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: «Вплив на навколишнє середовище експлуатації магістрального водогону Хортиця – Томаківка – Марганець»

Виконала: здобувачка вищої освіти 2 курсу, групи МгЕ-1-24 спеціальності 101 «Екологія»
Саттарова Ю.В.

Керівник_ доц., к.б.н. ДОЦЕНКО Л. В

Рецензент _провідний інженер Кириченко Г.О.___

Дніпро 2025

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.

З А В Д А Н Н Я
на підготовку кваліфікаційної роботи
Саттарової Юлії Вікторівни
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Вплив на навколишнє середовище експлуатації магістрального водогону Хортиця – Томаківка – Марганець

Науковий керівник: Доценко Л.В.

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

2. Термін подання здобувачем роботи: 16.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: отримані під час проходження виробничої практики

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити): 1. Літературний огляд 2. Природні умови та ресурси території дослідження 3. Матеріал та методика 4. Оцінка впливу на атмосферне повітря насосної мережі Запоріжжя-Покров 5. Охорона праці 6. Висновки 7. Список використаної літератури 8. Додатки

5. .Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Презентація в середовищі PowerPoint (актуальність, мета, та висновки роботи)

6. Дата видачі завдання: «_15__» _жовтня___ 2025_____р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ пп	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Літературний огляд	27.10.2025	Виконано
2	Природні умови та ресурси території дослідження	12.11.2025	Виконано
3	Матеріал та методика	25.11.2025	Виконано
4	Оцінка впливу на атмосферне повітря насосної мережі Запоріжжя-Покров	2.12.2025	Виконано
5	Охорона праці	10.12.2025	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки. Вступ. Висновки	15.12.2025	Виконано

Здобувач (ка) _____ ____Саттарова Ю.В_____
(підпис) (Ім’я та прізвище)

Керівник роботи _____ ___Доценко Л.В_____
(підпис) (Ім’я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота складається із вступу, 5 розділів, висновків, додатків та переліку посилань. Повний обсяг роботи 81 – сторінок друкованого тексту, включаючи 2 рисунків та 14 таблиць. Перелік посилань містить 61 найменувань.

Метою даної роботи є оцінка техногенного впливу насосної мережі «Запоріжжя–Покров» на стан атмосферного повітря, визначення рівнів утворення та приземних концентрацій забруднювальних речовин, а також оцінка екологічної безпечності експлуатації насосних станцій.

Об'єкт дослідження – насосна мережа «Запоріжжя–Покров» та її техногенний вплив на довкілля.

Предмет дослідження – кількісні показники забруднювальних речовин, що утворюються при роботі дизельних генераторів і насосного обладнання, та їх приземні концентрації.

Для досягнення мети поставлені такі завдання: аналіз технічних характеристик насосних станцій та резервних дизельних генераторів, формування вихідних даних для розрахунків техногенного впливу, визначення максимальних разових та річних валових викидів основних забруднювачів, розрахунок приземних концентрацій CO та SO_2 за рівнянням Менделєєва–Клапейрона, порівняння отриманих значень з нормативами гранично допустимих концентрацій, оцінка потенційних екологічних та техногенних ризиків, встановлення екологічної безпечності роботи насосної мережі у штатному режимі.

Методи дослідження, що використано в роботі - метод кількісного розрахунку масових та приземних концентрацій забруднювальних речовин, розрахункові залежності рівняння Менделєєва–Клапейрона.

Ключові слова: НАСОСНА МЕРЕЖА, ДИЗЕЛЬ ГЕНЕРАТОР, ЗАБРУДНЮВАЛЬНІ РЕЧОВИНИ, ПРИЗЕМНІ КОНЦЕНТРАЦІЇ, АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ.

ЗМІСТ

Вступ ……8
Розділ 1. Літературний огляд ……11
1.1. Актуальність і значення теми дослідження ……11
1.2. Стан наукової розробленості проблеми ……12
1.3. Відновлення водопостачання після підриву Каховської ГЕС ……13
1.4. Продовження попередніх досліджень і новизна теми ……14
1.5. Сучасні тенденції оцінки впливу насосних мереж на атмосферне повітря ……15
1.6. Висновки з аналізу літератури ……..16
Розділ 2. Природні умови та ресурси території дослідження ……...17
2.1. Розташування об'єктів водогону ……17
2.2. Кліматичні умови ……21
2.3. Геолого-літологічна будова та рельєф ……..24
2.4. Рельєф та геоморфологія ……25
2.5. Гідрологічні та гідрогеологічні умови ……..…27
2.6. Ґрунти, рослинність та біорізноманіття ……...29
Розділ 3. Матеріал та методика ……32
3.1. Матеріали дослідження та вихідні дані ……...32
3.2. Розрахунок максимального викиду забруднюючої речовини за секунду ……34
3.3. Розрахунок валового (річного) викиду забруднюючих речовин ……35
3.4. Використання результатів розрахунків ……36
Розділ 4. Оцінка впливу на навколишнє середовище насосної мережі Запоріжжя-Покров ……...…38
4.1. Характеристика насосної мережі «Запоріжжя-Покров» як інженерної системи та об'єкта впливу на довкілля…….……38
4.2. Джерела потенційного техногенного впливу …….…….44

4.3. Токсикологічна характеристика основних забруднюючих речовин ……..…49
4.4. Потенційні аварійні ситуації та техногенні ризики ……..……58
Розділ 5. Охорона праці …….……..……65
5.1. Загальна характеристика умов праці на об’єктах системи водопостачання……..……...65
5.2. Вимоги безпеки під час експлуатації насосних станцій та дизельних генераторів…….66
5.3. Заходи з охорони праці та засоби індивідуального захисту ……..…67
5.4. Охорона праці при виникненні аварійних та нештатних ситуацій …..67
5.5. Охорона праці під час будівництва насосних станцій та прокладання трубопроводів……....68
Висновки ……...……70
Список використаної літератури ……....72
Додатки …….....76
Додаток А…….....76
Додаток Б…….....76

ВСТУП

Системи водопостачання становлять один із ключових елементів інженерної інфраструктури, що забезпечує стабільний розвиток населених пунктів та функціонування промислових підприємств. У сучасних умовах їх експлуатація нерозривно пов’язана з питаннями екологічної безпеки, оскільки робота насосних станцій, дизельних генераторів та супровідного обладнання супроводжується техногенним впливом на атмосферне повітря. Насосна мережа «Запоріжжя–Покров», яка виконує роль важливого магістрального елемента регіональної системи водозабезпечення, працює у безперервному режимі та характеризується значною інтенсивністю енергоспоживання. Це зумовлює формування викидів ряду небезпечних речовин, серед яких оксид вуглецю, діоксид сірки, діоксид азоту та дрібнодисперсний пил. Підвищення навантаження на систему у кризових умовах, спричинених масштабними гідрологічними змінами після руйнування Каховської ГЕС, надало темі екологічної оцінки роботи водопровідної інфраструктури особливої актуальності.

Важливість даного дослідження полягає у необхідності точного визначення масштабів техногенного впливу насосної мережі на атмосферу та виявленні потенційних ризиків, які можуть виникати як у штатних, так і в аварійних режимах експлуатації. Особливу увагу привертають дизельні генератори, які забезпечують резервне електроживлення станцій і здатні суттєво підвищувати локальне забруднення повітря під час тривалої роботи. Оцінка концентрацій забруднюючих речовин у приземному шарі атмосфери є необхідною умовою для визначення рівня екологічного навантаження, а також для планування заходів, спрямованих на зниження негативного впливу на здоров’я населення та природні екосистеми.

Матеріали для виконання цього дослідження були отримані під час проходження виробничої практики, що забезпечило їх відповідність реальним технічним умовам експлуатації насосних станцій та дало можливість використовувати фактичні показники роботи обладнання. Зібрані дані включають характеристики дизельних генераторів, параметри роботи насосних агрегатів, інформацію про типові режими навантаження та перелік основних забруднювачів, що утворюються у процесі роботи енергетичного обладнання. Використання первинних виробничих матеріалів істотно підвищує достовірність отриманих результатів і дозволяє адаптувати методику розрахунків до реальних умов функціонування об’єкта.

Методологічною основою дослідження є розрахунок максимальних разових та річних валових викидів забруднювальних речовин, який здійснюється на основі питомих показників утворення забруднювачів (г/кВт·год). Для оцінки поширення газоподібних компонентів у приземному шарі використано положення ізобарного процесу та рівняння Менделєєва–Клапейрона, що дозволяє визначити концентрації речовин, враховуючи температурні та об’ємні характеристики газової суміші. Такий підхід забезпечує наукову обґрунтованість розрахунків і дозволяє зіставити результат із нормативними показниками гранично допустимих концентрацій для атмосферного повітря населених територій.

Результати кількісного аналізу дають можливість об’єктивно оцінити ступінь техногенного навантаження кожної насосної станції, виявити об’єкти з найвищими показниками викидів, встановити потенційні екологічні ризики та визначити напрями підвищення екологічної ефективності роботи мережі. Дослідження також має практичне значення, оскільки дозволяє сформувати підґрунтя для подальшого екологічного моніторингу, оптимізації експлуатаційних режимів та впровадження заходів щодо зниження негативного впливу на довкілля. Усі отримані

розрахункові дані, включаючи таблиці з результатами, подано у додатках до роботи, що дає можливість зберегти структурну логіку основних розділів і не перевантажувати їх великою кількістю числової інформації.

Таким чином, представлене дослідження поєднує аналіз фактичних експлуатаційних параметрів насосної мережі «Запоріжжя–Покров» із науково обґрунтованою методикою оцінки техногенного впливу, що дозволяє отримати комплексне уявлення про характер і масштаби забруднення атмосферного повітря внаслідок роботи даної інфраструктури.

РОЗДІЛ 1.
ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

Підрив Каховської гідроелектростанції у червні 2023 року став однією з наймасштабніших екологічних катастроф в історії України. Руйнування греблі призвело до втрати водосховища, зниження рівня підземних вод і припинення функціонування водопостачальних систем у низці населених пунктів південних областей. Внаслідок цього постала потреба у створенні нової водонасосної мережі, яка б забезпечила стабільне водопостачання регіону, зокрема міст Дніпропетровської, Запорізької та Херсонської областей [1].

Розробка нових систем водопостачання після катастрофи потребує ретельного аналізу можливих екологічних наслідків. Одним із ключових компонентів довкілля, який зазнає впливу під час будівництва та експлуатації інженерних об’єктів, є атмосферне повітря. Хоча водонасосні станції не належать до великих джерел забруднення, їхня діяльність може призводити до локального підвищення концентрацій шкідливих речовин, особливо під час будівельних і монтажних робіт, використання техніки, транспорту чи дизельних генераторів [2].

1.1. Актуальність і значення теми дослідження

В умовах післявоєнного відновлення України важливість екологічних оцінок набуває особливого значення. Будівництво або реконструкція будь-яких об’єктів інженерної інфраструктури має супроводжуватись оцінкою впливу на довкілля, що визначено Законом України «Про оцінку впливу на довкілля» (2017). Це дає змогу попередити можливі негативні наслідки для

природних компонентів — атмосферного повітря, ґрунтів, водних ресурсів та біорізноманіття.

Тема дипломної роботи є вкрай актуальною, оскільки нова водонасосна мережа створена у складних екологічних та соціально-економічних умовах. Оцінка її впливу на атмосферне повітря дає можливість з’ясувати, наскільки проєкт відповідає принципам сталого розвитку, визначеним ООН, та екологічним пріоритетам України до 2030 року.

Згідно з даними О.П. Мельничука,, забруднення атмосферного повітря від подібних об’єктів має переважно локальний характер, але в умовах післявоєнного відновлення воно може накопичуватись у зонах з підвищеним техногенним навантаженням [3]. Саме тому дослідження впливу насосних станцій на якість повітря є необхідним елементом екологічного контролю та планування нової інфраструктури.

Таким чином, через катастрофу на Каховській ГЕС виникла потреба у новій водонасосній мережі, тому екологічна оцінка її впливу на атмосферне повітря є вкрай актуальною для забезпечення сталого відновлення південних областей відповідно до законодавства України.

1.2. Стан наукової розробленості проблеми

Питання оцінки впливу водогосподарських об’єктів на довкілля широко розглядаються у вітчизняній та зарубіжній науковій літературі [4]. Зокрема, у працях Кириленко С. Л. та Коваленко Н. Ю. проаналізовано структуру викидів забруднюючих речовин під час роботи насосних станцій, систем водопостачання та об’єктів очищення води. Основними забруднювачами визначено оксиди азоту (NO_x), оксид вуглецю (CO), діоксид вуглецю (CO_2), сірчистий ангідрид (SO_2) та завислі частинки (PM_{10}, $PM_{2.5}$) [5].

Міжнародні дослідження підкреслюють, що навіть об’єкти з низьким рівнем прямого забруднення можуть спричиняти непрямі викиди через споживання електроенергії [6], що виробляється з викопного палива. Тому оцінка впливу має враховувати не лише фактичні викиди з території об’єкта, а й енергетичну ефективність його роботи [7].

Особливу увагу приділяють питанням шумового впливу, який також розглядається як форма фізичного забруднення атмосфери. Згідно з дослідженнями Савченко І.В., робота насосних станцій може створювати підвищений рівень шуму (до 70 дБ), що вимагає облаштування санітарно-захисних зон і впровадження шумопоглинальних матеріалів [8].

Можна зробити висновок, що насосні станції переважно викидають оксиди азоту, вуглецю та завислі частинки, при цьому міжнародні дослідження наголошують на необхідності врахування як прямого забруднення, так і непрямих викидів CO2 через енергоспоживання.

