

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет водогосподарської інженерії та екології

Кафедра екології

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Зав. кафедрою екології

доц. \_\_\_\_\_ Вікторія КАЦЕВИЧ

« \_\_\_\_\_ » грудня 2025р.

**Пояснювальна записка**

до кваліфікаційної роботи освітнього ступеня «магістр»

на тему: « **Обґрунтування екологічних ризиків в межах санітарно-захисної  
зони лівобережної станції аерації комунального підприємства**

**«Дніпроводоканал»»**

Виконав: здобувач вищої освіти 2 курсу,

групи МгЕ-1-24 спеціальності

101 «Екологія»

\_\_\_\_\_ Анастасія НОВАК

Керівник \_\_\_\_\_ доц. Вікторія КАЦЕВИЧ

Рецензент \_\_\_\_\_

Дніпро – 2025 рік

# ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Факультет:** Водогосподарської інженерії та екології

**Кафедра:** Екології

**Освітньо-професійна програма:** «Екологія»

**Спеціальність:** 101 «Екологія»

**Ступінь вищої освіти:** Магістр

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедрою екології

\_\_\_\_\_ Вікторія КАЦЕВИЧ

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

## ЗАВДАННЯ

на підготовку кваліфікаційної роботи

Новак Анастасія Сергіївни

(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема роботи:** «Обґрунтування екологічних ризиків в межах санітарно-захисної зони лівобережної станції аерації комунального підприємства «Дніпроводоканал»»

**Науковий керівник** Кацевич В.В., к.с.-г.н., доцентка

затверджена наказом по ДДАЕУ від «15» жовтня 2025 р. № 3074

**2. Термін подання здобувачем роботи:** 16.12.2025 р.

**3. Вихідні дані до роботи:** нормативно-правові акти України у сфері охорони навколишнього природного середовища, водного законодавства, санітарного законодавства та регламентування санітарно-захисних зон; державні будівельні норми й галузеві нормативи щодо проектування та експлуатації споруд водовідведення; проектна та експлуатаційна документація Лівобережної станції аерації КП «Дніпроводоканал» (схеми технологічного процесу, характеристики споруд і обладнання, дані інвентаризації викидів і скидів);

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити):** 1. Теоретичні та нормативно-правові основи оцінки екологічних ризиків у межах санітарно-захисних зон. 2. Характеристика об'єкта дослідження та природних умов території. 3. Оцінка

екологічних ризиків у межах санітарно-захисної зони лівобережної станції аерації. 4. Обґрунтування заходів щодо зниження екологічних ризиків у межах санітарно-захисної зони. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.

**5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Презентація в Power Point (актуальність, мета, об'єкт, предмет та задачі досліджень, отримані результати, висновки та рекомендації).**

**6. Дата видачі завдання: «15» жовтня 2025р.**

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	15.10.2025 р. – 17.10.2025 р.	виконано
2	Теоретичні та нормативно-правові основи оцінки екологічних ризиків у межах санітарно-захисних зон	20.10.2025 р. – 31.10.2025 р.	виконано
3	Характеристика об'єкта дослідження та природних умов території	03.11.2025 р. – 14.11.2025 р.	виконано
4	Оцінка екологічних ризиків у межах санітарно-захисної зони лівобережної станції аерації	03.11.2025 р. – 14.11.2025 р.	виконано
5	Обґрунтування заходів щодо зниження екологічних ризиків у межах санітарно-захисної зони	17.11.2025 р. – 28.11.2025 р.	виконано
6	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	28.11.2025 р. – 02.12.2025 р.	виконано
7	Висновки Список використаних джерел	02.12.2025 р. – 05.12.2025 р.	виконано

Здобувач (ка)

\_\_\_\_\_

(підпис)

Анастасія НОВАК

(Ім'я та прізвище)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

Вікторія КАЦЕВИЧ

(Ім'я та прізвище)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота виконана на 99 сторінках і 58 використаних джерел літератури.

*Мета роботи* – науково обґрунтувати рівень екологічних ризиків у межах санітарно-захисної зони Лівобережної станції аерації КП «Дніпроводоканал», встановити їхні основні джерела та просторово-часові особливості формування і на цій основі розробити комплекс технічних, організаційних та природоохоронних заходів щодо зниження ризиків та підвищення екологічної безпеки прилеглих територій.

*Об'єкт дослідження* – Лівобережна станція аерації комунального підприємства «Дніпроводоканал» та її санітарно-захисна зона як техногенно навантажена територія, на якій формуються екологічні ризики для компонентів довкілля та населення.

*Предмет дослідження* – процес формування та прояву екологічних ризиків у межах санітарно-захисної зони Лівобережної станції аерації КП «Дніпроводоканал», а також методи їх оцінки та шляхи зниження.

Для досягнення поставленої мети в роботі передбачено послідовне вирішення низки взаємопов'язаних завдань. Насамперед необхідно проаналізувати теоретичні підходи й нормативно-правові засади, що стосуються оцінки екологічних ризиків та встановлення санітарно-захисних зон для об'єктів водовідведення. На цьому тлі важливо надати розгорнуту природно-географічну характеристику району розміщення Лівобережної станції аерації КП «Дніпроводоканал», описати інженерно-геологічні, гідрогеологічні, кліматичні та містобудівні умови, які формують передумови для виникнення та розвитку екологічних ризиків.

Далі передбачається детально охарактеризувати структуру, технологічну схему та основні споруди Лівобережної станції аерації, виділити й описати потенційні джерела впливу на атмосферне повітря, ґрунти, підземні й поверхневі води, а також на шумове й біологічне

середовище. На основі зібраних даних має бути виконана оцінка ризиків забруднення атмосферного повітря, ґрунтів і підземних вод, ризиків, пов'язаних із шумом, вібрацією, біоаерозолями, неприємними запахами, та їхнього впливу на населення в межах санітарно-захисної зони. Наступним кроком є проведення інтегральної оцінки екологічних ризиків, їх ранжування за ступенем небезпеки та виділення найбільш критичних напрямів впливу.

На основі результатів такої оцінки необхідно обґрунтувати комплекс технічних, технологічних, організаційних і санітарно-гігієнічних заходів, спрямованих на зниження екологічних ризиків у межах санітарно-захисної зони Лівобережної станції аерації, а також запропонувати підходи до створення дієвої системи моніторингу екологічного стану та управління ризиками на досліджуваній території. Важливо окремо визначити напрями вдосконалення системи охорони праці та забезпечення безпеки персоналу, зокрема в умовах можливих надзвичайних ситуацій, аби забезпечити узгодженість вимог промислової та екологічної безпеки.

*Ключові слова:* екологічний ризик; санітарно-захисна зона; Лівобережна станція аерації; КП «Дніпроводоканал»; стічні води; забруднення атмосферного повітря; забруднення ґрунтів і підземних вод; екологічна безпека; моніторинг довкілля.

## ЗМІСТ

	ВСТУП	8
1	ТЕОРЕТИЧНІ ТА НОРМАТИВНО-ПРАВОВІ ОСНОВИ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ У МЕЖАХ САНІТАРНО- ЗАХИСНИХ ЗОН	11
1.1	Поняття екологічного ризику та його роль у системі екологічної безпеки	11
1.2	Класифікація екологічних ризиків техногенних об'єктів водовідведення	15
1.3	Санітарно-захисні зони: призначення, функції та нормативні вимоги	19
1.4	Нормативно-правове регулювання екологічної безпеки очисних споруд	23
2	ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРИРОДНИХ УМОВ ТЕРИТОРІЇ	27
2.1	Загальна характеристика Лівобережної станції аерації КП «Дніпроводоканал»	27
2.2	Природно-кліматичні умови та метеорологічні особливості району дослідження	30
2.3	Геологічні, гідрогеологічні та ґрунтові умови території	33
2.4	Характеристика санітарно-захисної зони та прилеглої території	36
2.5	Сучасний екологічний стан компонентів довкілля в межах СЗЗ	40
3	ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ У МЕЖАХ САНІТАРНО- ЗАХИСНОЇ ЗОНИ ЛІВОБЕРЕЖНОЇ СТАНЦІЇ АЕРАЦІЇ	44
3.1	Аналіз джерел негативного впливу на довкілля	44
3.2	Оцінка ризиків забруднення атмосферного повітря	47
3.3	Оцінка ризиків забруднення ґрунтів та підземних вод	51
3.4	Оцінка шумового та вібраційного навантаження	54
3.5	Біологічні та ольфакторні ризики для населення	58
3.6	Інтегральна оцінка екологічних ризиків та їх ранжування	61
4	ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ ЩОДО ЗНИЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ У МЕЖАХ САНІТАРНО- ЗАХИСНОЇ ЗОНИ	66
4.1	Технічні та технологічні заходи мінімізації негативного впливу	66
4.2	Організаційні та санітарно-гігієнічні заходи	70
4.3	Моніторинг екологічного стану та управління ризиками	73
4.4	Оцінка ефективності запропонованих заходів	77
5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	81
5.1	Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів	81
5.2	Заходи щодо забезпечення безпечних умов праці	84
5.3	Пожежна безпека та дії персоналу у надзвичайних ситуаціях	88

	ВИСНОВКИ	93
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	97

## ВСТУП

Сучасний розвиток урбанізованих територій супроводжується зростанням антропогенного навантаження на довкілля, що зумовлює підвищення екологічних ризиків для здоров'я населення та стану природних екосистем [1, 2]. Особливу небезпеку становлять об'єкти централізованого водовідведення та очищення стічних вод, діяльність яких пов'язана з утворенням забруднюючих речовин, біологічних аерозолів, шуму та неприємних запахів [3, 4]. У зв'язку з цим актуальним є комплексне обґрунтування екологічних ризиків у межах санітарно-захисних зон таких об'єктів [5].

Лівобережна станція аерації комунального підприємства «Дніпроводоканал» є одним із ключових елементів системи водовідведення міста Дніпро та забезпечує очищення значних обсягів господарсько-побутових стічних вод [6]. Водночас її функціонування супроводжується потенційним негативним впливом на атмосферне повітря, ґрунти, підземні води та прилеглу житлову забудову [7, 8]. Особливого значення набуває оцінка екологічних ризиків у межах санітарно-захисної зони станції, де концентрація впливів може перевищувати допустимі нормативні рівні [9].

Актуальність даної роботи зумовлена необхідністю переходу від суто нормативного підходу до оцінки впливу на довкілля до ризик-орієнтованого управління екологічною безпекою [10, 11]. Такий підхід дозволяє не лише встановити факт перевищення гранично допустимих концентрацій чи рівнів, а й кількісно оцінити ймовірність виникнення негативних наслідків та ступінь їх небезпеки для населення і довкілля [12]. Особливо це важливо в умовах ущільнення міської забудови та наближення житлових територій до меж санітарно-захисних зон інженерних споруд [5, 13].

Метою кваліфікаційної роботи є обґрунтування екологічних ризиків у межах санітарно-захисної зони Лівобережної станції аерації КП «Дніпроводоканал» та розробка заходів щодо їх зниження на основі кількісної та якісної оцінки впливу на компоненти довкілля [10, 12].

Для досягнення поставленої мети у роботі передбачено вирішення таких завдань:

- проаналізувати теоретичні та нормативно-правові основи оцінки екологічних ризиків у межах санітарно-захисних зон [1, 5];
- надати характеристику Лівобережної станції аерації КП «Дніпроводоканал» та природних умов території дослідження [6, 7];
- визначити основні джерела негативного впливу на довкілля в межах санітарно-захисної зони [3, 4];
- виконати кількісну оцінку ризиків забруднення атмосферного повітря, ґрунтів та підземних вод [9, 12];
- оцінити шумові, біологічні та ольфакторні ризики для населення [4, 8];
- провести інтегральну оцінку екологічних ризиків і здійснити їх ранжування [10, 11];
- обґрунтувати комплекс заходів щодо зниження екологічних ризиків та оцінити їх ефективність [13].

Об'єктом дослідження є процеси впливу Лівобережної станції аерації КП «Дніпроводоканал» на компоненти навколишнього природного середовища в межах санітарно-захисної зони [6, 7].

Предметом дослідження є екологічні ризики, що виникають у межах санітарно-захисної зони Лівобережної станції аерації, а також методи їх оцінки та мінімізації [10, 12].

Методи дослідження включають аналіз нормативно-правових документів, статистичну обробку екологічних даних, розрахункові методи оцінки екологічних ризиків, порівняльний аналіз з гранично допустимими нормативами, а також графічні та аналітичні методи представлення результатів дослідження [1, 11].

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання результатів оцінки екологічних ризиків для вдосконалення системи екологічного моніторингу, обґрунтування розмірів санітарно-захисної зони та розробки природоохоронних заходів на об'єктах водовідведення комунальної інфраструктури [5, 13].

## 1 ТЕОРЕТИЧНІ ТА НОРМАТИВНО-ПРАВОВІ ОСНОВИ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ У МЕЖАХ САНІТАРНО-ЗАХИСНИХ ЗОН

Розвиток сучасних підходів до управління якістю навколишнього природного середовища базується на переході від констатації факту забруднення до оцінки ймовірності та тяжкості можливих наслідків для довкілля та здоров'я населення. Центральне місце в цьому підході посідає поняття екологічного ризику, яке дозволяє кількісно та якісно характеризувати ступінь небезпеки антропогенного впливу [1, 10]. Особливо важливим є застосування ризик-орієнтованого підходу для об'єктів підвищеної екологічної небезпеки, до яких належать споруди централізованого водовідведення та очищення стічних вод, розташовані в межах або поблизу санітарно-захисних зон населених пунктів [2, 5].

### 1.1 Поняття екологічного ризику та його роль у системі екологічної безпеки

Поняття ризику виникло і розвинулося насамперед у технічних та економічних науках, де під ризиком зазвичай розуміють поєднання ймовірності настання певної події та тяжкості її наслідків [10, 12]. Відповідно до міжнародного стандарту ISO 31000 ризик описується як вплив невизначеності на досягнення цілей, при цьому у сфері охорони довкілля акцент робиться передусім на негативних наслідках для навколишнього природного середовища та здоров'я населення [12]. Перенесення цього підходу в екологію дало можливість сформулювати окрему категорію – «екологічний ризик».

Екологічний ризик доцільно визначати як ймовірність виникнення несприятливих змін у стані компонентів навколишнього природного

середовища (атмосферного повітря, поверхневих і підземних вод, ґрунтів, живих організмів), а також у стані здоров'я людей під впливом природних або антропогенних факторів певної інтенсивності та тривалості [10, 11]. На відміну від простого поняття забруднення, яке лише фіксує факт присутності або перевищення певної концентрації речовини, екологічний ризик враховує частоту та тривалість впливу, характеристику джерела, просторово-часову структуру забруднення і чутливість приймача – населення чи екосистеми. Таким чином, аналіз екологічного ризику дозволяє відповісти не тільки на запитання «чи порушено норматив?», а й «наскільки небезпечними є ці порушення і для кого саме».

У загальному вигляді екологічний ризик можна подати через функціональну залежність між імовірністю настання небажаної події та тяжкістю її наслідків:

$$R = f(P, C),$$

де  $\bar{R}$  – екологічний ризик;  $\bar{P}$  – ймовірність реалізації небажаної події (наприклад, досягнення критичних концентрацій забруднюючих речовин у повітрі чи воді);  $\bar{C}$  – тяжкість можливих наслідків для довкілля або здоров'я населення [10, 12]. У практичних розрахунках для порівняльної оцінки різних сценаріїв часто використовують спрощену форму:

$$R = P \cdot C,$$

що дає змогу кількісно зіставляти різні види ризику, ранжувати їх за пріоритетністю та визначати ті впливи, що потребують першочергових заходів щодо зниження.

У межах системи екологічної безпеки розрізняють кілька рівнів прояву екологічного ризику. На індивідуальному рівні він характеризує ймовірність негативних наслідків для окремої людини, яка проживає або працює в зоні впливу джерела забруднення. На територіальному (або соціальному) рівні ризик описує можливі наслідки для певної групи населення або для

мешканців конкретного району, що зазнає впливу техногенного об'єкта [8, 11]. Окремим напрямом є оцінка екосистемного ризику, коли аналізуються ймовірність і масштаби деградації екосистем, зниження біорізноманіття, порушення стійкості природних комплексів. Усі ці рівні взаємопов'язані, адже погіршення стану екосистем неминуче позначається на якості життя та здоров'ї населення.

У практиці екологічного нормування для окремих забруднюючих речовин широко використовуються індекси, які фактично є частковими показниками екологічного ризику. Для одного інгредієнта застосовується індекс забруднення, що визначається як відношення фактичної (вимірної або розрахункової) концентрації до відповідної гранично допустимої концентрації:

$$I = \frac{C_{\text{ф}}}{C_{\text{ГДК}}},$$

де  $I$  – індекс забруднення;  $C_{\text{ф}}$  – фактична концентрація забруднюючої речовини;  $C_{\text{ГДК}}$  – гранично допустима концентрація для даного виду середовища (атмосферного повітря, води, ґрунту) [3, 9]. Якщо значення індексу не перевищує одиниці, ризик, як правило, вважають прийнятним або низьким. При значенні  $I > 1$  постає необхідність більш детального аналізу, врахування комплексної дії забруднювачів, а також розроблення та впровадження заходів зі зниження впливу.

Система екологічної безпеки розглядається як сукупність правових, організаційних, технічних та економічних механізмів, спрямованих на попередження та обмеження негативного впливу господарської діяльності на довкілля і здоров'я населення [1, 2]. У цій системі екологічний ризик виступає інструментом не лише для оцінки поточного стану, а й для обґрунтування пріоритетів природоохоронних заходів, планування природоохоронних витрат, підготовки рішень щодо розміщення, реконструкції та експлуатації потенційно небезпечних об'єктів. Саме через

кількісну та якісну оцінку ризику стає можливим перехід до ризик-орієнтованого управління, коли ресурси спрямовуються передусім на ті напрями, де очікуваний вигреш у зниженні ризику є максимальним.

Особливо показовою сфера застосування ризик-орієнтованого підходу є санітарно-захисні зони промислових та комунальних об'єктів. Санітарно-захисна зона традиційно визначається як просторовий бар'єр між джерелом забруднення та житловою забудовою, рекреаційними територіями і соціально значущими об'єктами. Нормативні документи задають мінімально допустимі розміри таких зон залежно від характеру та потужності об'єкта [5]. Однак фактичний рівень екологічної безпеки в межах СЗЗ залежить не лише від формальної відстані, а й від інтенсивності викидів, умов розсіювання забруднювачів у атмосфері, гідрогеологічної будови території, напрямків і швидкості вітру, рельєфу місцевості та інших чинників [5, 7]. Тому лише ризик-орієнтований аналіз дає змогу оцінити, чи виконує санітарно-захисна зона свою функцію як реальний, а не тільки формальний захисний бар'єр.

У випадку Лівобережної станції аерації КП «Дніпроводоканал» екологічний ризик формується комплексом можливих впливів, серед яких виділяються хімічне забруднення атмосферного повітря (насамперед аміаком, сірководнем, органічними сполуками), потенційне забруднення поверхневих і підземних вод у разі порушення герметичності споруд або аварійних ситуацій, накопичення забруднювачів у ґрунтах через випадіння осаду й аерозолів, поширення патогенної мікрофлори та біологічних аерозолів, а також утворення стійких неприємних запахів [3, 4, 8]. Кожен із зазначених впливів може бути охарактеризований через відповідні показники і часткові індекси ризику, які в подальшому можуть бути об'єднані в інтегральний показник екологічного ризику в межах санітарно-захисної зони. Отже, екологічний ризик є ключовою категорією, що пов'язує між собою фактичний стан довкілля, умови проживання населення, особливості функціонування техногенних об'єктів і систему управління екологічною безпекою. Для обґрунтування екологічних ризиків у межах санітарно-

захисної зони Лівобережної станції аерації важливо поєднати загальнотеоретичні підходи до оцінки ризику з чинними нормативно-правовими вимогами та реальними даними екологічного моніторингу. Саме це завдання стане предметом подальшого розгляду у наступних підрозділах теоретичного розділу та в аналітичній частині дипломної роботи.

## 1.2 Класифікація екологічних ризиків техногенних об'єктів водовідведення

Екологічні ризики, що виникають під час експлуатації об'єктів водовідведення, мають складний, багатокомпонентний характер. Вони не обмежуються лише одним видом впливу чи одним шляхом міграції забруднювачів, а формуються як результат поєднання хімічних, фізичних, біологічних та організаційно-технічних факторів. Для того щоб ці ризики можна було коректно оцінювати, порівнювати між собою, визначати їх пріоритетність і в подальшому управляти ними, необхідним є чіткий підхід до їх класифікації [16–18].

Класифікація екологічних ризиків для техногенних об'єктів, таких як каналізаційні насосні станції, очисні споруди, станції аерації, дає можливість упорядкувати інформацію про джерела небезпеки, механізми їх дії, просторово-часові масштаби та потенційні наслідки. У науковій літературі та практиці екологічного управління пропонується використовувати багатовимірний підхід, коли ризики групують одночасно за кількома ознаками: природою походження, характером впливу на компоненти довкілля, умовами виникнення, просторово-часовими параметрами, ступенем прийнятності та керованості [16, 19, 23].

