної насосної станції

2.5.1 Визначення розрахункових витрат і напору

Головну насосну станцію розраховано на максимальний годинний приплив 1893,56 м³/год (526 л/с). Зважаючи на I категорію надійності (число мешканців N > 5000), прийнято два напірні водоводи зі сталевих труб із перемичкою посередині, обладнаною засувками; за аварії з роботи вимикається лише половина одного водоводу. Потрібний напір насосів визначають як суму геометричної висоти підйому та витрат напору:

$$H = H_{\Gamma} + h_{н.ст} + h_{вдм} + h_{н.в} + h_{в} \quad (2.24)$$

де H_{Γ} - геометрична висота підйому ($H_{\Gamma} = 104,1 - 96,59 = 7,51$ м); $h_{н.ст}$ - втрати у комунікаціях станції (3-5 м); $h_{вдм}$ - втрати у водомірі (1,5 м); $h_{в}$ - вільний напір (1-3 м); $h_{н.в}$ - втрати у напірних водоводах.

Втрати в зовнішніх водоводах обчислено для нормального та аварійного режимів (водовід завдовжки 1,2 км, $d = 500$ мм). За аварійного режиму, коли по

половині довжини проходить 100 % витрати, втрати сягають $h_{н.в} = 13,2$ м. За найнесприятливішим (аварійним) режимом потрібний напір становить $H = 29$ м.

2.5.2 Вибір насосного устаткування та режиму роботи

За максимальним годинним припливом $1893,56$ м³/год (526 л/с) і потрібним напором 29 м підібрано занурювані насосні агрегати: два робочі та два резервні насоси марки AFP 3002 (50 Hz) подачею $Q_{нас} = 425$ л/с та напором 20 м. Кількість робочих агрегатів і резерв прийнято відповідно до вимог надійності для I категорії.

За компонованням каналізаційні насосні станції поділяють на станції із зануреними насосами (так зване мокре встановлення, коли агрегати розміщені безпосередньо у приймальному резервуарі) та станції з насосами сухого встановлення (з роздільними машинною залогою і резервуаром). Перші компактніші, дешевші у будівництві й не потребують опалюваної зали, тому їх дедалі частіше застосовують навіть для значних витрат; другі зручніші для обслуговування великих агрегатів. У цьому проєкті прийнято заглиблену круглу станцію із зануреними насосами. Для малих і середніх витрат у світовій практиці поширені компактні моноблочні станції заводського виготовлення в корпусах зі склопластику або поліетилену, що скорочує терміни будівництва [5].

Стічні води містять волокнисті та грубодисперсні включення, тому насоси комплектують спеціальними робочими колесами - одноканальними, вихровими або самоочисними, що запобігають засміченню. Провідними виробниками каналізаційного насосного обладнання є Sulzer (до якого належить серія AFP, прийнята в роботі), Xylem (Flygt), Grundfos, KSB та Wilo. Енергоефективний і плавний режим роботи забезпечує частотно-регульований привід: він змінює частоту обертання залежно від припливу, підтримує сталий рівень у резервуарі та зменшує гідравлічні удари; простішою альтернативою є ступінчасте вмикання насосів за датчиками рівня, що й прийнято в цьому проєкті. Станцію оснащують

пристроями плавного пуску, автоматичним уведенням резерву живлення та системою диспетчеризації й телеметрії для дистанційного контролю.

2.5.3 Розрахунок приймального резервуара

Місткість приймального резервуара має бути не меншою за 5-хвилинну продуктивність одного насоса:

$$W = 425 \times 60 \times 5 = 127\,500 \text{ л} = 127,5 \text{ м}^3 \quad (2.25)$$

Прийнято резервуар місткістю 127,5 м³; станцію запроєктовано круглою за установчими розмірами обладнання. За результатами розрахунку на очисні споруди надходить максимальна витрата 577 л/с (подача двох насосів) та мінімальна 425 л/с (один насос) - саме на ці значення розраховано споруди очищення. Будівлю станції обладнано системами опалення, вентиляції, питного водопостачання та засобами пожежної автоматики.

Приймальний резервуар згладжує нерівномірність припливу й узгоджує його з подачею насосів. Його об'єм добирають як компроміс: замалий спричиняє надто часті пуски та прискорений знос двигунів, а зavelикий призводить до застоювання й загнивання стоків з виділенням сірководню. Нормативна вимога - не менше п'ятихвилинної подачі найбільшого насоса за відсутності частотного регулювання. Для запобігання відкладенню осаду днище виконують із похилами до приямка, а резервуар обладнують змивними насадками або гідроелеваторами.

2.6 Розрахунок споруд очищення стічних вод

2.6.1 Визначення необхідного ступеня очищення та обґрунтування технологічної схеми

Концентрації забруднень суміші побутових і виробничих стічних вод обчислюють за питомими кількостями забруднень на одного мешканця (завислі речовини 65 г/добу, БСКповн 75 г/добу) з урахуванням стоків підприємств.

Одержано середні концентрації на вході очисних споруд: за завислими речовинами $C_{en} = 339,7$ мг/л, за БСК_{повн} $L_{en} = 372,5$ мг/л. Приведене число мешканців становить $N_C = 151\ 552$ ос. (за завислими речовинами) та $N_L = 144\ 003$ ос. (за БСК_{повн}).

Допустимі концентрації забруднень у скиданих водах та потрібний ефект очищення обчислено за санітарними правилами для річки питного водокористування. Одержано: за завислими речовинами $C_{ex} = 17,77$ мг/л (ефект $E_C = 95\ %$); за БСК_{повн} $L_{ex} = 21,83$ мг/л ($E_L = 94\ %$); за умовою збереження розчиненого кисню - допустима БСК_{повн} $25,42$ мг/л (ефект $93\ %$). За найжорсткішою умовою прийнято повне біологічне очищення.

Технологічна схема очисної станції охоплює послідовно: механічне очищення (механізовані ґрати типу СУ, горизонтальні пісковловлювачі з коловим рухом води та піскові бункери, первинні радіальні відстійники); біологічне очищення (аеротенки-витиснювачі з регенерацією та вторинні радіальні відстійники); знезараження ультрафіолетовим випромінюванням. Оброблення осаду передбачає ущільнення, зброджування в метантенках, механічне зневоднення та термічне сушіння [2].

Для міст із переважно побутовими стоками класичною є схема «механічне очищення - повне біологічне очищення активним мулом - знезараження», яку й прийнято. У світовій практиці застосовують і альтернативні рішення. Для глибокого видалення сполук азоту та фосфору використовують схеми біологічного видалення біогенних елементів з аноксичними й анаеробними зонами (процеси A2/O, UCT, Vardenpho). Для компактних або складних за умовами об'єктів поширені послідовно-періодичні реактори (SBR), мембранні біореактори (MBR), реактори з біоплівкою на рухомому завантаженні (MBBR) та технологія аеробного гранульованого мулу. Мембранні біореактори дають найвищу якість очищення й компактність ціною вартості мембран та енерговитрат; MBBR і SBR гнучкі щодо коливань навантаження; класичні аеротенки з активним мулом залишаються найпоширенішим і найекономічнішим рішенням для середніх і великих міст, що й визначило вибір.

2.6.2 Розрахунок споруд механічного очищення

Приймальна камера гасить напір води з напірних водоводів; за максимального годинного припливу 2077,2 м³/год прийнято розміри 2500×3000×2000 мм. Споруди механічного очищення розраховано на максимальну подачу 577 л/с з перевіркою на мінімальну 425 л/с.

Потрібну площу живого перерізу ґрат визначають за формулою $F = q_{\text{max}} / v_{\text{гр}}$. За результатами розрахунку прийнято механізовані ґрати марки СУ-0790 з прозорами 5,2 мм (живий переріз полотна 0,38 м²) - дві робочі та одна резервна. Швидкість у прозорах 1,25 м/с, втрати напору 0,14 м, будівельна довжина камери 2,41 м. Добова кількість затриманих покидьків - 16,61 м³/добу; покидьки подрібнюють на молоткових дробарках.

Горизонтальні пісковловлювачі з коловим рухом води розраховано на швидкість 0,15 м/с, що забезпечує затримання піску крупністю 0,20 мм (гідравлічна крупність 18,7 мм/с). Прийнято два пісковловлювачі завдовжки $L_s = 7$ м, зовнішнім діаметром $D_s = 5,4$ м; кількість затриманого піску 4,55 м³/добу. Пісок зневоднюють у двох піскових бункерах місткістю по 17 м³ кожний. Для обліку витрати між пісковловлювачами та відстійниками встановлено лоток Вентурі (ширина 1200 мм, горловина 752 мм).

Первинні відстійники прийнято радіальними (три споруди діаметром 24 м) з ефектом освітлення 50-55 %. Об'єм осаду, що видаляється - 94,68 м³/добу

Механічне очищення вилучає до 60 % нерозчинних домішок і знижує БСКповн на 20 %, унаслідок чого на біологічне очищення надходить вода з $L_{\text{ен}} = 298$ мг/л.