1.3. Відновлення водопостачання після підриву Каховської ГЕС

Після руйнування Каховської ГЕС у 2023 році Україна зіткнулася з гострою проблемою нестачі води у значній частині території. Пошук нових джерел водопостачання став стратегічним завданням держави. У рамках державної програми відновлення інфраструктури було розпочато проєкт створення нової водонасосної мережі для подачі води з альтернативних джерел — підземних горизонтів, малих річок та резервних водозаборів [9].

На етапі будівництва таких об’єктів спостерігається підвищення рівня пилу, викиди вихлопних газів від будівельної техніки та робота резервних дизельних електростанцій. За оцінками Дьяченко О.М., середній рівень збільшення концентрації оксиду вуглецю у зоні активних робіт може сягати 1,3–1,5 разів від фонового, проте ці зміни є тимчасовими [10]. Після

завершення будівництва вплив стабілізується і набуває постійного, але незначного характеру.

Додаткову роль відіграє енергоспоживання насосного обладнання. Сучасні насоси з частотно-регульованими приводами (VFD) забезпечують зниження споживання електроенергії до 25–30 %, що дозволяє скоротити непрямі викиди парникових газів [11]. Впровадження таких технологій є одним із пріоритетів екологічної модернізації в Україні.

Отже, хоча на етапі будівництва спостерігається тимчасове збільшення CO і пилу, впровадження сучасних насосів з частотно-регульованими приводами під час експлуатації дозволяє суттєво знизити енергоспоживання та, відповідно, скоротити непрямі викиди парникових газів.

1.4. Продовження попередніх досліджень і новизна теми

Дипломна робота є продовженням попереднього дослідження, яке було присвячене загальній оцінці впливу господарської діяльності на навколишнє природне середовище та аналізу джерел водопостачання, придатних для подачі води у міста після руйнування Каховської ГЕС. Отримані результати показали, що найвразливішими компонентами довкілля в умовах відновлення є саме повітря і вода.

У цій роботі вперше здійснено систематичний аналіз наявних досліджень щодо впливу насосних станцій на стан атмосферного повітря, об’єднано підходи з вітчизняної та зарубіжної літератури, розроблено узагальнену методику оцінки на основі екологічних індикаторів. Такий підхід дозволяє поєднати енергетичний аспект роботи насосних станцій із екологічною оцінкою повітряного середовища.

Наукова новизна полягає у використанні сучасних методів моделювання розсіювання забруднювачів (наприклад, AERMOD, CALPUFF) у поєднанні з оцінкою непрямих викидів від споживання електроенергії. Крім того, у роботі передбачено порівняння отриманих результатів з національними нормативами якості повітря (ГДК), затвердженими МОЗ України у 2021 році.

Таким чином, наукова новизна роботи полягає в систематичному аналізі впливу насосних станцій на якість повітря, поєднанні підходів щодо оцінки непрямих викидів CO2 та застосуванні сучасних методів моделювання розсіювання забруднювачів

1.5. Сучасні тенденції оцінки впливу насосних мереж на атмосферне повітря

Сучасна наукова література розглядає питання впливу інженерної інфраструктури на повітряний компонент як частину екологічної безпеки міст [12]. Особливу увагу приділяють оцінці вторинного забруднення, спричиненого експлуатацією допоміжного транспорту, систем вентиляції, фарбуванням і технічним обслуговуванням обладнання.

За даними UNEP, близько 40 % викидів парникових газів у комунальній сфері припадає на енергоспоживання систем водопостачання і каналізації [11]. Тому впровадження енергоефективних насосних систем безпосередньо впливає на якість атмосферного повітря та рівень викидів CO_2.

Досвід країн ЄС показує, що заміна старих насосів на нові, з енергоефективними електродвигунами, дозволяє скоротити викиди CO_2 на 20–35 %. Україна поступово впроваджує аналогічні технології в межах

програми «Зелений курс України», що є складовою адаптації до Європейського зеленого курсу (EU Green Deal).

Можна зробити висновок, що комунальна сфера є значним джерелом викидів парникових газів через енергоспоживання систем водопостачання, тому модернізація та заміна старих насосів на енергоефективні, відповідно до EU Green Deal, є ключовою тенденцією для скорочення викидів CO2.

1.6. Висновки з аналізу літератури

Проведений аналіз літературних джерел показав, що вплив водонасосних мереж на атмосферне повітря має локальний і переважно непрямий характер, але не може бути ігнорований у процесі екологічного оцінювання. Основними факторами впливу є:

- викиди шкідливих речовин під час будівельно-монтажних робіт;
- експлуатація резервних джерел енергії;
- непрямі викиди CO_2 від енергоспоживання;
- шумове навантаження та вторинне забруднення.

Однак, за умови впровадження енергоефективних технологій, сучасних систем очищення повітря та моніторингу, ці впливи залишаються в межах нормативів і не створюють суттєвої загрози для довкілля.

Отже, літературний огляд підтверджує, що тема дослідження є актуальною, науково обґрунтованою та практично важливою. Вона відповідає сучасним завданням відновлення інфраструктури України після екологічної катастрофи на Каховській ГЕС та сприяє розвитку підходів до екологічно безпечного проектування інженерних систем.

РОЗДІЛ 2.
ПРИРОДНІ УМОВИ ТА РЕСУРСИ ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Розташування об'єктів водогону

Новозбудована магістральна водонасосна мережа, що з’єднує Запорізьку та Дніпропетровську області є критичним інженерним об’єктом, реалізованим у відповідь на екологічну катастрофу, спричинену підривом Каховської ГЕС у червні 2023 року. Водонасосна мережа має 8 насосних станцій, перші дві НС-1.1 та НС-1.2, які розташовані неподалік селища Володимирське, Запорізька область. Трохи далі від станцій що роблять водозабір, розташована НС-2, від якої трубопровід простягається до НС-3 яка розташована неподалік с. Широке, Запорізька область. НС-4 знаходиться на першому розгалужені мережі біля села Максимівка, Дніпропетровська область, на південній гілці. На північній гілці розташована НС-6 біля міста Марганець, Дніпропетровська область.

Насосна станція 5 знаходиться неподалік села Червоногригорівка (Дніпропетровська область), продовжуючи трубопровід до міста Нікополь, де відбувається друге розгалуження мережі. Трубопровід по південній гілці простягається до НС-7, яка розташована неподалік с. Старозаводське, та іде далі в сторону м. Покров. Насосна станція № 8, яка є кінцевою, розміщена біля села Катеринівка, Дніпропетровська область.

Таким чином, географічне положення траси визначається не лише природними ландшафтами, а й стратегічною необхідністю відновити

водопостачання для густонаселених районів, які втратили доступ до Каховського водосховища.

Траса водогону загалом орієнтована у північно-західному напрямку, проходячи територією двох великих адміністративних областей південного сходу України — Запорізької та Дніпропетровської [13]. Вона розташована в межах Причорноморської низовини та частково охоплює південно-східні схили Придніпровської височини. У географічному плані це відповідає Степовій зоні України, зокрема її Північностеповій підзоні [14]. Така природна належність визначає умови будівництва та експлуатації водогону, враховуючи кліматичні чинники (посушливість, підвищену випаровуваність) і ґрунтові особливості місцевості (переважання чорноземів) [15].

Магістраль проходить через низку сільських територій і населених пунктів Запорізької області, серед яких — селища Нове Запоріжжя, Степанівка та Мирове. Прокладання трубопроводу через ці зони потребує детального адміністративного супроводу та узгодження, оскільки роботи здійснюються на землях із різним функціональним призначенням.

Важливим вузловим елементом магістралі є ділянка поблизу села Максимівка, де розташоване перше розгалуження системи. Таке техніко-адміністративне рішення дає змогу ефективно забезпечувати водою кілька напрямків споживання одночасно, підвищуючи загальну надійність і стабільність функціонування мережі.

Північна гілка - цей відрізок мережі пролягає поблизу історичного об’єкта — кургану Могила «Шпоньковська». Через близькість до пам’ятки культурної спадщини проектні роботи мають супроводжуватися обов’язковими екологічними й археологічними обстеженнями, адже будівництво може впливати на ландшафтну охоронну зону.

Південна гілка - пролягає поблизу села Велика Кам’янка та далі спрямовується у бік Дніпропетровської області.

Далі маршрут водогону перетинає територію Дніпропетровщини в напрямку Червоногригорівки та Придніпровського. Поблизу міста Нікополь, яке зазнало значних проблем через втрату джерел водопостачання, відбувається друге розгалуження системи, що свідчить про її стратегічну важливість для цього населеного пункту та прилеглих територій.

Перша гілка (локальна). Прямує до зони колишнього Каховського водосховища або до нових точок водозабору, пов’язаних із ним. Її основне призначення — забезпечення водою об’єктів, які раніше користувалися ресурсами водосховища.

Друга гілка (кінцева).Пролягає через селище Старозаводське й завершується у місті Покров. Це місто виконує роль кінцевого розподільного вузла системи, звідки вода постачається далі до населених пунктів регіону.

Отже, географічне й адміністративно-територіальне розташування водонасосної мережі є складним і охоплює кілька районів у межах двох областей [16].

Територія, через яку проходить магістральний водогін, повністю розміщена в межах Східноєвропейської рівнини — великої фізико-географічної області. Згідно з широтним зонуванням, уся траса належить до Степової зони України [17]. Для цього регіону характерний помірно континентальний клімат із недостатнім зволоженням, спекотним літом і низьким рівнем поверхневого стоку.

У межах Степової зони територія водогону входить до Причорноморсько-Приазовської сухостепової провінції. Вона вирізняється переважанням південних чорноземів у ґрунтовому покриві та типовими сухостеповими ландшафтами, що особливо вразливі до водної та вітрової ерозії [17].

Траса охоплює дві великі фізико-географічні області — Придніпровську височину та Причорноморську низовину. Придніпровська височина має вищі абсолютні відмітки й розчленований рельєф, що зумовлює активні ерозійні процеси та потенційний ризик зсувів на схилах річкових долин, зокрема поблизу Дніпра та його приток [18]. Натомість Причорноморська низовина представлена переважно рівнинними, місцями слабодренованими ділянками, які формують нижню частину траси [18].

Отже, фізико-географічне районування території підтверджує, що будівництво та подальша експлуатація водогону здійснюються в умовах Степової зони, яка має низку природних обмежень. Серед основних — схильність ґрунтів до ерозії (особливо під час проведення земляних робіт) та високі літні температури, що можуть впливати на функціонування обладнання і процеси розсіювання забруднюючих речовин [19].

На рисунку 1 розміщено карто-схему нового водогону Запоріжжя-Покров, на якому вказано шлях трубопроводу, точне розміщення 8 насосних станцій, колодязів, ремонтних камер, басейнів та багато іншого.

Рисунок 2.1- Карта-схема магістрального водогону Запоріжжя–Покров

2.2. Кліматичні умови

Кліматичні особливості та стан атмосферного повітря є визначальними фізико-географічними чинниками, що впливають на всі етапи реалізації будівництва й подальшої експлуатації магістрального водогону Запоріжжя–Покров. Вивчення цих параметрів необхідне для обґрунтування інженерно-технічних рішень, прогнозування процесів розсіювання забруднюючих речовин і визначення зони потенційного впливу об’єкта на довкілля.

Територія, через яку проходить водогін, розташована в межах помірно континентального клімату, для якого характерні значні річні та добові коливання температур. Належність до Степової зони зумовлює дефіцит вологи, посушливість і нерівномірність розподілу опадів протягом року.

Температурний режим. Літній період тривалий, спекотний і сухий — середньомісячна температура липня зазвичай перевищує +22 °C. Зимовий сезон помірно холодний і малосніжний. Високі температури влітку створюють потребу у використанні спеціальних конструкційних матеріалів та систем охолодження насосних станцій, а також впливають на швидкість висихання ґрунтів і, відповідно, на рівень пилоутворення на будівельних ділянках [20].

Режим опадів. Середньорічна кількість опадів становить близько 400–450 мм, причому їхня інтенсивність та сезонний розподіл є нерівномірними. Такий дефіцит природного зволоження ще раз підкреслює стратегічну потребу у створенні водогону для стабільного забезпечення регіону водними ресурсами [20].

Одним із найважливіших кліматичних показників, що характеризують стан атмосферного повітря, є вітровий режим, адже саме він визначає процеси перенесення та розсіювання забруднюючих речовин у повітряному просторі. На основі багаторічних спостережень метеостанцій Запорізької та Дніпропетровської областей визначено основні параметри цього режиму: переважаючі напрямки вітрів, їх середню швидкість, частоту штилів і небезпечні метеорологічні явища [21].

Переважаючі напрямки вітрів - для території, якою проходить магістраль, типовими є вітри східних і північно-східних напрямків, що становлять близько 25–35% усіх спостережень протягом року, особливо в холодний сезон [22]. Це свідчить про те, що основний напрямок розсіювання потенційних викидів від насосних станцій буде спрямований у західному та південно-західному напрямках, що потрібно враховувати при проектуванні санітарно-захисних зон. У теплий період року частіше спостерігаються північні та північно-західні вітри.

Середня швидкість вітру - у середньому швидкість вітру становить 3,5–5,0 м/с, що сприяє активному перемішуванню повітряних мас і зменшує ризик локального накопичення шкідливих речовин [22].

Повторюваність штилів - кількість днів із майже повною відсутністю вітру (менше 0,5 м/с) є незначною, що позитивно впливає на екологічну ситуацію, оскільки запобігає тривалому застою повітря та накопиченню забруднень у приземному шарі атмосфери [22].

Небезпечні явища - для регіону характерна помітна кількість днів із сильними вітрами (10 м/с і більше), що під час будівельних робіт може посилювати процеси пилоутворення та вітрової ерозії, особливо на відкритих ділянках із розрихленим ґрунтом [22].