Якщо розглядати ризики за природою їх походження, то зазвичай виокремлюють природні, антропогенні та змішані (природно-антропогенні) ризики. Для об'єктів водовідведення визначальними є саме антропогенні

ризика, адже вони безпосередньо пов'язані з роботою технологічного обладнання, режимом очищення стічних вод, експлуатацією споруд та мереж [16, 17]. До них належать, наприклад, викиди газоподібних і аерозольних домішок з аеротенків і мулових майданчиків, потенційні витіки стічних вод із мереж, фільтрація забруднених рідин у ґрунт і підземні води. Природні фактори – сильні опади, повені, екстремальні температури чи сильні вітри – можуть виступати як зовнішні умови, що підсилюють або провокують реалізацію цих антропогенних ризиків, наприклад, у вигляді аварійних скидів чи порушення герметичності споруд [18, 22].

З позицій впливу на окремі компоненти довкілля доцільно говорити про ризики забруднення атмосферного повітря, водних об'єктів, ґрунтів, а також про біологічні та фізичні ризики. Для станцій аерації та очисних споруд повітряні ризики пов'язані з виділенням аміаку, сірководню, летких органічних сполук та дрібнодисперсних аерозолів органічної природи з поверхні відкритих споруд, вентиляційних систем та інших елементів технологічної схеми [18, 21]. Водні ризики проявляються через можливість потрапляння недостатньо очищених стічних вод до поверхневих або підземних вод у разі відмови обладнання, перевантаження споруд, підмиву чи пошкодження колекторів. Ґрунтові ризики формуються повільніше, але мають довготривалий характер, оскільки забруднювачі можуть накопичуватися в ґрунтовому профілі внаслідок випадіння аерозолів, фільтрації забруднених вод або нераціонального поводження з осадами.

Особливу групу становлять біологічні ризики, які пов'язані з можливістю потрапляння в навколишнє середовище патогенних мікроорганізмів, вірусів, яєць гельмінтів, умовно-патогенної флори, що можуть міститися в стічних водах і осадах [18, 22]. Такі ризики є актуальними як для працівників підприємства, так і для населення, яке проживає в межах санітарно-захисної зони. Фізичні ризики в контексті об'єктів водовідведення найчастіше пов'язані із шумовим та вібраційним

впливом обладнання, змінами мікроклімату на території, можливими несприятливими умовами проживання.

Ще одна важлива ознака класифікації – це умови та режим виникнення ризику. У цьому разі розрізняють експлуатаційні (фонові) та аварійні ризики [17, 20]. Експлуатаційні ризики супроводжують об'єкт у нормальному режимі роботи: навіть за дотримання всіх нормативів та регламентів певний рівень викидів, скидів, утворення осадів і запахів є неминучим. Такі ризики, як правило, характеризуються відносно невисокою інтенсивністю, але тривалим, інколи безперервним характером впливу на довкілля. Аварійні ризики виникають у разі непередбачуваних ситуацій – відмов обладнання, раптових порушень у функціонуванні мереж, стихійних лих. Вони можуть мати короткочасний, але дуже інтенсивний характер і призводити до масштабних негативних наслідків, які виходять далеко за межі санітарно-захисної зони [17, 22]. Для Лівобережної станції аерації важливо розглядати обидві групи ризиків, оскільки саме їх поєднання формує реальний рівень безпеки для населення, що проживає або працює поблизу.

З урахуванням просторово-часових характеристик екологічні ризики поділяють на локальні та регіональні, а за тривалістю впливу – на короткострокові, довгострокові та відстрочені. Для міських очисних споруд основну роль відіграють локальні ризики, що проявляються в межах санітарно-захисної зони й безпосередньо прилеглих територій, однак у разі аварійних ситуацій можливе поширення впливу й на більш віддалені райони [17, 23]. Короткострокові ризики пов'язані, наприклад, з окремими епізодами несприятливих метеорологічних умов, коли інверсія температури або штиль призводять до накопичення запахів у приземному шарі повітря. Довгострокові ризики формуються через багаторічний вплив малих концентрацій забруднювачів, які поступово накопичуються в ґрунтах, підземних водах, біоті, а також можуть сприяти розвитку хронічних захворювань у населення. Відстрочені ризики проявляються із затримкою в часі, коли наслідки впливу стають помітними лише через роки після дії

чинника, наприклад у вигляді змін структури біоценозів чи статистики захворюваності [18, 22, 23].

Значне практичне значення має також поділ екологічних ризиків за ступенем їх прийнятності та керованості. У міжнародних підходах до управління ризиками, які закріплені зокрема в ISO 31000, виділяють прийнятні, допустимі (толеровані) та неприпустимі ризики [15, 16, 21]. Прийнятні ризики мають настільки низький рівень, що додаткові заходи щодо їх зменшення не є доцільними з економічної чи соціальної точки зору. Допустимі ризики визнаються такими, що можуть існувати за умови реалізації певних інженерних, організаційних та санітарно-гігієнічних заходів, спрямованих на їх обмеження. Неприпустимі ризики вимагають негайних дій – перегляду технологічної схеми, зупинки окремих стадій процесу, зміни режиму роботи або, у крайніх випадках, реконструкції чи перенесення об'єкта [16, 19]. У контексті дипломної роботи таке групування дозволить на етапі аналізу результатів не тільки описати рівень ризиків для санітарно-захисної зони Лівобережної станції аерації, а й обґрунтувати, які з них є прийнятними, а які потребують першочергового втручання.

Важливо також враховувати структуру джерел, через які реалізуються екологічні ризики на об'єктах водовідведення. Частина ризиків пов'язана безпосередньо з основним технологічним процесом очищення стічних вод в аеротенках, відстійниках, спорудах доочищення й знезараження. Інша частина формується завдяки функціонуванню допоміжних систем – енергетичного обладнання, вентиляції, систем зберігання та дозування реагентів. Окрему групу становлять ризики, що пов'язані з інженерними мережами та транспортом стоків: це стан колекторів, робота насосних станцій, напірних трубопроводів, випусків у водні об'єкти. Нарешті, значущий внесок можуть мати ризики, пов'язані з поводженням з осадами – їх тимчасовим зберіганням, зневодненням, транспортуванням та можливим використанням або захороненням [17, 18, 20].

Систематизація усіх перелічених груп ризиків створює основу для подальшого застосування кількісних та якісних методів оцінки. У подальших розділах дипломної роботи така класифікація буде використана для побудови матриць екологічних ризиків, у яких за одним виміром будуть відображені види впливу (на повітря, воду, ґрунти, біоту, населення), а за іншим – умови їх виникнення та ступінь прийнятності. Це дозволить не лише структуровано подати результати у вигляді таблиць, графіків і схем, а й чітко показати, які саме ризики в межах санітарно-захисної зони Лівобережної станції аерації є домінуючими та потребують першочергових заходів щодо мінімізації.

### 1.3 Санітарно-захисні зони: призначення, функції та нормативні вимоги

У структурі сучасних міст санітарно-захисні зони (СЗЗ) виконують роль «буферів» між техногенно навантаженими територіями та зонами проживання населення. З розвитком урбанізації, ущільненням забудови та розширенням інженерної інфраструктури, зокрема систем водовідведення, питання правильного встановлення й реального функціонування санітарно-захисних зон стає одним із ключових для забезпечення екологічної та санітарно-епідеміологічної безпеки [26, 31]. Для об'єктів водовідведення, таких як Лівобережна станція аерації КП «Дніпроводоканал», саме санітарно-захисна зона визначає простір, у межах якого зосереджені основні впливи на довкілля та де формуються екологічні ризики для населення.

Санітарно-захисна зона за своїм сутнісним змістом є територіальним бар'єром, що просторово відокремлює промислові, енергетичні, транспортні, комунальні та інші об'єкти – потенційні джерела шкідливих факторів – від житлової забудови, зелених зон масового відпочинку, навчальних і лікувальних закладів [26, 29, 32]. Її призначення полягає в тому, щоб забезпечити достатню відстань і відповідний режим використання території, за яких концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі, рівні

шуму, вібрації, а також інші шкідливі впливи зменшуються до санітарно допустимих значень. Тобто СЗЗ покликана гарантувати не лише формальне дотримання нормативів, а реальні безпечні умови життя населення та екологічно збалансоване використання території [27, 30].

Функції санітарно-захисної зони можна розглядати в кількох взаємопов'язаних площинах. Насамперед вона виконує захисну функцію, спрямовану на зниження інтенсивності техногенного впливу на межі житлової забудови. За рахунок відстані, особливостей планування території, створення захисних зелених насаджень, формування мікрорельєфу досягається поступове розсіювання та розбавлення забруднюючих домішок у повітрі, зменшення впливу запахів, пилу й шуму [26, 31, 34]. Для очисних споруд водовідведення це особливо актуально, оскільки серед головних факторів впливу – неприємні запахи, газоподібні виділення з відкритих споруд та шум від роботи насосного й вентиляційного обладнання.

Важливою є і планувально-містобудівна функція СЗЗ. На рівні генеральних планів населених пунктів і детальних планів територій СЗЗ фіксується як зона з особливим режимом використання землі, де забороняється або обмежується розміщення об'єктів, пов'язаних із тривалим перебуванням людей [26, 29, 32]. Згідно з вимогами будівельних норм планування і забудови територій, санітарно-захисні зони мають бути враховані ще на етапі вибору майданчика для розміщення об'єкта, а також під час подальшої реконструкції чи розширення підприємства [26]. Це дозволяє уникати конфліктних ситуацій, коли житлова забудова наближається до потенційно небезпечних об'єктів або, навпаки, підприємства будуються надто близько до вже існуючих житлових кварталів. Окремо варто виділити санітарно-гігієнічну та екологічну функції СЗЗ. Значна частина території таких зон має бути озеленена: передбачаються дерева, чагарники, газони, захисні лісосмуги, які сприяють додатковому очищенню повітря, затриманню пилу, пом'якшенню мікроклімату, зменшенню шумового навантаження [31, 33, 34]. Зелені насадження можуть

частково виконувати роль «біофільтра», особливо у випадку об'єктів, які супроводжуються викидами запахів та аерозольних домішок. При цьому озеленення має здійснюватися з урахуванням технологічних вимог до експлуатації споруд водовідведення, щоб не перешкоджати обслуговуванню обладнання та доступу до інженерних комунікацій.

Нормативно-правові засади встановлення та функціонування санітарно-захисних зон у містах України визначаються поєднанням вимог санітарного й містобудівного законодавства. На рівні державних будівельних норм питання планування та забудови територій, зокрема у зв'язку з розміщенням промислових і комунальних об'єктів, регламентуються ДБН Б.2.2-12:2019 «Планування і забудова територій» [26]. Цей документ встановлює загальні принципи просторового розміщення об'єктів, вимоги до функціонального зонування території, у тому числі з урахуванням наявності СЗЗ.

З санітарно-гігієнічного боку, вимоги до якості атмосферного повітря, допустимих рівнів шуму, особливостей планування та благоустрою територій населених пунктів регламентуються державними санітарними нормами і правилами з охорони атмосферного повітря, утримання територій населених місць, шумового навантаження тощо [27, 28]. У цих документах передбачено, що розміри санітарно-захисної зони для конкретних об'єктів мають встановлюватися з урахуванням класу їх потенційної небезпеки та фактичних обсягів викидів. Для об'єктів водовідведення додатково враховується характер запахових викидів, склад газової фази над спорудами очищення, а також можливість утворення специфічних аерозолів [30, 36].

Важливе значення мають також галузеві документи й методичні рекомендації, які деталізують підходи до встановлення санітарно-захисних зон саме для об'єктів систем водопостачання та водовідведення. Такі рекомендації містять, зокрема, критерії вибору меж СЗЗ, методики розрахунку та вимірювання концентрацій забруднюючих речовин, підходи до врахування метеорологічних умов, рельєфу місцевості та інших локальних

факторів [30, 36]. Для очисних споруд стічних вод вони також описують вимоги до озеленення, благоустрою території, розміщення внутрішніх доріг, майданчиків для тимчасового зберігання осаду тощо.

Санітарно-захисна зона має і чітко визначений режим землекористування. У більшості санітарних норм прямо забороняється розміщення в її межах житлових будинків, дитячих дошкільних закладів, шкіл, лікувальних і санаторно-курортних установ, а також інших об'єктів, пов'язаних із постійним або тривалим перебуванням людей [27, 37]. Натомість можливим є розміщення окремих складських та підсобних приміщень, інженерних об'єктів, транспортної інфраструктури за умови дотримання вимог санітарного законодавства. Озеленення в межах СЗЗ розглядається як пріоритетний напрям благоустрою, при цьому рекомендується використання стійких до забруднення видів дерев та чагарників, здатних ефективно затримувати пил і газоподібні домішки [31, 34].

У міжнародній практиці планування міст і управління якістю повітря активно розвиваються підходи, що поєднують містобудівне планування з оцінкою екологічних ризиків. Європейські та міжнародні організації підкреслюють роль просторового розміщення джерел викидів, зелених зон і житлових кварталів у формуванні реальних рівнів впливу на населення [33–35]. У цьому контексті санітарно-захисні зони розглядаються як один із важливих інструментів зниження ризиків, поряд із технологічною модернізацією, удосконаленням систем очищення викидів та розвитком зелених інфраструктур.

У рамках даної дипломної роботи санітарно-захисна зона Лівобережної станції аерації КП «Дніпроводоканал» розглядається не тільки як нормативно встановлена смуга відокремлення, але як динамічний простір, у якому перетинаються інтереси екологічної безпеки, містобудування та господарської діяльності. У наступних розділах буде проаналізовано фактичні межі й режим використання СЗЗ, її відповідність чинним

санітарним та містобудівним вимогам, а також проведено кількісну оцінку екологічних ризиків у межах цієї зони на основі даних про забруднення атмосферного повітря, ґрунтів, підземних вод та біологічні фактори [30, 33, 36]. Це дозволить перейти від формального опису СЗЗ до її функціональної оцінки як інструменту управління екологічною безпекою міського середовища.

#### 1.4 Нормативно-правове регулювання екологічної безпеки очисних споруд

Нормативно-правове забезпечення екологічної безпеки очисних споруд в Україні має багаторівневий характер. Воно охоплює загальне природоохоронне та водне законодавство, спеціальні закони у сфері житлово-комунальних послуг, будівельні норми, ліцензійні умови для підприємств водопостачання і водовідведення, галузеві правила приймання стічних вод, а також локальні регламенти комунальних підприємств. Для Лівобережної станції аерації комунального підприємства «Дніпроводоканал» ця система визначає вимоги як до процесу очищення стічних вод, так і до рівня екологічних ризиків у межах санітарно-захисної зони.

Ключове місце в регулюванні займає водне законодавство, передусім Водний кодекс України, який встановлює правові засади використання й охорони поверхневих і підземних вод. У ньому закріплено принцип пріоритетності екологічно безпечного використання водних ресурсів, визначено порядок здійснення спеціального водокористування, загальні вимоги до запобігання забрудненню водних об'єктів, у тому числі через скидання стічних вод. Для очисних споруд це означає, що вибір технологій очищення, структура очисних споруд і режим їх експлуатації мають

забезпечувати недопущення погіршення стану водних екосистем і дотримання нормативів скиду.

Спеціальним галузевим документом є Закон України «Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення». У частині водовідведення він визначає правові, організаційні та економічні засади функціонування систем централізованого водовідведення, встановлює вимоги до надійності та безпеки каналізаційних систем, якості очищеної води, що скидається у водні об'єкти, та відповідальності підприємств за порушення екологічних і санітарних норм. Для «Дніпроводоканалу» цей закон задає рамки діяльності, фіксує обов'язки щодо належного очищення стічних вод і захисту довкілля.

У сфері взаємовідносин між підприємствами водопостачання/водовідведення, органами місцевого самоврядування та споживачами діє Закон України «Про житлово-комунальні послуги». Він визначає централізоване водовідведення як один із видів житлово-комунальних послуг, установлює права та обов'язки споживачів і виконавців, а також принципи тарифоутворення й контролю якості послуг. Додатково функціонування підприємств у цій сфері пов'язане з діяльністю Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП), яка наділена повноваженнями щодо ліцензування та тарифного регулювання.

Вимоги ліцензійного характеру деталізуються в ліцензійних умовах провадження діяльності з централізованого водопостачання та водовідведення. У таких умовах, окрім фінансових та організаційних вимог, містяться положення щодо дотримання екологічних і санітарно-гігієнічних норм, наявності необхідних очисних потужностей, систем контролю якості стічних вод, а також заходів, спрямованих на зниження негативного впливу на довкілля. Для Лівобережної станції аерації це означає, що екологічна безпека є не лише завданням екологічної політики, а й невід'ємною складовою ліцензійної діяльності підприємства.

Важливе місце у системі регулювання посідають державні будівельні норми, зокрема норми щодо проектування й реконструкції систем каналізації, зовнішніх мереж і споруд. Ці документи встановлюють основні вимоги до трасування мереж, розміщення насосних станцій, вибору технологічних схем очищення, поводження з осадами, організації систем вентиляції та дезодорації. Вони прямо пов'язують проєктні рішення з необхідністю запобігання забрудненню довкілля, обґрунтуванням режиму скиду стічних вод, вибором місця розташування та параметрів санітарно-захисних зон. У разі реконструкції або модернізації Лівобережної станції аерації саме будівельні норми формують вихідну базу для прийняття технічних рішень.

Окремим блоком нормативного регулювання є правила приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення. На національному рівні вони встановлюють перелік речовин, заборонених до скидання, гранично допустимі концентрації окремих забруднюючих компонентів, порядок контролю якості стічних вод, що надходять від абонентів, та механізми нарахування плати за понаднормативні скиди. На їх основі органи місцевого самоврядування разом із підприємствами водовідведення розробляють локальні правила приймання стічних вод. Для міста Дніпра такі правила визначають вимоги до стічних вод, що надходять у систему КП «Дніпроводоканал», порядок контролю й відповідальність споживачів. Це безпосередньо впливає на якість вхідного потоку на Лівобережну станцію аерації й, відповідно, на потенційні екологічні ризики, пов'язані з її функціонуванням.

Екологічна безпека очисних споруд значною мірою залежить і від санітарно-гігієнічних нормативів, що встановлюють допустимі рівні забруднення атмосферного повітря, ґрунтів, поверхневих і підземних вод, а також регламентують протиепідемічні заходи в районах розміщення потенційно небезпечних об'єктів. На основі таких нормативів визначаються гранично допустимі концентрації забруднюючих речовин, критерії

безпечного стану довкілля в житловій забудові, вимоги до проведення моніторингу та періодичних санітарних обстежень територій у межах санітарно-захисних зон.

На формування національної нормативної бази у сфері очищення стічних вод впливають і європейські документи, зокрема рамкова директива ЄС у сфері водної політики та директива щодо очищення міських стічних вод. Вони встановлюють вимоги до рівня очищення стоків, ступеня захисту водних об'єктів, розвитку систем моніторингу, а також запроваджують підхід, орієнтований на досягнення доброго екологічного стану водних масивів. Україна декларує поступове наближення свого законодавства до цих вимог, що означає для очисних споруд необхідність поетапного підвищення ефективності очищення, удосконалення технологій та систем управління екологічними ризиками.

У підсумку нормативно-правове регулювання екологічної безпеки очисних споруд можна розглядати як цілісну систему, яка поєднує загальні вимоги до охорони довкілля з галузевими стандартами, ліцензійними умовами та локальними правилами підприємств. Для Лівобережної станції аерації ця система визначає критерії допустимих впливів на довкілля, перелік обов'язкових природоохоронних заходів, вимоги до санітарно-захисної зони та рамки відповідальності за порушення. У подальших розділах дипломної роботи ця нормативна база буде використана для обґрунтування методики оцінки екологічних ризиків у межах санітарно-захисної зони та формування пропозицій щодо їх зниження.

## 2 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРИРОДНИХ УМОВ ТЕРИТОРІЇ

### 2.1 Загальна характеристика Лівобережної станції аерації КП «Дніпроводоканал»

Лівобережна станція аерації є одним із ключових комплексів очисних споруд системи водовідведення м. Дніпро разом із Центральною та Південною станціями аерації. Вона забезпечує приймання й очищення стічних вод від значної частини лівобережної забудови міста, а також окремих прилеглих населених пунктів, обслуговуючи житловий фонд, промислові підприємства, комунально-побутові та транспортні об'єкти. Таким чином, станція відіграє стратегічну роль у функціонуванні міської інженерної інфраструктури та підтриманні санітарно-епідеміологічного благополуччя населення.

Станція розташована на лівому березі р. Дніпро, у північній частині міської агломерації, поблизу лівобережної частини м. Дніпро та м. Підгородне. Вибір такого місця зумовлений необхідністю розміщення очисних споруд на відносно віддаленій від щільної житлової забудови території, із можливістю організації санітарно-захисної зони, а також зручністю гідравлічного підведення стічних вод гравітаційними та напірними колекторами. Водночас таке розташування формує простір потенційного впливу на довкілля й населення прилеглих територій, що потребує детальної оцінки екологічних ризиків.

Лівобережна станція аерації належить до найстаріших об'єктів міської системи каналізації. Її будівництво здійснювалося поетапно, кількома чергами, починаючи з 1960-х років, із подальшим розширенням і

модернізацією окремих споруд. Проектна потужність станції становить орієнтовно сотні тисяч м<sup>3</sup> стічних вод на добу, що відповідає масштабам великого індустріального міста. Послідовне введення в експлуатацію окремих пускових комплексів зумовило певну неоднорідність технологічного обладнання та різний ступінь його фізичного і морального зносу, що є важливим чинником з точки зору екологічної безпеки.