Окрім прийнятих стрижневих механізованих ґрат у сучасній практиці застосовують крокові, барабанні та ґрати тонкого проціджування з прозорами 1-6 мм, які повніше затримують дрібні включення, а вловлені покидьки зневоднюють у шнекових пресах. Поряд із горизонтальними пісковловлювачами з коловим

рухом води використовують аеровані та вихрові (тангенціальні) пісковловлювачі, що ефективніші й компактніші, а вловлений пісок відмивають у класифікаторах. Первинне відстоювання, крім радіальних відстійників, реалізують у тонкошарових (ламельних) відстійниках, які зменшують потрібну площу, а за потреби - із хімічно посиленним освітленням додаванням коагулянтів.

2.6.3 Розрахунок споруд біологічного очищення

Біологічне очищення здійснюється в аеротенках-витиснювачах із регенерацією активного мулу, оскільки БСК_{повн} води, що надходить (298 мг/л), перевищує 150 мг/л. Воду належить очистити до $L_{ex} = 21,83$ мг/л. Прийнято дозу мулу $a_i = 3$ г/л та орієнтовний муловий індекс $85 \text{ см}^3/\text{г}$; за уточненням навантаження на мул $q_i = 413,8$ мг/(г·добу) муловий індекс становить $83 \text{ см}^3/\text{г}$, а ступінь рециркуляції $R_i = 0,33$.

Загальний об'єм системи «аеротенк - регенератор» з урахуванням періоду окиснення і регенерації становить 9624 м^3 ; регенератор займає близько 42 % загального об'єму. Прийнято трисекційний трикоридорний аеротенк глибиною 4,4 м і шириною коридору 4,5 м за типовим проєктом 902-2-192 (довжина секції 54 м, об'єм секції 3208 м^3). Подачу повітря дрібнобульбашковими аераторами розраховано за питомою витратою кисню; інтенсивність аерації $14,69 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$.

Вторинні відстійники прийнято радіальними діаметром 24 м (типовий проєкт 902-2-89/75) з розрахунку за гідравлічним навантаженням:

Розрахунок вторинних відстійників було виконано за гідравлічним навантаженням:

$$q_{ssa} = \frac{4,5 \times K_{ssa} \times H_{set}^{0,8}}{(0,1 \times J_i \times a_i)^{0,5-0,01 \times a_t}}, \quad (2.26)$$

де: K_{ssa} — коефіцієнт використання проточної частини відстійника, 0,4 ;

H_{set} — глибина проточної частини відстійника, приймаємо рівною 3,1 м;

J_i — муловий індекс, рівний $83 \text{ см}^3/\text{г}$;

a_i — доза активного мулу в аеротенку, дорівнює 3 г/л;

a_t – винесення завислих речовин з вторинних відстійників; у відповідності до розрахунку необхідного ступеня очищення стічних вод $a_t = C_{ex} = 17,77$ мг/л.

Потрібна загальна площа вторинних відстійників $F_{ssa} = 1750$ м², що відповідає чотирьом спорудам діаметром 24 м. Об'єм надлишкового активного мулу становить 54,4 м³/год, циркулюючого - 685 м³/год.

Аерація - найенергоємніший процес очисної станції, тому спосіб подавання повітря істотно впливає на експлуатаційні витрати. Прийняті дрібнобульбашкові аератори (мембранні дискові або трубчасті) значно ефективніші за грубобульбашкові й механічні поверхневі. Повітря подають відцентровими повітродувками з частотним регулюванням, а на сучасних станціях - високошвидкісними турбокомпресорами на повітряних чи магнітних підшипниках, що додатково знижує енергоспоживання. Для відповідності сучасним європейським вимогам до скиду в технологічну схему вводять зони нітриденітрифікації та біологічне або реагентне видалення фосфору.

2.6.4 Розрахунок споруд знезараження

Знезараження очищених стічних вод передбачено ультрафіолетовим випромінюванням - безреагентним методом, що не утворює токсичних побічних продуктів. Прийнято установку системи ТАК (модель ТАК 55 6-6×2) з лампами «Спектротерм»: два блоки по 12 модулів, усього 144 лампи. Лоток розміщення випромінювача має розміри 9,0×1,4 м за рівня води 0,75 м. Установка забезпечує знищення до 99,99 % патогенних мікроорганізмів. Після знезараження стічні води з остаточними показниками $C_{ex} = 17,77$ мг/л і $L_{ex} = 21,83$ мг/л відводяться у річку береговим випуском.

Ультрафіолетове знезараження, прийняте в роботі, не потребує реагентів і не утворює токсичних побічних продуктів, проте вимагає достатньо освітленої води та електроенергії й не має тривалої післядії. Альтернативні методи: хлорування

рідким хлором або гіпохлоритом натрію - дешево, з вираженою післядією, але утворює хлорорганічні сполуки й потребує наступного дехлорування; озонування - потужне знезараження з одночасним знебарвленням і усуненням запахів, проте енергоємне; обробка пероцтовою кислотою. Вибір ультрафіолету відповідає сучасній світовій тенденції відмови від хлору на міських очисних станціях.

2.6.5 Розрахунок споруд обробки та знешкодження осаду

Обробку осаду організовано в кілька етапів: ущільнення надлишкового активного мулу, анаеробне зброджування суміші в метантенках, механічне зневоднення та термічне сушіння. Надлишковий активний мул ущільнюють у двох радіальних мулоущільнювачах діаметром 12 м, знижуючи вологість з 99,2 до 97,3 %; максимальний приплив мулу 62 м³/год.

Суміш сирого осаду (94,68 м³/добу) та ущільненого мулу (240,7 м³/добу) зброджують у метантенках за мезофільним режимом. Потрібний об'єм $W_{mt} = 3645$ м³; прийнято три типові метантенки діаметром 15 м корисним об'ємом по 1600 м³ (разом 4800 м³), фактична доза завантаження 8,4 %. Вихід біогазу за ступеня розпаду беззольної речовини 43,8 % становить 3818 м³/добу; для збирання газу влаштовано два мокрі газгольдери об'ємом 300 м³ діаметром 10 м.

Зброджену суміш зневоднюють на центрифугах-декантерах СС-458 (одна робоча та одна резервна, продуктивність до 20 м³/год) із застосуванням катіонного флокулянта. Утворюється кек вологістю 73 % в об'ємі 34,6 м³/добу; фугат повертають у первинні відстійники. Кек піддають термічному сушінню у барабанних сушарках до вологості 20-30 %, після чого осад знезаражений і придатний до утилізації. Мулові майданчики запроєктовано як резервні - на приймання 20 % обсягу осаду на випадок аварійних ситуацій.

Для механічного зневоднення осаду, крім прийнятих центрифуг-декантерів, широко застосовують стрічкові фільтр-преси, камерні (мембранні) фільтр-преси та шнекові дегідратори; вибір залежить від продуктивності, потрібної вологості кеку та енерговитрат. Прийняте анаеробне мезофільне зброджування дає біогаз, який

доцільно використовувати в когенераційних установках для вироблення тепла й електроенергії; альтернативами є аеробна стабілізація для малих станцій, термофільне та сумісне зброджування з іншою органікою. Сучасною тенденцією є відновлення ресурсів зі стічних вод і осаду - енергії біогазу та фосфору у формі струвіту, що відповідає принципам циркулярної економіки.

3 СПЕЦІАЛІЗОВАНА ЧАСТИНА

3.1 Експлуатація системи водовідведення

Поняття експлуатації системи водовідведення охоплює сукупність організаційних та інженерно-технічних дій, спрямованих на те, щоб збудований комплекс мереж, насосних станцій і очисних споруд працював безперервно, надійно та економічно, не завдаючи шкоди довкіллю. Концептуально цю діяльність доцільно тлумачити не як випадковий перелік ремонтних операцій, а як цілісну систему управління технічним станом об'єкта впродовж усього строку його служби - від приймання споруд в експлуатацію до їх реконструкції чи виведення з ужитку. Зasadничі вимоги до такого управління в Україні встановлені Правилами технічної експлуатації систем водопостачання та водовідведення населених пунктів, затвердженими наказом Держжитлокомунгоспу від 05.07.1995 № 30 (zareєстрованими в Міністерстві юстиції 21.07.1995 за № 231/767, чинна редакція від 22.03.2016), які й покладено в основу подальшого викладу. Ці Правила діють у єдиній системі з низкою суміжних актів - насамперед Правилами приймання стічних вод підприємств у комунальні системи каналізації, Правилами охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами та чинними державними будівельними нормами щодо проектування каналізаційних мереж і споруд, - тож експлуатацію слід розглядати в контексті цього нормативного поля.

Провідна ідея нормативного документа полягає в тому, що технічна експлуатація має забезпечувати водночас чотири взаємопов'язані результати: безперебійність відведення стічних вод, надійність кожної ланки споруд, низьку собівартість перекачування й очищення та захист водойм від забруднення. Ці цілі утворюють єдину систему, у якій жодну не можна досягати коштом іншої: економію реагентів і енергії не виправдовує погіршення якості очищеної води, а форсований режим роботи не повинен підривати надійність споруд. Саме тому експлуатаційну службу мислять як узгоджений механізм, у якому диспетчерське керування, планово-попереджувальний ремонт, лабораторний і технологічний

контроль, метрологічне забезпечення вимірювань та облік працюють як одне ціле. Концепція передбачає також постійне вдосконалення - раціоналізацію режимів, упровадження прогресивних технологій, механізацію та автоматизацію виробничих процесів і максимальне використання наявних резервів потужності.