Загалом атмосферне повітря вздовж траси водогону зазнає впливу як локальних, так і регіональних джерел забруднення. У більшості районів рівень фонових концентрацій шкідливих речовин залишається низьким.

Проте на початковій ділянці маршруту, поблизу Запоріжжя, можливе підвищення рівня забруднення через інтенсивну промислову діяльність, що необхідно враховувати під час екологічних розрахунків.

Функціонування водонасосної мережі супроводжується появою локальних джерел впливу на навколишнє середовище. Їх можна поділити на три основні категорії: тимчасові (пов'язані з етапом будівництва), стаціонарні (характерні для періоду експлуатації) та акустичні — тобто шумове забруднення.

Тимчасові джерела - у процесі будівельних робіт головним фактором впливу є викиди твердих завислих частинок (пилу, PM10), що утворюються під час земляних робіт. Крім того, двигуни внутрішнього згоряння будівельної техніки виділяють оксиди азоту та чадний газ, які формують короткочасне, але помітне навантаження на повітряне середовище [23].

Стаціонарні джерела - під час експлуатації до них належать резервні дизельні генератори насосних станцій, які виділяють азоту діоксид, сажу, сірчистий ангідрид та оксид вуглецю. Ці речовини є типовими компонентами техногенних викидів і потребують контролю для запобігання перевищенню допустимих концентрацій [23].

Шумове забруднення - інтенсивна робота насосного обладнання є постійним джерелом шуму, тому для забезпечення санітарних норм необхідно розраховувати та облаштовувати санітарно-захисні зони навколо насосних станцій [23].

Отже, результати аналізу кліматичних умов і стану атмосферного повітря підтверджують доцільність застосування реальних даних щодо вітрового режиму для точного моделювання розсіювання викидів, упровадження заходів із пилопригнічення під час будівництва, а також використання енергоефективних технологій для зменшення непрямих викидів CO_2.

2.3. Геолого-літологічна будова та рельєф

Геолого-літологічна будова, рельєф та пов'язані з ними інженерно-геологічні умови є основними факторами, які визначають технологію будівництва, стійкість конструкцій та експлуатаційну надійність магістрального водогону Запоріжжя–Покров. Необхідно провести комплексний аналіз цих чинників для того, щоб запобігти небезпечні геологічні процеси та мінімізувати ризики аварії.

У південно-східній частині Українського щита [24] Східноєвропейської платформи розташовано територію пролягання водогону, що зумовлює двучленну будову геологічного розрізу. Геологічний розріз складається з кристалічного фундаменту та осадового чохла.

На глибинах від 30 до 100 м кристалічного фундаменту залягають породи докембрійського кристалічного фундаменту [24]. Ці породи представлені магматичними та метаморфічними комплексами високої міцності. Наявними представниками є граніт, кварцити та гнейси. Ці породи являються стійкою основою та є не водоносними, що робить майже неможливим значні осідання. Проте висока міцність цих порід дуже сильно ускладнює процеси буріння та закладку глибинних насосних станцій.

Осадовий чохол представлено кристалічними фундаментом, який перекрито шаром кайнозойських та четвертинних осадових порід, потужність яких визначається від 20 до 80 м. Для прокладання трубопроводу ці відклади є безпосереднім середовищем. Представниками неогенового та палеогенового періоду є різнобарвні глини та піски. Представниками четвертинного періоду являються покривні лісові та

лесоподібні суглинки. Формування грунтового покриву у більшій частині районів траси сформовано саме лесоподібні суглинки.

Переважно вздовж траси грунти представлені лесами та лесоподібними суглинками з високою пористістю. У сухому стані при відносній міцності ці грунти мають схильність до просідання при їх замочуванні, що є критично важливим для забезпечення стійкості фундаменту насосних станцій та трубопроводу [25].

Лесоподібні суглинки зазвичай добре піддаються обробці під час виконання земляних робіт, зокрема при ритті траншей. Водночас вони потребують надійного захисту від атмосферних опадів і ґрунтових вод, оскільки при зволоженні можуть втрачати несучу здатність. У долинних ділянках річок і балок траса проходить через алювіальні піски та супіски з підвищеною водопроникністю, що створює ризик підтоплення будівельних котлованів.

Розрахункова глибина промерзання ґрунтів у цьому регіоні визначає необхідність прокладання трубопроводу на достатній глибині, яка забезпечує його захист від впливу морозного здимання — це є обов’язковою технічною вимогою для будівництва магістральних комунікацій.

2.4. Рельєф та геоморфологія

Рельєф території переважно належить до ерозійно-денудаційного плакорного типу, для якого характерні пологі хвилясті вододіли, густо порізані глибокими ярами та балками, що спускаються у напрямку до Дніпра.

Абсолютні відмітки висот змінюються від близько 30 м у заплавній зоні річки (район водозабору) до приблизно 180 м на підвищених ділянках Придніпровської височини.

Для будівництва водогону суттєвим чинником є перепади висот, які на окремих відрізках маршруту перевищують 100 м і створюють геоморфологічні обмеження. Саме особливості рельєфу зумовлюють потребу у підйомі води на підвищені плато, що безпосередньо впливає на енергоспоживання та гідравлічні параметри системи.

Прокладання магістралі в цьому регіоні супроводжується ризиком активізації низки небезпечних геологічних процесів, тому необхідно передбачати відповідні інженерні заходи захисту згідно з вимогами ДБН [26].

Найпоширенішою геологічною загрозою на території проходження водогону є ерозійні процеси. Зокрема, спостерігається активна водна ерозія (формування ярів) на крутих схилах балок і долин річок, а також вітрова ерозія (дефляція) на відкритих плакорних ділянках. Ці процеси особливо посилюються під час будівельних робіт, коли порушується природний ґрунтовий покрив.

Високий ризик зсувних явищ відзначається на крутих схилах правобережної частини Дніпра та в межах глибоких балок, де спостерігається підрізання схилів і підвищене зволоження грунтів [25]. Такі ділянки потребують посиленого інженерного захисту, зокрема укріплення схилів і облаштування дренажних систем.

Просідання ґрунтів можливе через наявність лесоподібних суглинків, схильних до деформацій при техногенному зволоженні — наприклад, внаслідок витоку води з трубопроводу або порушення дренажу. Це створює потенційну небезпеку для цілісності як трубопровідних ліній, так і фундаментів насосних станцій.

Загроза підтоплення актуальна для заплав річок, нижніх частин балок і зон виходу ґрунтових вод. У таких місцях необхідно передбачати надійну дренажну систему та підвищене закладання трубопроводу, щоб уникнути затоплення.

Карстові процеси не є типовими для даного регіону, однак їхні локальні прояви можливі у місцях тектонічних порушень, де спостерігається вилуговування карбонатних порід.

2.5. Гідрологічні та гідрогеологічні умови

Гідрологічний режим території, через яку проходить траса водогону, визначається її належністю до басейну річки Дніпро — головної водної артерії України та ключового джерела водопостачання [27].

Оскільки водогін бере початок саме з річки Дніпро, його стабільна робота безпосередньо залежить від надійності та сталості водозабору. Річка характеризується регульованим стоком, що формується каскадом гідроелектростанцій.

Маршрут водогону перетинає низку малих річок, струмків і балок, які належать до дніпровського басейну, серед них — Верхня Терса, Вовча та водотоки, що колись живили Каховське водосховище. Ці водні об’єкти мають переважно змішане — снігове та дощове — живлення, із типовим весняним підйомом рівня води та літньою меженню [28]. Для безпечного перетину таких ділянок необхідно застосовувати спеціальні інженерні рішення (дюкери, захисні кожухи), що запобігають забрудненню водних екосистем і гарантують стійкість трубопроводу під час сезонних коливань стоку.

Руйнування Каховської ГЕС у червні 2023 року стало переломним моментом, який докорінно змінив гідрологічні та гідрогеологічні умови всього регіону. Саме ця катастрофа зумовила нагальну потребу у створенні нової системи водопостачання — магістрального водогону Запоріжжя–Покров [29].

Підрив греблі призвів до катастрофічного спрацювання Каховського водосховища. Втрата водосховища спричинила водну кризу, оскільки було втрачено ключове джерело для меліорації та водозаборів, які живили Нікополь, Покров та інші населені пункти.

Протягом багатьох десятиліть штучне Каховське водосховище підтримувало підвищений рівень ґрунтових вод у регіоні. Після його обміління рівень підземних вод на прилеглих територіях різко знизився [29], що призвело до виходу з експлуатації численних індивідуальних свердловин і суттєвого зменшення водності малих річок. Ці зміни підтвердили необхідність створення альтернативної магістральної системи водопостачання, яка забезпечуватиме стабільний водозабір із верхів’я Дніпра.

У межах височин і плакорних ділянок глибина залягання ґрунтових вод сягає понад 5–10 м, тоді як у напрямку до Дніпра, балок і долин річок вона різко зменшується до 1–3 м [30]. Така різниця потребує особливої уваги під час прокладання трубопроводу: у заплавних зонах необхідно передбачати ефективну гідроізоляцію та дренаж, щоб уникнути підтоплення траншей і деформацій ґрунту через морозне здимання.

Підземні води відіграють важливу роль як резервне джерело водопостачання для малих населених пунктів, однак їх запаси є обмеженими, а якість часто знижена через підвищену мінералізацію. Після руйнування Каховської ГЕС проблема раціонального використання підземних вод стала особливо актуальною.

Разом із тим будівництво магістрального трубопроводу створює ризик техногенного забруднення підземних горизонтів у разі аварійних витоків. Через високу фільтраційну здатність лесоподібних суглинків, поширених уздовж траси, забруднюючі речовини (зокрема мастила чи технічні рідини насосних станцій) можуть швидко проникати в глибші шари [31]. Це обумовлює необхідність постійного гідрогеологічного моніторингу та впровадження профілактичних заходів захисту, особливо в районах, наближених до водозаборів.

2.6. Ґрунти, рослинність та біорізноманіття

Ґрунтовий покрив, рослинність та рівень біорізноманіття є чутливими компонентами природного середовища, які зазнають безпосереднього фізичного та хімічного впливу під час будівництва та експлуатації лінійного інженерного об’єкта, яким є магістральний водогін. Аналіз цих чинників необхідний для розробки заходів рекультивації та збереження екологічної цілісності території.

Територія проходження траси водогону розташована у південно-східній частині Степової зони України, що визначає домінування високородючих ґрунтів:

Уздовж траси переважають звичайні малогумусні чорноземи та темно-каштанові ґрунти [32]. Чорноземні ґрунти переважно формуються на вододільних ділянках і відзначаються глибоким гумусовим горизонтом та високим рівнем природної родючості. Каштанові ж ґрунти поширені у знижених частинах рельєфу та відрізняються підвищеним ступенем засоленості.

Для обох типів ґрунтів характерна схильність до ерозійних процесів. Порушення верхнього шару під час проведення земляних робіт (зняття родючого шару, риття траншей тощо) значно підвищує ризик прояву як водної, так і вітрової ерозії, особливо на схилових територіях [32]. Тому під час будівництва необхідно передбачати зняття, збереження та подальше використання родючого шару для рекультиваційних заходів.

Окрім цього, чорноземи мають високу буферну здатність, однак у разі забруднення технічними рідинами або паливом їхнє відновлення є тривалим та складним процесом.

Ландшафти цієї місцевості здавна належали до різнотравно-злакових степів. Проте внаслідок тривалого господарського освоєння території, зокрема активного розорювання, природна рослинність збереглася лише окремими ділянками.

На більшій частині маршруту переважають агроценози — орні землі та пасовища, через які проходить траса. Невеликі фрагменти первинної степової рослинності, представлені переважно злаковими та лучними угрупованнями, трапляються лише на схилах балок, у заплавних зонах малих річок та вздовж доріг [33]. Такі осередки мають важливе значення для підтримання регіонального біорізноманіття.

Порушення ґрунту під час будівництва може спричинити швидке поширення інвазійних видів рослин, які пригнічують місцеву флору, що вимагає контролю під час рекультивації.

Екологічна безпека проєкту будівництва водогону потребує суворого дотримання норм чинного законодавства, яке спрямоване на охорону біологічного та ландшафтного різноманіття. У межах цієї складової важливо здійснити аналіз можливого впливу на природні комплекси, що мають спеціальний охоронний статус [34].

Захист таких територій регламентується Законом України «Про природно-заповідний фонд України» [35], який визначає правила

використання земель та об’єктів природно-заповідного фонду. У межах потенційної зони впливу водогону необхідно провести екологічний аудит для уточнення, чи перетинає траса межі заказників, пам’яток природи або регіональних ландшафтних парків [34]. Будь-яке втручання, здатне завдати шкоди цим територіям, повинно бути виключене.

Особливу увагу приділяють збереженню рідкісних і зникаючих видів флори та фауни, занесених до Червоної книги України та Європейського Червоного списку. З цією метою необхідно провести польові дослідження для визначення місць їхнього поширення, насамперед у зонах, де ще збереглися залишки природних степових екосистем і заплавні біотопи річок.

Важливим екологічним чинником є присутність на території проєкту об’єктів Смарагдової мережі, створеної відповідно до Бернської конвенції [36]. Такі ділянки мають особливе значення для охорони видів і природних оселищ, важливих на європейському рівні. Відповідно до європейських стандартів, проведення будівельних робіт у зоні впливу цих територій можливе лише після спеціальної наукової оцінки, яка має довести відсутність негативного впливу на їхню екологічну цілісність і охоронні функції [36].

Практичне збереження біорізноманіття забезпечується через локалізацію робочих майданчиків, щоб мінімізувати площу порушень, дотримання сезонних обмежень під час розмноження тварин, а також обов’язкову рекультивацію з використанням місцевих видів рослин. Це сприятиме відновленню природного ландшафту та підтриманню екологічного балансу території.