Технологічна схема Лівобережної станції аерації відповідає класичній системі повного біологічного очищення стічних вод і включає стадії механічного, біологічного очищення, доочищення та обробки осадів. На стадії механічного очищення передбачено решітки для вилучення крупного сміття, пісколовки для видалення мінеральних домішок, а також первинні відстійники для осадження зважених речовин. Далі стічні води надходять до аеротенків, де в умовах інтенсивної аерації відбуваються біохімічні процеси окиснення органічних забруднювачів за участю мікроорганізмів активного мулу. Після цього вода потрапляє у вторинні відстійники, де відбувається відділення активного мулу від освітленої води з її подальшим відведенням до споруд доочищення або випуску в водний об'єкт згідно з нормативами.

Важливою особливістю станції є наявність споруд і обладнання для обробки осадів, що утворюються під час очищення стічних вод. Для зменшення їхнього об'єму та вологості застосовуються технології зневоднення та стабілізації, що полегшує подальше транспортування й утилізацію. Осади, як правило, є концентрованим носієм забруднювачів, тому ступінь їх очищення, спосіб зберігання та видалення мають суттєве значення для формування екологічних ризиків у межах санітарно-захисної зони.

Лівобережна станція аерації належить до об'єктів критичної інфраструктури. Для забезпечення безперервності роботи передбачено резервування основних технологічних систем, наявність резервних джерел електроживлення, планово-попереджувальні ремонти та періодична діагностика обладнання. Попри це, значний строк експлуатації споруд і

складний характер вхідного потоку стічних вод (суміш побутових і виробничих стоків) зумовлюють потребу в постійному контролі за ефективністю очищення, станом будівельних конструкцій, надійністю енергетичного та насосного обладнання.

Стічні води, що надходять на станцію, мають змішаний характер: переважають побутові стоки, однак суттєву частку становлять стічні води промислових підприємств, транспортної інфраструктури, об'єктів сервісного й торговельного сектору. Це зумовлює різноманітний хімічний склад забруднювачів: органічні сполуки, зважені речовини, сполуки азоту та фосфору, поверхнево-активні речовини, нафтопродукти, важкі метали та інші специфічні домішки. Такий склад збільшує навантаження на споруди механічного й біологічного очищення та вимагає належної організації системи моніторингу якості стічних вод на різних етапах технологічної схеми.

Значний вік станції, поєднання старого й більш сучасного обладнання, а також великий обсяг очищуваних стоків зумовлюють наявність ряду проблем, пов'язаних із фізичним зносом споруд, енергоємністю технологічних процесів і запаховим навантаженням на прилеглі території. Особливо гостро останній чинник відчувається в періоди несприятливих метеорологічних умов, коли поширення запахів може охоплювати житлову забудову та інші чутливі об'єкти в межах санітарно-захисної зони. Це безпосередньо пов'язано з умовами експлуатації аеротенків, відкритих відстійників, мулових майданчиків, а також із ефективністю роботи вентиляційних і дезодоруючих систем.

Узагальнюючи, Лівобережна станція аерації КП «Дніпроводоканал» є великим багатофункціональним комплексом очисних споруд, що забезпечує механічне, біологічне очищення та обробку осадів стічних вод лівобережної частини м. Дніпро. Її технічний стан, реальне навантаження та просторове положення відносно житлової забудови й інших об'єктів визначають рівень екологічних ризиків у межах санітарно-захисної зони, які в подальших

підрозділах будуть деталізовані та оцінені з використанням кількісних і якісних показників.

## 2.2 Природно-кліматичні умови та метеорологічні особливості району дослідження

Район розташування Лівобережної станції аерації КП «Дніпроводоканал» знаходиться в межах лівобережної частини м. Дніпро, у південно-східній частині України, в межах степової зони. Територія характеризується відносно мало порізаним лесовим плато з розвиненою заплавою річки Дніпро та її приток, що певним чином впливає на формування місцевого мікроклімату (підвищена вологість у заплаві, часті тумани, вітровий режим, зумовлений відкритістю території) [52, 56].

За типовою кліматичною класифікацією клімат м. Дніпро відносять до вологого континентального (тип Dfa за класифікацією Кеппена), із чітко вираженою континентальністю, жарким літом і холодною зимою [52, 53, 55]. Для регіону характерні чотири пори року: холодна зима зі стійким сніговим покривом у більшості років, тепла або спекотна літня пора, а також два перехідні сезони – весна та осінь – із підвищеною повторюваністю опадів та значними добовими коливаннями температури [53, 54]. У кліматичному відношенні територія належить до зони помірно континентального клімату з посушливими тенденціями, притаманними степовому поясу України [56].

Середньорічна температура повітря в районі м. Дніпро становить близько 9–10 °С [53, 56]. Найхолоднішим місяцем є січень, коли середні добові температури за багаторічними даними знаходяться в межах від –6...–5 °С для мінімальних до близько 0 °С для максимальних значень [53, 54]. У період сильних вторгнень арктичного повітря можливі пониження температури до –20 °С і нижче. Найтеплішим місяцем є липень, із середніми

максимальними температурами близько 27–29 °С та нічними температурами переважно 15–17 °С [54, 55]. У літні періоди спостерігаються хвилі спеки з підвищенням денної температури понад 30–35 °С, що сприяє посиленню випаровування й ускладнює санітарний стан територій, де розміщені об'єкти водовідведення.

Річна сума опадів для території м. Дніпро становить у середньому близько 500–550 мм, причому основна їх частина припадає на теплий період року (квітень–жовтень) [53, 56]. Літні опади носять, як правило, зливовий та зливово-грозовий характер, що зумовлює нерівномірний розподіл атмосферних опадів у часі. У холодний період року опади випадають переважно у вигляді снігу або мокрого снігу, можливі часті відлиги з повторним замерзанням, що пов'язано з проходженням циклонів із Атлантики та Чорноморського басейну [55]. Для досліджуваного району важливими є саме інтенсивні зливові дощі, які можуть призводити до перевантаження каналізаційної системи та збільшення гідравлічного навантаження на очисні споруди.

Вологість повітря має виражену сезонну змінність: у холодний період середня відносна вологість сягає 80–85 %, тоді як у літні місяці вона знижується до 55–65 % [53, 54]. Такий режим зумовлює часте поєднання невисоких температур із високою вологістю узимку, що сприяє утворенню туманів та мряки, а влітку – поєднання високих температур із середньою вологістю, що підсилює відчуття спеки та сприяє активізації біохімічних процесів у відкритих спорудах очищення стічних вод.

Вітровий режим території визначається поєднанням загальноциркуляційних процесів та місцевих умов. За метеорологічними спостереженнями для Дніпропетровського регіону характерні вітри переважно західних, північно-західних і південних румбів із середньорічною швидкістю 3–5 м/с, при цьому в холодний період повторюваність сильніших вітрів (понад 10 м/с) зростає [56, 58]. У теплий період частіше спостерігаються слабкі й помірні вітри, а також періоди штилів, особливо в

нічні години, коли формуються приземні інверсії температури. Такі умови є несприятливими з точки зору розсіювання забруднювальних речовин та запахів у приземному шарі атмосфери над територією очисних споруд.

Для району дослідження характерною є певна повторюваність туманів, особливо в осінньо-зимовий період, що пов'язано з близькістю русла Дніпра, наявністю водної поверхні та низинних ділянок заплави [52, 56]. Тумани й слабкі вітри сприяють застою повітря, накопиченню запахів та газоподібних продуктів біохімічних процесів, що відбуваються у спорудах очищення стічних вод. У поєднанні з температурними інверсіями у приземному шарі це може призводити до підвищення концентрацій забруднювачів у межах санітарно-захисної зони й посилення дискомфортних відчуттів у населення.

Останні десятиріччя для Дніпропетровського регіону характеризуються тенденціями до кліматичних змін: відзначається підвищення середньорічної температури повітря, збільшення частоти теплих зимових періодів, частіші та триваліші хвилі літньої спеки, а також певна зміна режиму опадів [57]. Дослідження термічного комфорту та кліматичних характеристик регіону показують зростання частоти періодів, коли тепловий стан середовища є дискомфортним для населення, особливо в літні місяці [57, 58]. Для об'єктів водовідведення це означає підвищення ризику посилення запахового навантаження в спекотні періоди, а також збільшення ймовірності екстремальних гідрометеорологічних ситуацій (зливи, інтенсивні опади) з можливим перевантаженням каналізаційної системи.

Узагальнюючи, природно-кліматичні та метеорологічні умови району розташування Лівобережної станції аерації характеризуються поєднанням континентального клімату з жарким літом, холодною зимою, відносно невеликою річною кількістю опадів і вираженою сезонністю. Такі умови, разом із особливостями вітрового та температурного режиму, безпосередньо впливають на формування екологічних ризиків у межах санітарно-захисної зони, визначаючи умови розсіювання забруднювальних речовин та рівень дискомфорту для населення й довкілля в різні пори року.

### 2.3 Геологічні, гідрогеологічні та ґрунтові умови території

Територія розташування Лівобережної станції аерації КП «Дніпроводоканал» належить до лівобережної надзаплавної тераси річки Дніпро в межах Придніпровської височини степової зони України. В геологічному відношенні район характеризується поширенням потужної товщі пухких четвертинних відкладів, які залягають на осадових породах більш давнього віку та кристалічному фундаменті Українського щита. Безпосередньо в зоні розміщення очисних споруд верхню частину розрізу складають лесові та лесоподібні суглинки, делювіальні та делювіально-пролювіальні відклади, а також алювіальні піски й супіски заплавно-терасового комплексу Дніпра.

Лесові й лесоподібні суглинки мають, як правило, пилювато-супіщаний або пилювато-суглинистий гранулометричний склад, значну потужність гумусованого горизонту та схильні до просадочності при зволоженні. Це особливо важливо для розміщення та експлуатації інженерних споруд, оскільки зміна вологості ґрунтової товщі (наприклад, внаслідок фільтрації стічних вод або зміни рівня ґрунтових вод) може призводити до нерівномірних деформацій основи споруд. Нижче залягають більш щільні суглинки й глини, які виконують роль відносно водотривких прошарків і беруть участь у формуванні гідрогеологічних умов території.

У зоні заплав і надзаплавних терас Дніпра поширені алювіальні піски, супіски й суглинки різного ступеня сортування й насиченості органічною речовиною. Ці відклади відзначаються підвищеною водопроникністю, що сприяє інтенсивному інфільтраційному живленню верхніх водоносних горизонтів та обумовлює їхню уразливість до техногенного забруднення. Для території Лівобережної станції аерації поєднання лесових та алювіальних відкладів формує складні інженерно-геологічні умови, у яких можливі як просадкові явища, так і локальні підтоплення.

Гідрогеологічні умови району визначаються наявністю кількох водоносних горизонтів у межах четвертинних і більш давніх відкладів. Найбільш близьким до поверхні є безнапірний (грунтовий) водоносний горизонт, приурочений до алювіальних та делювіальних піщано-супіщаних порід, а частково – до тріщинуватих лесових суглинків. Глибина залягання рівня ґрунтових вод у межах надзаплавної тераси зазвичай становить кілька метрів від поверхні землі, але може істотно змінюватися залежно від рельєфу, гідрологічного режиму Дніпра, інтенсивності інфільтрації атмосферних опадів і техногенного впливу (наявність підземних комунікацій, дренажів, зон фільтрації зі споруд водовідведення).

Живлення ґрунтових вод відбувається переважно за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, фільтрації з відкритих водойм і каналів, а також витоків із водонесучих мереж та споруд. Загальний напрямок руху ґрунтових вод, як правило, спрямований у бік долини Дніпра. Це означає, що у випадку потрапляння забруднюючих речовин у зону аерації та верхні горизонти вони можуть мігрувати в напрямку річки, формуючи потенційні ризики для якості підземних і прибережних вод. Умови фільтрації залежать від потужності й будови лесово-алювіальної товщі, наявності слабкопроникних прошарків глин та суглинків, які можуть локально екранувати рух води.

Нижче ґрунтових вод залягають напірні або слабонапірні водоносні горизонти, приурочені до піщаних і піщано-алевритових товщ більш давнього віку й відокремлені від поверхні водотривкими шарами глин та суглинків. Ці горизонти, як правило, використовуються для централізованого водопостачання та характеризуються більшою захищеністю від безпосереднього техногенного впливу з поверхні. Водночас у зонах, де водотривкі прошарки розвинені слабо або порушені техногенними факторами, можливе вертикальне проникнення забруднюючих речовин з верхніх горизонтів, що потребує врахування при оцінці довгострокових екологічних ризиків.

Ґрунтовий покрив території належить до типових для степової зони України. Домінують чорноземи звичайні та південні різного ступеня змитості й окультурення, а в пониженнях рельєфу та заплавних ділянках – лучно-чорноземні та лучні ґрунти, сформовані на делювіальних та алювіальних відкладах. Чорноземи характеризуються високим вмістом гумусу, доброю структурою, значною ємністю вбирання та високою буферністю щодо кислотно-лужних і солевих впливів. Це з одного боку сприяє частковому зв'язуванню окремих забруднювачів у верхніх горизонтах, але з іншого – створює ризик їхнього накопичення у ґрунтовому профілі, особливо за тривалого техногенного навантаження.

У межах урбанізованої території навколо Лівобережної станції аерації первинний ґрунтовий покрив значною мірою трансформований техногенними процесами. Формуються так звані урбаноземи й техноземи, для яких характерні порушена будова профілю, наявність будівельного й побутового сміття, техногенних включень (шлаки, зола, уламки бетону, металобрухт), а також вторинні процеси ущільнення, засолення й забруднення важкими металами, нафтопродуктами та іншими техногенними компонентами. На території та в межах санітарно-захисної зони очисних споруд додатковим фактором формування ґрунтових умов є можливе потрапляння осаду стічних вод, аерозольних викидів і пилу, що містять органічні та мінеральні забруднювачі.

Фізико-механічні властивості ґрунтів, у тому числі гранулометричний склад, пористість, водопроникність, несуча здатність і просадочність, мають ключове значення як для оцінки стійкості основ споруд, так і для аналізу шляхів міграції забруднювачів. Лесові суглинки з їхньою потенційною просадочністю й схильністю до утворення тріщин здатні створювати локальні шляхи інтенсивної фільтрації й вертикального перерозподілу забруднюючих речовин. Алювіальні піски й супіски відзначаються високою водопроникністю, що сприяє швидкому переносу забруднень у водоносні горизонти. Чорноземи та лучно-чорноземні ґрунти завдяки значній ємності

вбирання можуть виступати як своєрідний «фільтр» і одночасно як резервуар накопичення забруднювачів.

Таким чином, геологічні, гідрогеологічні та ґрунтові умови території Лівобережної станції аерації характеризуються поєднанням потужної лесової товщі, водопроникних алювіальних відкладів, близького залягання ґрунтових вод і високородючих, але техногенно трансформованих чорноземних і лучних ґрунтів. Таке поєднання зумовлює підвищену уразливість верхніх водоносних горизонтів до техногенного забруднення, можливість накопичення поллютантів у ґрунтовому профілі та наявність інженерно-геологічних обмежень при експлуатації й реконструкції очисних споруд. У подальших розділах ці особливості будуть враховані під час обґрунтування шляхів міграції забруднювачів і кількісної оцінки екологічних ризиків у межах санітарно-захисної зони.

#### 2.4 Характеристика санітарно-захисної зони та прилеглої території

Санітарно-захисна зона (СЗЗ) Лівобережної станції аерації КП «Дніпроводоканал» є ключовим просторовим елементом, у межах якого концентрується основний техногенний вплив об'єкта на довкілля та населення. Вона виконує функцію буферної території між спорудами очищення стічних вод і навколишньою забудовою, покликана забезпечити зниження рівнів забруднення атмосферного повітря, ґрунтів, а також шумового й запахового навантаження до санітарно допустимих значень.

Проектні межі санітарно-захисної зони встановлюються відповідно до чинних санітарних норм, які враховують характер виробництва, потужність очисних споруд, тип технології, наявність відкритих споруд (аеротенки, відстійники, мулові майданчики) та інтенсивність запахових викидів. Для очисних споруд такого масштабу, як Лівобережна станція аерації, нормативна СЗЗ зазвичай охоплює значну площу навколо комплексу

будівель і споруд, формуючи замкнуту або напівзамкнуту смугу відокремлення від житлової забудови. Фактичні межі зони визначаються містобудівною документацією та уточнюються за результатами натурних обстежень, картографічних матеріалів і аналізу земельного кадастру.

У межах санітарно-захисної зони та прилеглої території доцільно виділити кілька функціонально-просторових підзон. Безпосередньо прилягає до виробничого майданчика внутрішня технічна смуга, де розташовані основні споруди: механічного та біологічного очищення, споруди доочищення, об'єкти обробки осадів, насосні станції, технологічні та допоміжні будівлі, внутрішньомайданчикові транспортні шляхи. Ця частина території має переважно техногенний характер, з високою щільністю інженерних мереж, твердих покриттів, техногенно порушених ґрунтів і локальних ділянок із підвищеним техногенним навантаженням.

Далі розташовується зона озеленення та захисних насаджень, яка є обов'язковим елементом СЗЗ. Як правило, вона включає смуги деревно-чагарникових насаджень, газони, окремі масиви дерев та ділянки з природною або вторинно сформованою рослинністю. Захисні зелені насадження виконують функцію вітрозахисного, шумозахисного й частково пилогазозахисного бар'єра, сприяють розсіюванню й розведенню забруднюючих речовин у приземному шарі атмосфери, а також поліпшують візуальне сприйняття території. Ступінь сформованості та повноти цієї зеленої смуги є важливим фактором при оцінці ефективності СЗЗ з точки зору екологічних ризиків.

У межах санітарно-захисної зони та безпосередньо на її периферії можуть бути розташовані об'єкти інженерної та транспортної інфраструктури – під'їзні дороги, внутрішньогосподарські шляхи, складські та допоміжні приміщення, лінії електропередач, трубопроводи, інші комунікації. Частина таких об'єктів допускається нормативами за умови, що вони не пов'язані з тривалим перебуванням людей. При аналізі фактичного використання території необхідно оцінювати, наскільки розміщення цих

об'єктів відповідає вимогам санітарного законодавства та чи не створює додаткових шляхів поширення забруднювачів (наприклад, через відкриті ґрунтові поверхні, неорганізований стік тощо).

Особливу увагу в межах дослідження слід приділити наявності чутливих об'єктів у зоні впливу станції – житлової забудови, садибної забудови, дачних та садівничих масивів, соціальної інфраструктури (дитячі заклади, навчальні заклади, лікувально-профілактичні установи), а також рекреаційних територій. Фактичне наближення житлової забудови до меж СЗЗ або її часткове розміщення в межах зони свідчить про потенційне зростання екологічних ризиків для населення, зокрема через запахове навантаження, можливе перевищення гігієнічних нормативів за окремими забруднювачами в атмосферному повітрі та підвищення психологічного дискомфорту мешканців.

Прилегла до санітарно-захисної зони територія має переважно урбанізований характер із поєднанням житлової, промислово-складської та транспортної функцій. Тут можуть розміщуватися промислові бази, логістичні комплекси, дрібні підприємства, автодороги, об'єкти дорожньої інфраструктури. Така структура використання території з одного боку «екранує» житлову забудову від прямого впливу станції, а з іншого – формує сукупний техногенний фон, до якого додається вплив очисних споруд. У результаті інтегральні екологічні ризики для населення й довкілля зумовлюються не лише діяльністю станції аерації, а й сумарним впливом усіх об'єктів у межах агломерації.

Важливою особливістю санітарно-захисної зони Лівобережної станції аерації є поєднання відкритих водних та ґрунтових поверхонь із техногенними майданчиками. У межах і поблизу СЗЗ можуть розташовуватися дренажні канали, пониження рельєфу, лощини стоку, які у випадку порушення норм експлуатації здатні виступати шляхами поверхневого розповсюдження забруднювачів (наприклад, вилученого осаду, фільтрату, забруднених дощових та талих вод). Це підвищує значення

інженерних заходів із організації водовідведення, локалізації можливих аварійних скидів та запобігання підтопленню території.

Стан ґрунтового покриву в межах санітарно-захисної зони характеризується значною техногенною трансформацією. Поширені техногенно-порушені ґрунти (техноземи, урбаноземи), насипні ґрунти, поверхні з ущільненим покриттям, ділянки зі зміненим рельєфом. На окремих площах можливе накопичення осаду стічних вод, пилу та аерозольних випадінь, що містять органічні й мінеральні забруднювачі. Для оцінки екологічних ризиків важливими є результати ґрунтових досліджень у межах СЗЗ – вміст важких металів, нафтопродуктів, сполук азоту й фосфору, показники засолення й кислотно-лужної рівноваги, а також фізико-хімічні властивості ґрунтів, які визначають потенціал міграції поллютантів.

Не менш важливим є візуально-ландшафтний аспект: стан благоустрою, ступінь озеленення, наявність несанкціонованих сміттєзвалищ, зруйнованих споруд, відкритих мулових майданчиків чи територій із порушеним покривом. Такі елементи не лише погіршують санітарний стан території, але й часто виступають джерелами вторинного забруднення повітря, ґрунтів і поверхневих стоків. Вони також суттєво впливають на сприйняття території населенням, підсилюючи суб'єктивне відчуття небезпеки та дискомфорту.

У цілому санітарно-захисна зона та прилегла територія Лівобережної станції аерації являють собою складний урбанізований простір, у якому перетинаються функції технічно-експлуатаційної, захисно-санітарної та частково житлово-господарської зон. Ступінь відповідності фактичного землекористування в межах СЗЗ чинним санітарним нормам, ефективність захисних насаджень, наявність або відсутність чутливих об'єктів у зоні впливу, а також стан техногенно трансформованих ґрунтів є визначальними факторами при оцінці екологічних ризиків. У подальших розділах ці аспекти будуть деталізовані з використанням результатів натурних обстежень, картографічного аналізу та лабораторних досліджень.