Організаційним стрижнем системи є диспетчерська служба, на яку покладено оперативне керування режимами та координацію аварійних робіт. Жоден елемент споруд чи обладнання не виводять з роботи або з резерву без її дозволу, окрім випадків, що загрожують життю людей або збереженню устаткування; будь-яке планове відключення оформлюють завчасною заявкою, яку затверджує головний інженер, а про аварії на каналізаційних мережах негайно сповіщають природоохоронні органи та органи санітарного нагляду. Диспетчер цілодобово контролює дотримання заданих режимів, веде оперативний журнал, керує діями персоналу під час локалізації та ліквідації ушкоджень і за потреби викликає керівних працівників. Розпорядження чергового диспетчера виконують негайно й беззастережно, що й робить диспетчеризацію тим інструментом, який перетворює розрізнені об'єкти на керовану систему.

Другим наскрізним механізмом є планово-попереджувальний ремонт - система періодичних оглядів і ремонтів за заздалегідь складеним планом, метою якої є випередити передчасний знос споруд і не допустити аварій, а не усувати їхні наслідки. На підставі оглядів складають дефектні відомості та проєктно-кошторисну документацію, після чого виконують поточний ремонт силами експлуатаційного персоналу або капітальний - ремонтно-будівельними організаціями. Третім підмурком є експлуатаційна документація: затверджені проєкти, виконавчі креслення, оперативні технологічні схеми, планшети мереж, паспорти споруд та обладнання, а також журнали, до яких щодня заносять показники роботи. Повнота й актуальність цих відомостей дають змогу ухвалювати обґрунтовані рішення в звичайному режимі та під час аварій.

Повсякденну роботу впорядковують посадові та експлуатаційні інструкції, у яких чітко зазначають призначення й характеристику споруди, послідовність

пусків і зупинок, порядок обслуговування в нормальному та порушеному режимах, параметри технологічного контролю, строки оглядів і ремонтів, заходи із запобігання аваріям та дії персоналу за їх виникнення. Такі інструкції переглядають у разі зміни умов чи технології, але не рідше ніж раз на три роки. Підсумки експлуатації узагальнюють у технічній звітності: підрозділи складають поточні звіти з аналітичними записками про досягнення й недоліки, а на їх основі - річні звіти, що стають підґрунтям для перспективних планів розвитку та вдосконалення системи. Журнали експлуатації, зведені відомості та звіти зберігають упродовж установлених строків, а річні звіти - постійно.

Нарешті, неодмінною умовою працездатності всієї системи є людський чинник. Склад, чисельність і кваліфікацію персоналу визначають залежно від потужності та складності споруд; перед допуском до самостійної роботи працівники проходять медичний огляд, фахову підготовку, навчання та перевірку знань цих Правил, правил охорони праці та, за відповідним профілем, правил безпечної експлуатації електроустановок чи поводження з хлором. Черговий персонал відповідає за безперебійну роботу й санітарний стан своєї ділянки, систематично обходить і оглядає споруди, фіксує показники приладів і доповідає про відхилення; інженерно-технічний персонал керує виробничими та ремонтними бригадами, веде документацію й контролює задані режими. Охорона праці пронизує всі ланки експлуатації: роботодавець забезпечує безпеку процесів і обладнання, засоби індивідуального та колективного захисту, а всі нещасні випадки й аварії підлягають обов'язковому розслідуванню. Викладені засади однаково стосуються мереж, насосних станцій та очисних споруд, проте кожна ланка має власну технологічну специфіку, яку й розглянуто далі окремо.

Експлуатація мереж водовідведення

Каналізаційна мережа - найрозгалуженіша й водночас найвразливіша ланка системи, бо працює переважно в самопливному режимі, прихована під землею та зазнає одночасної дії гідравлічних, хімічних і біохімічних чинників. Основне завдання її експлуатації - підтримувати проєктну пропускну здатність

трубопроводів і споруд на них, не допускаючи підпорів, замулення, засмічень і аварійних переливів, а також зберігати герметичність та міцність конструкцій. Експлуатаційна служба веде систематичний нагляд за станом самопливних колекторів, напірних трубопроводів, оглядових і перепадних колодязів, камер, дюкерів та аварійних випусків, своєчасно виявляючи відхилення від нормального режиму течії за рівнем наповнення, характером потоку та станом лотків.

Концепція догляду за мережею будується на поєднанні профілактики й оперативного реагування. Профілактична складова передбачає періодичне прочищення та промивання трубопроводів за графіком планово-попереджувального ремонту; ділянки з малими ухилами, де швидкість течії недостатня для самоочищення, та місця, схильні до осідання піску й жиркових відкладень, обслуговують частіше. Для видалення відкладень застосовують гідравлічні способи - промивання водою накопиченого об'єму або зворотним потоком, - а також механічні засоби прочищення, добираючи їх залежно від діаметра колектора й характеру засмічення. Засмічення, що утворилося раптово, усувають невідкладно, аби не допустити підпору та виливу стічних вод на поверхню.

Технічний огляд мережі поділяють на зовнішній, який виконують з поверхні без спуску в колодязь, і докладний технічний огляд зі спуском усередину споруди. Зовнішнім оглядом установлюють стан кришок і горловин, наявність підпору, осідання ґрунту над колектором і несанкціонованих приєднань; під час докладного огляду перевіряють стан лотків, полиць, стиків і арматури, виявляють тріщини, просідання, оголення арматури та інфільтрацію ґрунтових вод, що свідчить про втрату герметичності. За результатами оглядів складають дефектні відомості, на підставі яких призначають поточний або капітальний ремонт, а виявлені відхилення заносять до експлуатаційних журналів і паспортів ділянок.

Особливе місце в експлуатації мереж посідає контроль газового режиму. Унаслідок загнивання стічних вод у каналізаційних спорудах накопичуються небезпечні гази - сірководень, метан і діоксид вуглецю, - які створюють загрозу

отруєння, задухи та вибуху, а сірководень до того ж спричиняє газову корозію бетону в надводній зоні колектора, поступово руйнуючи склепіння труб. Тому будь-якому спусканню працівника в колодязь обов'язково передуює перевірка повітря на загазованість і, за потреби, примусове провітрювання, а самі роботи виконують бригадою у складі не менше трьох осіб із застосуванням засобів захисту органів дихання та страхувальних пристроїв. Захист від газової корозії, боротьба з відкладеннями та запобігання підтопленню розглядаються як невід'ємна частина повсякденного догляду, а не як надзвичайні заходи.

Окремої уваги потребує спостереження за гідравлічним режимом мережі та його сезонними змінами. Експлуатаційна служба відстежує наповнення колекторів і швидкості течії, аби завчасно виявляти ділянки з ризиком замулення або, навпаки, перевантаження, а в системах, що приймають дощовий чи поверхневий стік, особливо ретельно готується до періодів злив і весняного сніготанення, коли різко зростає приплив. У холодну пору року вживають заходів проти промерзання дрібнозалеглих ділянок та обмерзання горловин колодязів. Такий випереджальний нагляд дає змогу перевести значну частину втручань із розряду аварійних до розряду планових, що повністю відповідає закладеній у Правилах ідеї пріоритету профілактики над усуненням наслідків.

Завершують систему експлуатації мережі приймання нових ділянок та належне документування. Перед введенням в дію збудовані чи реконструйовані трубопроводи піддають гідравлічним випробуванням на міцність і герметичність, промиванню та, за потреби, дезінфекції, а їх приймання оформлюють актами з долученням виконавчих креслень. Служба веде планшети, на яких нанесено всі колодязі з геодезичними позначками ґрунту, лотка й труби, діаметри, довжини, матеріал і рік прокладання, аварійні випуски та приєднання споживачів із реєстраційними номерами; до паспортів і журналів своєчасно вносять зміни, що сталися під час експлуатації, реконструкції та ремонту. Саме повнота й актуальність цих відомостей дають змогу диспетчерові швидко локалізувати ушкодження та ухвалювати обґрунтовані рішення під час аварій.

Експлуатація насосних станцій

Каналізаційні насосні станції піднімають стічні води з понижених ділянок мережі та подають їх на дальші споруди, тому від їхньої безвідмовності прямо залежить безперебійність усієї системи: зупинка станції майже миттєво спричиняє підпір і переливи у верхів'ї басейну каналізування. Засаднича вимога до експлуатації полягає в забезпеченні заданого режиму перекачування за найменших питомих витрат електроенергії та за неодмінної готовності резервних агрегатів до автоматичного ввімкнення. Через специфіку рідини, що містить великі завислі й плаваючі домішки, експлуатація таких станцій вимагає підвищеної уваги до запобігання засміченню проточної частини насосів, напірних ліній та арматури.

Технологічно станція починається з приймального резервуара, обладнаного решітками або решітками-дробарками, які затримують і подрібнюють крупні домішки перед насосами. Експлуатаційний персонал стежить за рівнями в резервуарі та узгоджує їх із автоматичним керуванням пуском і зупинкою агрегатів, регулярно очищає резервуар від осаду й впливів, видаляє затримані решітками покидьки й не допускає тривалого відстоювання рідини, що супроводжується загниванням і виділенням сірководню. Місткість і режим спрацьовування приймального резервуара добирають так, щоб згладжувати нерівномірність припливу й уникати надмірної частоти вмикань насосів, шкідливої для електродвигунів.