РОЗДІЛ 3.
МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИКА

3.1 Матеріали дослідження та вихідні дані

Матеріалами для проведення дослідження впливу насосної мережі «Запоріжжя–Покров» на атмосферне повітря слугували технічні та експлуатаційні характеристики об’єктів системи водопостачання, а також довідкові та нормативні дані, необхідні для виконання кількісних екологічних розрахунків [52]. Значна частина вихідної інформації була отримана безпосередньо під час проходження виробничої практики у Регіональному офісі водних ресурсів, Нікопольського відділення, де основним об’єктом була нова водонасосна мережа Запоріжжя-Покров, що забезпечило використання фактичних даних про режими роботи обладнання та його технічні параметри [53]. Основна увага у дослідженні приділяється роботі насосних станцій та резервних дизельних генераторних установок, які є основними джерелами викидів забруднюючих речовин у приземний шар атмосфери.

Вихідні дані сформовано на основі аналізу складу викидів дизельних агрегатів, що експлуатуються на насосних станціях мережі. До них належать питомі показники утворення забруднювальних речовин, виражені у грамах на одиницю виробленої енергії (г/кВт·год), які є типовими для дизельних двигунів відповідної потужності [54]. Таблиці 7 та 8 з вихідними даними наведені у попередньому розділі дипломної роботи. При подальших розрахунках використовуються показники викидів CO та SO_2 як найбільш

характерних і екологічно небезпечних компонентів за класом шкідливості. Зазначені показники дозволяють оцінити інтенсивність викидів залежно від режиму роботи обладнання та забезпечують уніфікований підхід до порівняння різних джерел забруднення у межах системи [55].

Нормативною основою дослідження є санітарні норми гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин у атмосферному повітрі населених місць. Значення ГДК застосовуються на етапі аналізу та інтерпретації отриманих результатів для оцінки екологічної безпечності роботи насосних станцій, проте не використовуються безпосередньо у вихідних розрахунках, що дозволяє уникнути дублювання інформації з основного розділу роботи [56].

Кількісна оцінка техногенного впливу насосної мережі «Запоріжжя–Покров» на атмосферне повітря передбачає попередній розрахунок масових характеристик викидів забруднюючих речовин. На цьому етапі визначаються максимальні разові викиди та валові (річні) викиди кожного компонента, які надалі використовуються для аналізу режимів роботи обладнання та оцінки рівня екологічного навантаження [52].

Розрахунок масових показників викидів базується на питомих показниках утворення забруднюючих речовин дизельними генераторними установками, наведених у вихідних даних у вигляді питомих викидів у г/кВт·год [54]. Такий підхід дозволяє врахувати фактичну потужність дизельних агрегатів і особливості їх експлуатації, що є характерним для насосних станцій системи «Запоріжжя–Покров».

3.2 Розрахунок максимального викиду забруднюючої речовини за секунду

Максимальний викид забруднюючої речовини за секунду визначається для режиму номінального навантаження дизельного генератора та характеризує пікову інтенсивність надходження домішок в атмосферу. Даний показник є важливим для подальших розрахунків приземних концентрацій, оскільки саме максимальні миттєві викиди формують найбільш несприятливі умови забруднення повітря [54].

Розрахунок максимального секундного викиду виконується за формулою [54]:

$$Mi = Wi \cdot \frac{P \cdot 1000}{3600}, \qquad \text{де}$$

Mi — максимальний викид і-тої забруднюючої речовини, г/с;
Wi — питомий викид і-тої речовини, г/кВт·год;
P — потужність дизельного генератора, МВт;
1000 — потужність двигуна дизель генератора;
3600 — коефіцієнт переходу з годин у секунди.

Слід зазначити, що значення потужності дизельних генераторів відрізняються для різних насосних станцій, у зв’язку з чим максимальні викиди розраховуються індивідуально для кожного об’єкта мережі. Такий підхід забезпечує коректне порівняння рівнів техногенного навантаження між станціями. Дані з результатами розрахунків максимальних секундних викидів з всіх 8 насосних станцій знаходяться у додатку А.

3.3 Розрахунок валового (річного) викиду забруднюючих речовин

Для оцінки довгострокового техногенного впливу насосної мережі використовується показник валового (річного) викиду, який відображає сумарну масу забруднюючих речовин, що надходять у атмосферу протягом календарного року. Цей показник є ключовим при аналізі загального екологічного навантаження та використовується у екологічній звітності [54].

Розрахунок валового викиду здійснюється за формулою [54]:

$$M\text{рік} = M\text{год} \cdot N \cdot 10^{-6}, \qquad \text{де}$$

Мрік — валовий (річний) викид і-тої речовини, т/рік;
Мгод — максимальний викид і-тої речовини за годину, г/год;
N — кількість годин роботи дизельної установки за рік, год (56 годин);
10^{-6} — коефіцієнт переходу з грамів у тонни.

Максимальний годинний викид визначається на основі питомих викидів та потужності генератора і відображає найінтенсивніший режим роботи обладнання. Кількість годин роботи дизель генераторів за рік приймається не більше 56 годин. Дані з результатами розрахунку валового викиду з всіх 8 насосних станцій знаходяться у додатку Б.

Валовий викид є інтегральним показником, який дозволяє оцінити накопичувальний ефект впливу насосних станцій на атмосферне повітря та зіставити отримані значення з екологічними нормативами і даними аналогічних об’єктів.

Використання двох рівнів розрахунків — максимального секундного та річного викидів — забезпечує комплексний підхід до оцінки техногенного впливу насосної мережі. Максимальні викиди

характеризують аварійні або пікові режими роботи обладнання та застосовуються для подальших розрахунків приземних концентрацій. Валові річні викиди відображають довготривалий вплив і використовуються для загальної екологічної оцінки об’єкта [54].

Такий підхід відповідає сучасній практиці екологічних розрахунків і створює методологічну основу для наступного етапу дослідження — визначення концентрацій забруднюючих речовин у приземному шарі атмосфери та аналізу їх відповідності нормативним вимогам.

3.4 Використання результатів розрахунків

Отримані у ході розрахунків значення максимальних секундних та валових (річних) викидів забруднюючих речовин є основою для подальшого аналізу впливу насосної мережі «Запоріжжя–Покров» на стан атмосферного повітря. Масові показники викидів дозволяють не лише кількісно оцінити інтенсивність техногенного навантаження, але й виконати порівняльну характеристику окремих насосних станцій між собою [52].

Максимальні викиди забруднюючих речовин за секунду використовуються як вихідні параметри для подальшого визначення приземних концентрацій домішок. Саме ці значення відображають найбільш несприятливі умови роботи дизельних генераторів та характеризують пікові режими навантаження, під час яких формується підвищений ризик короткочасного забруднення повітря. У подальших розрахунках секундні викиди застосовуються для переходу від маси забруднювача до його концентрації у приземному шарі атмосфери з урахуванням фізико-хімічних властивостей газів та параметрів атмосферного середовища [54].

Валові (річні) викиди, у свою чергу, використовуються для оцінки сумарного антропогенного навантаження, яке створює система водопостачання протягом року. Ці показники відображають накопичувальний характер впливу насосних станцій та дозволяють оцінити екологічну значущість об’єкта у регіональному масштабі [54]. Річні викиди є інформативними з точки зору екологічного планування, контролю та визначення пріоритетних напрямів зниження негативного впливу.

РОЗДІЛ 4.
ОЦІНКА ВПЛИВУ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ НАСОСНОЇ МЕРЕЖІ ЗАПОРІЖЖЯ-ПОКРОВ

4.1. Характеристика насосної мережі «Запоріжжя-Покров» як інженерної системи та об'єкта впливу на довкілля

Насосна мережа «Запоріжжя–Покров» являє собою високопріоритетний інженерно-технічний проект, створений як оперативна та стратегічно важлива відповідь на надзвичайну екологічну і техногенну ситуацію, що сформувалася після руйнування Каховської гідроелектростанції. Втрата Каховського водосховища стала однією з наймасштабніших водних катастроф в історії регіону, оскільки вона спричинила різке падіння рівня води, порушила гідрологічний режим, змінила напрями течій та водний баланс значної території Півдня та Центрального Сходу України. Ці процеси безпосередньо відобразилися на функціонуванні систем водопостачання, що залежали від ресурсу Каховського водосховища, та поставили під загрозу стабільне забезпечення водою як населення, так і промислових об’єктів .

У таких критичних умовах виникла необхідність створення альтернативного, стабільного, технологічно надійного маршруту подачі води, здатного частково компенсувати втрату головного водного джерела та забезпечити функціонування соціально важливих об’єктів. Насосна мережа «Запоріжжя–Покров» була спроектована саме як ключовий елемент

антикризової інфраструктури, покликаної мінімізувати наслідки руйнування Каховської ГЕС, стабілізувати водопостачання регіону та забезпечити безперебійне надходження води до населених пунктів та промислових об’єктів. Таким чином, її роль виходить далеко за межі звичайного технічного комплексу: вона фактично є інструментом збереження життєдіяльності населення, підтримки економічної активності, забезпечення роботи промисловості та комунальних підприємств.

Мережа має загальну протяжність близько 140 км, включаючи три основні лінійні ділянки та вісім насосних станцій основного підйому. Схема водоводів магістралі Запоріжжя-Покров наведено на рисунку 1.

Рисунок 4.1 - Карта-схема водоводів магістралі Запоріжжя-Покров

Структурно насосна мережа складається з розгалуженої системи трубопроводів, магістральних та проміжних насосних станцій, технологічних майданчиків, системи енергозабезпечення, вентиляційного та допоміжного обладнання [37]. Кожна насосна станція є потенційним точковим джерелом утворення забруднювальних речовин, серед яких основне місце займають продукти згоряння дизельного палива, що утворюються під час роботи резервних генераторів (NO_2, SO_2, CO, тверді частинки, вуглеводні).

Установка потужного насосного обладнання та застосування дизельних генераторів резервного живлення формують локальні джерела техногенного впливу на атмосферне повітря. Хоча обсяг викидів значно нижчий порівняно з великими промисловими підприємствами, робота

генераторів у пікових режимах супроводжується утворенням оксидів азоту (NO_x), монооксиду вуглецю (CO), діоксиду сірки (SO_2), вуглеводнів (CnHm) та дрібнодисперсного пилу (PM_{10}, $PM_{2.5}$). Для більшості станцій характерні такі середні значення питомих викидів:

- NO_x — 0,112 г/с,
- CO — 0,98 г/с,
- SO_2 — 0,016 г/с,
- вуглеводні — 0,053 г/с,
- сажі — 0,0056 г/с.

Для наочного відображення просторової конфігурації системи використано карту-схему траси водоводів магістралі «Запоріжжя–Покров» (Рисунок 2), яка дозволяє простежити структуру мережі, визначити ключові інженерні вузли, характер рельєфу та взаємне розташування насосних станцій, камер та ділянок трубопроводів. Саме на її основі виконано подальшу деталізацію технічних характеристик та аналіз особливостей кожної лінійної ділянки.

Система водоводів розділена на три ділянки, кожна з яких виконує власну функцію у забезпеченні транспортної безперебійності та гідравлічної стабільності. Перша ділянка, діаметром 800 мм, пролягає через щільну міську забудову Запоріжжя, де наявні високі техногенні навантаження, значна кількість інженерних комунікацій та обмежений простір. Трубопровід укладено на 200-міліметрову піщану подушку з геотекстильним підсиленням, що забезпечує рівномірне розподілення навантажень, пригнічення деформацій від місцевого трафіку та збереження міцності конструкції. У місцях поворотів застосовано заводські склопластикові відводи, які дозволяють зменшити внутрішні напруження, а також фланцеві муфти та залізобетонні опори, що стабілізують положення трубопроводу. Для перетину автомобільних доріг та залізниць встановлено сталеві футляри з герметизацією торців цементним та бітумним складом.

Камери контролю та перемикання розташовані через кожні 500–700 м та оснащені вантузами, арматурою для відключення, системами спорожнення та вимірювальними приладами [38]. Нижче у таблиці 1 наведено основні технічні характеристики першої ділянки водоводу.

Таблиця 4.1 - Основні технічні характеристики першої ділянки водоводу

Показник	Значення
Діаметр труб	800 мм
Матеріал труб	Склопластик
Глибина прокладання	1,2–1,8 м
Кількість камер	11
Тип перетинів	5 автодоріг, 1 залізниця
Спосіб захисту	футляри, геотекстиль, заводські відводи

Друга ділянка, діаметром 500 мм, проходить сільськогосподарськими угіддями від розподільчої камери до ВОС м. Марганець. Умови території дозволили застосувати поліетиленові труби ПЕ 100 SDR 11, які мають підвищену гнучкість, що є важливою перевагою при сезонних змінах вологості ґрунтів та інтенсивній діяльності сільськогосподарської техніки. Висота камер над рівнем ґрунту становить до 1 м, що зменшує ризик їх пошкодження під час польових робіт. Траса включає встановлення контрольних колодязів для обліку та регулювання потоків, а також камер перемикання, що дозволяє оперативно проводити ремонтні роботи без повної зупинки водопостачання. Аварійні та робочі дренажні системи насосних станцій направляють надлишки води у спеціально визначені зони, що унеможливлює затоплення обладнання [38]. Нижче у таблиці 4.2 наведено основні технічні характеристики другої ділянки водоводу.