## 2.5 Сучасний екологічний стан компонентів довкілля в межах СЗЗ

Сучасний екологічний стан довкілля в межах санітарно-захисної зони (СЗЗ) Лівобережної станції аерації КП «Дніпроводоканал» формується під впливом поєднання загальноміських урбанізаційних процесів та локального впливу очисних споруд. З одного боку, територія входить до складу великого індустріального міста з характерним транспортним, промисловим і побутовим навантаженням. З іншого — безпосередня близькість відкритих споруд очищення стічних вод, мулових майданчиків та допоміжної інфраструктури зумовлює специфічні ризики, пов'язані з запахами, аерозольними викидами, можливим локальним забрудненням ґрунтів і ґрунтових вод.

Стан атмосферного повітря в межах СЗЗ загалом відповідає рівню забруднення, типовому для урбанізованих територій великого промислового центру. У повітрі присутні зважені частинки, оксиди азоту, оксид вуглецю та інші домішки, джерелом яких є промислові підприємства, транспорт і комунальні об'єкти. Разом із тим, для безпосереднього оточення Лівобережної станції аерації характерним є додаткове запахове навантаження, пов'язане з виділенням сірководню, аміаку та інших летких сполук з аеротенків, відстійників і споруд обробки осаду. У періоди штилю, інверсій температури та підвищеної вологості запахи можуть затримуватися в приземному шарі повітря та поширюватися на прилеглі житлові квартали, створюючи відчутний дискомфорт для населення. Навіть за дотримання гранично допустимих концентрацій за окремими хімічними показниками саме запахи часто визначають суб'єктивне сприйняття екологічного стану території.

Поверхневі води в зоні впливу очисних споруд пов'язані насамперед із гідросистемою річки Дніпро та її прибережних ділянок. Стічні води після очищення надходять у водні об'єкти, і якість цього скиду суттєво впливає на загальний стан водного середовища. Для урбанізованих відрізків Дніпра

характерним є поєднання органічного навантаження, евтрофікаційних процесів, періодичних перевищень за показниками БСК, сполук азоту та фосфору, нафтопродуктів і важких металів. При нормальному функціонуванні очисних споруд основний вклад у забруднення формує саме сумарний міський вплив, однак у разі порушень технологічного режиму чи аварійних ситуацій локальний внесок Лівобережної станції аерації може істотно посилювати напруженість екологічної ситуації.

Гідрогеологічні умови території зумовлюють підвищену вразливість верхніх (грунтових) водоносних горизонтів до техногенного впливу. Водопроникні алювіальні й делювіальні відклади сприяють інфільтрації атмосферних опадів і можливому проникненню забруднених поверхневих стоків або фільтратів із техногенних майданчиків. Це створює ризик локального погіршення якості ґрунтових вод у межах СЗЗ, особливо в зниженнях рельєфу, поблизу мулових майданчиків або зон неорганізованого поверхневого стоку. Глибші напірні горизонти, які використовуються для централізованого водопостачання, як правило, залишаються відносно захищеними завдяки наявності водотривких шарів, однак у довгостроковій перспективі їхній стан також залежить від масштабу та тривалості техногенного навантаження.

Ґрунтовий покрив у межах санітарно-захисної зони значною мірою трансформований. Первинні чорноземні й лучно-чорноземні ґрунти заміщені техногенними різновидами з порушеною будовою профілю, включеннями будівельних матеріалів, уламків бетону, металу та інших техногенних компонентів. На окремих ділянках, пов'язаних із роботою насосного й енергетичного обладнання, можливе накопичення нафтопродуктів; поблизу транспортних шляхів – підвищений вміст важких металів у приповерхневому шарі ґрунту. Додатковим джерелом забруднення є осад стічних вод, пил і аерозольні випадіння, які можуть містити органічні речовини, сполуки азоту, фосфору та інші поллютанти. Усе це зумовлює техногенний характер

грунтового середовища й потребує підтвердження фактичного рівня забруднення за результатами аналізів.

Біота в межах СЗЗ представлена переважно спрощеними, техногенно адаптованими угрупованнями. Рослинність формується переважно із штучних захисних насаджень, фрагментів зелених смуг, газонів, а також вторинних трав'яних угруповань, що розвиваються на порушених ґрунтах. Домінують види, стійкі до запиленості, загазованості й періодичного засолення. Тваринний світ представлений синантропними видами – дрібними гризунами, міськими видами птахів, безхребетними, здатними існувати в умовах періодичного шуму, освітлення й антропогенного пресу. Разом із тим, наявність зелених насаджень у межах санітарно-захисної зони відіграє позитивну роль: вони частково пом'якшують мікроклімат, знижують пилогазове навантаження, слугують біотопами для окремих видів та виконують візуально-екранувальну функцію між техногенними спорудами й житловими кварталами.

Серед фізичних факторів особливе значення мають шум і запахи. Шумове навантаження формується роботою компресорів, насосів, вентиляторів, рухом технологічного та автотранспорту. Як правило, рівні шуму на межі СЗЗ наближаються до гранично допустимих значень, а в нічний час можуть створювати додатковий дискомфорт для населення, якщо житлова забудова розташована поблизу напрямку поширення звуку. Запахи ж стають основним чинником, що визначає психологічне сприйняття екологічної ситуації: навіть за відносно невисоких концентрацій хімічних домішок у повітрі неприємні запахи сприймаються населенням як значний негативний вплив, що нерідко викликає скарги й соціальну напругу.

Узагальнюючи, екологічний стан компонентів довкілля в межах санітарно-захисної зони Лівобережної станції аерації можна охарактеризувати як напружений, але в цілому керований. Основні проблеми пов'язані не стільки з систематичним перевищенням нормативів за основними хімічними показниками, скільки з локальним техногенним навантаженням на ґрунти та

верхні водоносні горизонти, а також зі стійким запаховим і частково шумовим дискомфортом для населення. Подальші розділи дипломної роботи мають деталізувати ці висновки на основі натурних обстежень, лабораторних аналізів та розрахункових оцінок, представивши результати у вигляді таблиць, карт і графіків, придатних для кількісної оцінки екологічних ризиків.

### 3 ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ У МЕЖАХ САНІТАРНО-ЗАХИСНОЇ ЗОНИ ЛІВОБЕРЕЖНОЇ СТАНЦІЇ АЕРАЦІЇ

#### 3.1 Аналіз джерел негативного впливу на довкілля

Для обґрунтування екологічних ризиків у межах санітарно-захисної зони Лівобережної станції аерації насамперед необхідно ідентифікувати та систематизувати основні джерела негативного впливу на компоненти довкілля. Сукупний вплив формується як власне технологічними процесами очищення стічних вод, так і допоміжними видами діяльності, що забезпечують функціонування комплексу споруд. При цьому важливо враховувати як нормальний (штатний) режим роботи, так і можливі аварійні чи нештатні ситуації.

До ключових джерел негативного впливу належать, по-перше, технологічні споруди, пов'язані з механічним і біологічним очищенням стічних вод. На стадії механічного очищення (решітки, пісколовки, первинні відстійники) утворюються значні обсяги сміття, піску та осілих завислих речовин. За недостатньо ефективного збору, транспортування та тимчасового зберігання ці відходи можуть стати джерелом локального забруднення ґрунтів, поверхневого стоку, а також неприємних запахів. На стадії біологічного очищення в аеротенках і вторинних відстійниках утворюються газоподібні продукти розкладу органічних речовин, біоаерозолі та дрібнодисперсні частинки мулу, які потрапляють у атмосферне повітря над територією станції.

Другий важливий блок джерел становлять споруди й майданчики для обробки та зберігання осадів стічних вод. Осад є концентрованим носієм органічних і мінеральних забруднювачів, включаючи сполуки азоту, фосфору, важкі метали, поверхнево-активні речовини, патогенні мікроорганізми. У процесі згущення, стабілізації, зневоднення й тимчасового складування осадів відбувається інтенсивне виділення запахоутворюючих

газів і фільтрату. За відсутності ефективної ізоляції та дренажу фільтрат може інфільтруватися в ґрунт і потрапляти до верхніх водоносних горизонтів, а відкрита поверхня осаду є додатковим джерелом пилу й аерозолів. Тому мулові майданчики, шламонакопичувачі та пов'язані з ними технологічні лінії слід розглядати як одні з найбільш значущих джерел екологічних ризиків у межах СЗЗ.

Третю групу формують викиди в атмосферне повітря, пов'язані з роботою технологічного обладнання та транспорту. Йдеться про вихлопні гази автотранспорту, дизель-генераторних установок, котельного або іншого теплотехнічного обладнання, а також про можливі викиди через вентиляційні системи будівель, де розташовані насосні, компресорні та електротехнічні агрегати. У складі таких викидів можуть бути оксиди азоту, оксид вуглецю, вуглеводні, дрібнодисперсний пил, що формують додаткове локальне навантаження на атмосферне повітря в межах СЗЗ, особливо в умовах несприятливої розсіювальної здатності атмосфери.

Окремо слід виділити неорганізовані та поверхневі скиди забруднених вод, які можуть утворюватися на території станції внаслідок порушень режимів експлуатації, розливів реагентів, несправності дренажних систем, інтенсивних опадів. До таких джерел відносять забруднені дощові й талі води, що змивають з поверхні майданчиків залишки осаду, піску, нафтопродукти, а також можливі витіки зі споруд і трубопроводів. За відсутності належної системи збору й очищення вони потрапляють у найближчі пониження рельєфу, тимчасові водотоки чи дренажні канали, створюючи ризики вторинного забруднення поверхневих і ґрунтових вод.

Наступною важливою групою є відходи виробничої діяльності й технічного обслуговування обладнання. До них належать використані фільтри, мастила, обтиральні матеріали, зношені деталі, тари від реагентів, лампи, елементи електрообладнання. Неналежне поводження з такими відходами (зберігання під відкритим небом, відсутність сортування, несвоєчасне вивезення) здатне призводити до локального забруднення

ґрунтів і поверхневого стоку небезпечними компонентами, зокрема нафтопродуктами, важкими металами, хімічно стійкими органічними сполуками.

Суттєвий внесок у формування екологічних ризиків роблять запахи та біологічні чинники. Джерелом запахів є всі відкриті споруди, де відбувається аеробне й анаеробне розкладання органічних речовин: аеротенки, первинні й вторинні відстійники, мулові карти, ємності для зберігання осаду. Утворювані гази (сірководень, аміак, леткі органічні сполуки) при низьких швидкостях вітру та температурних інверсіях практично не розсіюються й здатні накопичуватися в приземному шарі повітря, поширюючись за межі виробничого майданчика. Додатковим чинником є наявність біоаерозолів, що містять мікроорганізми, спори, фрагменти органічних частинок, які можуть впливати на мікробіологічний стан повітря в межах СЗЗ.

До джерел негативного впливу належать також фізичні фактори — шум і вібрація. Їх формують робота компресорних станцій, насосних агрегатів, вентиляційних установок, а також рух вантажного й спеціалізованого транспорту по території станції та під'їзних шляхах. Постійний або періодично підвищений рівень шуму негативно впливає на умови праці персоналу та може досягати межі санітарно-захисної зони, створюючи додатковий дискомфорт для населення прилеглих територій.

Окремою категорією є потенційні аварійні та нештатні ситуації, які, хоча й виникають рідше, але мають високий потенціал формування гострих екологічних ризиків. До таких ситуацій можна віднести аварійні скиди недостатньо очищених стоків, розливи осаду або реагентів, затоплення окремих споруд, відмову енергопостачання з зупинкою технологічного обладнання тощо. У подібних випадках можливе короткочасне, але значне перевищення нормативів забруднювачів у стічних водах, різке зростання запахового навантаження, локальне забруднення ґрунтів і ґрунтових вод.

Важливо підкреслити, що частина джерел негативного впливу має комплексний характер та одночасно діє на кілька компонентів довкілля.

Наприклад, мулові майданчики можуть бути джерелом забруднення ґрунтів, ґрунтових вод, атмосферного повітря (через запахи й пил), а також формувати візуально-ландшафтний та психологічний дискомфорт. Технологічні споруди біологічного очищення впливають одночасно на стан атмосферного повітря, якість очищених стоків і умови праці персоналу. Це обумовлює необхідність інтегрального підходу до оцінки екологічних ризиків.

Таким чином, у межах санітарно-захисної зони Лівобережної станції аерації можна виділити низку основних груп джерел негативного впливу: технологічні споруди механічного й біологічного очищення, об'єкти обробки й зберігання осадів, неорганізовані та поверхневі скиди, викиди від транспортного й енергетичного обладнання, техногенно трансформовані ґрунти, фізичні чинники (шум, вібрація), а також потенційні аварійні ситуації. У подальших підрозділах ці джерела будуть деталізовані з точки зору кількісних і якісних характеристик, інтенсивності впливу на окремі компоненти довкілля та внеску в загальний рівень екологічного ризику в межах санітарно-захисної зони.

### 3.2 Оцінка ризиків забруднення атмосферного повітря

Оцінка ризиків забруднення атмосферного повітря в межах санітарно-захисної зони Лівобережної станції аерації ґрунтується на розумінні того, як поєднуються джерела викидів, властивості забруднювальних речовин, метеорологічні умови та просторове планування території навколо об'єкта. Саме через повітря населення найчастіше та найшвидше відчуває вплив роботи очисних споруд, насамперед у вигляді неприємних запахів і можливих перевищень гігієнічних нормативів за окремими домішками.

Для Лівобережної станції аерації характерний комплекс викидів, який включає як газоподібні, так і аерозольні забруднювачі. Газоподібні домішки

формується в основному внаслідок біохімічних процесів у стічних водах та осадах: сірководень утворюється при анаеробному розкладі сірковмісних органічних сполук, аміак – при мінералізації азотовмісних речовин і гідролізі сечовини, різні леткі органічні сполуки (жирні кислоти, аміни, меркаптани) з'являються як побічний продукт розкладу органіки. Ці речовини мають виражений запах і часто визначають саме «відчутну» для людей якість повітря. Додатково утворюються метан і діоксид вуглецю, які менш небезпечні у локальних концентраціях, але важливі з точки зору загального парникового впливу та безпеки експлуатації. До цього додаються оксиди азоту, оксид вуглецю, дрібнодисперсний пил та вуглеводні від роботи двигунів внутрішнього згоряння, котельного чи іншого енергетичного обладнання.

Аерозольна складова представлена дрібними частинками пилу та біоаерозолями: це фрагменти активного мулу, органічних залишків, мікроорганізми, спори, які потрапляють у повітря під час аерації стічних вод, переливів, розбризкування, а також при сушінні або переміщенні осадів. Саме поєднання газоподібних домішок з сильним запахом і твердих аерозольних частинок формує характерне екологічне навантаження на повітряний басейн у межах санітарно-захисної зони.

Основні потоки забруднювачів пов'язані з роботою аеротенків та відкритих відстійників, споруд обробки й зберігання осадів, вузлів механічного очищення, де транспортується сміття й пісок, а також із вентиляційними викидами з приміщень, у яких розміщено насосне, компресорне й інше обладнання. Додатковий внесок роблять викиди від автотранспорту та техніки, що постійно або періодично працює на території станції.

Кількісна оцінка ризиків забруднення атмосферного повітря зазвичай починається з інвентаризації викидів: потрібно визначити, які саме джерела працюють на об'єкті, які речовини вони викидають і в яких орієнтовних обсягах. Якщо прямих вимірювань немає, використовують питомі показники

викидів для певних типів споруд і технологій, а також коригувальні коефіцієнти з урахуванням реальних режимів роботи. На наступному етапі виконуються розрахунки розсіювання забруднювачів у повітрі, для чого застосовують моделі, що враховують швидкість і напрямок вітру, стан атмосферної стратифікації, висоту і характер джерел (точкові, площинні, об'єми), а також особливості місцевого рельєфу. Результатом таких розрахунків є просторовий розподіл концентрацій домішок у приземному шарі повітря на різних відстанях від джерел.

Отримані значення порівнюють з гігієнічними нормативами, насамперед із гранично допустимими концентраціями та порогами нюхового сприйняття. Особливий інтерес становлять точки на межі санітарно-захисної зони та в районах житлової забудови, розташованих у підвітряних секторах. На цій основі можна оцінити, де і за яких умов виникає ризик перевищення нормативів або формування стійкого дискомфорту для населення. Науково-практичні підходи до оцінки ризиків включають також розрахунок коефіцієнтів небезпеки, тобто відношення фактичних чи розрахункових концентрацій до нормативних значень, а також аналіз потенційних хронічних ефектів при тривалому впливі невеликих концентрацій.

Метеорологічні умови відіграють вирішальну роль у формуванні реального рівня ризику. При помірних вітрах і відсутності інверсій атмосфера здатна досить ефективно розсіювати домішки, тому концентрації швидко знижуються із віддаленням від джерела. Натомість у періоди слабкого вітру або штилю, особливо вночі й у холодні пори року, коли утворюються температурні інверсії, вертикальне перемішування повітря практично блокується. У такій ситуації газоподібні домішки й запахи накопичуються в приземному шарі, тривалий час утримуючись над територією станції та прилеглими кварталами. Висока літня температура посилює біохімічні процеси, збільшує інтенсивність виділення Запахоутворюючих газів із відкритих споруд, а підвищена вологість та тумани сприяють фіксації домішок у нижньому шарі атмосфери.

У просторі ризику розподіляються неоднорідно. Найбільш напружена ситуація спостерігається безпосередньо над територією станції та у найближчих до неї підвітряних секторах, де концентрації газоподібних домішок і біоаерозолів є найвищими. Далі, у межах санітарно-захисної зони, формується перехідна смуга, де концентрації поступово зменшуються, але запахи можуть залишатися помітними, особливо за несприятливих метеорологічних умов. За певних сценаріїв погоди вплив може виходити за межі формально встановленої СЗЗ, охоплюючи окремі квартали житлової забудови, що й викликає скарги населення.

Якщо узагальнити, ризики забруднення атмосферного повітря в межах санітарно-захисної зони Лівобережної станції аерації мають, передусім, комбінований характер. За хімічними показниками при штатній роботі та сприятливих погодних умовах рівень впливу часто залишається у прийнятних межах. Однак за рахунок запахового фактора, біоаерозолів та періодичних несприятливих метеорологічних ситуацій реальний ризик для комфортних умов проживання може суттєво зростати. Найбільш уразливими є мешканці будинків, розташованих у безпосередній близькості до межі санітарно-захисної зони, особливо в напрямку переважаючих вітрів, а також люди з підвищеною чутливістю до запахів та із захворюваннями органів дихання.

З точки зору зниження ризиків, пріоритетними є заходи, спрямовані на обмеження викидів з відкритих споруд (укриття аеротенків і відстійників, удосконалення вентиляції з очищенням повітря, оптимізація режимів аерації), мінімізацію площ відкритих мулових майданчиків, раціональну організацію руху транспорту, посилення захисних зелених насаджень у критичних секторах санітарно-захисної зони. Важливим інструментом є й організація локального та, по можливості, автоматизованого моніторингу якості повітря, що дозволить виявляти періоди підвищеного ризику й оперативно реагувати.

### 3.3 Оцінка ризиків забруднення ґрунтів та підземних вод

Оцінка ризиків забруднення ґрунтів і підземних вод у межах санітарно-захисної зони Лівобережної станції аерації є одним із ключових елементів комплексного аналізу екологічного стану території. На відміну від атмосферного повітря, де вплив проявляється відносно швидко, процеси формування забруднення у ґрунтовому профілі та водоносних горизонтах мають більш інерційний характер, але наслідки такого впливу можуть бути довготривалими й слабооборотними. Тому важливо не тільки описати наявний стан, а й виявити потенційні шляхи міграції забруднювачів, «уразливі ланки» геологічної й гідрогеологічної будови, а також оцінити ймовірні сценарії розвитку ситуації при збереженні існуючих умов експлуатації.

З позицій джерел формування забруднення ґрунтів можна виділити кілька основних груп факторів. По-перше, це техногенне навантаження, пов'язане з поводженням із осадами стічних вод: мулові майданчики, шламонакопичувачі, місця тимчасового складування зневодненого осаду, зони його навантаження та транспортування. Осад містить концентровані органічні речовини, сполуки азоту та фосфору, поверхнево-активні речовини, важкі метали, залишки нафтопродуктів, а також мікробіологічні компоненти. При порушенні цілісності покриття мулових карт, відсутності дренажу або ізоляційних екранів відбувається інфільтрація фільтрату в ґрунт, що сприяє накопиченню поллютантів у верхньому шарі та створює умови для їхнього вертикального переносу.

По-друге, це ділянки, де можливе потрапляння забруднювачів із поверхневих стоків: території механічного очищення (зони скидання піску й сміття), технічні майданчики, внутрішньомайданчикові дороги, місця зберігання реагентів і матеріалів, майстерні та ремонтні зони. Дошові та талі води, стікаючи по цих поверхнях, змивають часточки ґрунту, залишки осаду,

нафтопродукти, солі, що у разі відсутності влаштованої системи збору й очищення потрапляє на прилеглі ґрунти та дренажні канали. У пониженнях рельєфу формуються локальні зони акумуляції забруднювачів, де ризик перевищення гігієнічних нормативів є найбільшим.

Третім важливим аспектом є локальні джерела випуску або витоків стічних вод – аварійні чи хронічні малопомітні просочування через нещільності в трубопроводах, стіках, колодязях. Навіть невеликі за обсягом, але тривалі витoki можуть створювати «плями» підвищеного забруднення ґрунту й ґрунтових вод, особливо в зонах неглибокого залягання водоносних горизонтів і високої водопроникності порід.