Робота насосних агрегатів перебуває під постійним контролем за показниками контрольно-вимірювальних приладів - подачею, тиском у напірній лінії, силою струму електродвигуна, температурою підшипників і рівнем вібрації; ці дані щозмінно заносять до журналу експлуатації, а їх відхилення слугують ранньою ознакою несправності. Чергування та резервування агрегатів організовують так, щоб вихід з ладу одного насоса не призводив до припинення подачі, а перемикання на резерв відбувалося автоматично або за командою диспетчера. Належний стан проточної частини, ущільнень, сальників та запірно-регулюючої арматури підтримують своєчасною ревізією, а впорядковане

мастильне господарство забезпечує безперебійне змащування вузлів тертя відповідно до карт мащення.

Економічність насосної станції визначається передусім відповідністю фактичних режимів роботи проєктним характеристикам насосів. Тому експлуатаційна служба прагне, щоб агрегати працювали в зоні найвищого коефіцієнта корисної дії, уникаючи тривалої роботи з прикритими засувками й надмірного дроселювання, а добір кількості одночасно ввімкнених насосів узгоджувала з фактичним припливом. Систематичний аналіз питомих витрат електроенергії на перекачаний об'єм, своєчасне відновлення зношених робочих коліс та ущільнень і підтримання розрахункового напору дають змогу істотно знизити собівартість підйому стічних вод. Енергетичний та технологічний аудити, передбачені чинними вимогами, слугують інструментом виявлення прихованих резервів економії на станції.

Оскільки повітря машинного залу та приймального відділення може містити вибухонебезпечні й токсичні гази, концепція безпечної експлуатації станції невіддільна від надійної роботи припливно-витяжної вентиляції та засобів газового контролю; електрообладнання у відповідних приміщеннях повинно мати належне виконання, а персонал - суворо дотримуватися правил безпеки. Сучасну насосну станцію оснащують засобами автоматики, телемеханіки та диспетчерського зв'язку, які дають змогу керувати нею дистанційно, реєструвати параметри роботи й сигналізувати про відхилення та аварійні ситуації, зокрема про підвищення рівня в резервуарі. Виведення агрегатів у ремонт чи резерв здійснюють лише за погодженням з диспетчером, а планово-попереджувальний ремонт виконують за затвердженим графіком, спираючись на паспорти обладнання та інструкції заводів-виробників; приймання станції в експлуатацію після ремонту супроводжують перевіркою працездатності всіх агрегатів і систем керування.

Експлуатація споруд очищення стічних вод

Очисні споруди є завершальною й найвідповідальнішою ланкою системи, бо саме тут формується якість зворотної води, що скидається у водойму.

Концептуальне завдання їх експлуатації - стабільно досягати проектного ефекту очищення та знезараження за рівномірного режиму роботи, мінімальних витрат реагентів, електроенергії та води на власні потреби, а також за неухильного дотримання нормативів гранично допустимих скидів. Для цього персонал прагне, щоб упродовж кожного періоду року споруди працювали в усталеному режимі за кількістю стічних вод, уникаючи різких коливань навантаження, які найдужче розбалансовують біологічні процеси. Обслуговування здійснюють працівники, що пройшли медичний огляд і перевірку знань, у регулярно знезаражуваному спецодязі, який не виносять за межі споруд.

Технологічний ланцюг очищення традиційно поділяють на механічну та біологічну стадії. Механічне очищення вилучає грубодисперсні й мінеральні домішки: решітки затримують крупні покидьки, які видаляють і знешкоджують або подрібнюють; пісковловлювачі осаджують пісок, що його потім зневоднюють і підсушують на піскових майданчиках; первинні відстійники освітлюють воду, видаляючи завислі речовини у вигляді сирого осаду, який у міру накопичення відводять на обробку. Експлуатаційний персонал стежить за рівномірним розподілом води між спорудами та їх секціями, за характером відкладення осаду, своєчасністю його видалення та станом скребкових і мулозбірних механізмів, не допускаючи перевантаження окремих споруд і винесення завислих речовин на біологічну стадію.

Біологічне очищення руйнує розчинені та колоїдні органічні забруднення силою мікроорганізмів - в аеротенках за участю активного мулу з примусовою аерацією та регенерацією або на біофільтрах із прикріпленою біоплівкою. Ефективність процесу залежить від підтримання балансу між навантаженням за органічними речовинами, дозою активного мулу, інтенсивністю аерації та вмістом розчиненого кисню, тож ці параметри систематично контролюють і регулюють. Вторинні відстійники відокремлюють біомасу від очищеної води, повертаючи частину активного мулу в аеротенки для підтримання його робочої концентрації, а надлишковий мул спрямовуючи на обробку. Завершальною операцією є

зnezараження, після якого вода набуває мікробіологічних показників, придатних для скидання у водний об'єкт без загрози санітарному благополуччю.

Самостійним і технологічно складним напрямом є обробка та знешкодження осаду, у якому концентрується значна частина вилучених забруднень. Сирий осад первинних відстійників і надлишковий активний мул піддають ущільненню в мулоущільнювачах, де щозміни контролюють рівень ущільненого шару, утримуючи його не ближче як за метр від поверхні води, та стежать за вологістю й фізико-хімічними властивостями осаду. Стабілізацію проводять анаеробним зброджуванням у метантенках за мезофільного (30-35 °C) чи термофільного (50-55 °C) режиму з регулярним перемішуванням, підтриманням сталого рівня осаду й вільного виходу газу, обліком та визначенням складу біогазу не рідше разу на тиждень; метантенки належать до вибухо- й пожежонебезпечних об'єктів, тож їх електрообладнання має вибухобезпечне виконання, а газове господарство експлуатують за відповідними правилами безпеки. Альтернативою є аеробна стабілізація, за якої в споруді підтримують уміст розчиненого кисню не нижче 2 мг/л і не допускають перерв у подачі повітря.

Зневоднення стабілізованого осаду проводять природним шляхом на мулових площадках або механічно. На площадках новий шар осаду напускають лише після підсушування попереднього до вологості близько 80 % й утворення тріщин, через які відходить мулова вода; підсушений осад збирають обережно, щоб не пошкодити дренажні шари, а мулову воду неодмінно відводять назад на очисні споруди, не допускаючи її скиду у водойму. Механічне зневоднення на вакуум-фільтрах і центрифугах ведуть із додаванням коагулянтів та флокулянтів, контролюючи вологість вихідного осаду й зневодненого кеку, дози реагентів і якість фугату; за потреби глибшого знешкодження осад піддають термічній обробці за температури 150-200 °C або термічному сушінню до сипкого стану, що забезпечує його дегельмінтизацію та безпечне використання як органічно-мінерального добрива.

Знезараження очищеної води та супутнє реагентне господарство потребують суворої технологічної дисципліни. Незалежно від обраного методу знезараження експлуатаційний персонал забезпечує необхідну дозу та достатній час контакту, контролює залишкові показники й не допускає скидання недостатньо знезараженої води, а під час застосування реагентів суворо дотримується вимог безпеки, особливо щодо хлорного господарства, яке належить до об'єктів підвищеної небезпеки. Реагенти приймають із перевіркою супровідних документів і контрольним аналізом активної частини, зберігають із дотриманням умов сумісності та розрахункової місткості складів, а їх дози уточнюють за результатами технологічних аналізів і фактичної ефективності дії на воду. Точність дозування підтримують у вузьких межах, не допускаючи різких відхилень і перерв, окрім випадків, прямо передбачених технологічним регламентом.

Невід'ємною умовою надійної роботи всього комплексу є лабораторно-виробничий і технологічний контроль. Перший оцінює якість води та осаду на кожному етапі обробки за стандартними методиками й реєструє кількісні показники, другий усебічно характеризує технологічну ефективність споруд, даючи змогу вчасно уточнювати дози реагентів, режими аерації, періодичність видалення осаду й попереджати скидання води, що не відповідає встановленим вимогам. Обсяг і графік контролю, згідно з рекомендаціями таблиці 3.1. затверджує керівництво за погодженням із санітарними та природоохоронними органами, а результати спостережень систематично заносять до журналів технічної експлуатації, аналізів і складського обліку. Приймання збудованих чи реконструйованих очисних споруд відбувається поетапно - через пробну та тимчасову експлуатацію з технологічним налагодженням до введення в постійну експлуатацію за досягнення проєктної продуктивності; перед пуском споруди й комунікації промивають і дезінфікують..

Таблиця 3.1 - Орієнтовна періодичність основних експлуатаційних заходів за ланками системи водовідведення

Складова системи	Експлуатаційний захід	Періодичність (норматив)
Мережі	Профілактичне прочищення та промивання самопливних колекторів	За графіком ППР; ділянки з малими ухилами - частіше
Мережі	Технічний огляд колодязів і камер зі спуском усередину	Не рідше одного разу на рік
Мережі	Перевірка повітря колодязя на загазованість (H ₂ S, CH ₄ , CO ₂)	Перед кожним спуском працівника
Насосні станції	Контроль роботи агрегатів за показниками приладів	Щозміни (постійно)
Насосні станції	Очищення приймального резервуара і решіток від покидьків	У міру накопичення, регулярно
Очисні споруди	Лабораторно-виробничий контроль ефекту очищення (вхід / випуск)	За затвердженим графіком контролю
Очисні споруди	Контроль складу біогазу в метантенках	Не рідше одного разу на тиждень
Очисні споруди	Підтримання розчиненого кисню в аеробному стабілізаторі (≥ 2 мг/л)	Постійно
Обробка осаду	Контроль рівня ущільненого осаду в мулоущільнювачі (≥ 1 м)	Щозміни
Обробка осаду	Напуск нового шару осаду на мулові площадки	Після підсушування попереднього до вологості 80 %
Автоматика	Ремонт і повірка засобів автоматизації та КВП	Не рідше одного разу на рік

Наведена таблиця зводить розпорошені нормативні приписи в єдину картину й унаочнює концептуальну спільність догляду за всіма ланками: профілактичні дії виконують за планом, а контрольні - з періодичністю, узгодженою з характером технологічного процесу. Залежно від місцевих умов, фактичного стану споруд і досвіду експлуатації наведені строки уточнюють у бік згущення спостережень, проте сам принцип поєднання плановірності з безперервним контролем лишається незмінним.