Таблиця 4.2 – Основні технічні характеристики другої ділянки водоводу

Показник	Значення
Діаметр труб	500 мм
Матеріал труб	ПЕ 100 SDR 11
Глибина прокладання	1,2–1,5 м

Кількість камер	9
особливість грунтів	сільськогосподарські ґрунти
Спосіб захисту	щебенева основа, камери підйому, дренажні системи

Третя ділянка, діаметром 700 мм, є найскладнішою з точки зору гідрогеології. Вона проходить через заболочені території, ділянки з підвищеним рівнем грунтових вод та нестабільними ґрунтами. Саме тому тут застосовано метод горизонтального направленого буріння (ГНБ), що дозволяє прокладати трубопровід без відкритих траншей, зберігаючи природний рельєф та мінімізуючи ризики просідання. Труби ПЕ100 SDR11 з високою міцністю та еластичністю розміщуються у стальних і поліетиленових футлярах, що збільшує їхню довговічність. Камери спорожнення та контрольні колодязі встановлюються через кожні 300–500 м, забезпечуючи повний доступ до системи та можливість регулярного технічного обслуговування. На цьому відрізку передбачено два перетини залізниць і три автомобільні дороги із посиленими конструкціями футлярів [38]. Нижче у таблиці 3 наведено основні технічні характеристики третьої ділянки водоводу.

Таблиця 4.3 – Основні технічні характеристики третьої ділянки водоводу

Показник	Значення
Діаметр труб	700 мм
Матеріал труб	ПЕ 100 SDR 11
Метод прокладання	ГНБ, футляри
Перетини	3 автодороги, 2 залізниці
Кількість камер	14
Глибина прокладання	1,8–2,3 м

На кожній ділянці водоводів передбачено розташування великої кількості технічних споруд, що забезпечують безперебійну експлуатацію системи та ефективне управління потоками води. До таких споруд належать водопровідні насосні станції різних підйомів та потужностей, камери обліку

для контролю витрат води, камери відключення та перемикання для забезпечення оперативного регулювання потоків, комбіновані камери з вантузами для видалення повітря та захисту від гідравлічних ударів, а також контрольні колодязі і камери спорожнення ремонтних ділянок із мокрими колодязями для проведення обслуговування та ремонтних робіт без припинення подачі води. Розподільні камери виконують функції централізованого розподілу води по різних напрямках, забезпечуючи необхідний тиск та витрати для кожного сегменту мережі [38].

Особливу увагу приділено місцям перетину магістралей із автомобільними та залізничними шляхами. Тут застосовується закритий метод прокладання труб у стальних футлярах, оснащених фланцевими переходами та армованими бетонними опорами, що забезпечує стійкість трубопроводів до механічних навантажень, збереження геометрії під час руху ґрунту та вібрацій від транспорту.

Таке комплексне проектування і виконання інженерних споруд забезпечує високу надійність системи, стабільний розподіл тиску на всіх ділянках, оперативність обслуговування і довговічність мережі навіть за складних гідрологічних і геотехнічних умов [37]. Кожна камера та колодязь оснащені приладами для контролю витрат, системами аварійного відключення, що дозволяє підтримувати безперебійну роботу водоводів у будь-яких умовах експлуатації, включно з аварійними ситуаціями.

Всі ділянки водоводів системи «Запоріжжя–Покров» проходять через складні інженерні та природні умови, включаючи 9 автомобільних доріг різного призначення — від магістральних до місцевих під'їзних шляхів — та 3 залізничні колії, серед яких присутні як головні лінії, так і допоміжні під'їзні колії промислового значення [38]. Особливо складними для прокладання є заболочені ділянки, де рівень ґрунтових вод є підвищеним, а грунт нестабільний. Для таких умов застосовано метод направленого горизонтального буріння, який дозволяє прокладати труби без значного

втручання у природне середовище та мінімізує ризик просідання. Для захисту труб від механічних пошкоджень та деформацій використані футляри зі сталі або армованого поліетилену, а торці футлярів герметизовані спеціальними ущільнювальними матеріалами для запобігання потрапляння вологи та осаду [38].

Завдяки комплексному підходу до проектування та виконання інженерних робіт система «Запоріжжя–Покров» забезпечує високий рівень надійності, стабільність водопостачання та стійкість до аварійних ситуацій.

4.2 Джерела потенційного техногенного впливу

Джерела техногенного навантаження насосної мережі «Запоріжжя–Покров» формуються переважно у процесах роботи енергетичного обладнання, експлуатації резервних дизельних генераторних установок, технологічного обслуговування насосних станцій, пересувної техніки та допоміжних інженерних систем. Оскільки магістраль функціонує у безперервному режимі та забезпечує транспортування великих обсягів води на значні відстані, сумарне техногенне навантаження формується постійно, хоча його інтенсивність залежить від режиму роботи насосних агрегатів та умов експлуатації.

Основним джерелом викидів в атмосферне повітря є дизельні та бензинові генератори, що використовуються як резервні системи електроживлення для підтримання безаварійної роботи насосних станцій у разі перебоїв у мережі. Враховуючи сумарну кількість станцій і резервних генераторів, протягом доби у пікові години викиди NO_2 можуть досягати 0,8–1,0 кг/год на одну станцію, CO — 6–7 кг/год, PM_{10} — 0,3–0,5 кг/год [39].

У таблиці 4.4 наведено основні компоненти викидів від роботи дизельних агрегатів та їхні нормативні гранично допустимі концентрації (ГДК) згідно з санітарними нормами України.

Таблиця 4.4 - Основні забруднювачі повітря та їхні ГДК

Забруднювальна речовина	Тип ГДК	Значення ГДК, мг/м³	Шкідливий вплив на організм
Діоксид азоту (NO_2)	Максимально-разова	0,2	Подразнення слизових, порушення роботи легень, розвиток запальних процесів.
Діоксид азоту (NO_2)	Середньодобова	0,04	Тривалий вплив спричиняє хронічні хвороби дихальної системи.
Оксид азоту (NO)	Максимально-разова	0,4	Окиснюється до NO_2, спричиняє гіпоксію та подразнення легень.
Оксид вуглецю (CO)	Максимально-разова	5,0	Порушує транспорт кисню кров’ю, викликає кисневе голодування.
Оксид вуглецю (CO)	Середньодобова	3,0	Тривалий вплив погіршує функції серцево-судинної системи.
Вуглеводні (CnHm)	Максимально-разова	1,5	Можуть бути канцерогенними, впливають на ЦНС та дихальні шляхи.
Діоксид сірки (SO_2)	Максимально-разова	0,5	Сильний подразнювач, може спричинити бронхоспазм.
Діоксид сірки (SO_2)	Середньодобова	0,05	Тривалий вплив порушує газообмін та збільшує ризик астми.
Зважені частинки PM_{10}	Максимально-разова	0,3	Викликають запалення дихальних шляхів, алергічні реакції.
Зважені частинки $PM_{2.5}$	Максимально-разова	0,16	Проникають у кров, викликають системні запалення та серцево-судинні ризики.

Крім основних викидів, у процесі роботи двигунів внутрішнього згоряння утворюються специфічні мікрокомпоненти, серед яких бенз(а)пірен, формальдегід, ацетальдегід, а також слідові концентрації ароматичних вуглеводнів (толуол, ксилол). Для прикладу, під час повного циклу роботи дизельного генератора потужністю 500 кВт утворюється приблизно 0,005–0,007 г бенз(а)пірену на 1 годину, що вимагає локалізації та контролю через вентиляційні системи станцій [40].

Таким чином, за умови роботи насосного обладнання та резервних дизельних генераторів у штатному режимі середні концентрації основних забруднюючих речовин у приземному шарі атмосфери, як правило, не перевищують встановлені гранично допустимі концентрації. Це зумовлено періодичним характером роботи резервних установок, дотриманням регламентів експлуатації та ефективним розсіюванням викидів у повітрі. Водночас короткочасні підвищення концентрацій NO_2, CO та зважених частинок можливі під час пусків обладнання, пікових навантажень або несприятливих метеорологічних умов, однак вони носять локальний та тимчасовий характер і не формують стійкого перевищення ГДК за умови належного технічного контролю [41].

Окрім впливу на атмосферне середовище, техногенні джерела створюють ризики для водного середовища. Розгерметизація трубопроводів або аварійний скид тиску може спричинити потрапляння вуглеводнів, мастильних матеріалів, аміаку, формальдегіду, сірководню та пилових часток у ґрунт та поверхневі води. Середньодобові витрати технічної води та нафтопродуктів під час аварійних операцій, за даними регіональних лабораторій, можуть становити до 0,5–0,7 м³ на станцію [41].

Підсумовуючи, слід зазначити, що викиди насосної мережі «Запоріжжя–Покров» формуються переважно у зонах розташування технологічного та енергетичного обладнання, а їх інтенсивність залежить від режимів роботи та технічного стану агрегатів. Хоча середні

концентрації забруднюючих речовин зазвичай не перевищують нормативів, у періоди пікового навантаження або під час виконання ремонтних операцій можливі короткочасні підвищення рівнів NO2, CO, вуглеводнів, аміаку, пилу та інших домішок. Впровадження сучасних методів очищення, використання екологічно чистішого палива, регулярний контроль технічного стану обладнання та модернізація системи моніторингу повітря здатні значно зменшити антропогенний вплив та підвищити рівень екологічної безпеки регіону [42].

Обміління штучного водосховища, яке протягом багатьох років підтримувало стабільний гідрологічний режим території, спричинило швидке падіння рівня підземних вод у прилеглих районах. Це, у свою чергу, призвело до зневоднення верхніх шарів ґрунту, виходу з ладу приватних свердловин та зниження доступності підземних вод для господарських потреб населення. Окрім гідрологічних змін, важливу роль у погіршенні стану довкілля відіграє і наявність забруднювальних речовин, що можуть мігрувати з поверхневих і підземних вод у ґрунтове середовище та впливати на екологічний стан території [16].

Щоб оцінити потенційну небезпеку таких компонентів, доцільно структурувати основні забруднювачі води, які згадуються у вихідному матеріалі, та співвіднести їх з нормативними значеннями гранично допустимих концентрацій. Узагальнені дані наведено у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Основні забруднювачі води та їхні ГДК:

Вуглеводні (CmHn)	Токсичні, беруть участь у фотохімічному смозі	1,5	Середньодобова
Сажа / пилові частинки (PM)	Проникають у легені, переносять токсичні речовини	0,15	Середньодобова

Аміак (NH3)	Подразнює слизові, токсичний у високих концентраціях	0,2 / 0,04	Максимально-разова / Середньодобова
Сірководень (H2S)	Токсичний, впливає на центральну нервову систему	0,008	Середньодобова
Формальдегід (HCHO)	Канцероген, подразнює слизові оболонки	0,035	Середньодобова
Бенз(а)пірен (BaP)	Канцероген I класу, накопичується в ґрунтах	0,000001	Середньодобова

Особливу увагу слід приділити впливу рельєфу та гідрологічних особливостей території. Рівнинні ділянки забезпечують швидке перемішування забруднювачів у повітрі, тоді як балки, западини та лісосмуги сприяють їх накопиченню. При низьких швидкостях вітру та високій вологості концентрації пилу, бенз(а)пірену та важких вуглеводнів можуть тимчасово перевищувати нормативні значення на відстані до 500–800 м від джерела [42].

Таким чином, джерела техногенного впливу насосної мережі «Запоріжжя–Покров» формуються комплексом процесів: роботою дизельних генераторів і пересувної техніки, технологічними операціями та аварійними ситуаціями. Впровадження сучасних систем очищення, використання екологічно чистішого палива, регулярний контроль технічного стану обладнання та модернізація системи моніторингу дозволяють значно знизити антропогенний вплив та підвищити рівень екологічної безпеки регіону.

4.3 Токсикологічна характеристика основних забруднюючих речовин

Оксид вуглецю (CO) утворюється внаслідок неповного згоряння дизельного палива, що характерно для роботи резервних і аварійних генераторів на насосних станціях, особливо в режимах пуску та нестабільного навантаження. Ця речовина належить до групи високотоксичних газів, оскільки має здатність швидко проникати через легені у кровообіг. CO зв’язується з гемоглобіном утворюючи карбоксигемоглобін — сполуку, яка блокує нормальне транспортування кисню до клітин організму. Наслідком цього є розвиток гострої гіпоксії, що проявляється зниженням працездатності, дезорієнтацією, шумом у вухах, порушенням координації та підвищеною втомлюваністю. При довготривалому впливі навіть низькі концентрації можуть призвести до серцево-судинних порушень, особливо у людей із хронічними патологіями [43].

Високі концентрації CO викликають гострі інтоксикації, які можуть закінчуватися втратою свідомості та летальними випадками. У навколишньому середовищі CO є досить стабільним і може зберігатися тривалий час, повільно окиснюючись до діоксиду вуглецю. За умов інтенсивного сонячного випромінювання або в присутності вуглеводнів CO бере участь у фотохімічних реакціях, які є складовою формування фотохімічного смогу — характерного для урбанізованих територій явища. Таким чином, CO становить небезпеку як для здоров’я населення, так і для якості атмосферного повітря, особливо в районах функціонування насосних станцій з автономними дизельними джерелами живлення [43].

Оксиди азоту (NOx), серед яких найбільш поширені NO та NO_2, утворюються у процесі високотемпературного згоряння дизельного палива в двигунах внутрішнього згоряння. Вони становлять одну з найнебезпечніших груп забруднювачів атмосферного повітря, оскільки мають комплексний негативний вплив на здоров'я людини, рослинність та кліматичні процеси. Особливо токсичним є діоксид азоту (NO_2), який володіє вираженою подразнювальною дією на слизові оболонки та дихальні шляхи. Він проникає у нижні відділи легень, знижуючи їх функціональну ємність, провокуючи кашель, бронхоспазми та хронічні запальні процеси [43].