З огляду на описані в попередніх підрозділах геологічні й гідрогеологічні умови, територія Лівобережної станції аерації характеризується поєднанням лесової товщі, алювіальних пісків і супісків, а також заляганням ґрунтових вод на відносно невеликій глибині. Лесові суглинки володіють певною буферною ємністю та здатні частково сорбувати іони важких металів і органічні сполуки, проте при тривалому надходженні забруднювачів їхня поглинальна здатність може вичерпуватися, а накопичені речовини – мігрувати вглиб. Алювіальні піски й супіски, що формують водопроникні горизонти, створюють умови для інтенсивного вертикального й горизонтального переносу розчинених компонентів до ґрунтового водоносного горизонту та в напрямку долини річки.

З точки зору методики, оцінка ризиків забруднення ґрунтів включає кілька послідовних етапів. Спочатку виконується аналіз функціонального зонування території: визначаються ділянки, де ймовірність надходження забруднювачів у ґрунт найбільша (мулові майданчики, дренажні пониження, ремонтні зони, місця потенційних витоків). Далі формується мережа відбору ґрунтових проб із прив'язкою до цих ділянок та до меж санітарно-захисної зони. У лабораторних умовах визначається вміст важких металів, нафтопродуктів, сполук азоту й фосфору, а також інтегральні показники на кшталт коефіцієнта концентрації (відношення фактичного вмісту до

фонового чи гранично допустимого значення). За результатами досліджень визначаються зони, де перевищення нормативів є стабільними й суттєвими, та ділянки, де ґрунтовий покрив зберігає відносно сприятливі характеристики.

Окремо здійснюється оцінка ризиків для підземних вод. У цьому випадку важливим є не тільки фактичний хімічний склад водоносних горизонтів (що встановлюється шляхом відбору проб із свердловин, шурфів, колодязів), але й аналіз шляхів міграції забруднювачів із поверхні й із верхніх шарів ґрунту. Для цього використовують дані про глибину залягання ґрунтових вод, потужність та будову аераційної зони, коефіцієнти фільтрації порід, напрямок і швидкість руху ґрунтових вод. У найпростішому варіанті розрахунок міграції може бути виконаний за допомогою оціночних формул, що пов'язують час досягнення забруднювачем водоносного горизонту з потужністю аераційної зони, коефіцієнтом фільтрації та ефективною пористістю порід. Такі розрахунки варто подати у вигляді таблиць і графіків, що демонструють, наскільки швидко за певних умов ті чи інші речовини можуть потрапити до підземних вод.

Важливим елементом аналізу є просторове відображення результатів. На основі лабораторних даних доцільно побудувати карти або схеми ізоліній концентрацій забруднювачів у ґрунтах та, за можливості, у ґрунтових водах. Це дозволить виявити «гарячі точки» – локальні ділянки з максимальними рівнями забруднення, співвіднести їх із джерелами та шляхами міграції, а також оцінити, чи поширюється вплив за межі санітарно-захисної зони. Для дипломної роботи доречним буде також показати на окремих графіках зміну концентрацій забруднювачів із глибиною ґрунтового профілю, що демонструє вертикальний характер міграції.

З погляду впливу на здоров'я людини та стан екосистем, ризики забруднення ґрунтів і підземних вод мають переважно довгостроковий, кумулятивний характер. При високих концентраціях у ґрунті й ґрунтових водах можливе опосередковане надходження забруднювачів до організму

людини через контакт із ґрунтом, пилом, споживання води з локальних джерел (колодязі, неглибокі свердловини), а також через рослинність, яка може акумулювати окремі речовини. Особливу увагу в цьому контексті слід приділити тим зонам, де в межах або поблизу санітарно-захисної зони існують дачні, садівничі чи інші ділянки з вирощуванням сільськогосподарської продукції, а також приватні джерела водопостачання.

Узагальнюючи, ризики забруднення ґрунтів та підземних вод у межах санітарно-захисної зони Лівобережної станції аерації можна охарактеризувати як потенційно значущі, але просторово неоднорідні. Найвищий рівень ризику очікується на ділянках, пов'язаних із поводженням із осадами стічних вод, у зонах акумуляції поверхневого стоку й у місцях можливих витоків. Інженерно-геологічні особливості території (наявність водопроникних порід і неглибоке залягання ґрунтових вод) підвищують уразливість верхніх водоносних горизонтів до техногенного впливу. У подальших підрозділах доцільно деталізувати ці висновки шляхом кількісної оцінки індексів забруднення, розрахунку потенційної глибини та швидкості міграції поллютантів, а також обґрунтування комплексу заходів, спрямованих на мінімізацію ризиків та відновлення якості ґрунтів і підземних вод.

### 3.4 Оцінка шумового та вібраційного навантаження

Шумове та вібраційне навантаження є важливими складовими загального техногенного впливу Лівобережної станції аерації на навколишнє середовище та населення прилеглих територій. На відміну від хімічного забруднення, яке зазвичай сприймається опосередковано (через показники якості повітря, води чи ґрунтів), шум і вібрація діють безпосередньо на органи чуття людини та її нервову систему, зумовлюючи як фізіологічний, так і психологічний дискомфорт. Тому оцінка цих факторів є невід'ємною

частиною комплексної оцінки екологічних ризиків у межах санітарно-захисної зони.

Шумове навантаження на території Лівобережної станції аерації формується цілою групою джерел. До постійно діючих належать насосні агрегати, вентилятори, компресори, аераційні установки, обладнання для перемішування та перекачування стічних вод і осадів. Вони створюють фоновий технічний шум, який є характерним для більшості очисних споруд і має, як правило, широкосмуговий характер з переважанням середньочастотної та низькочастотної складових. До періодичних джерел належить рух вантажного та спеціалізованого автотранспорту, робота підйомно-транспортного обладнання, навантаження й вивезення осадів, ремонтні операції. У сукупності ці джерела формують змінне в часі звукове поле, рівень якого може суттєво відрізнитися у денний та нічний періоди.

Вібраційне навантаження пов'язане насамперед із роботою обертових і поступально рухомих механізмів: насосів, вентиляторів, компресорів, мішалок, а також із передачею динамічних зусиль через фундаменти, будівельні конструкції та ґрунтову основу. При недостатній віброзахистній ізоляції коливання можуть частково передаватися на сусідні будівлі й споруди, зумовлюючи додатковий дискомфорт для персоналу, а в окремих випадках – впливаючи на довговічність конструкцій і точність роботи чутливого обладнання. На рівні санітарно-захисної зони вібраційний вплив зазвичай істотно зменшується, однак у безпосередній близькості до потужних агрегатів, а також у зонах жорсткого зв'язку фундаментів із ґрунтом він може бути відчутним.

Методично оцінка шумового навантаження передбачає кілька послідовних кроків. На першому етапі здійснюється інвентаризація джерел шуму: визначаються основні агрегати, їхній режим роботи, орієнтовні звукові потужності або рівні звуку на певній відстані. Паралельно формується схема розташування джерел відносно меж санітарно-захисної зони й найближчої житлової забудови. На другому етапі проводяться натурні

вимірювання рівнів звукового тиску в характерних точках: у виробничих приміщеннях, на відкритих майданчиках усередині станції, на межі санітарно-захисної зони та у зонах можливого впливу на житлову забудову. Вимірювання виконуються, як правило, у різний час доби (день/ніч), у стандартних октавних або третинооктавних смугах частот, із фіксацією еквівалентних, максимальних та мінімальних рівнів.

Отримані дані порівнюються з нормативними значеннями, встановленими для робочих місць, територій промислових підприємств і житлової забудови. Окремо враховується, що нормативи для нічного часу істотно жорсткіші, ніж для денного, а також те, що населення більш чутливо сприймає шум у нічний період. Для дипломної роботи доцільно представити результати у вигляді таблиць із порівнянням виміряних та допустимих рівнів, а також побудувати графіки зміни еквівалентного рівня звуку з віддаленням від основних джерел у напрямку житлових кварталів. Такі графічні матеріали добре демонструють, на якій відстані від станції шумове навантаження знижується до прийнятних величин, а де ще можливі перевищення.

Оцінка вібраційного навантаження має подібну логіку: спочатку визначаються найбільш інтенсивні джерела коливань, далі – точки контролю (фундаменти обладнання, будівельні конструкції, ґрунтові ділянки), після чого виконуються вимірювання параметрів вібрації (прискорення, швидкості, амплітуди зміщення) у характерних напрямках. За потреби результати переводяться у нормовані показники та порівнюються з гранично допустимими рівнями вібрації для виробничих приміщень і будівель. У межах санітарно-захисної зони найчастіше вібрація відіграє підпорядковану роль порівняно з шумом, однак її вплив на персонал і обладнання усередині станції може бути суттєвим і вимагає врахування при плануванні заходів із модернізації.

Особливу увагу під час оцінки необхідно приділити напрямкам, у яких розташована житлова або садибна забудова. Навіть за відносно невеликих перевищень нормативів шум може сприйматися населенням як значний

дискомфортний фактор, особливо в нічний час, при відкритих вікнах або під час перебування на вулиці. Крім того, шумове тло поєднується з запаховим навантаженням і візуальним сприйняттям промислових споруд, що підсилює загальне відчуття небезпеки та екологічної напруженості.

Рівень шумового ризику для населення та персоналу доцільно оцінювати не лише з позицій формального дотримання нормативів, а й з урахуванням тривалості впливу, характеру спектра шуму (домінування низьких або високих частот), часу доби та соціальної чутливості груп, що зазнають впливу. Наприклад, переривчастий або імпульсний шум, пов'язаний із запуском великогабаритного обладнання чи проїздом важкої техніки, психологічно сприймається як більш дратівливий, ніж рівний фон, навіть за того ж середнього рівня звуку. У дипломній роботі це можна відобразити через якісну характеристику акустичної обстановки, доповнену розрахунковими або вимірними значеннями.

З позицій управління ризиками особливого значення набуває комплекс технічних і планувальних заходів щодо зниження шуму та вібрації. До технічних заходів належать установка сучасних малошумних агрегатів, застосування вібропоглинальних фундаментів і демпферів, використання шумопоглинальних кожухів, екранів, облицювань, а також оптимізація режимів роботи обладнання (зменшення числа запусків у нічний час, перенесення найбільш шумних операцій на денні години). Планувальні заходи включають раціональне розміщення найгучніших об'єктів у глибині виробничого майданчика, максимальне віддалення їх від меж санітарно-захисної зони, формування захисних зелених насаджень, які частково екранують шум і вібраційний вплив.

Узагальнюючи, шумове та вібраційне навантаження в межах санітарно-захисної зони Лівобережної станції аерації можна охарактеризувати як фактор середнього ступеня значущості, який, однак, у поєднанні з іншими негативними чинниками (запахи, візуальне сприйняття промислового ландшафту) істотно впливає на комфортність проживання населення

прилеглих територій. Подальша частина дипломної роботи має деталізувати ці висновки на основі конкретних результатів вимірювань, поданих у вигляді таблиць і графіків, а також запропонувати обґрунтований комплекс заходів для зниження шумового й вібраційного навантаження до рівня, сумісного з вимогами екологічної та санітарної безпеки.

### 3.5 Біологічні та ольфакторні ризики для населення

Біологічні та ольфакторні (запахові) ризики є одними з найбільш чутливих і соціально значущих аспектів впливу Лівобережної станції аерації на населення прилеглих територій. Навіть тоді, коли концентрації хімічних забруднювачів у повітрі не перевищують гігієнічних нормативів, саме запахи та біологічні чинники часто визначають суб'єктивне сприйняття екологічної ситуації як небезпечної або несприятливої. Це зумовлено тим, що запахи і біоаерозолі безпосередньо сприймаються органами чуття, а реакція на них формується не лише фізіологічними, а й психологічними механізмами.

У біологічному аспекті основну роль відіграють біоаерозолі, які утворюються під час аерації стічних вод, механічного очищення, перемішування осадів, їхнього зневоднення та транспортування. До складу біоаерозольної фракції входять мікроорганізми (бактерії, грибки, віруси), спори, фрагменти клітин, а також часточки органічної та мінеральної речовини, на поверхні яких мікроорганізми можуть адсорбуватися й тривалий час зберігати життєздатність. Найбільш інтенсивне утворення біоаерозолів відбувається в зонах відкритої аерації, на переливних пристроях, при розбризуванні води та на ділянках сушіння осаду, де механічна дія потоку повітря й води розбиває рідинну фазу на дрібні краплини.

Для персоналу станції та населення прилеглих територій біоаерозолі становлять потенційну небезпеку з кількох причин. По-перше, вони можуть містити умовно-патогенні або патогенні мікроорганізми, які за певних умов

здатні викликати інфекційні захворювання або загострювати перебіг хронічних хвороб дихальної системи. По-друге, тривалий контакт з мікробіологічно насиченим повітрям може сприяти розвитку алергічних реакцій, бронхоспазмів, хронічного подразнення слизових оболонок очей і верхніх дихальних шляхів. По-третє, біоаерозолі є своєрідним маркером санітарного стану території: підвищена їхня концентрація свідчить про інтенсивні процеси розкладання органічної речовини, що, як правило, супроводжується й посиленням запаховим впливом.

Суттєвою особливістю біологічних ризиків є їхня залежність від метеорологічних умов і просторового планування. У спекотні періоди року, коли температура повітря та води в спорудах підвищена, інтенсивність біохімічних процесів зростає, відповідно збільшується і швидкість розмноження мікроорганізмів. В умовах слабого вітру чи штилю, при наявності температурних інверсій, біоаерозолі можуть тривалий час утримуватися в приземному шарі, формуючи «хмару» підвищеної мікробіологічної насиченості над територією станції та частково над прилеглою забудовою. Наявність штучних і природних перешкод (будівлі, зелені насадження, огорожі) впливає на траєкторію переносу, але водночас може сприяти локальному накопиченню біоаерозолів у окремих «застійних» зонах.

Ольфакторні ризики пов'язані з впливом запахоутворюючих газів, основними з яких є сірководень, аміак, меркаптани, низькомолекулярні жирні кислоти, аміни та інші леткі органічні сполуки. Вони виділяються внаслідок аеробного та анаеробного розкладання органічних речовин у стічних водах, осадах, на поверхні мулових майданчиків, у відстійниках і аеротенках. На відміну від класичних токсикологічних показників, для запахових речовин важливим є не лише абсолютна концентрація, а й поріг нюхового сприйняття, який у багатьох сполук дуже низький. Це означає, що людина може відчувати запах уже при концентраціях, значно менших за гранично допустимі за критеріями токсичності.

Запахи мають виражений психоемоційний ефект. Навіть при відсутності прямої загрози здоров'ю тривалий вплив неприємних запахів викликає відчуття дискомфорту, дратівливість, порушення сну, головний біль, погіршення загального самопочуття. Для частини населення, особливо дітей, літніх людей, осіб із хронічними захворюваннями дихальної та нервової систем, цей фактор може набувати домінуючого значення в оцінці якості життя. Крім того, наявність стійких каналізаційних запахів знижує вартість житла, погіршує інвестиційну привабливість території, створює соціальну напругу та може бути причиною численних скарг і конфліктів між населенням і експлуатуючою організацією.

Для кількісної оцінки ольфакторних ризиків застосовують методи ольфактометрії, коли інтенсивність запахів виражається в умовних «одиницях запаху», а також набір підходів, що базуються на вимірюванні концентрацій ключових запахоутворюючих речовин і порівнянні їх із порогоми нюхового сприйняття.

З позицій оцінки ризиків для здоров'я населення біологічні та ольфакторні фактори взаємопов'язані. При високій концентрації біоаерозолів і одночасній присутності сильних запахів формується небажане поєднання фізіологічного та психологічного стресу. Людина сприймає повітря як «небезпечне» або «забруднене», що може призводити до підвищеної тривожності, зниження довіри до комунальних служб і місцевої влади, а також до розвитку психосоматичних розладів. При цьому навіть за формальним дотриманням усіх нормативів хімічного забруднення фактор запаху здатний визначати загальну оцінку екологічної ситуації як незадовільної.

З огляду на зазначене, підхід до управління біологічними та ольфакторними ризиками має бути комплексним. До технічних заходів відносять укриття найбільш інтенсивних джерел біоаерозолів і запахів (аеротенків, відстійників, мулових майданчиків), застосування систем локальної вентиляції з очищенням повітря, оптимізацію режимів аерації та

перемішування, зменшення площі відкритих поверхонь осаду, удосконалення схем збору та відведення фільтрату. Значний ефект можуть давати також заходи з благоустрою та озеленення: формування щільних смуг деревно-чагарникових насаджень, які частково затримують аерозолі, розбавляють повітряний потік і покращують візуальне сприйняття території.

Не менш важливим є моніторинг: регулярний контроль мікробіологічних показників повітря в межах санітарно-захисної зони, реєстрація скарг населення, проведення соціологічних опитувань щодо суб'єктивного сприйняття запахів. Інтеграція таких даних із метеорологічною інформацією дозволяє визначати періоди та умови максимального ризику й коригувати режими роботи станції (наприклад, уникати операцій, що супроводжуються інтенсивним виділенням запахів, у нічний час або в період стійких інверсій).

Узагальнюючи, біологічні та ольфакторні ризики для населення в зоні впливу Лівобережної станції аерації є одними з найбільш відчутних і соціально значущих компонентів екологічного ризику. Вони мають мозаїчний просторовий характер, залежать від погодних умов, технологічних режимів і стану споруд, а їхнє управління потребує поєднання інженерно-технічних, санітарно-гігієнічних і комунікаційних заходів. Подальші розділи дипломної роботи можуть бути присвячені конкретизації цих ризиків на основі натурних вимірювань, а також розробці практичних рекомендацій щодо їх мінімізації.

### 3.6 Інтегральна оцінка екологічних ризиків та їх ранжування

Інтегральна оцінка екологічних ризиків у межах санітарно-захисної зони Лівобережної станції аерації покликана з'єднати воедино всі попередні результати – аналіз повітря, ґрунтів, підземних вод, шумового, біологічного та ольфакторного впливу. Якщо окремі підрозділи показують «фрагменти» екологічного стану, то інтегральна оцінка дозволяє побачити загальну

картину: які саме чинники формують найбільшу загрозу, де розташовані «найслабші місця» системи екологічної безпеки, і які напрями природоохоронних заходів є першочерговими.

Перший крок такої інтеграції полягає у виділенні системи показників ризику для кожного компонента довкілля. Для атмосферного повітря це можуть бути відношення фактичних або розрахункових концентрацій окремих домішок до гранично допустимих значень, оцінка частоти епізодів посиленого запахового навантаження, характеристика біоаерозольного фону. Для ґрунтів доцільно використовувати сумарні індекси забруднення важкими металами, вміст нафтопродуктів і сполук азоту та фосфору, а також показники порушеності ґрунтового профілю. Для підземних вод важливими є перевищення нормативів за основними іонами, нітратами, амонійним азотом, наявність органічних домішок. Для шуму – різниця між вимірними рівнями звуку та нормативними значеннями у денний і нічний час, а для біологічних та ольфакторних факторів – мікробіологічні показники повітря, умовні одиниці запаху, частота та характер скарг населення.

Оскільки всі ці показники мають різні розмірності, їх потрібно привести до спільної основи. Найзручніше це зробити за допомогою нормування: кожний індикатор порівнюється з відповідним нормативним або фоновим значенням. Частковий коефіцієнт ризику для певного показника можна представити як відношення фактичного значення до гранично допустимого. У найпростішому вигляді це виглядає так:

$$R_{ij} = \frac{C_{ij}}{C_{\text{норм},ij}},$$

Якщо коефіцієнт ризику менший за одиницю, можна говорити про формальне дотримання норм, якщо дорівнює або перевищує одиницю – про підвищений рівень небезпеки. За необхідності такі відношення обмежують певним максимальним значенням і переводять у якісну шкалу: умовно низький, помірний, підвищений, високий ризик.

Після цього постає питання, як об'єднати кілька показників, що характеризують один і той самий компонент довкілля. Тут застосовують вагові коефіцієнти, які відображають відносну важливість кожного індикатора. Для атмосферного повітря, наприклад, більшої ваги можна надати показникам, що характеризують запахове навантаження й біоаерозольну складову, оскільки саме вони безпосередньо сприймаються населенням. Інтегральний індекс ризику для окремого компонента формується як зважена сума нормованих показників, де сума ваг дорівнює одиниці. Таким чином, замість набору розрізаних чисел ми отримуємо один узагальнений показник ризику для повітря, один – для ґрунтів, один – для підземних вод тощо.

Для кращого розуміння співвідношення цих індексів їх доцільно візуалізувати. Одним із зручних способів є побудова радарної (пелюсткової) діаграми, де кожна вісь відповідає окремому компоненту: атмосферне повітря, ґрунти, підземні води, шум і вібрація, біологічні та ольфакторні чинники. Відстань від центру діаграми до точки на осі відповідає величині інтегрального індексу. Отриманий багатокутник наочно показує, які компоненти «виступають» найбільше, тобто мають найвищий рівень ризику, а які залишаються у зоні відносної безпеки. Чим більша площа фігури, тим вищим є сумарний екологічний ризик у межах санітарно-захисної зони.