Отже, експлуатацію системи водовідведення слід розуміти як єдину концепцію, у якій мережі, насосні станції та очисні споруди обслуговують за

спільними засадами - безперебійності, надійності, економічності та екологічної безпеки, - але різними технологічними прийомами. Поєднання планово-попереджувального ремонту, диспетчерського керування, лабораторного й технологічного контролю, повної документації та кваліфікованого персоналу, підпорядкованих вимогам чинних Правил технічної експлуатації, і забезпечує надійну та екологічно безпечну роботу системи впродовж усього строку її служби.

3.2 Захист трубопроводів і споруд від корозії

Корозією називають руйнування твердих тіл унаслідок хімічних та електрохімічних процесів, що розвиваються на їхній поверхні під час взаємодії з навколишнім середовищем. Для підземних трубопроводів, які належать до довговічних споруд і практично не зазнають морального зношення, саме корозійна стійкість визначає фактичний строк служби. Корозія скорочує термін експлуатації мереж, спричиняє аварійні ситуації та збільшує експлуатаційні й ремонтні витрати, тому своєчасні протикорозійні заходи є передумовою надійної роботи системи водовідведення.

Технічний стан каналізаційних трубопроводів оцінюють комплексно - за герметичністю, якістю з'єднань, станом ізоляційного покриття, рівнем корозійної безпеки та ефективністю засобів захисту. Ці показники взаємопов'язані: стан захисного покриття визначає рівень корозійної безпеки, а отже й герметичність та довговічність трубопроводу загалом.

Об'єкт захисту - підземна безнапірна каналізаційна та дощова мережа міста у Миколаївській області. Глибина прокладання трубопроводів 2-3 м, ґрунти - чорнозем, ґрунтові води неагресивні із заляганням на глибині 4,0 м. Матеріал труб - поліетилен. З огляду на скасування раніше чинного ГОСТу, у проєкті прийнято труби, що відповідають чинному національному стандарту ДСТУ Б В.2.7-151:2008 «Труби поліетиленові для подачі холодної води» (типи ПЕ 80, ПЕ 100), а з'єднувальні деталі - ДСТУ Б В.2.7-178:2009.

Завдяки великій відносній молекулярній масі та насиченості хімічних зв'язків поліетилен виявляє високу хімічну інертність до більшості агресивних речовин, тому поліетиленові труби мають високу корозійну стійкість. До їхніх переваг належать незначна маса, висока корозійна стійкість, достатня міцність за пружності й гнучкості, добрі діелектричні властивості, низька теплопровідність і технологічність монтажу. Недоліками є горючість, підвищена окиснюваність за нагрівання, помітна повзучість і низька теплостійкість.

3.2.1 Біологічна корозія

Поліетиленові трубопроводи не потребують захисту від електрохімічної корозії, проте на них здатні негативно впливати мікроорганізми - цей вид руйнування об'єднують терміном «біокорозія». Біологічна корозія виникає внаслідок життєдіяльності мікро- та макроорганізмів: продукти їхнього метаболізму (зокрема ензими) можуть спричиняти деструкцію полімеру, погіршувати механічні властивості та зовнішній вигляд виробів. Деякі види цвілі й бактерій засвоюють пластифікатори та наповнювачі складу, прискорюючи старіння труб. Ступінь небезпеки біокорозії встановлюють за результатами аналізу ґрунтів, який виконують безпосередньо на місці відбору проб задля збереження природних ґрунтових умов [12].

3.2.3 Захист поліетиленових труб від корозії

Для зниження впливу агресивного середовища у проєкті передбачено відповідні до умов рішення генерального плану та надійне ущільнення стиків трубопроводів. Оскільки полімерні матеріали не повністю пригнічують розмноження мікроорганізмів, до складу труб вводять компоненти, що підвищують біостійкість - бактерициди (мідний купорос, хлор, срібловмісні препарати з концентрацією 0,1-0,5 мг/л), а також застосовують біоцидні захисні та лакофарбові покриття (оксидні й фосфатні). Ефективними бактерицидними складниками

покриттів проти сульфатредукувальних та інших бактерій є сульфоамонієві солі, сульфати амінопохідних, поліетиленімін, алкілсиліконат натрію та антибіотики.

3.3 Охорона навколишнього середовища

Розділ опрацьовано відповідно до Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» та Закону України «Про оцінку впливу на довкілля» (2017 р.) [15, 16], що запровадив процедуру оцінки впливу на довкілля замість раніше чинної ОВНС. У розділі оцінено вплив проєктованого об'єкта на довкілля та визначено комплекс природоохоронних заходів.

3.3.1 Охорона поверхневих та підземних вод від забруднення

Очисні споруди каналізації є водоохоронним об'єктом, призначеним для очищення стічних вод до показників, за яких допускається їх скид у річку Південний Буг. Прийнята технологічна схема забезпечує очищення до нормативних концентрацій: вміст завислих речовин $C_{ex} = 17,77$ мг/л, БСКповн = 21,83 мг/л за збереження мінімального вмісту розчиненого кисню. З урахуванням самоочисної здатності водотоку (коефіцієнт змішання $\gamma = 0,98$) скид очищених стічних вод не порушує нормативного стану водного об'єкта [14].

3.3.2 Охорона атмосферного повітря

Вплив об'єкта на атмосферне повітря зумовлений виділенням пахучих речовин зі стічної рідини у відстійниках та аеротенках. Як природоохоронний захід навколо очисних споруд влаштовують захисне озеленення санітарно-захисної зони завширшки 400 м у вигляді смуги мішаних деревно-чагарникових насаджень, у якій не менш як 50 % становить головна деревна порода. Насадження проєктують щільної (ізолювальної) або ажурної (фільтрувальної) структури, що осаджують і поглинають частину шкідливих викидів; майданчик очисних споруд розміщують з

підвітряного боку відносно житлової забудови. Наявні зелені насадження максимально зберігають та включають у загальну систему озеленення.

3.3.3 Охорона земельних ресурсів та рекультивация

Під будівництво очисних споруд відводять 10 га земель сільськогосподарського призначення (пасовища), з яких 2 га придатні для вирощування культур. Згідно з вимогами земельного законодавства родючий шар ґрунту попередньо знімають і складують окремо для подальшого використання. Об'єм знятого родючого шару:

$$V = S \cdot h = 48\,300 \cdot 0,4 = 19\,320 \text{ м}^3 \quad (3.1)$$

де $S = 48\,300 \text{ м}^2$ - площа зрізання родючого шару; $h = 0,4 \text{ м}$ - його товщина.

Площу ділянки для тимчасового складування ґрунту в буртах заввишки 5 м визначають за виразом:

$$S_1 = V / H_1 = 19\,320 / 5 = 3\,864 \text{ м}^2 \quad (3.2)$$

Об'єм ґрунту, потрібний для рекультивации порушених земель:

$$V_p = S_2 \cdot h_2 = 20\,000 \cdot 0,4 = 8\,000 \text{ м}^3 \quad (3.3)$$

Об'єм надлишкового ґрунту, який спрямовують на благоустрій міста та підвищення родючості малопродуктивних земель:

$$V_{\text{надл}} = V - V_p = 19\,320 - 8\,000 = 11\,320 \text{ м}^3 \quad (3.4)$$

Після завершення планувальних робіт, ліквідації заглиблень і насипів та прибирання будівельного сміття на поверхню ділянки наносять шар ґрунту завтовшки до 0,5 м і виконують озеленення території деревними породами з високими декоративними властивостями та стійкістю до забруднень.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Метою розділу є розроблення заходів з охорони праці під час експлуатації запроєктованої системи водовідведення міста Володимирівка. Правовою основою слугують Закон України «Про охорону праці», Кодекс законів про працю України, Кодекс цивільного захисту України, а також нормативно-правові акти з охорони праці (НПАОП), санітарні норми та державні будівельні норми. Згідно із Законом «Про охорону праці» роботодавець зобов'язаний створити на кожному робочому місці належні умови праці, утримувати службу охорони праці, забезпечити навчання та перевірку знань працівників, проведення медичних оглядів, розслідування й облік нещасних випадків, а також безоплатне забезпечення засобами індивідуального захисту.