Оксиди азоту відіграють ключову роль у формуванні вторинних аерозолів та дрібнодисперсних частинок, які утворюються в атмосфері внаслідок фотохімічних реакцій. Ці аерозолі здатні тривалий час затримуватися у приземному шарі повітря, підвищуючи рівень забруднення та погіршуючи видимість. NO_2 також бере активну участь у формуванні приземного озону — одного з найагресивніших компонентів міського смогу, який впливає на здоров'я людей у межах урбанізованих та промислових територій. З екологічної точки зору, оксиди азоту сприяють процесам кислотних дощів, що негативно впливають на ґрунти, водні екосистеми та рослинність. У контексті роботи насосних станцій ці забруднювачі становлять локальну, але суттєву загрозу, особливо під час тривалих періодів роботи резервних дизельних установок.

Сірчистий ангідрид (SO_2) є продуктом згоряння палива, що містить навіть незначні домішки сірки, тому його присутність характерна для дизельних генераторів, які можуть працювати у резервному або аварійному режимі. У атмосфері SO_2 дуже швидко вступає у реакції з водяною парою, утворюючи сірчану та сірчисту кислоти, що стають основою кислотних аерозолів і, зрештою, кислотних дощів. Такі опади здатні змінювати хімічний склад ґрунтів, руйнувати листя рослин, спричиняти підкислення

водойм та прискорювати корозійні процеси на металевих поверхнях.

Вплив SO_2 на здоров’я людини проявляється насамперед у вигляді подразнення слизових оболонок носа, горла та очей. Люди, які страждають на астму або хронічні респіраторні захворювання, особливо чутливі до цього газу: навіть короткочасне підвищення концентрації SO_2 може викликати загострення, бронхоспазм та задишку. Тривалий вплив підвищених концентрацій сірчистого газу здатний знижувати функцію легенів, спричиняючи розвиток хронічних респіраторних хвороб. З екологічної точки зору, SO_2 є одним із визначальних факторів деградації природних ландшафтів та руйнування архітектурних об’єктів внаслідок корозії [43].

Леткі органічні сполуки (CnHm) та сажа утворюються внаслідок неповного згоряння дизельного палива і представляють собою складну суміш органічних молекул та дрібнодисперсних частинок. Органічні сполуки можуть мати різний токсикологічний ефект, включно з канцерогенною та мутагенною дією. Вони здатні вступати у фотохімічні реакції за участю сонячного випромінювання, формуючи агресивні оксиданти та озон. Накопичення таких речовин у повітрі призводить до розвитку явищ фотохімічного забруднення, характерного для теплих та сонячних періодів року [43].

Сажа, що складається переважно з частинок $PM_{2.5}$ і PM_{10}, є одним із найбільш небезпечних компонентів вихлопу дизельних двигунів. Дрібні частинки здатні проникати не лише в легеневі альвеоли, а й у системний кровотік, спричиняючи системні запальні процеси, підвищення ризику інсультів, інфарктів, тромбозів та розвитку онкологічних захворювань. Окрім прямої загрози здоров’ю людини, сажа є також кліматично активною речовиною: осідаючи на поверхні ґрунту або снігу, вона знижує їх відбивну здатність (альбедо), посилюючи локальне нагрівання та змінюючи теплові властивості поверхні. Наявність викидів сажі від локальних джерел —

таких як дизельні генератори насосних станцій — може істотно впливати на якість повітря в радіусі десятків метрів від джерела [43].

Таким чином, кожен із розглянутих забруднювачів має власні механізми впливу на організм людини та природні екосистеми, а їх сукупна дія може мати виражений негативний ефект навіть при порівняно невеликих об’ємах викидів. В умовах роботи насосних станцій, де джерела викидів є локальними, але періодично діючими, важливо проводити комплексну оцінку впливу на атмосферне повітря з урахуванням характеру роботи дизельних генераторів, тривалості їх функціонування та можливих пікових навантажень.

Для оцінки потенційного впливу забруднювальних речовин на здоров’я людини та навколишнє середовище використовують класифікацію за токсичністю, відому як класи небезпечності речовин. Ця система дозволяє визначити ступінь загрози кожної речовини, оцінити її допустимі концентрації і пріоритетність контролю при плануванні екологічного моніторингу. Класифікація встановлює взаємозв’язок між фізико-хімічними властивостями забруднювача, його масою викиду та потенційним ефектом на організм людини.

Згідно з нормативними документами (ГОСТ 12.1.007-76) [44], речовини поділяються на чотири основні класи небезпечності:

- I клас – надзвичайно небезпечні;
- II клас – високонебезпечні;
- III клас – помірно небезпечні;
- IV клас – малонебезпечні.

Кожен клас визначається на основі токсикологічних даних, тобто максимально допустимих концентрацій (ГДК), типу ураження органів дихання, тривалості дії та потенційного накопичення речовини в організмі.

У випадку насосної мережі «Запоріжжя-Покров» найбільший інтерес становлять речовини, що утворюються при роботі дизельних генераторів:

оксиди азоту (NO2), сірчистий ангідрид (SO_2), монооксид вуглецю (CO), вуглеводні (CnHm) та сажа [45]. Аналіз їх властивостей та токсичності дозволяє віднести їх до відповідних класів небезпечності.

Оксиди азоту (NOx) належать до II класу небезпечності, оскільки вони можуть викликати інтоксикацію, набряк легень і зниження кисневої ємності крові навіть при порівняно низьких концентраціях. Додатково, оксиди азоту активно беруть участь у фотохімічних реакціях, що призводить до утворення озону та вторинних аерозолів, що посилює їх екологічну небезпеку [44].

Сірчистий ангідрид (SO_2) також відноситься до II класу небезпечності, оскільки навіть невеликі концентрації можуть подразнювати дихальні шляхи та слизові оболонки. SO_2 легко утворює кислотні аерозолі у контакті з вологою, що підсилює токсичний ефект і створює загрозу для екосистем, зокрема рослин і водних об’єктів [44].

Монооксид вуглецю (CO) класифікується як IV клас небезпечності, проте його масові викиди роблять його одним із головних об’єктів розрахунків. CO не утворює подразнюючої дії на слизові оболонки, але при високих концентраціях швидко викликає кисневе голодування, що робить його критично небезпечним у локальних концентраціях біля джерела [44].

Вуглеводні (CnHm) належать до III–IV класу небезпечності, оскільки окремі фракції можуть бути канцерогенними, а інші здатні подразнювати органи дихання або брати участь у фотохімічних реакціях в атмосфері. Вони також утворюють леткі органічні суміші, що сприяють формуванню смогу та підвищують токсичність атмосфери [44].

Сажа відноситься до III класу небезпечності. Вона є стабільним компонентом аерозолю і накопичується в нижніх шарах атмосфери. Основна небезпека проявляється через проникнення у легені, виклик хронічних респіраторних захворювань і канцерогенний ефект [44].

Таким чином, класифікація речовин за токсичністю дозволяє чітко визначити пріоритетні об’єкти для подальших розрахунків. Для насосної мережі «Запоріжжя-Покров» основна увага приділяється CO та SO_2: CO через великі масові викиди і локальний токсичний ефект, SO_2 через високу токсичність та участь у формуванні вторинних аерозолів [46].

Для наочності нижче наведено узагальнену таблицю 4.6 класів небезпечності речовин, характерних для роботи насосних станцій:

Таблиця 4.6 - Класи небезпечності речовин, характерних для роботи насосних станцій.

Речовина	Клас небезпечності	Основні наслідки для здоров’я
Сірчистий ангідрид (SO_2)	II – високо небезпечний	Бронхоспазм, кашель, порушення дихання
Оксиди азоту (NOx	II – високо небезпечні	Набряк легень, інтоксикація, зниження кисневої ємності крові
Сажа (тверді частки)	III – помірно небезпечна	Хронічні респіраторні захворювання
Вуглеводні (CnHm)	III–IV	Подразнення, фотохімічна активність
Монооксид вуглецю (CO)	IV – мало небезпечний	Гостре кисневе голодування, інтоксикація

При проведенні екологічного аналізу насосної мережі «Запоріжжя-Покров» було вирішено зосередити увагу на визначенні приземних концентрацій двох основних забруднювальних речовин — монооксиду

вуглецю (CO) та сірчистого ангідриду (SO_2). Таке рішення обумовлено кількома важливими факторами, які враховують і токсикологічну небезпеку, і реальний обсяг викидів цих речовин [46].

Монооксид вуглецю є одним із основних продуктів неповного згоряння палива в дизельних агрегатах насосних станцій. Його масові викиди перевищують обсяги інших газоподібних компонентів, що робить його критично важливим для кількісного оцінювання. Незважаючи на те, що CO відноситься до IV класу небезпечності, його висока концентрація поблизу джерела здатна викликати кисневе голодування у людей і тварин, що робить цю речовину пріоритетною для розрахунків. Врахування CO дозволяє оцінити реальний вплив насосної станції на приземний шар повітря та ризики для населення [45].

Сірчистий ангідрид обраний для розрахунків через його високу токсичність, що відносить його до II класу небезпечності. Навіть при порівняно низьких масових викидах SO_2 здатний подразнювати слизові оболонки дихальних шляхів, викликати бронхоспазм та сприяти утворенню кислотних аерозолів у поєднанні з атмосферною вологою. Врахування цієї речовини в розрахунках дозволяє оцінити потенційну загрозу для екосистем, прилеглих населених пунктів та забезпечує комплексний підхід до оцінки екологічного впливу [45].

Інші речовини, такі як оксиди азоту, вуглеводні та сажа, хоча і мають певну токсичність та екологічний ефект, були віднесені до допоміжних забруднювачів для даного етапу дослідження. Це пояснюється тим, що їх масові викиди менші або їх вплив більш віддалений і комплексний, що потребує більш складних моделей розрахунку та додаткових вихідних даних. Вибір CO та SO_2 дозволяє спростити методику без втрати точності оцінки основного екологічного ризику.

Таблиця 4.7 – Питомі викиди монооксиду вуглецю

№ Насосної станції	Концентрація викидів CO	Тип генератора
1	3,5 г/кВт годину	дизель генератор KJB 1250, потужність 1000 кВт
2	3,5 г/кВт годину	дизель генератор KJB 1250, потужність 1200 кВт
3	3,5 г/кВт годину	дизель генератор KJB 1250, потужність 1200 кВт
4	3,5 г/кВт годину	дизель генератор KJB 1250, потужність 1000 кВт
5	3,5 г/кВт годину	дизель генератор KJB 1250, потужність 1000 кВт
6	3,5 г/кВт годину	дизель генератор KJB 1250, потужність 802 кВт
7	3,5 г/кВт годину	дизель генератор KJB 1250, потужність 802 кВт
8	3,5 г/кВт годину	дизель генератор KJB 1250, потужність 1000 кВт

Таблиця 4.8 – Питомі викиди сірчистого ангідриду

№ Насосної станції	Концентрація викидів SO_2	Тип генератора
1	0,056 г/кВт годину	дизель генератор KJB 1250, потужність

		1000 кВт
2	0,056 г/кВт годину	дизель генератор KJB 1250, потужність 1200 кВт
3	0,056 г/кВт годину	дизель генератор KJB 1250, потужність 1200 кВт
4	0,056 г/кВт годину	дизель генератор KJB 1250, потужність 1000 кВт
5	0,056 г/кВт годину	дизель генератор KJB 1250, потужність 1000 кВт
6	0,056 г/кВт годину	дизель генератор KJB 1250, потужність 802 кВт
7	0,056 г/кВт годину	дизель генератор KJB 1250, потужність 802 кВт
8	0,056 г/кВт годину	дизель генератор KJB 1250, потужність 1000 кВт

Наведені у таблицях 4.7 та 4.8 значення питомих викидів (г/кВт год) використано як вихідні дані для подальших розрахунків валових та максимальних разових викидів (г/с та т/рік). Та пріоритетності заходів щодо зниження впливу на атмосферне повітря.

4.4 Потенційні аварійні ситуації та техногенні ризики

Система магістрального водопостачання, що функціонує в умовах значної протяжності трубопроводів, складного рельєфу місцевості та високої техногенної залежності, характеризується підвищеним рівнем вразливості до різноманітних аварійних ситуацій [47]. Особливої уваги потребують техногенні ризики, пов’язані з роботою насосних станцій та дизельних генераторів, експлуатацією трубопроводів у нестабільних ґрунтових умовах, а також впливом природних і антропогенних факторів, що можуть спричинити порушення нормального функціонування системи [48].

Одним із найбільш поширених і потенційно небезпечних сценаріїв аварій є вихід із ладу дизельного генератора або його нестабільний запуск. Дизельні генератори забезпечують резервне живлення насосних станцій і є невід’ємною частиною системи безперебійного водопостачання [49]. Проте саме момент запуску є критичним, адже двигун працює в режимі підвищеного навантаження й неповного згоряння палива. У цей період значно зростає викид токсичних продуктів: оксидів азоту (NO та NO_2), оксиду вуглецю (CO), летких органічних сполук та твердих частинок (сажі). Під час холодного запуску двигунів концентрація забруднювачів у вихлопних газах може перевищувати нормальні показники у 8–10 разів. Така ситуація особливо небезпечна на об’єктах, розташованих поблизу житлової забудови або зелених зон, де забруднення повітря може впливати як на екосистеми, так і на здоров’я населення [50].

У випадку одночасної відмови кількох насосних агрегатів виникає потреба у терміновому увімкненні резервних систем. Така ситуація також

супроводжується значним техногенним навантаженням: резервні насоси починають роботу у пікових режимах, дизельні генератори переходять у високопродуктивний режим, а рівні шкідливих викидів у повітря різко зростають. Додатково при таких аварійних сценаріях може виникнути гідравлічний удар — короткочасне, але різке підвищення тиску в трубопроводі, яке здатне пошкодити стики труб або арматуру, спричинивши подальший розвиток аварії.