На наступному етапі здійснюється спроба узагальнити ситуацію ще більше – сформувати один загальний інтегральний індекс екологічного ризику для всієї санітарно-захисної зони. Для цього індекси окремих компонентів також зважуються залежно від їхнього значення для здоров'я населення та довкілля. Логічно надати більшої ваги тим процесам і середовищам, через які вплив на людину проявляється найшвидше та найболучіше: як правило, це якість повітря, запахове навантаження, біоаерозольний фон. Ґрунти й підземні води характеризуються більш інерційним, накопичувальним характером впливу, але їхня роль особливо

важлива в довгостроковій перспективі, тому вони також мають бути представлені у ваговій структурі інтегрального показника.

Інтегральна оцінка дає можливість не лише описати поточний стан, але й провести ранжування ризиків. По-перше, можна порівняти між собою різні компоненти довкілля й визначити, що саме наразі є найуразливішою ланкою: наприклад, атмосферне повітря та запахи, чи ґрунтово-водне середовище в зонах поводження з осадами. По-друге, варто проаналізувати, які технологічні вузли й споруди створюють найбільший внесок у формування ризиків. Для цього зручно будувати матрицю «джерело – компонент довкілля», де для кожного поєднання оцінюється відносний внесок у загальний індекс. Такий підхід чітко показує, що, скажімо, мулові майданчики є критичними для ґрунтів і підземних вод, а аеротенки – для повітря й біоаерозолів.

Третій вимір ранжування пов'язаний із просторовою неоднорідністю ризиків. Використовуючи розраховані індекси для різних точок або ділянок, можна виділити зони високого, середнього та низького ризику в межах санітарно-захисної зони. У дипломній роботі це доцільно подати у вигляді карт-схем, де відповідні ділянки позначені різними кольорами. На таких картах добре видно, чи справді санітарно-захисна зона виконує роль ефективного буфера, чи окремі «язики» підвищеного ризику простягаються у бік житлової забудови.

Щоб результати були придатними для практичного використання, інтегральні індекси часто поділяють на кілька класів. Наприклад, значення індексу, менші за певний поріг, можна трактувати як низький ризик; інтервал поблизу одиниці – як помірний або прийнятний; значення, що помітно перевищують одиницю, – як підвищений або високий ризик, який потребує невідкладних природоохоронних заходів. Числові межі таких інтервалів можуть бути адаптовані під конкретну методику, але принцип має залишатися послідовним.

Важливо пам'ятати, що будь-яка інтегральна оцінка містить певний ступінь невизначеності. Частина вихідних даних для розрахунків – орієнтовна або усереднена: це стосується як викидів, так і гідрогеологічних параметрів, метеорологічних умов, характеристик ґрунтів. Тому доцільно не лише наводити розраховані значення індексів, а й супроводжувати їх короткою оцінкою надійності: де результати підтверджені натурними вимірюваннями й лабораторними аналізами, а де ґрунтуються на припущеннях і потребують уточнення в майбутньому.

Зрештою, інтегральна оцінка та ранжування ризиків мають привести до практичного результату – формування переліку пріоритетних напрямів зниження негативного впливу. Саме ті компоненти й ті джерела, які демонструють найвищі індекси, мають стати об'єктами першочергової модернізації: це може бути зниження запахового та біоаерозольного навантаження через укриття споруд, удосконалення поводження з осадами, локалізація та очищення поверхневих стоків, покращення систем контролю за якістю повітря й води, додаткові шумозахисні рішення. У наступному розділі на основі цих висновків доцільно розробити комплекс організаційно-технічних і природоохоронних заходів, які дозволять перевести інтегральний індекс екологічного ризику до рівня, сумісного з вимогами екологічної та санітарної безпеки.

## 4 ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ ЩОДО ЗНИЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ У МЕЖАХ САНІТАРНО-ЗАХИСНОЇ ЗОНИ

### 4.1 Технічні та технологічні заходи мінімізації негативного впливу

Технічні й технологічні заходи є базовою ланкою системи управління екологічними ризиками Лівобережної станції аерації, оскільки саме вони безпосередньо змінюють умови утворення, міграції та розсіювання забруднювачів. На відміну від суто організаційних кроків, модернізація обладнання та технологічних схем дозволяє досягти сталого ефекту, який зберігається упродовж тривалого часу та відображається на всіх основних компонентах довкілля – повітрі, ґрунтах, підземних водах, акустичному й біологічному середовищі.

У контексті Лівобережної станції аерації першочерговим завданням є зниження викидів у атмосферу від відкритих споруд механічного й біологічного очищення, а також від зон обробки осадів. Одним із найефективніших напрямів є поетапне укриття відкритих споруд, насамперед аеротенків, первинних і вторинних відстійників, каналів перекачування стічних вод. Застосування легких захисних конструкцій (металеві або композитні перекриття, тентові системи, комбіновані укриття) дозволяє локалізувати зону утворення запахоутворюючих газів і біоаерозолів, а також організувати їх цілеспрямоване відведення до установок очищення повітря. Ефективність таких заходів може бути кількісно оцінена шляхом розрахунку зменшення площі відкритої водної поверхні та відповідного зниження маси викидів за питомими показниками. Доцільно подати результати у вигляді графіків, що відображають зміну розрахованих концентрацій сірководню, аміаку та летких органічних сполук на межі санітарно-захисної зони до і після укриття споруд.

Локалізоване повітря, відібране з-під укриттів, повинно надходити до систем очищення та знешкодження запахів. Залежно від складу

газоповітряної суміші можуть застосовуватися біофільтри, скрубери, абсорбційні або адсорбційні установки, комбіновані системи із використанням окисників. Біофільтрація є особливо перспективною для очисних споруд, оскільки дозволяє ефективно видаляти широкий спектр органічних і неорганічних запахоутворюючих речовин при відносно низьких експлуатаційних витратах. Для дипломної роботи доречно навести орієнтовні схеми таких систем, а також розрахункові залежності між об'ємом вентиляційного повітря, часом контакту в біофільтрі й очікуваним ступенем очищення, що може бути подано у вигляді кривих ефективності.

Другим стратегічно важливим напрямом є модернізація системи обробки осадів стічних вод. Відкриті мулові майданчики та шламонакопичувачі, що займають значні площі, є потужними джерелами забруднення ґрунтів і потенційної міграції поллютантів до підземних вод, а також основним осередком запахів. Технічним рішенням є перехід від тривалого зберігання осадів у відкритому вигляді до інтенсивних технологій обробки: механічного зневоднення (центрифуги, стрічкові фільтр-преси), подальшої стабілізації (анаеробне зброджування, компостування, термічна обробка), а за потреби – термічного сушіння. Переведення значної частини обсягу осаду у більш суху, стабілізовану форму не лише зменшує обсяг, а й істотно скорочує площу відкритих поверхонь, з яких випаровуються запахоутворюючі речовини.

Інженерно-геологічний аспект модернізації полягає в обов'язковому ущільненні та гідроізоляції основи нових або реконструйованих карт для тимчасового розміщення осадів. Використання геосинтетичних матеріалів (геомембрани, геотекстилі) у поєднанні з дренажними системами для збору фільтрату дозволяє практично виключити вертикальну інфільтрацію забруднювачів у ґрунт. Зібраний фільтрат має бути повернутий у загальну систему очищення, що закриває контур і не дозволяє поллютантам виходити за межі технологічного циклу. Розрахункові оцінки зменшення потоку забруднювачів до підземних вод доцільно представити у вигляді таблиць і

графіків, які порівнюють інтенсивність інфільтрації в умовах незахищеної й ізольованої основи.

Важливою складовою технічних заходів є оптимізація гідравлічного та технологічного режимів роботи очисних споруд. Забезпечення стабільного навантаження на аеротенки, правильне співвідношення між обсягами аерації та кількістю мулу, підтримання оптимальних концентрацій розчиненого кисню та температури сприяють зменшенню утворення побічних продуктів розкладання, що відповідають за запахи. У межах дипломної роботи доцільно показати, як зміна режимних параметрів (наприклад, збільшення концентрації розчиненого кисню до нормативного рівня) відображається на розрахункових викидах сірководню чи аміаку – у вигляді діаграм або простих функціональних залежностей.

Ще один блок заходів стосується поверхневого стоку та локальних витоків стічних вод. Для мінімізації ризиків забруднення ґрунтів і ґрунтових вод необхідно впорядкувати систему збору дощових і талих вод із території станції: організувати водовідведення з твердим покриттям, передбачити локальні очисні споруди для стоку з найбільш забруднених зон (майданчики зберігання осадів, ремонтні ділянки, зони навантаження), обладнати масловідокремлювачами та піскоуловлювачами системи відведення стоку з транспортних шляхів. У випадку існування старих дренажних систем доцільно оцінити їхній технічний стан та, за потреби, реконструювати або переобладнати для керованого збору і відведення забруднених вод.

Окрема група технічних рішень спрямована на забезпечення надійності та безперервності роботи основного обладнання, що безпосередньо впливає на рівень ризику аварійних скидів. Для цього передбачаються резервування ключових агрегатів (насоси, компресори, решітки), облаштування аварійних резервуарів-накопичувачів для тимчасового перехоплення надлишкових об'ємів стоків, а також встановлення автономних джерел живлення (дизель-генераторні установки, джерела безперебійного живлення) для критичного обладнання. У сфері автоматизації важливим є впровадження системи

моніторингу та керування (SCADA), яка дозволяє у реальному часі відстежувати рівні стоків, навантаження на споруди, параметри очищення й оперативно реагувати на відхилення від нормативних режимів.

Не можна оминати увагою й шумові та вібраційні аспекти. Заміну застарілих, зношених агрегатів на сучасні малошумні аналоги, установку вібропоглинальних фундаментів, використання шумоізолюючих кожухів та акустичних екранів навколо найбільш гучного обладнання слід розглядати як невід'ємну частину технічної модернізації. Розрахунок очікуваного зниження рівня шуму на межі санітарно-захисної зони можна виконати за відомими акустичними залежностями, а результати представити у вигляді графіків «рівень шуму – відстань» до і після реалізації заходів.

З точки зору біологічних та ольфакторних ризиків важливим є удосконалення системи знезараження й біологічної стабілізації як стічних вод, так і осадів. Поглиблення ступеня біологічного очищення, впровадження додаткових стадій доочищення (наприклад, фільтрації, УФ-дезінфекції) дозволяє знизити мікробіологічне навантаження на середовище та зменшити утворення біоаерозолів на пізніших етапах. Для осадів застосування анаеробного зброджування не лише стабілізує органічну речовину, а й дає можливість одержувати біогаз як енергетичний ресурс, що частково компенсує витрати на модернізацію.

Усі перелічені технічні та технологічні заходи логічно вписуються в систему інтегральної оцінки, наведеної в попередньому розділі. Для дипломної роботи доцільно запропонувати розрахункове порівняння інтегральних індексів ризику «до» та «після» впровадження запропонованих рішень. Це може бути виконано у вигляді таблиць та діаграм, де для кожного компонента докілька наведено зниження індексу ризику, а також показано зміну загального інтегрального показника. Такий підхід не лише демонструє обґрунтованість запропонованого комплексу заходів, а й дозволяє оцінити їхню пріоритетність та ефективність з погляду реального зменшення

екологічної небезпеки в межах санітарно-захисної зони Лівобережної станції аерації.

#### 4.2 Організаційні та санітарно-гігієнічні заходи

Організаційні та санітарно-гігієнічні заходи відіграють роль «зв'язуючої ланки» між проєктними рішеннями і реальним режимом роботи Лівобережної станції аерації. Навіть найсучасніше обладнання та технології не забезпечать очікуваного зниження екологічних ризиків, якщо щоденна експлуатація споруд є хаотичною, регламенти – формальними, а санітарний стан території – незадовільним. Саме тому в системі управління ризиками організаційний блок набуває не меншого значення, ніж технічна модернізація.

Першочерговим кроком є запровадження чіткої, детально прописаної системи регламентів експлуатації. Для всіх ключових споруд – механічного очищення, аеротенків, відстійників, мулових майданчиків, вентиляційних систем, локальних очисних споруд поверхневого стоку – повинні бути розроблені інструкції, які не лише описують порядок пуску й зупинки обладнання, але й фіксують допустимі діапазони технологічних параметрів, частоту й зміст планових оглядів, послідовність дій у разі відхилень від нормального режиму. Чітко встановлені «коридори» допустимих значень рівня стічних вод, концентрації активного мулу, часу аерації, інтенсивності перемішування чи обсягів разових скидів дозволяють зменшити ймовірність ситуацій, коли технологічний процес стає некерованим і перетворюється на джерело підвищеного ризику.

Не менш важливою є грамотно організована система планово-попереджувальних оглядів і ремонтів. Регулярна перевірка стану трубопроводів, колодязів, запірної арматури, дренажних ліній, гідроізоляції, вентиляційних каналів, фільтрів і поглиначів дає змогу своєчасно виявляти

дрібні дефекти, які в іншому випадку поступово переростають у витоки, аварійні скиди чи різке зниження ефективності очищення. Такий підхід працює за принципом «профілактика замість ліквідації наслідків» і в довгостроковій перспективі суттєво зменшує як екологічні, так і фінансові ризики.

Організаційна складова включає й продуманий розподіл відповідальності. Для кожного напрямку – ведення оперативної документації, контроль технологічних параметрів, нагляд за санітарно-захисною зоною, комунікація з контролюючими органами та місцевою громадою – мають бути визначені конкретні відповідальні особи. Це дозволяє уникнути ситуації, коли «ніхто не відповідає» за певну ділянку роботи, а проблемні моменти роками накопичуються без реакції.

Важливою опорою для прийняття рішень є внутрішня система моніторингу. Вона не повинна обмежуватися лише мінімально необхідними показниками для звітності. Регулярний контроль якості стічних вод на вході та виході зі споруд, періодичні вимірювання вмісту сірководню й аміаку в повітрі на межі санітарно-захисної зони, відбір проб повітря для мікробіологічних досліджень у потенційно «проблемних» точках, перевірка рівня шуму в напрямку житлової забудови, епізодичний аналіз ґрунтів і ґрунтових вод у зонах підвищеного ризику – усе це разом формує інформаційну базу для оцінки тенденцій. У дипломній роботі доречно акцентувати, що моніторинг має сенс лише тоді, коли його результати не просто зберігаються в архіві, а аналізуються в динаміці: будується ряд даних, виділяються сезони максимального навантаження, фіксуються періоди, коли зростає частота скарг населення.

Санітарно-гігієнічні заходи безпосередньо стосуються стану території станції та санітарно-захисної зони. Територія не повинна перетворюватися на склад випадкових матеріалів, старого обладнання й розкиданих залишків осаду чи піску. Регулярне прибирання, організоване зберігання відходів у визначених місцях, своєчасне вивезення сміття, підтримання доріг і

майданчиків у стані, що зменшує пиловиділення, догляд за зеленими насадженнями – усе це не лише покращує зовнішній вигляд об'єкта, а й реально знижує ризики вторинного забруднення ґрунтів і повітря.

Особливу роль відіграє режимна організація робіт. Операції, які супроводжуються інтенсивним виділенням запахів і біоаерозолів (поворухування осаду, його навантаження, очищення мулових майданчиків), доцільно планувати так, щоб вони проводилися в денні години за можливості за метеорологічних умов, сприятливих для розсіювання забруднювачів. Шумні ремонтні роботи бажано не переносити на ніч, коли мешканці найбільш чутливо реагують на будь-які сторонні звуки. Такий підхід не потребує великих капіталовкладень, але дає відчутний ефект щодо зменшення суб'єктивного дискомфорту населення.

Окремий пласт санітарно-гігієнічних рішень пов'язаний із захистом персоналу. Працівники станції є першою групою ризику, оскільки саме вони найбільше контактують із зонами підвищеної концентрації біоаерозолів, запахів, шуму. Забезпечення їх адекватними засобами індивідуального захисту (респіратори відповідного класу, захисні окуляри, спецодяг, протишумові навушники), створення умов для дотримання особистої гігієни, наявність побутових приміщень, де можна переодягтися, помитися, просушити одяг, – усе це є не лише вимогою охорони праці, а й чинником, який опосередковано впливає на загальний рівень екологічної безпеки. Працівник, який розуміє ризики й відчуває турботу з боку адміністрації, більш уважно ставиться до виконання технологічних регламентів і правил безпеки.

Важливим організаційним елементом є системна робота з персоналом у форматі навчання та тренувань. Регулярні інструктажі, навчальні заняття з розбором реальних аварійних ситуацій, моделювання дій у випадку відмови обладнання, проривів, зупинки енергопостачання формують у працівників стійкі навички реагування. Це особливо важливо з огляду на те, що значна частина екологічних аварій у комунальному секторі пов'язана не лише з

технічними причинами, а й із людським фактором – запізнілою реакцією, неправильними діями або недооцінкою масштабу проблеми.

Ще один напрям організаційної роботи пов'язаний із взаємодією з місцевою громадою. Санітарно-захисна зона має сприйматися не як абстрактна лінія на карті, а як реальний режим використання території. Населення повинно знати, які обмеження діють у цій зоні: щодо житлової забудови, розміщення чутливих об'єктів (дитсадків, шкіл, медичних закладів), ведення садівничої діяльності. Інформування про виконані заходи з модернізації, про результати моніторингу, про заплановані роботи, що можуть тимчасово погіршити ситуацію (наприклад, реконструкція мулових карт), допомагає зменшити кількість конфліктів і формує більш довірливі відносини між підприємством і громадою.

Зрештою, саме завдяки поєднанню щоденного дотримання санітарно-гігієнічного режиму, продуманої організації праці, чітких регламентів і відкритої комунікації можна забезпечити, щоб технічний потенціал Лівобережної станції аерації реалізовувався максимально повно. Організаційні заходи, хоч і не завжди очевидні «ззовні», часто визначають, чи буде станція працювати в режимі підвищених екологічних ризиків, чи стане прикладом відносно безпечного й керованого об'єкта міської інфраструктури.

#### 4.3 Моніторинг екологічного стану та управління ризиками

Система моніторингу екологічного стану в межах санітарно-захисної зони Лівобережної станції аерації є не просто інструментом збору даних, а основою для реального управління екологічними ризиками. Якщо попередні підрозділи описують характер та масштаби впливу, то моніторинг забезпечує постійний «зворотний зв'язок» між фактичним станом довкілля, роботою споруд та прийнятим комплексом технічних й організаційних заходів. Без

такої системи будь-які рішення щодо модернізації або режиму експлуатації залишаються скоріше разовими заходами, ніж елементами цілеспрямованої екологічної політики.

Ключовою метою моніторингу є своєчасне виявлення змін стану основних компонентів довкілля – атмосферного повітря, ґрунтів, підземних і поверхневих вод, а також шумового, біологічного та ольфакторного навантаження – з подальшою оцінкою того, як ці зміни впливають на рівень екологічного ризику для населення та природних систем. У практичному плані це означає побудову просторово організованої та хронологічно впорядкованої системи спостережень, яка охоплює як територію станції, так і її санітарно-захисну зону та прилеглі житлові квартали.

Для атмосферного повітря доцільно виділити кілька контрольних пунктів: безпосередньо на території Лівобережної станції аерації (у зонах найбільш інтенсивного газо- і запаховиділення), на межі санітарно-захисної зони в напрямку переважаючих вітрів, а також у житловій забудові, що підпадає під потенційний вплив. У цих точках періодично вимірюються концентрації основних індикаторів – сірководню, аміаку, летких органічних речовин, за можливості – узагальнений показник біоаерозолів. Доповненням до інструментальних вимірювань можуть бути органолептичні спостереження за інтенсивністю запаху за стандартизованою шкалою. На основі даних моніторингу доцільно будувати графіки добових, сезонних та річних змін концентрацій, а також карти ізоліній умовного запахового навантаження в межах СЗЗ.

Моніторинг ґрунтів та підземних вод має зосереджуватися на найбільш уразливих ділянках – у межах або поблизу мулових майданчиків, зон можливих витоків, дренажних понижень, а також у напрямку фільтраційного потоку ґрунтових вод. Створюється мережа ґрунтових точок відбору зразків (по профілю від джерела забруднення до меж санітарно-захисної зони) та система спостережних свердловин або шурфів для контролю якості підземних вод. Періодичність спостережень визначається з урахуванням

гідрогеологічних умов, але, як правило, не рідше одного–двох разів на рік (з прив'язкою до різних гідрологічних сезонів). У дипломній роботі доцільно передбачити побудову графіків зміни концентрацій забруднювачів у ґрунті й ґрунтових водах у часі, а також розробку схем просторового розподілу індексів забруднення.

Окремим напрямом є моніторинг шумового та вібраційного навантаження. Для цього виділяються контрольні точки на території станції, на межі санітарно-захисної зони та у найближчій житловій забудові. Вимірювання рівнів шуму виконуються у денний та нічний час, а результати порівнюються з нормативами. Зведення даних у вигляді таблиць і графіків дозволяє відслідковувати, як впливають на акустичну ситуацію зміна режиму роботи обладнання, проведення ремонтних кампаній чи реалізація шумозахисних заходів.

Система моніторингу повинна бути інтегрована в загальну схему управління ризиками, яка функціонує як замкнений цикл. На першому етапі відбувається ідентифікація джерел та видів ризику (що було зроблено у попередніх розділах). На другому – проводиться їх кількісна та якісна оцінка, у тому числі із застосуванням інтегральних показників. Третій етап – вибір і реалізація комплексу технічних, технологічних і організаційних заходів. Четвертий – моніторинг ефективності цих заходів, що ґрунтується на систематичному зборі даних про стан довкілля та умови роботи станції. Якщо результати свідчать про недостатнє зниження ризику, або про появу нових загроз, цикл повторюється: коригуються заходи, уточнюються моделі, змінюються пріоритети.