Експлуатацію системи здійснює спеціалізоване підприємство водопровідно-каналізаційного господарства [17]. Під час обслуговування об'єктів на працівників діють небезпечні та шкідливі виробничі чинники, які за характером впливу поділяють на чотири групи: фізичні (рухомі частини машин, електричний струм, шум, вібрація, недостатнє освітлення, підвищена вологість, ультрафіолетове випромінювання), хімічні (сірководень, метан, діоксид вуглецю, пари нафтопродуктів, реагенти), біологічні (патогенні мікроорганізми стічних вод і осаду) та психофізіологічні (фізичні й нервово-психічні перевантаження). Окрему небезпеку становлять замкнені простори (колодязі, камери, резервуари, метантенки), де можливі отруєння, задуха та вибух. Нижче заходи систематизовано за об'єктами системи з виокремленням документації, організаційно-технічних заходів та дій за надзвичайних ситуацій [19].

До загальних організаційних заходів охорони праці, спільних для всіх об'єктів системи, належать: створення служби охорони праці підприємства; обов'язкове навчання та перевірка знань з питань охорони праці відповідно до НПАОП 0.00-4.12-05; проведення вступного, первинного на робочому місці, повторного, позапланового й цільового інструктажів із реєстрацією у відповідних журналах; попередні та періодичні медичні огляди працівників; оцінювання умов

праці й атестація робочих місць; розслідування та облік нещасних випадків і професійних захворювань у встановленому порядку; безоплатне забезпечення працівників спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту за встановленими нормами з їх своєчасним випробуванням і заміною.

4.1 Охорона праці на водовідвідних мережах

Документація. Експлуатаційне підприємство веде комплект документів з охорони праці для мережного господарства: інструкції з охорони праці за професіями (слюсар з обслуговування та ремонту мереж, оператор на мережах) і за видами робіт; журнали реєстрації вступного, первинного, повторного (не рідше одного разу на півроку), позапланового та цільового інструктажів; наряди-допуски на газонебезпечні роботи у колодязях і камерах та журнал їх обліку; план локалізації та ліквідації аварійних ситуацій (ПЛАС); виконавчі схеми мереж із позначенням газонебезпечних колодязів; журнали огляду й ремонту мережі та споруд; графіки планово-запобіжних ремонтів; протоколи перевірки знань і посвідчення працівників. Основні вимоги встановлено НПАОП 41.0-1.01-79 «Правила техніки безпеки при експлуатації систем водопостачання та водовідведення населених місць» [20], НПАОП 0.00-5.11-85 «Типова інструкція з організації безпечного ведення газонебезпечних робіт» і Типовим положенням про навчання з питань охорони праці (НПАОП 0.00-4.12-05).

Заходи. Роботи в колодязях, камерах і колекторах належать до газонебезпечних і виконуються за нарядом-допуском бригадою не менш як із трьох осіб: один працює всередині, двоє страхують і ведуть нагляд згори. Перед спуском обов'язково перевіряють склад повітря переносним газоаналізатором та провадять примусову вентиляцію переносним вентилятором. Допуск дозволяється, якщо вміст кисню не менший за 20 % за об'ємом, концентрація сірководню не перевищує граничнодопустимої (10 мг/м³), оксиду вуглецю - 20 мг/м³, а вміст метану не перевищує 20 % нижньої концентраційної межі поширення полум'я (для метану - близько 5 % за об'ємом). Працівник, що спускається, застосовує рятувальний пояс

із наплічними лямками та сигнально-рятувальною линвою, а за неможливості провітрити - шланговий протигаз. Заборонено користуватися відкритим вогнем і нести запалені предмети; для освітлення застосовують акумуляторні ліхтарі у вибухозахищеному виконанні. Робочу зону на проїзній частині огорожують, позначають дорожніми знаками, сигнальними ліхтарями та переносними бар'єрами, а працівники одягають сигнальні жилети. Стінки траншей завглибшки понад 1,25 м у нестійких ґрунтах кріплять; ґрунт складають не ближче 0,5 м від брівки. Персонал забезпечують спецодягом, гумовими чоботями та рукавицями, касками, захисними окулярами й засобами захисту органів дихання.

Надзвичайні ситуації. За раптової загазованості або появи ознак отруєння у працівника, що перебуває в колодязі, страхувальники негайно витягують його за допомогою сигнально-рятувальної линви на поверхню, виносять на свіже повітря, за потреби виконують штучну вентиляцію легень і непрямий масаж серця та викликають екстрену медичну допомогу (103) і рятувальну службу (101). За обвалення стінок траншеї звільняють потерпілого, не спричиняючи додаткового осідання ґрунту. За прориву чи підтоплення колектора припиняють роботи, евакуюють персонал, локалізують аварійну ділянку засувками й повідомляють диспетчерську службу; подальші дії виконують за планом локалізації та ліквідації аварій.

Окрему увагу приділяють періодичному огляду колодязів і камер та провітрюванню мережі. Колодязі, у яких систематично виявляють загазованість, позначають у виконавчих схемах і документації як газонебезпечні. Працівників забезпечують повним комплектом засобів індивідуального захисту: костюмом, гумовими чоботями та рукавицями, захисною каскою, окулярами, рятувальним поясом із линвою, шланговим протигазом і вибухозахищеним ліхтарем. Для робіт у газонебезпечних колодязях застосовують інструмент, що не утворює іскор. Освітлення робочих місць у темну пору доби та всередині колодязів забезпечують переносними світильниками безпечної напруги (не вище 12 В) у вологозахищеному виконанні.

Вантажно-розвантажувальні роботи та роботи із застосуванням механізмів на мережі виконують відповідно до НПАОП 0.00-1.75-15; вантажопідіймальні машини поблизу траншей установлюють за межами призми обвалення ґрунту. Робочі зони позначають знаками безпеки, а працівників завчасно інформують про розміщення підземних комунікацій, щоб запобігти їх пошкодженню під час земляних робіт.

4.2 Охорона праці на насосних станціях

Документація. На головній насосній станції ведуть інструкції з охорони праці та пожежної безпеки за робочими місцями, інструкції з експлуатації насосних агрегатів і запірної арматури, однолінійні електричні схеми та схеми трубопроводів, оперативний журнал і журнал планово-запобіжних ремонтів, наряди-допуски на електротехнічні та газонебезпечні роботи, протоколи вимірювання опору заземлювальних пристроїв та опору ізоляції, журнал обліку й випробування засобів захисту, посвідчення про присвоєння груп з електробезпеки. Застосовують НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів», НПАОП 0.00-1.80-18 (вантажопідіймальні крани та пристрої) та НПАОП 41.0-1.01-79.

Заходи. Електробезпеку забезпечують захисним заземленням і зануленням струмопровідних частин, пристроями захисного вимкнення, контролем стану ізоляції (періодичні вимірювання) та допуском до робіт персоналу з відповідною групою з електробезпеки (II-V). Працівників забезпечують діелектричними засобами захисту (рукавиці, боти, килими, інструмент з ізольованими ручками). Рухомі та обертові частини насосних агрегатів огорожують суцільними кожухами, передбачають блокування, що унеможливорює пуск зі знятим огороженням. Рівень шуму на робочих місцях обмежують до 80 дБА (ДСН 3.3.6.037-99), вібрацію - до норм ДСН 3.3.6.039-99 за допомогою віброізолювальних основ під агрегати, гнучких вставок і засобів індивідуального захисту. Машинну залу та приймальний резервуар обладнують припливно-витяжною вентиляцією з кратністю

повітрообміну, достатньою для видалення шкідливих газів, і контролем загазованості; передбачають робоче та аварійне освітлення. Вантажопідіймальне обладнання (кран-балки, талі) підлягає періодичному технічному опосвідченню, а стропи й знімні пристрої - регулярному огляду.

Надзвичайні ситуації. За зникнення напруги передбачено автоматичне ввімкнення резервного вводу або дизель-генератора, що запобігає зупиненню перекачування та підтопленню станції. Рівень у приймальному резервуарі контролюється рівнемірами із сигналізацією; за відмови насосів спрацьовує аварійний переливний випуск. Пожежу на електрообладнанні гасять вуглекислотними або порошковими вогнегасниками лише після його знеструмлення; станцію оснащують первинними засобами пожежогасіння та пожежною сигналізацією. За загазованості приймального резервуара роботи в ньому виконують виключно як газонебезпечні з усіма відповідними заходами.

Опір заземлювальних пристроїв і стан ізоляції електрообладнання перевіряють у встановлені строки з оформленням протоколів. Параметри мікроклімату в машинній залі підтримують у межах санітарних норм засобами опалення та вентиляції. Дренажні насоси й системи відведення випадкових вод запобігають затопленню заглибленої частини станції. Перехідні містки, трапи та сходи обладнують поручнями, підлоги виконують неслизькими. Персонал станції проходить навчання з електробезпеки з присвоєнням відповідної групи та періодичною перевіркою знань.

Перед ремонтом насосних агрегатів і електрообладнання виконують організаційні та технічні заходи безпеки: оформлюють наряд-допуск, від'єднують обладнання від мережі живлення, вживають заходів проти помилкового ввімкнення, вивішують заборонні та попереджувальні плакати, перевіряють відсутність напруги й накладають переносні заземлення. Запірну арматуру на час ремонту фіксують у потрібному положенні, а відповідну ділянку трубопроводу спорожнюють і за потреби промивають.