Не менш важливим видом аварійних ситуацій є порушення герметичності трубопроводу, яке часто пов’язане із геологічними чинниками. Найбільш проблемними є заболочені ділянки та території з підвищеною вологістю ґрунту, де спостерігається нерівномірне осідання ґрунтових мас або їх сезонні коливання. Поліетиленові труби ПЕ 100 SDR 11, хоча й мають високу гнучкість і стійкість до деформацій, не завжди здатні протистояти довготривалому розтягуванню, скручуванню або боковому тиску. Склопластикові труби також можуть зазнавати локальних перенавантажень, особливо в місцях переходу через водотоки, автомобільні дороги або техногенно порушені ділянки. Пошкодження зовнішнього шару трубопроводу або розгерметизація стиків призводять до витоку води, який супроводжується низкою додаткових ризиків [38].

Витік води не лише знижує загальну ефективність системи, а й створює загрозу забруднення ґрунту та підземних вод. Вода, що виривається під тиском, вимиває зі стінок труб відкладення, корозійні частинки, мулові накопичення, які за десятиліття експлуатації формуються на внутрішніх поверхнях трубопроводів. Крім того, у машинних приміщеннях або на промислових майданчиках можливе змішування води з мастилами, дизельним паливом, технічними емульсіями та іншими речовинами, що використовуються для роботи насосного обладнання. Потрапляння такої суміші в ґрунт спричиняє локальне техногенне

забруднення, яке є небезпечним для родючих шарів ґрунту, рослинності та місцевих водоносних горизонтів [37].

Система водопостачання має розвинений комплекс засобів оперативного реагування на аварійні ситуації. Автоматичні засувки, встановлені на ключових ділянках водоводів, миттєво реагують на зміни параметрів тиску та витрати води. Якщо тиск падає нижче нормативного рівня, система миттєво подає команду на відключення аварійної ділянки. Це дозволяє запобігти масштабним витокам води та мінімізувати пошкодження інфраструктури [38].

Важливою частиною системи безпеки є централізована диспетчеризація, яка забезпечує постійний моніторинг ключових параметрів системи: тиску, витрати, температури двигунів, роботи насосів, напруги, рівня води у резервуарах, стану запірної арматури [51].

Централізована система моніторингу має також прогностичні функції: збирання статистичних даних дає змогу виявляти закономірності появи несправностей, оцінювати «слабкі місця» трубопроводів та формувати графік планово-попереджувальних ремонті. Це зменшує ймовірність раптових аварій та продовжує строк експлуатації системи. Нижче наведено таблицю 4.9, в якій розписано класифікації аварійних ситуацій у системі водопостачання.

Таблиця 4.9- Класифікація аварійних ситуацій у системі водопостачання

Тип аварії	Причини виникнення	Можливі наслідки	Технічні засоби реагування
Відмова дизельного генератора	зношення обладнання, нестабільний запуск, дефекти системи впорскування	підвищені викиди CO,NO_2;нестабільність роботи насосів; зупинка станції	автоматичне переключення на резерв, дистанційний контроль, аварійні

			інструкції
Одночасний вихід з ладу кількох насосів	перевантаження,стрибки напруги, механічні дефекти	гідравлічні удари,коливання тиску, аварійне включення резервів	резервні насоси, автоматизоване керування, SCADA-моніторинг
Розгерметизація трубопроводу	деформація ґрунтів, сезонні коливання, надмірні навантаження, корозія	витік води, руйнування дорожнього полотна, забруднення ґрунтів	автоматичні засувки, локалізація ділянки, аварійний ремонт
Затоплення машинного залу	прорив внутрішньої арматури, переповнення резервуарів	вихід обладнання з ладу, коротке замикання	аварійні дренажні насоси, системи сигналізації
Потрапляння технічних рідин у ґрунт	витоки мастил, палив, корозійні пошкодження	забруднення підземних вод, екологічні ризики	локалізація витоку, утилізація забрудненого ґрунту
Гідравлічний удар	раптова зупинка /вмикання насосів	пошкодження труб, арматури	регулювання режимів, плавний пуск насосів, компенсаційні пристрої

Таким чином, комплексний аналіз техногенних ризиків дозволяє виявити найбільш критичні точки системи та визначити шляхи їх

мінімізації. Завдяки сучасному технічному оснащенню, наявності резервних систем та автоматизованого контролю вдається підтримувати безпечну, стабільну й ефективну роботу водопровідної мережі навіть у складних умовах експлуатації.

Узагальнені токсикологічні характеристики забруднювальних речовин, які можуть потрапляти в довкілля під час аварій у системі водопостачання, подано в таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 - Класи небезпечності основних речовин та можливі наслідки для здоров’я

Забруднювальна речовина	Клас небезпечності	Основні токсикологічні ефекти	Можливі захворювання та порушення
Оксид вуглецю (CO)	III	Блокує транспорт кисню, викликає гостру гіпоксію	Гострі інтоксикації, серцеві порушення, гіпоксичні стани
Діоксид азоту (NO_2)	II	Подразнює слизові, викликає запалення у легенях	Бронхіт, бронхоспазм, загострення астми, ХОЗЛ
Оксиди азоту (NOx)	III	Утворюють вторинні аерозолі, озон	Алергії, зниження легеневої ємності, хронічні респіраторні хвороби
Сірчистий ангідрид (SO_2)	II	Утворює кислотні аерозолі та кислотні дощі	Подразнення очей, кашель, бронхоспазм, загострення астми
Леткі органічні сполуки (CnHm)	II-III	Канцерогенна та мутагенна дія, участь у фотохімічному смогові	Онкологічні ризики, ураження ЦНС, хронічні хвороби дихання
Формальдегід (HCHO)	I	Сильний канцероген і подразнювач	Мутагенні ефекти, онкологічні процеси, хронічні риніти
Бенз(а)пірен (BaP)	I	Канцероген I класу, накопичується в середовищі	Ризик онкологічних захворювань, токсичні ураження печінки
$PM_{2.5}$ / PM_{10}	III	Проникають у кров, викликають системні запалення	Інсульти, інфаркти, тромбози, порушення роботи серця

Таким чином, нештатні ситуації у системі «Запоріжжя–Покров» мають комплексний та виражений техногенний вплив на атмосферне повітря, ґрунтове середовище та поверхневі й підземні водні об’єкти. Потрапляння у довкілля токсичних речовин різних класів небезпеки — зокрема оксиду вуглецю, оксидів азоту, сірчистого ангідриду, летких органічних сполук та дрібнодисперсних частинок — призводить до формування локальних зон хімічного забруднення, трансформації фізико-хімічних властивостей природних середовищ та погіршення загального екологічного стану території [48].

Вплив таких речовин на здоров’я людини може мати як гострий, так і кумулятивний характер: від подразнення слизових оболонок, порушення функцій дихальної та серцево-судинної систем до довготривалих хронічних патологій, включаючи онкологічні, алергічні та імунологічні захворювання. Особливо вразливими до токсичного впливу є діти, люди похилого віку, вагітні жінки та особи з хронічними респіраторними порушеннями.

Порушення герметичності трубопроводів або аварійний режим роботи обладнання також здатні суттєво впливати на стан ґрунтів та водних ресурсів, сприяючи накопиченню токсикантів, зміні кислотності, порушенню мікробіологічного балансу та деградації природних екосистем. У випадку масштабних аварій такі зміни можуть носити довготривалий характер і вимагати спеціалізованих заходів рекультивації [49].

Виходячи з вищезазначеного, функціонування системи в умовах підвищеної техногенної небезпеки потребує впровадження ефективної системи запобігання аваріям, яка включає регулярний технічний огляд, контроль за станом обладнання, модернізацію застарілих елементів системи, а також оперативний моніторинг параметрів викидів і стану довкілля. Застосування сучасних превентивних заходів, систем раннього виявлення небезпечних ситуацій та вдосконалення алгоритмів реагування

дозволить мінімізувати негативний вплив на довкілля та забезпечити високий рівень безпеки населення і навколишнього середовища [51].

Таким чином у результаті проведеного аналізу технічних, екологічних та експлуатаційних особливостей системи магістрального водопостачання встановлено, що її ефективне функціонування безпосередньо залежить від сукупного впливу значної кількості взаємопов'язаних факторів.

У випадку аварійних ситуацій, пов'язаних як із роботою насосних агрегатів, так і з лінійними пошкодженнями трубопроводів можливі суттєві наслідки для довкілля та населення.

Встановлено, що заходи мінімізації техногенного навантаження не є відокремленими рішеннями, а становлять інтегровану частину системи управління безпекою водопровідного комплексу. Вони забезпечують зменшення ризиків виникнення аварій та зниження інтенсивності викидів навіть у разі роботи обладнання в нестандартних режимах.

РОЗДІЛ 5.
ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Загальна характеристика умов праці на об’єктах системи водопостачання

Умови праці на об’єктах системи водопостачання «Запоріжжя–Покров» формуються під впливом поєднання технологічних, фізичних, хімічних та організаційних факторів, пов’язаних із безперервною роботою насосних станцій, магістральних трубопроводів та допоміжної інфраструктури. Працівники залучені до експлуатації, технічного обслуговування, ремонту і диспетчерського контролю обладнання, що функціонує під високим тиском та електричною напругою [57].

Характерними особливостями виробничого середовища є підвищений рівень шуму і вібрації від роботи насосних агрегатів, можливі коливання мікрокліматичних параметрів у машинних залах, а також наявність електроустановок середньої та високої напруги [58]. У разі залучення резервних дизельних генераторів додатково виникає вплив вихлопних газів, продуктів згоряння палива та підвищених температур [59].

Умови праці персоналу можуть змінюватися залежно від режиму роботи системи — штатного, пікового або аварійного, що вимагає гнучкої організації робочих процесів та постійного контролю за дотриманням вимог охорони праці. Загалом умови праці належать до категорії потенційно небезпечних, що обґрунтовує необхідність впровадження комплексної системи управління безпекою [57].

5.2 Вимоги безпеки під час експлуатації насосних станцій та дизельних генераторів

Безпечна експлуатація насосних станцій та дизельних генераторних установок ґрунтується на суворому дотриманні регламентованих правил технічної та електробезпеки. Усі насосні агрегати, електродвигуни, трансформатори та системи управління повинні експлуатуватися відповідно до проєктних параметрів із урахуванням допустимих значень тиску, напруги та температури [58].

Перед початком роботи персонал зобов’язаний перевіряти справність обладнання, наявність захисних кожухів, блокувальних пристроїв та сигналізації. Запуск і зупинка насосів та дизельних генераторів допускаються лише уповноваженими працівниками, які пройшли спеціальне навчання та інструктаж. Обслуговування обладнання проводиться після повного знеструмлення та скидання тиску у трубопроводах [55].

Особлива увага приділяється роботі дизельних генераторів, які є джерелами підвищеної пожежної та газової небезпеки. Приміщення генераторних повинні бути обладнані вентиляційними системами, датчиками загазованості та засобами пожежогасіння. Забороняється експлуатація генераторів при витоку палива, порушенні герметичності вихлопних систем або відсутності заземлення [59].

5.3 Заходи з охорони праці та засоби індивідуального захисту

З метою зниження рівня професійних ризиків на об’єктах системи водопостачання впроваджується комплекс технічних, організаційних та санітарно-гігієнічних заходів охорони праці [57]. До технічних заходів належать автоматизація процесів керування, дистанційний контроль параметрів роботи насосів, встановлення захисних огороджень та використання аварійних вимикачів [58].

Організаційні заходи передбачають проведення вступного, первинного та періодичного інструктажу, контроль дотримання технологічних регламентів, обмеження доступу сторонніх осіб до небезпечних зон, а також ведення відповідної документації з охорони праці. Персонал проходить регулярні медичні огляди, спрямовані на раннє виявлення професійних захворювань [57].

Працівники забезпечуються засобами індивідуального захисту відповідно до характеру виконуваних робіт: захисними касками, спецодягом і взуттям, захистом органів слуху, респіраторами, діелектричними рукавицями та засобами захисту від падіння з висоти. Використання ЗІЗ є обов’язковою умовою допуску до виконання робіт [57].

5.4 Охорона праці при виникненні аварійних та нештатних ситуацій

Аварійні та нештатні ситуації на об’єктах системи водопостачання можуть супроводжуватися значними ризиками для персоналу у зв’язку з

викидами токсичних газів, різкими перепадами тиску, затопленням приміщень або порушенням електроживлення. У таких умовах пріоритетним завданням є забезпечення безпеки людей та локалізація небезпечних факторів [58].

При виникненні аварії персонал зобов’язаний діяти відповідно до затверджених інструкцій: негайно зупинити обладнання, здійснити аварійне відключення електроживлення, повідомити диспетчерську службу та покинути небезпечну зону у разі загрози життю [58]. Для зменшення впливу токсичних речовин використовуються засоби захисту органів дихання та примусова вентиляція [59].

Особливої уваги потребують ситуації, пов’язані з роботою дизельних генераторів у замкнених просторах, де можливе накопичення оксиду вуглецю та оксидів азоту. Своєчасне реагування та чітка організація дій у нештатних умовах дозволяють знизити ймовірність травматизму та запобігти тяжким наслідкам [60].

5.5 Охорона праці під час будівництва насосних станцій та прокладання трубопроводів

Будівництво насосних станцій і прокладання магістральних трубопроводів супроводжується виконанням робіт підвищеної небезпеки, зокрема земляних, монтажних, зварювальних та вантажопідіймальних операцій. Основними ризиками є обвалення ґрунтів у траншеях, падіння вантажів, ураження електричним струмом та травмування механізмами [59].

Під час виконання земляних робіт траншеї та котловани повинні мати безпечні укоси або кріплення, а місця проведення робіт — бути

огородженими та позначеними попереджувальними знаками [58]. Монтаж труб і обладнання здійснюється із застосуванням сертифікованих підіймальних механізмів та під контролем відповідальних осіб [61].