Сучасні підходи до управління екологічними ризиками передбачають використання інформаційно-аналітичних систем, у тому числі на основі ГІС-технологій. Для Лівобережної станції аерації може бути сформована електронна карта, на якій відображаються межі санітарно-захисної зони, розташування споруд, джерел викидів, точок спостережень, а також результати вимірювань у вигляді картографічних шарів. Це дає можливість

оперативно візуалізувати просторовий розподіл ризиків, накладати дані за різні роки, аналізувати динаміку та прогнозувати можливі сценарії за зміни режимів роботи або метеорологічних умов. У перспективі така система може бути інтегрована з автоматизованими засобами збору інформації (SCADA), які фіксують параметри роботи технологічного обладнання.

Елементом управління ризиками є встановлення сигнальних рівнів і порогів реагування. Для окремих показників (наприклад, концентрацій сірководню на межі СЗЗ, вмісту нітратів у підземних водах, рівня шуму в житловій зоні) доцільно визначити не лише гранично допустимі, але й «попереджувальні» значення, перевищення яких слугує підставою для оперативного аналізу причин та прийняття коригувальних заходів. Це дозволяє реагувати на небажані тенденції ще до того, як буде формально порушено нормативні вимоги.

Важливо підкреслити, що моніторинг і управління ризиками мають не разовий, а безперервний характер. Навіть після реалізації масштабної модернізації станції аерації система спостережень продовжує виконувати функцію контролю стабільності досягнутого ефекту та раннього виявлення нових загроз. Зміни у складі стічних вод, розвиток міської забудови навколо об'єкта, кліматичні й гідрологічні коливання можуть суттєво змінити баланс ризиків, і лише добре організований моніторинг дає змогу своєчасно адаптувати систему управління.

Окрему роль відіграє прозорість та відкритість результатів моніторингу. Регулярне інформування органів місцевого самоврядування, контролюючих структур і, за можливості, громадськості про стан довкілля в зоні впливу станції сприяє підвищенню довіри до підприємства й зменшенню соціальної напруги. Публікація узагальнених даних (у вигляді графіків, карт, коротких звітів) демонструє готовність підприємства не приховувати проблеми, а системно над ними працювати.

Таким чином, моніторинг екологічного стану та система управління ризиками для Лівобережної станції аерації мають розглядатися як єдиний

комплекс, у межах якого спостереження, аналіз, прийняття рішень і впровадження заходів взаємопов'язані та послідовні. Саме через таку інтеграцію можна забезпечити, щоб санітарно-захисна зона виконувала свою реальну, а не лише формальну захисну функцію, а рівень екологічних ризиків для населення залишався під контролем і поступово знижувався.

#### 4.4 Оцінка ефективності запропонованих заходів

Оцінка ефективності запропонованих заходів щодо зниження екологічних ризиків у межах санітарно-захисної зони Лівобережної станції аерації є логічним підсумком усього комплексу проведеного аналізу. Якщо попередні розділи були спрямовані на виявлення джерел негативного впливу, опис їхнього характеру та масштабів, а також на формування технічних, організаційних і моніторингових рішень, то саме на цьому етапі стає зрозуміло, наскільки запропоновані заходи здатні змінити ситуацію на краще й перевести систему з режиму підвищеного ризику у більш керований і безпечний стан.

Основою такої оцінки є порівняння двох умовних ситуацій: базової, яка відображає існуючий або реконструйований фактичний стан Лівобережної станції аерації, та прогнозованої, що відповідає роботі підприємства після впровадження основних технічних і організаційних рішень. У першому випадку мова йде про роботу споруд за відсутності або недостатності укриттів, без системного збирання та очищення вентиляційного повітря, за наявності відкритих мулових майданчиків, частково зношеної інфраструктури та фрагментарного моніторингу. У другому – про впорядковану систему, де відкриті споруди локалізовано й укрито, газоповітряні потоки спрямовано на біофільтри чи інші установки очищення, осади обробляються інтенсивними технологіями, а санітарно-захисна зона розглядається як керований простір із конкретними режимними вимогами.

Щоб цей перехід був не лише описаний словами, а й кількісно підтверджений, використовують систему показників, які характеризують стан різних компонентів довкілля. Для повітря оцінюють зміни концентрацій сірководню, аміаку, летких органічних сполук, а також умовного рівня запахового навантаження та частоти епізодів, коли запахи стають відчутними на межі санітарно-захисної зони. Для ґрунтів і підземних вод аналізують індекси забруднення у характерних точках, розрахунковий потік поллютантів із зон поводження з осадами, ймовірність перевищення гігієнічних нормативів у найбільш уразливих ділянках. Зміни в шумовому режимі фіксують за рівнями звуку, вимірними у денний і нічний час, а для біологічних факторів – за мікробіологічними показниками повітря в межах санітарно-захисної зони. Додатково до екологічних параметрів можна залучати й соціальний індикатор – динаміку кількості та змісту скарг населення на запахи, шум або інші прояви негативного впливу.

Важливим кроком є перенесення цих часткових результатів у площину інтегральної оцінки ризику. Запропонована раніше система інтегральних індексів дозволяє побачити, як змінюється узагальнений показник для кожного компонента довкілля – атмосферного повітря, ґрунтів і підземних вод, шумового середовища, біологічних та ольфакторних факторів. Якщо до впровадження заходів окремі індекси перевищували умовно безпечний рівень і свідчили про підвищений ризик, то після реалізації комплексу технічних і організаційних рішень вони мають наблизитися до значень, сумісних із прийнятними екологічними умовами. У тексті можна описати, як зменшується «площа» багатокутника на радарній діаграмі або як змінюється обчислений загальний інтегральний індекс, що характеризує сумарний ризик для санітарно-захисної зони.

Варто наголосити, що ефект від запропонованих заходів проявляється по-різному в часовому вимірі. Для повітря, запахів і шуму значна частина результату стає помітною досить швидко після укріття споруд, запуску систем очищення вентиляційного повітря та реалізації шумозахисних

заходів. Люди, які проживають поблизу, можуть відчувати зменшення інтенсивності запахів та зниження шумового тла вже протягом перших сезонів. Натомість для ґрунтів і підземних вод основний ефект полягає у припиненні або істотному зменшенні надходження нових порцій забруднювачів; покращення якісного складу водоносних горизонтів відбувається повільніше, у міру природних процесів розведення, розкладання та міграції. У роботі логічно підкреслити, що для цих компонентів ключовою є довгострокова стабілізація й запобігання подальшому погіршенню, навіть якщо повне повернення до фонового стану потребує значного часу.

Оцінка ефективності неминуче торкається й економічного та управлінського аспектів. Хоча детальний розрахунок витрат і вигод може виходити за рамки дипломної роботи, доцільно принаймні в загальних рисах зіставити вкладення в модернізацію з потенційними наслідками її відсутності: зростанням ризику аварійних ситуацій, штрафними санкціями за перевищення нормативів, витратами на ліквідацію наслідків аварій, погіршенням іміджу підприємства та посиленням соціальної напруги. У цьому контексті запропонований комплекс заходів можна розглядати як інвестицію в зниження ризиків – як екологічних, так і репутаційних.

Важливо також підкреслити, що навіть після реалізації всього комплексу рішень частина ризиків зберігатиметься. Неможливо повністю усунути запахи, шум або будь-який техногенний вплив від об'єкта такого масштабу. У несприятливих метеорологічних умовах поодинокі епізоди посиленого запахового фону можуть залишатися, а для ґрунтових вод повне вирівнювання концентрацій до фонового рівня може тривати роками. Саме тому система моніторингу та управління ризиками, описана в попередньому підрозділі, не повинна розглядатися як тимчасова – вона є невід'ємним елементом функціонування станції, який дозволяє вчасно помічати небажані тенденції й коригувати набір заходів.

Окремим моментом є усвідомлення впливу невизначеностей у вихідних даних на кінцевий результат. Частина розрахунків базується на усереднених

параметрах – питомих показниках викидів, коефіцієнтах фільтрації, середньорічних метеорологічних характеристиках. Це означає, що конкретні числові значення інтегральних індексів можуть дещо змінюватися при уточненні вихідної інформації. Водночас, якщо навіть за консервативних припущень спостерігається чітка тенденція до зниження ризику після впровадження заходів, це свідчить про їхню загальну доцільність і ефективність.

У підсумку можна зробити висновок, що запропонований комплекс технічних, організаційних, санітарно-гігієнічних і моніторингових заходів здатен не лише зменшити окремі прояви негативного впливу, а й якісно змінити статус санітарно-захисної зони Лівобережної станції аерації. Від території з підвищеним техногенним навантаженням, де екологічні ризики мають виражений, часто неконтрольований характер, вона поступово переходить до категорії контрольованої буферної зони, в межах якої рівень ризику є керованим, прогнозованим і таким, що відповідає сучасним уявленням про екологічну безпеку та сталий розвиток міської інженерної інфраструктури.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Виробнича діяльність Лівобережної станції аерації КП «Дніпроводоканал» належить до об'єктів підвищеної небезпеки, оскільки поєднує в собі дія комплексу фізичних, хімічних, біологічних та психофізіологічних факторів. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів є необхідною передумовою для обґрунтування заходів з охорони праці, а також для розроблення рішень щодо безпеки персоналу в аварійних та надзвичайних ситуаціях.

Однією з найбільш характерних груп факторів для станції аерації є хімічні небезпеки. У технологічному процесі поводження зі стічними водами та осадами формуються і виділяються газоподібні продукти розкладання органічних речовин – насамперед сірководень, аміак, меркаптани, леткі органічні сполуки. Їх концентрації у відкритих спорудах, приямках, камерах, колодязях можуть сягати рівнів, здатних викликати подразнення слизових оболонок, головний біль, нудоту, зниження працездатності, а при високих концентраціях сірководню – навіть гострі отруєння. Додатковим ризиком є застосування реагентів (коагулянтів, флокулянтів, дезінфектантів, протикорозійних добавок), при неправильному зберіганні чи дозуванні яких можливі локальні хімічні ураження, корозійне пошкодження обладнання та вторинні викиди токсичних парів. Особливо небезпечними є закриті або слабо вентильовані об'єми, де токсичні гази можуть накопичуватися та витісняти кисень, створюючи загрозу задушення.

Не менш суттєвою є група біологічних факторів, притаманних об'єктам каналізаційного господарства. У стічних водах та осадах завжди присутні мікроорганізми, у тому числі умовно-патогенні та патогенні бактерії, віруси, грибки, яйця гельмінтів. Персонал станції при виконанні робіт, пов'язаних з

очищенням решіток, обслуговуванням пісколовок, мулових майданчиків, систем механічного очищення та аерації, піддається ризику попадання біологічних агентів на шкіру, слизові оболонки або в дихальні шляхи. Формування біоаерозолів під час аерації, розбризкування стічної води, перемішування осаду створює додаткове навантаження на органи дихання, може сприяти розвитку алергічних реакцій, хронічних захворювань бронхолегеневої системи, підвищувати загальну інфекційну небезпеку.

Суттєве місце в структурі небезпек посідають фізичні фактори. До них належать: дія підвищеного рівня шуму від насосів, вентиляторів, компресорів, аераційного обладнання; вібрації від обертових механізмів; несприятливий мікроклімат (висока вологість, коливання температури в закритих приміщеннях, протяги, низькі температури на відкритих майданчиках у холодний період року). Додатковим ризиком є недостатня або нерівномірна освітленість робочих місць, особливо в зоні колодязів, приямків, драбин, сходових маршів, що підвищує імовірність травмування через спотикання, падіння, неправильне пересування.

До фізичних небезпек також належить ризик утоплення або падіння у споруди з водою – відстійники, аеротенки, канали, резервуари, колодязі. Роботи, що виконуються на висоті або поблизу відкритих водних дзеркал, пов'язані з потенційним падінням, особливо за несприятливих погодних умов, ожеледиці, недостатнього освітлення, відсутності або несправності огорожень. Наявність електрообладнання в умовах підвищеної вологості та можливого підтоплення створює ризик ураження електричним струмом, особливо при порушенні правил експлуатації, пошкодженні ізоляції, відсутності заземлення, неправильному використанні переносного електроінструменту.

До складу небезпечних виробничих факторів входять також механічні небезпеки, пов'язані з роботою рухомих частин машин і механізмів: насосних агрегатів, мішалок, транспортерів, шнеків, решіток, подрібнювачів. Потрапляння частин тіла, одягу, інструменту в зону рухомих елементів може

призвести до травм різного ступеня тяжкості – від ударів і защемлень до переломів і ампутацій. Небезпеку становлять також незахищені обертові частини, відсутність або демонтаж штатних огорожень, робота без зупинки обладнання при виконанні регулювальних чи ремонтних операцій.

Окрему групу становлять пожежо- та вибухонебезпечні фактори. При наявності систем анаеробного зброджування осаду або скупчення органічних речовин можливе утворення вибухонебезпечних газових сумішей, насамперед метану. Накопичення метано-повітряних сумішей у закритих об'ємах, камерах, газоходах, резервуарах за відсутності належної вентиляції та контролю газового середовища здатне створювати ризик вибуху при наявності джерела запалювання. Додатковими чинниками є наявність електричних щитів, силових кабелів, можливі короткі замикання, нагрівання контактів, використання відкритого вогню чи іскроутворюючого інструменту у вибухонебезпечних зонах.

Важливо враховувати й психофізіологічні та ергономічні фактори. Робота на очисних спорудах нерідко пов'язана з позмінним графіком, нічними чергуваннями, необхідністю тривалого перебування в умовах неприємного запаху, візуального та емоційного дискомфорту. Моніторинг параметрів, виконання монотонних операцій, відповідальність за безперервність технологічного процесу можуть спричиняти нервово-емоційну напругу, втому, зниження уваги, що, у свою чергу, підвищує імовірність помилкових дій і виробничих травм. Нерідко робочі місця не повністю відповідають ергономічним вимогам: незручне розташування приладів, органів керування, сходів, недостатній простір для безпечного переміщення, що створює додаткові передумови для перевантаження опорно-рухового апарату, перенапруження зору, загальної втоми.

Особливістю станції аерації є й те, що низка із зазначених факторів може різко посилюватися у надзвичайних ситуаціях: при відмові насосного обладнання, затопленні окремих споруд, прориві трубопроводів, аварійних скидах стоків, порушенні роботи вентиляції, виході з ладу систем подачі

електроенергії. У таких випадках до вже наявних небезпек додаються фактори паніки, обмеженого часу на прийняття рішень, ускладнений доступ до окремих ділянок, підвищена концентрація токсичних газів у закритих об'ємах, ризик неконтрольованого затоплення чи пошкодження конструкцій. Тому при аналізі небезпечних і шкідливих виробничих факторів важливо розглядати не лише «штатний» режим роботи, а й потенційні аварійні сценарії.

Таким чином, виробниче середовище Лівобережної станції аерації можна охарактеризувати як багатофакторне й потенційно небезпечне, де різні групи небезпек взаємно підсилюють одна одну. Це вимагає комплексного підходу до охорони праці, що передбачає не тільки дотримання нормативів і впровадження технічних засобів захисту, але й системне навчання персоналу, планування дій у надзвичайних ситуаціях і постійне вдосконалення виробничого середовища відповідно до сучасних вимог промислової та екологічної безпеки. Саме на цій основі в наступних підрозділах обґрунтовуються конкретні заходи щодо запобігання травматизму, зменшення рівня професійних ризиків і забезпечення безпеки працівників в умовах повсякденної роботи та можливих надзвичайних ситуацій.

## 5.2 Заходи щодо забезпечення безпечних умов праці

Забезпечення безпечних умов праці на Лівобережній станції аерації передбачає не окремі розрізнені дії, а цілісну систему організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних та навчально-профілактичних заходів. Її завданням є максимально знизити вплив небезпечних і шкідливих виробничих факторів, окреслених у попередньому підрозділі, та створити умови, за яких нормальна експлуатація споруд не супроводжується неприпустимим ризиком для життя й здоров'я персоналу.

Насамперед заходи спрямовуються на усунення або максимальне обмеження дії хімічних та біологічних факторів. Для цього передбачається герметизація й укриття споруд і комунікацій, у яких можливе інтенсивне виділення сірководню, аміаку та інших газоподібних продуктів розкладання органіки, обладнання їх системами примусової вентиляції з локальним відсосом повітря від зон підвищеної концентрації шкідливих речовин. У місцях роботи з реагентами організується місцева витяжна вентиляція, зберігання хімічних речовин здійснюється в спеціально відведених складських приміщеннях з обмеженим доступом, наявністю вторинного піддону (локалізація протікань), чітким маркуванням тари та інструкціями з безпечного поводження. Для зменшення біологічних ризиків передбачається механізація операцій, які супроводжуються контактом із сирим осадом і рештками (очищення решіток, видалення піску), застосування закритих транспортерів, системи обмивання та дезінфекції обладнання й робочих поверхонь.

Окрема група заходів стосується організації роботи у замкнених і слабо вентиляльованих просторах – колодязях, камерах, резервуарах. Вхід у такі об'єми має здійснюватися тільки за нарядом-допуском, після попереднього контролю повітряного середовища на вміст токсичних газів і достатність кисню переносними газоаналізаторами. Передбачаються процедури примусового провітрювання, страхування працівників з використанням запобіжних поясів та лебідок, постійний зовнішній нагляд і готовність до негайної евакуації у разі погіршення ситуації.

Для обмеження дії фізичних факторів (шум, вібрація, несприятливий мікроклімат, недостатня освітленість) упроваджуються містобудівні й інженерні рішення: вибір малошумного обладнання при модернізації, встановлення віброгасних фундаментів і гумових опор, шумоізолюючих кожухів для особливо гучних агрегатів; облаштування систем опалення, вентиляції та, за потреби, кондиціонування у закритих приміщеннях. Робочі місця обладнуються достатнім штучним освітленням, небезпечні зони –

додатковим локальним світлом, дефектні світильники підлягають оперативній заміні. На відкритих майданчиках у зимовий період організовується посипання протижеледними матеріалами, очищення проходів від снігу й льоду, що значно зменшує ризик падіння працівників.

У зоні відкритих споруд з водою (відстійники, аеротенки, канали) реалізуються заходи з попередження падінь та утоплення. Усі небезпечні кромки мають бути обладнані постійними металевими огорожами встановленої висоти з бортовими порогами, на проходах – протиковзні покриття, поручні, чітке маркування країв. На майданчиках із підвищеним ризиком розміщуються рятувальні засоби – круги, жердини, страхувальні мотузки, а також зрозумілі схеми дій на випадок падіння людини у воду.

Особливе місце займають електробезпекові заходи. Вони включають правильне проектування та експлуатацію електроустановок з урахуванням підвищеної вологості: надійне заземлення, застосування пристроїв захисного відключення, регулярну перевірку ізоляції, ревізію щитового обладнання, розмежування зон доступу за рівнем напруги. Робота з переносним електроінструментом допускається лише з використанням справних кабелів і штепсельних з'єднань, без «саморобних» подовжувачів і вимикачів. Персонал, який обслуговує електрообладнання, має проходити відповідне навчання й перевірку знань правил безпечної експлуатації електроустановок.

Для запобігання механічним травмам передбачається повне обладнання машин і механізмів штатними огорожувальними пристроями, блокуваннями й запобіжними кожухами, заборона їх демонтажу в ході експлуатації. Роботи з обслуговування та ремонту проводяться лише після повної зупинки обладнання, відключення від джерел живлення й вивішування попереджувальних плакатів. У приміщеннях, де розміщені рухомі механізми, органіуються безпечні проходи, виключається можливість захаращення зони обслуговування.

Зниження пожежо- та вибухонебезпеки досягається комплексом заходів: застосуванням вибухозахищеного електрообладнання у відповідних

зонах, організацією постійного контролю газового середовища в анаеробних реакторах, газоходах, камерах, суворим дотриманням правил проведення вогневих робіт (допуск, нагляд, приготування первинних засобів пожежогасіння). Системи вентиляції й газовідведення мають працювати в штатних режимах, а їхня справність – регулярно перевірятися. На території станції розміщується необхідна кількість вогнегасників відповідного типу, пожежних щитів, гідрантів; проводяться навчання персоналу з користування ними, евакуації та гасіння умовних загорянь.

Важливою складовою є застосування засобів індивідуального захисту (ЗІЗ). Для працівників, які контактують із стічними водами, осадами, біоаерозолями, передбачаються водонепроникний спецодяг, гумові чоботи, рукавиці, захисні окуляри, за потреби – фільтрувальні або ізолювальні респіратори. У зонах підвищеного шуму застосовуються протишумові навушники або вкладиші. ЗІЗ мають видаватися згідно з установленими нормами, зберігатися у придатних для сушіння та дезінфекції приміщеннях, своєчасно ремонтуватися й замінюватися. Важливо, щоб використання засобів захисту не носило формального характеру – їх застосування має бути невід’ємною частиною виробничої культури.

Не менш значущими є організаційно-навчальні заходи. Персонал проходить вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий інструктаж з охорони праці, навчання діям у разі аварійних ситуацій, відпрацювання практичних навичок на тренуваннях і навчальних тривогах. Для кожного робочого місця розробляються та доводяться до відома працівників інструкції з охорони праці, які враховують специфіку виконуваних операцій. Працівники, що виконують роботи підвищеної небезпеки (у замкнених просторах, на висоті, з електроустановками, з газонебезпечними середовищами), проходять спеціальне навчання та періодичну перевірку знань.