4.3 Охорона праці на локальних очисних спорудах промислових підприємств

Документація. На локальних очисних спорудах борошномельного заводу та залізничного депо ведуть інструкції з охорони праці на реагентне, нафтовловлювальне та насосне господарство, технологічні регламенти, паспорти обладнання, журнали контролю якості стоків і концентрацій шкідливих речовин, наряди-допуски на вогневі та газонебезпечні роботи, інструкції та документацію з пожежної безпеки, плани евакуації. Застосовують НПАОП 0.00-7.12-13 «Вимоги до роботодавців стосовно забезпечення безпечного виконання робіт у потенційно вибухонебезпечних середовищах», НПАОП 0.00-8.11-12 «Вимоги до роботодавців щодо захисту працівників від шкідливого впливу хімічних речовин» і Правила пожежної безпеки в Україні (затверджені наказом МВС від 30.12.2014 № 1417).

Заходи. На очисних спорудах залізничного депо головною небезпекою становить вибухопожежонебезпеку парів нафтопродуктів. Приміщення нафтовловлювачів і насосних відносять до вибухонебезпечних зон із відповідним класифікуванням; у них установлюють вибухозахищене електрообладнання, світильники й вентилятори у вибухозахищеному виконанні, обладнання заземлюють для відведення зарядів статичної електрики, забороняють іскроутворення та застосування відкритого вогню. Передбачають ефективну припливно-витяжну вентиляцію та контроль граничнодопустимих концентрацій парів нафтопродуктів у повітрі робочої зони. На борошномельному заводі вибухонебезпеку створює борошняний (зерновий) пил, здатний утворювати вибухонебезпечні пилоповітряні суміші, тому влаштовують аспіраційні системи, герметизують обладнання, заземлюють його, регулярно виконують вологе прибирання й не допускають накопичення пилу, а працівників забезпечують засобами захисту органів дихання. На обох об'єктах персонал проходить попередні та періодичні медичні огляди й забезпечується відповідними засобами індивідуального захисту.

Надзвичайні ситуації. За загоряння або спалаху парів нафтопродуктів чи пилоповітряної суміші вмикають системи пожежогасіння (пінні для нафтопродуктів, порошкові для пилю), знеструмлюють обладнання, перекривають надходження пального середовища та евакуюють персонал згідно з планом евакуації. Розлив нафтопродуктів локалізують обвалуванням і сорбентами з подальшим збиранням та утилізуванням забрудненого матеріалу. За перевищення граничнодопустимих концентрацій шкідливих речовин роботи припиняють, посилюють вентиляцію й з'ясовують причину.

Працівники, зайняті обслуговуванням вибухопожежонебезпечних об'єктів, проходять спеціальне навчання й перевірку знань з питань пожежної та вибухобезпеки, а також періодичні медичні огляди. На об'єктах розміщують первинні засоби пожежогасіння, знаки безпеки та плани евакуації, а концентрації шкідливих і вибухонебезпечних речовин у повітрі робочої зони контролюють із встановленою періодичністю. Реагенти та мийні засоби зберігають у спеціально відведених місцях з дотриманням вимог сумісності та з відповідним маркуванням.

4.4 Охорона праці на спорудах очищення та оброблення стоків

Документація. На очисній станції ведуть інструкції з охорони праці за робочими місцями (оператор очисних споруд, оператор метантенків, машиніст центрифуг, лаборант), технологічні регламенти, план локалізації та ліквідації аварійних ситуацій, наряди-допуски на газонебезпечні та вогневі роботи в метантенках, газгольдерах і резервуарах, журнали контролю складу біогазу та повітря робочої зони, паспорти й документацію на посудини, що працюють під тиском, графіки планово-запобіжних ремонтів. Застосовують НПАОП 0.00-7.12-13, НПАОП 0.00-1.81-18 «Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском», НПАОП 0.00-5.11-85 та НПАОП 0.00-8.11-12.

Заходи. Найбільшу небезпеку на спорудах оброблення осаду становить вибухопожежонебезпечний біогаз, основним складником якого є метан (нижня

концентраційна межа поширення полум'я близько 5 %, верхня - близько 15 % за об'ємом), а супутній сірководень є високотоксичним. Метантенки, газгольдери та газопроводи відносять до вибухонебезпечних зон, де встановлюють вибухозахищене електрообладнання, стаціонарні газосигналізатори на метан і сірководень, влаштовують блискавкозахист і заземлення, забороняють відкритий вогонь, а перед ремонтними роботами ємності спорожнюють і продувають інертним середовищем або парою з контролем повноти видалення газу. Від біологічних чинників (збудники кишкових інфекцій, гепатиту, лептоспірозу) персонал захищають засобами індивідуального захисту, дотриманням правил особистої гігієни, наявністю санітарно-побутових приміщень і профілактичними щепленнями. Установка ультрафіолетового знезараження потребує захисту очей і шкіри від випромінювання (екранування ламп, автоматичне блокування при відкриванні камери), проте, на відміну від хлорування, не пов'язана з небезпекою зберігання та застосування токсичного хлору, що є істотною перевагою прийнятого рішення з погляду охорони праці. Оберткові механізми (мулоскреби первинних і вторинних відстійників, шнеки, центрифуги-декантери) огорожують і обладнують блокуваннями; відкриті ємності, відстійники й лотки огорожують поручнями, а поблизу розміщують рятувальні засоби для запобігання утопленню. Роботи всередині відстійників, резервуарів і метантенків виконують виключно як газонебезпечні за нарядом-допуском.

Надзвичайні ситуації. За вибуху чи загоряння біогазу здійснюють аварійне скидання тиску через свічку, гасіння наявними засобами та евакуацію персоналу згідно з ПЛАС. За розгерметизації газгольдера припиняють подавання газу, провітрюють зону й усувають джерела запалювання. За ознак отруєння сірководнем потерпілого негайно виносять на свіже повітря та надають домедичну допомогу. Падіння й утоплення працівників у спорудах відвертають огороженнями та рятувальними засобами, а за нещасного випадку викликають екстрені служби й діють за планом ліквідації аварій.

Реагентне господарство (приготування й дозування флокулянту для зневоднення осаду на центрифугах) обслуговують із застосуванням засобів захисту шкіри та органів дихання, а розчини готують у вентиляльованих приміщеннях. Виробничу лабораторію оснащують витяжними шафами та засобами нейтралізації реактивів. Машинна зала центрифуг характеризується підвищеним рівнем шуму, тому застосовують звукоізоляцію та засоби захисту органів слуху. Мулові майданчики як резервні споруди огорожують, а під час їх обслуговування враховують біологічну небезпеку зневодненого осаду. Параметри мікроклімату й освітленість робочих місць підтримують у межах санітарних норм.

Роботи на висоті (обслуговування перекриттів метантенків, газгольдерів, аеротенків і відстійників) виконують з огорожених майданчиків і драбин із дотриманням відповідних вимог безпеки, а вантажопідіймальні механізми та посудини, що працюють під тиском, підлягають періодичному технічному опосвідченню. Стан метантенків і газгольдерів, щільність газопроводів та справність запобіжних і скидних пристроїв контролюють за графіком, а тиск газу підтримують у регламентованих межах з автоматичною сигналізацією відхилень.

4.5 Закордонні нормативи охорони праці: відмінності, переваги та пропозиції

Європейська система охорони праці ґрунтується на Рамковій директиві 89/391/ЄЕС, яка зобов'язує роботодавця систематично оцінювати професійні ризики та запроваджувати запобіжні заходи за пріоритетом «усунути - замінити - захистити», із обов'язковим залученням працівників до питань безпеки. Її доповнюють спеціальні директиви: 89/654/ЄЕС (вимоги до робочих місць), 2009/104/ЄС (використання виробничого обладнання), 89/656/ЄЕС (засоби індивідуального захисту), 92/57/ЄЕС (тимчасові й мобільні будівельні майданчики), а також директиви щодо потенційно вибухонебезпечних середовищ - 2014/34/ЄС (ATEX, обладнання та системи захисту) і 1999/92/ЄС (захист

працівників, які наражаються на вибухонебезпечні атмосфери). Останні безпосередньо стосуються споруд біогазу та нафтовловлювального господарства. Поширеним є міжнародний стандарт ISO 45001:2018 «Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці», що реалізує циклічний підхід «плануй - виконуй - перевіряй - дій» і впроваджений в Україні як ДСТУ ISO 45001:2019 [21].

Головна відмінність полягає у самому підході до регулювання. Вітчизняна система є переважно приписовою: вона спирається на детальні правила (НПАОП), які встановлюють конкретні вимоги до робіт і обладнання, проте частина з них застаріла - зокрема профільні правила для водопровідно-каналізаційного господарства датовано 1979 роком і не повною мірою враховують сучасні технології та засоби контролю. Європейська система є ризик-орієнтованою: вона не стільки приписує конкретні дії, скільки покладає на роботодавця обов'язок самостійно виявити ризики, оцінити їх і обрати адекватні заходи в межах системи управління охороною праці. Перевагами європейського підходу є гнучкість і профілактична спрямованість, систематичне документоване оцінювання ризиків, зонування вибухонебезпечних зон за АТЕХ, високі вимоги до газового моніторингу та дозвільних систем виконання робіт підвищеної небезпеки, а також формування культури безпеки за участі працівників.