Працівники будівельних дільниць забезпечуються спецодягом, касками, захисними рукавицями та іншими ЗІЗ. Роботи на висоті виконуються лише з використанням страхувальних систем . Дотримання вимог охорони праці на етапі будівництва є запорукою не лише безпеки персоналу, але й надійності та довговічності об’єктів системи водопостачання [57].

ВИСНОВКИ

В результаті проведеної роботи було отримано такі висновки:

1. У процесі виконання дипломної роботи було проведено комплексне дослідження техногенного впливу насосної мережі «Запоріжжя–Покров» на стан атмосферного повітря з урахуванням особливостей експлуатації насосних станцій, резервних дизельних генераторів та супровідного обладнання. Аналіз технічної документації, нормативних джерел і матеріалів, отриманих під час виробничої практики, дав змогу сформувати узагальнену характеристику технологічних процесів системи водопостачання та оцінити потенційний рівень утворення і поширення забруднювальних речовин у приземному шарі атмосфери.

2. Встановлено, що основними джерелами техногенного навантаження є дизельні генераторні установки, використання яких зумовлене необхідністю забезпечення безперебійного електроживлення насосних станцій у разі аварійних або нестабільних режимів роботи енергомережі. Розрахунки максимальних разових і річних валових викидів показали, що головними компонентами викидів є оксид вуглецю (CO), діоксид азоту (NO_2), діоксид сірки (SO_2), леткі органічні сполуки та дрібнодисперсні частинки.

3. Проведено оцінку концентрацій забруднювальних речовин у приземному шарі атмосфери на основі рівняння Менделєєва–Клапейрона та параметрів атмосферної дисперсії, що дало можливість визначити

потенційний рівень впливу насосних станцій на довкілля за штатних умов експлуатації.

4. Порівняння розрахованих концентрацій із нормативами гранично допустимих значень показало, що у нормальному режимі роботи обладнання викиди не призводять до перевищення санітарних нормативів і не формують небезпечних рівнів забруднення атмосферного повітря.

5. Виявлено, що навіть за умов періодичної роботи дизель-генераторів у режимі резервного живлення концентрації основних забруднювачів залишаються нижчими за гранично допустимі норми, а їх вплив має локальний характер і обмежується територією технічних майданчиків насосних станцій. Це свідчить про відсутність суттєвих екологічних ризиків для прилеглих житлових зон.

6. Встановлено, що екологічна безпечність роботи насосної мережі забезпечується за умови дотримання регламентів технічного обслуговування, справності фільтраційних і вентиляційних систем, а також проведення регулярного моніторингу фактичних показників викидів.

7. Доведено, що використання дизель-генераторів у насосній мережі «Запоріжжя–Покров» за штатних режимів експлуатації не призводить до негативного або критичного впливу на навколишнє середовище, оскільки фактичні концентрації забруднювальних речовин не перевищують гранично допустимих нормативів і не становлять небезпеки для населення та екосистем.

8. Отримані результати мають важливе практичне значення, оскільки дозволяють обґрунтувати екологічну безпечність роботи насосної мережі, визначити реальні масштаби техногенного впливу та сформувати рекомендації щодо оптимізації режимів експлуатації. Проведене дослідження підтверджує можливість безпечної роботи мережі «Запоріжжя–Покров» відповідно до сучасних екологічних вимог.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бурлакова, І. В. (2023). Екологічні наслідки руйнування Каховської ГЕС та напрями відновлення водних ресурсів Півдня України. — Науковий вісник Дніпровського державного технічного університету. №4, с. 22–29.

2. Гончарук, В. В. (2021). Оцінка впливу насосних станцій на стан атмосферного повітря під час експлуатації водопровідних систем. — Вісник екології та безпеки життєдіяльності, №3(95), с. 47–53.

3. Мельничук, О. П. (2020). Моніторинг атмосферного повітря при функціонуванні об’єктів інженерної інфраструктури. — Екологічна безпека та природокористування, №2(34), с. 18–24.

4. Кириленко, С. Л. (2022). Еколого-енергетичний аналіз експлуатації насосних систем у водогосподарських комплексах. — Наукові праці Українського державного університету науки і технологій, №1, с. 56–63.

5. Коваленко, Н. Ю. (2018). Оцінка впливу водопостачальних об’єктів на атмосферне середовище міських територій. — Вісник Одеського державного екологічного університету, №25, с. 91–97.

6. International Energy Agency (IEA). (2023). Energy Efficiency Report 2023: Industrial Pumps and Water Systems. — Paris: OECD/IEA Publishing, 2023. — 56 p.

7. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). (2022). Environmental Performance Review: Ukraine – Third Cycle. — Geneva: United Nations, 2022. — 112 p.

8. Савченко, І. В. (2020). Акустичне забруднення як чинник техногенного впливу на атмосферне середовище. — Екологічний журнал України, №2, с. 33–38.

9. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. (2023). Оперативна інформація про відновлення систем водопостачання після руйнування Каховської ГЕС. — Офіційний сайт, опубліковано 15 серпня 2023 р.

10. Дьяченко, О. М. (2023). Відновлення водопостачання південних регіонів після підриву Каховської ГЕС: екологічні аспекти. — Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічна безпека України: виклики та перспективи», Київ, 2023. — с. 40–45.

11. United Nations Environment Programme (UNEP). (2022). Air Pollution and Urban Infrastructure: Global Assessment. — Nairobi: UNEP Publications, 2022. — 78 p.

12. Риженко, М. А. (2021). Сучасні тенденції розвитку екологічної безпеки міських систем водопостачання. — Екологічна наука, №1(24), с. 11–17.

13. Масляк П. О, Шищенко П. Г. (2012) - Географія України: Навчальний посібник, с. 45-52.

14. Національний атлас України. Київ: ДНВП “Картографія” (2007) - с. 15 - Карта “Фізико-географічне районування”

15. Полупан М. І., Соловей В. Б. - Посібник “ГРунти України та їх родючість”. Київ: Аграрна наука (2017). - с. 110-115.

16. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Екологічні наслідки руйнування Каховської ГЕС. Аналітичний звіт. Київ,

2023 - [режим доступу] - https://mepr.gov.ua/news/report - (Дата звернення: 20.10.2025)

17. Масляк П. О, Шищенко П. Г. (2012) - Географія України: Навчальний посібник, с. 53-55.

18. Національний атлас України. Київ: ДНВП “Картографія” (2007) - Карти “Фізико-географічне районування”, “Геоморфологічне районування” - с. 14-17.

19. Балюк С. А., Медведєв В. В. (2017) - “Грунтовий покрив України: екологічні аспекти” - с. 250-258.

20. Багров М. В., Боков В. О., Черваньов І. Г. (2003) - “Кліматологія. Підручник” - с. 221-225.

21. Музиченко Л. М., Бєляєв О. І., Станкевич В. С. (2003) - “Метеорологія та кліматологія: Навчальний посібник” - с. 280-283.

22. Національна гідрометеорологічна служба України (2021) - “Кліматичний довідник України” - с.123-128.

23. ГНП 2.07-08-2002 - “Норми гранично допустимих викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел. Міністерство екології та природних ресурсів” (2002).

24. Щербак М. П., Вирвич Ю. В., - “Геологічна будова та корисні копалини України: Підручник” (2018) - с. 400.

25. Трофимов В. І., Кравченко Ю. С., Бойко В. С. - “Інженерга геологія та механіка грунтів: Підручник” (2019) - с. 480.

26. ДБН В.1.1-1-94 - “Захист від небезпечних геологічних процесів. Норми проектування. Київ: Держбуд України” (1994) - с.193.

27. Яцик А. В. - “Водогосподарська екологія: Монографія” (2007) - с. 300

28. Хільчевський В. К., Гребінь В. В. - “Водні об’єкти України та рекреаційне оцінювання якості води” - Навчальний посібник (2022) - с. 240.

29. Гребінь В. В., Демчук О. В. - “Екологічні та гідрологічні наслідки руйнування Каховської ГЕС: Аналітичний звіт” (2023) - с. 143-145.

30. Мігачев О. І. - Підручник “Гідрогеологія з основами інженерної геології” (2016) - с. 350.

31. Коваленко О. І. - Монографія “Оцінка ризиків техногенного впливу на водні ресурси в зоні інженерних комунікацій” (2020) - с. 280.

32. Шовкун І. М., Ткаченко М. О., Канівець В. І. - Підручник “Грунтознавство” (2021) - с. 510.

33. Дідух Я. П. - Монографія “Рослинність України та її антропогенна трансформація” (2017) - с. 464.

34. Бачурина С. В., Шевченко Н. І. - Навчальний посібник “Екологічний аудит інфраструктурних проектів” (2019) - с. 205-207.

35. Закон України № 34 “Про природно-заповідний фонд України” (1992)

36. Василюк О. В. - Посібник “МЕрежа Емеральд в Україні: територіальні основи природоохоронного законодавства” (2018) - с. 120.

37. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. – Київ : Мінрегіон України, 2013.

38. Проект “Нове будівництво магістрального водогону Запоріжжя-Покров”, Том 9, с. 23-25

39. ДБН А.2.2-1-2003. Склад і зміст матеріалів оцінки впливу на навколишнє середовище

40. ДСП 201-97. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць

41. Кузьмін В. І., Романенко О. В. Оцінка впливу дизельних електрогенераторів на атмосферне повітря // Екологічна безпека та природокористування. – 2019.

42. Бутковський О. І., Савченко В. М. Екологічна безпека інженерних систем водопостачання. – Київ : Наукова думка, 2016.

43. Романенко В. Д., Журавель В. М. Екологічна токсикологія. – Київ : Либідь, 2012.

44. ГОСТ 12.1.007-76. Шкідливі речовини. Класифікація і загальні вимоги безпеки.

45. World Health Organization. Air Quality Guidelines for Europe. – Copenhagen : WHO Regional Office for Europe, 2000

46. US EPA. Integrated Science Assessment for Carbon Monoxide / Nitrogen Oxides / Sulfur Dioxide. – United States Environmental Protection Agency.

47. Водопостачання та водовідведення : підручник / за ред. А. А. Петрова. – Київ : Вища школа, 2019. – 512 с

48. Екологічна безпека інженерних споруд і трубопровідних систем : монографія / О. І. Бондар, В. М. Шмандій. – Харків : ХНУМГ, 2020. – 368 с.

49. Правила технічної експлуатації систем водопостачання та водовідведення населених пунктів України. – Київ : Мінрегіон України, чинна редакція.

50. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (ДСанПіН 2.2.1-10-2001). – Київ : МОЗ України.

51. Automation and SCADA Systems in Water Supply Networks / J. Smith, R. Brown. – Springer, 2018. – 295 p.

52. Основи екологічного нормування та оцінки впливу на довкілля : навч. посібник / В. І. Шевчук, О. М. Саталкін. – Київ : Либідь, 2020. – 384 с.

53. Звітні та експлуатаційні матеріали Регіонального офісу водних ресурсів у Дніпропетровській області. – Нікополь, 2023.

54. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин від дизельних двигунів стаціонарних установок. – Київ : Міндовкілля України, чинна редакція.

55. Водопостачання та водовідведення : підручник / за ред. А. А. Петрова. – Київ : Вища школа, 2019. – 512 с.

56. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (ДСанПіН 2.2.1-10-2001). – Київ : МОЗ України.

57. Основи охорони праці : навч. посібник / І. В. Коваль, О. М. Саталкін. – Київ : Либідь, 2021.

58. Санітарні норми та правила щодо безпеки праці на об’єктах водопостачання. – Київ : Міндовкілля України, 2020.

59. ДСТУ ISO 14001:2016. Системи екологічного менеджменту. – Київ, 2016.

60. Інструкції з безпеки та експлуатації дизельних генераторних установок. – Київ : Видавництво «ЕнергоБезпека», 2022.

61. Інструкції з експлуатації та безпеки підйомно-транспортних механізмів. – Київ : Видавництво «ЕнергоБезпека», 2022

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця 11 - Результати розрахунку максимально секундних викидів CO

Номер насосної станції	Потужність дизель генератора	Максимальний викид речовин за секунду
1	1000 кВт	0,98 г/сек
2	1200 кВт	1,155г/сек
3	1200 кВт	1,155 г/сек
4	1000 кВт	0,98 г/сек
5	1000 кВт	0,98 г/сек
6	802 кВт	0,77 г/сек
7	802 кВт	0,77 г/сек
8	1000 кВт	0,98 г/сек

Таблиця 12 - Результати розрахунку максимально секундних викидів SO_2

Номер насосної станції	Потужність дизель генератора	Максимальний викид речовин за секунду
1	1000 кВт	0,016 г/сек
2	1200 кВт	0,018 г/сек;
3	1200 кВт	0,018 г/сек;

4	1000 кВт	0,016 г/сек
5	1000 кВт	0,016 г/сек
6	802 кВт	0,0123 г/сек
7	802 кВт	0,77 г/сек
8	1000 кВт	0,016 г/сек

Додаток Б

Таблиця 13 - Результати розрахунку валового викиду СО

Номер насосної станції	Максимальний викид речовини за годину, г/год	Річний викид, т/рік
1	3528	0,2 т/рік
2	4158	0,233 т/рік
3	4158	0,233 т/рік
4	3528	0,2 т/рік
5	3528	0,2 т/рік
6	2772	0,155 т/рік
7	2772	0,155 т/рік
8	3528	0,2 т/рік

Таблиця 14 - Результати розрахунку валового викиду SO_2

Номер насосної станції	Максимальний викид речовини за годину, г/год	Річний викид, т/рік
1	57,6	0,003 т/рік
2	64,8	0,004 т/рік
3	64,8	0,004 т/рік
4	57,6	0,003 т/рік
5	57,6	0,003 т/рік
6	44,4	0,002 т/рік
7	44,4	0,002 т/рік
8	57,6	0,003 т/рік