До системи забезпечення безпечних умов праці входять і медико-профілактичні заходи. Працівники станції аерації підлягають попереднім та

періодичним медичним оглядам, метою яких є виявлення протипоказань до роботи в умовах дії шкідливих факторів, своєчасне виявлення професійних захворювань або тенденцій до їх розвитку. За показаннями проводяться профілактичні щеплення проти інфекцій, ризик зараження якими підвищений при контакті зі стічними водами. Організовується забезпечення працівників засобами особистої гігієни, можливість прийняття душу після змін, наявність побутових приміщень для зберігання спецодягу окремо від повсякденного.

Важливою складовою є формування безпечної виробничої культури, коли дотримання правил охорони праці сприймається не як формальна вимога, а як усвідомлена необхідність. Це досягається через постійний діалог між адміністрацією й трудовим колективом, аналіз причин нещасних випадків і «майже аварійних» ситуацій, заохочення працівників, які виявляють ініціативу в питаннях безпеки. Водночас має діяти чітка система відповідальності за грубі порушення, що створюють загрозу для життя й здоров'я людей.

У сукупності перелічені заходи створюють багаторівневу систему захисту працівників Лівобережної станції аерації: від усунення та локалізації небезпечних факторів на стадії проектування й експлуатації обладнання – до персонального захисту, навчання, медичного нагляду й формування відповідальної поведінки. Такий підхід дозволяє не лише знизити травматизм і професійну захворюваність, а й забезпечити стабільну, безпечну роботу підприємства в умовах як штатної експлуатації, так і можливих надзвичайних ситуацій.

### 5.3 Пожежна безпека та дії персоналу у надзвичайних ситуаціях

Питання пожежної безпеки на Лівобережній станції аерації є особливо актуальним, оскільки об'єкт поєднує в собі наявність горючих газів, електроустановок, хімічних речовин, значну кількість технологічного обладнання та споруд із різним функціональним призначенням. Пожежа або

вибух у таких умовах може призвести не лише до пошкодження обладнання, а й до масових уражень персоналу, зупинки очисного процесу, аварійних скидів недостатньо очищених стоків і, як наслідок, – до серйозних екологічних наслідків. Тому система забезпечення пожежної безпеки та відпрацьовані дії персоналу в надзвичайних ситуаціях є невід’ємною частиною загальної системи охорони праці та екологічної безпеки.

Пожежна небезпека на станції формується під впливом кількох груп чинників. По-перше, це можливість утворення вибухонебезпечних газоповітряних сумішей, зокрема метану, у системах анаеробного зброджування осадів, газоходах, ємностях для зберігання біогазу, у локальних замкнених об’ємах, де може накопичуватися газ. По-друге, значна кількість електрообладнання (насоси, компресори, вентилятори, щити керування, кабельні лінії) створює ризик займання внаслідок короткого замикання, перевантаження, нагрівання контактів, пошкодження ізоляції. По-третє, у технологічному процесі застосовуються реагенти, серед яких можуть бути горючі або такі, що при нагріванні, контакті з іншими речовинами здатні виділяти займисті або токсичні гази. Додаткову небезпеку становлять можливі скупчення горючих матеріалів – дерев’яна тара, пластикова упаковка, мастильні матеріали, обтиральні матеріали, які при порушенні правил зберігання стають потенційним осередком загоряння.

З метою мінімізації ймовірності виникнення пожежі на Лівобережній станції аерації має бути впроваджена система попереджувальних заходів, що охоплює як технічні рішення, так і організаційні аспекти. До технічних належать: застосування вибухозахищеного електрообладнання в потенційно вибухонебезпечних зонах, належне виконання заземлення та блискавкозахисту, регулярна перевірка стану електроцитів, кабельних трас, контактних з’єднань; поділ електроустановок на зони за ступенем небезпеки з чітким позначенням їхніх меж. Системи анаеробного зброджування осаду, газоходи, ємності для біогазу повинні бути обладнані справною вентиляцією,

пристроями контролю концентрації газу, запобіжними клапанами та фільтрами, що запобігають проникненню полум'я всередину системи.

У сфері організаційних заходів важливим є дотримання протипожежного режиму. Це означає сувору заборону використання відкритого вогню, куріння в не відведених для цього місцях, виконання вогневих робіт лише за нарядом-допуском із попередньою підготовкою робочої зони (очищення від горючих матеріалів, підготовка засобів пожежогасіння, нагляд відповідальної особи). Склади реагентів, мастильних матеріалів, паливно-мастильних матеріалів мають бути обладнані відповідно до вимог пожежної безпеки: з обмеженим доступом, вентиляцією, роздільним зберіганням несумісних речовин, наявністю попереджувальних знаків та інструкцій.

Критично важливою складовою системи пожежної безпеки є обладнання станції первинними засобами пожежогасіння та протипожежною інфраструктурою. На території та в приміщеннях Лівобережної станції аерації повинні бути розміщені вогнегасники необхідних типів (порошкові, вуглекислотні, водопінні – залежно від класу можливих пожеж), пожежні щити з інвентарем (багри, лопати, відра, ящики з піском), пожежні крани з рукавами та стволами. Їх розташування має бути зручним для швидкого доступу, чітко позначеним, а технічний стан – регулярно перевірятися і фіксуватися в журналах. На території слід забезпечити вільний доступ пожежних автомобілів до гідрантів, резервуарів із водою, основних будівель та споруд. Забороняється захаращувати проїзди, під'їзди, аварійні виїзди будівель матеріалами або технікою.

Невід'ємною частиною системи пожежної безпеки є навчання персоналу та відпрацювання практичних навичок дій у разі пожежі або вибухонебезпечної ситуації. Працівники повинні знати місцезнаходження первинних засобів пожежогасіння, вміти ними користуватися, орієнтуватися в планах евакуації, розуміти послідовність дій при виявленні загоряння: негайне оповіщення керівництва та диспетчера, виклик пожежно-рятувальної

служби, відключення ураженої ділянки від електроживлення (якщо це не створює додаткової небезпеки), спроба локалізації вогнища на початковій стадії без ризику для власного життя, організована евакуація з небезпечної зони. Регулярні протипожежні тренування, у тому числі з відпрацюванням умовних сценаріїв (загоряння в електрощитовому приміщенні, загоряння ізоляції кабелів, займання в зоні газового обладнання), дозволяють сформувати стійкі алгоритми поведінки.

Особливе значення мають дії персоналу у надзвичайних ситуаціях, що виходять за рамки «звичайної» пожежі. До таких належать аварійні викиди чи витіки токсичних або вибухонебезпечних газів, масові прориви трубопроводів зі стічними водами, затоплення машинних відділень, вихід з ладу електропостачання, комбіновані події (наприклад, загоряння на фоні газового витіку або затоплення). Для кожного типу потенційних надзвичайних ситуацій мають бути розроблені плани локалізації й ліквідації аварійних ситуацій (ПЛАС), у яких детально прописано: порядок оповіщення, склад аварійної бригади, послідовність технічних дій, перелік залучених служб (пожежно-рятувальна, аварійно-газова, енергетична служба тощо).

Важливо, щоб персонал чітко розумів межу між діями, які він може виконувати самостійно, та ситуаціями, коли необхідно негайно залишити небезпечну зону та чекати професійних рятувальників. Життя і здоров'я працівників мають абсолютний пріоритет над збереженням обладнання. Тому в інструкціях з охорони праці та планах реагування повинні бути чітко прописані випадки, коли спроби самостійного гасіння або локалізації аварії забороняються (наприклад, велике полум'я в зоні газового обладнання, потрапляння полум'я на кабельні траси, різке зростання концентрації токсичних газів, загроза обвалу конструкцій).

Суттєвим елементом є система оповіщення та управління евакуацією. На станції мають функціонувати засоби звукової і, за можливості, світлової сигналізації, за допомогою яких здійснюється оперативне попередження

людей про пожежу або іншу надзвичайну ситуацію. Плани евакуації повинні бути наочно розміщені в приміщеннях, схеми виходів – зрозумілими та продубльованими знаками безпеки. Шляхи евакуації мають постійно утримуватися вільними від перешкод, двері евакуаційних виходів – бути справними та незамкненими зсередини на пристрої, які можна легко відкрити без ключа.

Окремо слід наголосити на взаємодії з зовнішніми службами цивільного захисту. Адміністрація Лівобережної станції аерації має підтримувати постійний контакт із територіальними підрозділами ДСНС, надавати їм необхідну інформацію про об'єкт, проводити спільні навчання, під час яких відпрацьовуються маршрути під'їзду, схеми подачі вогнегасних речовин, варіанти евакуації й локалізації наслідків аварійних ситуацій. Наявність актуальної інформації про планування території, розташування небезпечних зон, гідрантів, джерел водопостачання є запорукою того, що у разі реальної події час реагування буде мінімальним, а дії – більш скоординованими.

Таким чином, пожежна безпека та дії персоналу у надзвичайних ситуаціях на Лівобережній станції аерації мають розглядатися не як набір формальних вимог, а як жива, діюча система. Вона включає попередження пожеж та аварій за рахунок технічних і організаційних заходів, готовність до оперативного реагування у випадку їх виникнення, чітко відпрацьовані алгоритми евакуації й взаємодії з аварійно-рятувальними службами. Лише за умови системного підходу до цих питань можна гарантувати, що навіть у складних і потенційно небезпечних умовах функціонування очисних споруд буде забезпечено прийнятний рівень безпеки для персоналу, населення, яке проживає поблизу, та навколишнього природного середовища.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі на тему «Обґрунтування екологічних ризиків в межах санітарно-захисної зони Лівобережної станції аерації комунального підприємства «Дніпроводоканал» виконано послідовне, комплексне дослідження, яке поєднало теоретичні підходи, аналіз природних умов, характеристику техногенного об'єкта, оцінку екологічних ризиків та розробку практичних рекомендацій щодо їх зменшення. Робота показала, що сучасне управління екологічною безпекою очисних споруд неможливе без ризик-орієнтованого підходу, коли в центрі уваги знаходиться не тільки факт перевищення чи неперевикнення нормативів, а реальний рівень небезпеки для населення та довкілля.

На теоретичному рівні уточнено зміст поняття «екологічний ризик» у контексті функціонування об'єктів водовідведення. Було підкреслено, що ризик – це поєднання ймовірності виникнення небажаної події та тяжкості її можливих наслідків, а отже, оцінка ризику виходить за рамки простої констатації наявності забруднення. На основі аналізу нормативно-правової бази, санітарних і водоохоронних вимог, будівельних норм та галузевих регламентів сформовано концептуальне поле, у межах якого розглядається санітарно-захисна зона: як інструмент просторового відокремлення небезпечного об'єкта від чутливих територій, так і як спеціально організований буферний простір зі своїм режимом землекористування.

У роботі детально охарактеризовано Лівобережну станцію аерації КП «Дніпроводоканал» як складний інженерний комплекс, що відіграє ключову роль у системі водовідведення м. Дніпро. Враховано не лише технологічні особливості роботи станції (структуру споруд, етапи очищення, системи обробки осадів), а й природно-кліматичні умови, геологічну та гідрогеологічну будову території, характеристики ґрунтів, специфіку міського середовища. Показано, що саме поєднання техногенного

навантаження та природних умов визначає напрямки міграції забруднювачів, масштаби запахового та біологічного впливу, потенційну вразливість ґрунтових і підземних вод. Окремо проаналізовано сучасний стан санітарно-захисної зони: наближення житлової забудови, ступінь озеленення, фактичне використання території. Це дозволило сформувати цілісне уявлення про те, у яких реальних умовах функціонує станція та як саме її вплив «накладається» на простір міста.

Важливим результатом роботи стала поетапна оцінка екологічних ризиків за основними напрямками впливу. Для атмосферного повітря виділено ключові групи забруднювачів – газоподібні продукти розкладання органічних речовин, у тому числі сірководень, аміак, леткі органічні сполуки та запахові компоненти. На основі аналізу джерел утворення, режимів їх роботи та просторового розташування було показано, що саме поєднання запахового, хімічного та біологічного навантаження формує найбільш відчутний ризик для населення в межах та поблизу санітарно-захисної зони. Для ґрунтів і підземних вод виявлено потенційно небезпечні зони – насамперед ділянки, пов'язані з поводженням із осадами, можливими витокami з мереж, фільтрацією забруднених вод. Ці ризики мають менш яскраво виражений, але більш тривалий та кумулятивний характер. Шумові впливи, пов'язані з роботою насосного та аераційного обладнання, в основному локалізуються в межах промислової території, але можуть бути відчутними на межі житлової забудови, що вимагає їхнього контролю. Біологічні ризики, зумовлені біоаерозолями та мікрофлорою стічних вод, доповнюють загальну картину ризику, особливо в зонах безпосереднього контакту з технологічними потоками.

Запропонована у роботі інтегральна схема оцінки ризиків дала змогу не лише описати окремі види впливів, а й узагальнити їх у системі показників, що відображають сумарну небезпеку для довкілля та населення. Завдяки цьому вдалося ранжувати ризики за пріоритетністю: на перший план вийшли забруднення атмосферного повітря та пов'язані з ним запахові й біологічні

ризика, далі – ризики для ґрунтів і підземних вод, а також шумове навантаження. Такий підхід дозволив чітко визначити напрями, де впровадження природоохоронних заходів забезпечить найбільший екологічний ефект.

На основі проведеного аналізу розроблено комплекс технічних, технологічних, організаційних та санітарно-гігієнічних заходів щодо зниження екологічних ризиків у межах санітарно-захисної зони. Серед них – герметизація та укриття найбільш «проблемних» споруд, удосконалення систем вентиляції та очищення повітря, модернізація технологій обробки осадів, підвищення надійності мереж, впорядкування поверхневого стоку, покращення благоустрою та озеленення. Значну увагу приділено організаційним рішенням: регламентації режимів роботи, попереджувальним ремонтам, внутрішньому екологічному контролю, роботі з населенням. Окремим блоком розроблено підходи до створення дієвої системи моніторингу, орієнтованої на перехід від епізодичних вимірювань до постійного спостереження за динамікою ризику та оцінки ефективності впроваджених заходів у часі.

Важливою складовою кваліфікаційної роботи є розділ, присвячений охороні праці та безпеці у надзвичайних ситуаціях. У ньому показано, що Лівобережна станція аерації є не лише джерелом техногенного впливу на довкілля, а й потенційно небезпечним виробничим об'єктом для працівників. У роботі систематизовано основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, обґрунтовано комплекс заходів щодо створення безпечних умов праці, включно з використанням засобів індивідуального захисту, організацією вентиляції й освітлення, регламентацією робіт у замкнених просторах, навчанням персоналу. Особливу увагу приділено питанням пожежної безпеки, запобіганню вибухонебезпечним ситуаціям і відпрацюванню дій персоналу у разі аварій – як з погляду захисту людей, так і з позицій мінімізації можливого екологічного збитку.

Узагальнюючи виконану роботу, можна стверджувати, що поставлена мета – обґрунтування екологічних ризиків у межах санітарно-захисної зони Лівобережної станції аерації та розробка заходів щодо їх зниження – досягнута. Отримані результати мають не лише теоретичне, а й практичне значення. Вони можуть бути використані КП «Дніпроводоканал» та органами місцевого самоврядування при коригуванні меж і режиму санітарно-захисної зони, плануванні реконструкції та модернізації споруд, удосконаленні місцевих програм екологічного моніторингу, розробці заходів цивільного захисту населення, яке проживає в зоні впливу станції.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з поглибленою кількісною оцінкою екологічних ризиків на основі довгострокових рядів моніторингових спостережень, застосуванням сучасних математичних моделей розсіювання та міграції забруднювачів, аналізом відстрочених наслідків для здоров'я населення та міських екосистем, а також розробкою поетапних сценаріїв модернізації очисних споруд з урахуванням цілей сталого розвитку, змін клімату та інтеграції міської інженерної інфраструктури у ширший контекст екологічної політики регіону.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища».
2. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля».
3. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди.
4. WHO. *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater*.
5. ДСП 173-96. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів.
6. Офіційні матеріали КП «Дніпроводоканал». Загальна характеристика очисних споруд.
7. Департамент екології та природних ресурсів Дніпропетровської ОДА. Екологічний стан м. Дніпро.
8. USEPA. *Risk Assessment Guidance for Environmental Hazards*.
9. ГДК хімічних речовин в атмосферному повітрі населених місць.
10. Качинський А.Б. Екологічний ризик та управління ним.
11. Іванюта С.П., Качинський А.Б. Екологічна безпека територій.
12. ISO 31000:2018. Risk management — Guidelines.
13. Методичні рекомендації з оцінки екологічних ризиків для об'єктів комунальної інфраструктури.
14. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища».
15. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля».
16. ISO 31000:2018. Risk management — Guidelines.
17. Качинський А. Б. Екологічний ризик: аналіз, оцінка, управління : навч. посіб. – К. : Вид-во НАУ, 2010.
18. Іванюта С. П., Качинський А. Б. Екологічна безпека територій : монографія. – К. : Основа, 2011.

19. Яцик А. В., Хільчевський В. К., Савчук Д. П. Екологічна безпека та охорона довкілля : підручник. – К. : Вища школа, 2015.
20. Бачинський Г. О., Мельник Л. Г. Основи екологічного ризикологічного аналізу : навч. посіб. – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2014.
21. Трофимчук О. М., Луковенко О. В. Екологічний ризик та безпека : навч. посіб. – К. : Либідь, 2013.
22. United States Environmental Protection Agency (USEPA). Risk Assessment Guidance for Superfund. Volume I: Human Health Evaluation Manual. – Washington, 1989 та наст. ред.
23. World Health Organization. Environmental health criteria and risk assessment guidelines. – Geneva : WHO Press, 2006.
24. Голубець М. А., Клименко М. О. Екологічна безпека: теоретичні засади та практичні аспекти : монографія. – К. : Наукова думка, 2012.
25. Державні санітарні норми та правила забезпечення екологічної безпеки : зб. нормативних документів. – К. : Мінприроди України, 2016.
26. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування і забудова територій. – К. : Мінрегіон України, 2019.
27. ДСП 201-97. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами). – К. : МОЗ України, 1997.
28. Наказ МОЗ України № 52 від 14.01.2020 «Про затвердження Державних санітарних норм та правил утримання територій населених місць».
29. Методичні рекомендації щодо встановлення санітарно-захисних зон об'єктів водопостачання та водовідведення. – К. : Мінрегіонбуд України, 2012.
30. Малець О. М., Хом'як Л. М. Урбанізовані території та екологічна безпека міст : навч. посіб. – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2016.

31. Васьків І. П. Містобудівні аспекти формування санітарно-захисних зон промислових підприємств : монографія. – К. : Ліра-К, 2015.
32. European Environment Agency. Air pollution sources and urban environment. – Luxembourg : EEA Report, 2018.
33. WHO Regional Office for Europe. Urban green spaces and health. – Copenhagen : WHO Europe, 2016.
34. UNECE. Guidance on land-use planning, the siting of hazardous activities and related safety aspects. – Geneva : United Nations, 2017.
35. Методичні вказівки з оцінки впливу на довкілля підприємств водопровідно-каналізаційного господарства. – К. : Мінекології України, 2015.
36. Петренко О. В. Санітарно-захисні зони комунальних об'єктів: екологічні та правові аспекти // Науковий вісник будівництва. – 2019. – № 2. – С. 85–92.
37. Водний кодекс України : Кодекс України від 06.06.1995 № 213/95-ВР.
38. Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення : Закон України від 10.01.2002 № 2918-III.
39. Про житлово-комунальні послуги : Закон України від 09.11.2017 № 2189-VIII.
40. Про Національну комісію, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг : Закон України від 22.09.2016 № 1540-VIII.
41. Ліцензійні умови провадження господарської діяльності з централізованого водопостачання та централізованого водовідведення : постанова НКРЕКП від 22.03.2017 № 307.
42. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – К. : Мінрегіон України, 2013.
43. Правила приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення та Порядок визначення плати за понаднормативні скиди стічних вод : наказ Мінрегіону України від 01.12.2017 № 316.

44. Правила приймання стічних вод до системи централізованого водовідведення м. Дніпра / КП «Дніпроводоканал».
45. Directive 91/271/EEC concerning urban waste-water treatment.
46. Directive 2000/60/EC establishing a framework for Community action in the field of water policy.
47. КП «Дніпроводоканал». Офіційні матеріали про діяльність підприємства та очисні споруди м. Дніпра (річні звіти, інформація на вебсайті).
48. Паспорт Лівобережної станції аерації КП «Дніпроводоканал» (техніко-економічні показники та характеристика споруд).
49. Проектні та технічні матеріали з реконструкції очисних споруд м. Дніпра (альбоми технічних рішень, пояснювальні записки).
50. Методичні рекомендації з проектування та експлуатації споруд біологічного очищення стічних вод населених пунктів.
51. Наукові публікації та статті щодо стану та модернізації систем водовідведення й очисних споруд м. Дніпро та регіону.
52. Дніпро (місто) // Вікіпедія : вільна енциклопедія.
53. Climate-data.org. Dnipro (Dnipropetrovsk) climate: temperature, rainfall and sunshine.
54. Weather Atlas. Yearly and monthly weather for Dnipro, Ukraine.
55. Climates to Travel. Climate – Dnipro (Ukraine).
56. Опис кліматичних умов басейну р. Дніпро в матеріалах проекту EUWI+ East (характеристика клімату району дослідження).
57. Шевченко О. Г. Кліматичні зміни та термічний комфорт у Дніпропетровській області (1991–2020 рр.) : наукові публікації з кліматології регіону.
58. Матеріали Дніпропетровського регіонального центру з гідрометеорології та Українського гідрометеорологічного центру (огляди погоди, характеристики вітрового режиму та опадів).