Стосовно цього проєкту пропонується: упровадити на підприємстві водопровідно-каналізаційного господарства систему управління охороною праці за ДСТУ ISO 45001:2019 з документованим оцінюванням професійних ризиків на всіх об'єктах; виконати зонування вибухонебезпечних зон метантенків, газгольдерів, газопроводів і нафтовловлювального господарства депо за принципами АТЕХ із застосуванням сертифікованого вибухозахищеного обладнання; запровадити формалізовану дозвільну систему (за зразком permit-to-work) на роботи в обмежених просторах із безперервним моніторингом атмосфери багатокомпонентними газоаналізаторами та стаціонарними газосигналізаторами; забезпечити періодичне навчання й тренування персоналу діям за аварійних ситуацій; підтримувати застосування безреагентного ультрафіолетового

зnezараження замість хлорування, що усуває хлорну небезпеку та відповідає сучасній європейській практиці. Реалізація цих пропозицій підвищує рівень безпеки й узгоджує його з вимогами законодавства Європейського Союзу, до якого Україна гармонізує національне регулювання.

Слід також зауважити, що в європейській практиці значну увагу приділяють ергономіці робочих місць, обмеженню часу перебування у шкідливих умовах та обов'язковому інформуванню й консультуванню працівників щодо ризиків. Системи управління охороною праці передбачають внутрішній аудит, аналіз з боку керівництва та постійне поліпшення, що дає змогу послідовно знижувати рівень виробничого травматизму. Запровадження таких механізмів на підприємстві водопровідно-каналізаційного господарства узгоджується із зобов'язаннями України щодо адаптації законодавства у сфері охорони праці до права Європейського Союзу.

4.6 Висновки до розділу

1. Розроблено заходи з охорони праці під час експлуатації системи водовідведення міста Володимирівка за всіма об'єктами — водовідвідними мережами, головною насосною станцією, локальними очисними спорудами промислових підприємств та спорудами очищення й оброблення стоків.

2. Для кожного об'єкта визначено перелік необхідної документації, організаційно-технічні заходи безпеки та порядок дій за надзвичайних ситуацій з посиланням на чинні нормативно-правові акти (НПАОП 41.0-1.01-79, НПАОП 0.00-5.11-85, НПАОП 0.00-7.12-13, НПАОП 0.00-1.81-18, НПАОП 40.1-1.21-98 та інші), Закон України «Про охорону праці» й Правила пожежної безпеки.

3. Установлено, що визначальними небезпеками є загазованість і вибухонебезпека замкнених просторів (колодязі, резервуари, метантенки, газгольдери), ураження електричним струмом на насосній станції, вибухопожежна

небезпека нафтопродуктів і борошняного пилу на підприємствах, а також біологічні чинники на очисних спорудах.

4. Прийняте у проєкті безреагентне ультрафіолетове знезараження усуває небезпеку, пов'язану із застосуванням хлору.

5. За результатами порівняння з європейськими нормативами сформульовано пропозиції — упровадження системи управління охороною праці за ДСТУ ISO 45001:2019, оцінювання професійних ризиків, АТЕХ-зонування споруд біогазу та дозвільну систему робіт в обмежених просторах, що наближає рівень охорони праці на об'єкті до європейських вимог.

ВИСНОВКИ

1. У кваліфікаційній роботі запроєктовано систему водовідведення міста у Миколаївській області зі скиданням очищених стічних вод у річку Південний Буг. За результатами техніко-економічного та санітарного обґрунтування прийнято повну роздільну систему водовідведення та пересічену схему трасування мережі.
2. Визначено розрахункові витрати стічних вод: середньодобова витрата побутового стоку міста становить 14 995,85 м³/добу, сумарний добовий приплив на головну насосну станцію (з урахуванням виробничих стоків) - 29 487,51 м³/добу, максимальний годинний приплив - 1893,56 м³/год (526 л/с). Розрахункова витрата на ділянці перед насосною станцією дорівнює 638,97 л/с.
3. Виконано гідравлічний розрахунок самопливних колекторів діаметром від 500 до 800 мм за умови забезпечення самоочисних швидкостей; глибина закладання труб у межах 1,4-3,2 м, у вузлі зі зміною рельєфу влаштовано перепадний колодязь. Побудовано поздовжні профілі бокового та головного колекторів.
4. Запроєктовано головну насосну станцію з двома напірними водоводами; за максимального припливу 526 л/с і потрібного напору 29 м підібрано два робочі та два резервні насоси AFP 3002 (подача 425 л/с, напір 20 м), приймальний резервуар місткістю 127,5 м³.
5. Обчислено необхідний ступінь очищення стічних вод, що становить 93-95 % за різними показниками; обґрунтовано схему повного біологічного очищення з подальшим знезараженням ультрафіолетовим випромінюванням.
6. Розраховано споруди очищення: механізовані ґрати СУ-0790, два горизонтальні пісковловлювачі, три первинні радіальні відстійники діаметром 24 м, аеротенки-витиснювачі з регенерацією (типовий проєкт 902-2-192, загальний об'єм 9624 м³), чотири вторинні радіальні відстійники

- діаметром 24 м та установку УФ-знезараження ТАК (144 лампи). Остаточні показники очищеної води: завислі речовини 17,77 мг/л, БСКповн 21,83 мг/л.
7. Опрацьовано оброблення осаду: ущільнення надлишкового мулу у двох мулоущільнювачах діаметром 12 м, зброджування у трьох метантенках діаметром 15 м за мезофільним режимом (вихід біогазу 3818 м³/добу, два газгольдери по 300 м³), механічне зневоднення на центрифугах-декантерах СС-458 та термічне сушіння у барабанних сушарках.
 8. У спеціалізованій частині обґрунтовано застосування поліетиленових труб за чинним стандартом ДСТУ Б В.2.7-151:2008 [13] із заходами захисту від біокорозії, а також розроблено природоохоронні заходи - озеленення санітарно-захисної зони завширшки 400 м і рекультивацію порушених земель (об'єм знятого родючого шару 19 320 м³).
 9. Прийняті технічні та технологічні рішення відповідають вимогам чинних будівельних норм, зокрема ДБН В.2.5-75:2013, і забезпечують очищення стічних вод до показників, що допускають скид у річку Південний Буг без доочищення (коефіцієнт гранично допустимого скиду 24,7 %).

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Орлов В. О., Тугай Я. А., Орлова А. М. Водопостачання та водовідведення : підручник. Київ, 2011. 359 с.
2. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води : підручник. Київ : Вища школа, 2005. 671 с.
3. Епоян С. М., Смірнова Г. М., Сорокіна В. Ю. та ін. Основи комплексного проєктування систем водовідведення міста : навч.-метод. посібник. Харків : ХДТУБА, 2008.
4. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод : навч. посібник. Рівне : Рівненська друкарня, 2003. 622 с.
5. Шевченко Т. О., Ярошенко Ю. В., Яковенко М. М., Беляєва В. М. Насосні та повітродувні станції : навч. посібник. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2014. 191 с.
6. Методичні рекомендації до організації підсумкової атестації та виконання кваліфікаційної роботи здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти / уклад. С. М. Епоян, К. Б. Сорокіна. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. 83 с.
7. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проєктування : зі Зміною № 1. Київ : Мінрегіон України, 2013. 211 с.
8. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проєктування. Київ : Мінрегіон України, 2013.
9. ДБН В.2.5-64:2012. Внутрішній водопровід та каналізація. Частина I. Проєктування. Частина II. Будівництво. Київ : Мінрегіон України, 2013.
10. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування та забудова територій. Київ : Мінрегіон України, 2019.
11. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. Чинний від 2011-11-01. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011.

12. ДСТУ Б В.2.5-32:2007. Труби безнапірні з поліпропілену, поліетилену, непластифікованого полівінілхлориду та фасонні вироби до них для зовнішніх мереж каналізації. Технічні умови. Київ : Мінрегіонбуд України, 2008.
13. ДСТУ Б В.2.7-151:2008. Труби поліетиленові для подавання холодної води. Технічні умови (EN 12201-2:2003, MOD). Київ : Мінрегіонбуд України, 2009.
14. Водний кодекс України : Закон України від 06.06.1995 № 213/95-ВР : станом на 16 черв. 2026 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-вр> (дата звернення: 16.06.2026).
15. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 25.06.1991 № 1264-ХІІ : станом на 16 черв. 2026 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12> (дата звернення: 16.06.2026).
16. Про оцінку впливу на довкілля : Закон України від 23.05.2017 № 2059-VIII : станом на 16 черв. 2026 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19> (дата звернення: 16.06.2026).
17. Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення : Закон України від 10.01.2002 № 2918-III : станом на 16 черв. 2026 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2918-14> (дата звернення: 16.06.2026).
18. Правила приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення : затв. наказом М-ва регіон. розвитку, буд-ва та житл.-комун. госп-ва України від 01.12.2017 № 316 : зареєстр. у М-ві юстиції України 15.01.2018 за № 56/31508. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0056-18> (дата звернення: 16.06.2026).
19. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ : станом на 16 черв. 2026 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> (дата звернення: 16.06.2026).
20. НПАОП 41.0-1.01-79. Правила техніки безпеки при експлуатації систем водопостачання та водовідведення населених місць. Київ, 1979.

21. ДСТУ ISO 45001:2019 (ISO 45001:2018, IDT). Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування. Київ : УкрНДНЦ, 2019.
22. Лукіних А. А., Лукіних Н. А. Таблиці для гідравлічного розрахунку каналізаційних мереж і дюкерів за формулою акад. М. М. Павловського. Київ : Будівельник, 1974.