Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю.М. Потебні

(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

(перший (бакалаврський) рівень)

на тему «Технології запобігання забрудненню водних обєктів при ліквідації екологічних наслідків затоплення шахт»

Виконала: студентка 4 курсу, групи 6.1832

Клименко Є. О.

(ПІБ) (підпис)

спеціальності

183 Технології захисту навколишнього середовища

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

Технології захисту навколишнього середовища

(шифр і назва)

Керівник Венгер Л. О.

(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя – 2026 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра ___*металургійних технологій, екології та техногенної безпеки*_____

Рівень вищої освіти ____*перший бакалаврський рівень*_____

Спеціальність *183 Технології захисту навколишнього середовища*_____
(шифр і назва)
Освітньо-професійна програма *Технології захисту навколишнього середовища*_____
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри __*МТЕТБ*___
_____*Ю.О. Бєлоконь*__
« » _____2026 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТУ

_____Клименко Євгенія Олександрівна_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Технології запобігання забрудненню водних обєктів при ліквідації екологічних наслідків затоплення шахт _____

керівник роботи (проєкту) Венгер Любов Олександрівна, к.т.н., доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом вищого навчального закладу від «23» 12 2025 року №1831-с

2. Строк подання студентом роботи (проєкта) 15.05.2026

3. Вихідні дані до роботи (проєкта) -

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) реферат, вступ, загальна частина, спеціальна частина, охорона праці та техногенна безпека, висновки, список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень), презентаційний матеріал, 16 слайдів

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
Розділ 1	Венгер Л. О., доцент	
Розділ 2	Венгер Л. О., доцент	
Розділ 3	Венгер Л. О., доцент	
Розділ 4		
Нормоконтроль	Вагін А.В., доцент	

7. Дата видачі завдання_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ		
2	Реферат		
3	Розділ 1		
4	Розділ 2		
5	Розділ 3		
6	Розділ 4		
7	Висновки		

Здобувач _____ _Клименко Є. О.

(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи) _____ _Венгер Л. О.___

(підпис) (прізвище та ініціали)

Реферат

Кваліфікаційна робота на тему «Технології запобігання забрудненню водних обєктів при ліквідації екологічних наслідків затоплення шахт»: 79 стор., 7 рис., 24 джерел.

ШАХТНІ ВОДИ, ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД, АЕРАЦІЯ, РЕАГЕНТНЕ ОЧИЩЕННЯ, ВІДСТІЙНИКИ, ФІЛЬТРАЦІЯ, ВАЖКІ МЕТАЛИ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА, ВОДНІ РЕСУРСИ, ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ.

Об'єкт дослідження – технології та методи очищення шахтних вод від механічних, хімічних і токсичних забруднювачів.

Мета роботи – дослідження екологічного впливу шахтних вод на водні об’єкти та обґрунтування ефективної системи їх очищення із застосуванням механічних, фізико-хімічних та сорбційних методів.

У роботі проаналізовано основні джерела утворення шахтних вод та їх вплив на довкілля. Визначено основні забруднювачі шахтних вод, серед яких завислі речовини, сполуки заліза, марганцю, сульфати, нафтопродукти та важкі метали. Проведено аналіз сучасних методів очищення шахтних вод та виконано обґрунтування вибору технологічної схеми очищення.

Запропонована система очищення включає механічне очищення, аерацію, реагентну обробку, відстоювання, фільтрацію та знезараження очищеної води. Наведено характеристику основного очисного обладнання, зокрема відстійників, аераційних установок, фільтрів та систем зневоднення осаду.

У роботі виконано інженерно-технологічні розрахунки системи очищення шахтних вод, визначено продуктивність очисних споруд, витрати реагентів, параметри аерації та ефективність очищення. Встановлено, що запропонована система забезпечує зниження концентрації завислих речовин до 94 %, сполук заліза – до 93 %, а нафтопродуктів – до 87 %.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання запропонованої технологічної схеми для підвищення екологічної безпеки територій, що зазнали впливу діяльності гірничодобувної промисловості, а також для зменшення негативного впливу шахтних вод на поверхневі та підземні водні ресурси.

У розділі «Пожежна та техногенна безпека на підприємстві» проаналізовано основні шкідливі та небезпечні виробничі фактори та запропоновано заходи зі зниження шкідливого впливу на працюючий персонал.

ЗМІСТ

ВСТУП 8

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ УНАСЛІДОК ЗАТОПЛЕННЯ ШАХТ…… 10

1.1. Причини затоплення шахт та їх екологічні наслідки…… 10

1.2. Основні джерела та види забруднення шахтних вод…… 12

1.3. Вплив шахтних вод на поверхневі та підземні водні об'єкти 16

1.4. Нормативно-правове регулювання охорони водних ресурсів при ліквідації шахт…… 20

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАПОБІГАННЯ ЗАБРУДНЕННЮ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ…… 25

2.1. Методи очищення шахтних вод…… 25

2.2. Фізико-хімічні технології очищення забруднених вод… 26

2.3. Біологічні методи очищення шахтних вод…… 27

2.4. Технології локалізації та попередження поширення забруднення 28

2.5. Зарубіжний досвід ліквідації екологічних наслідків затоплення шахт…… 29

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ І ТЕХНОЛОГІЙ ЗАПОБІГАННЯ ЗАБРУДНЕННЮ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ…… 32

3.1. Характеристика об'єкта дослідження та оцінка екологічного стану території…… 32

3.2. Розробка технологічної схеми очищення шахтних вод…… 35

3.3. Обґрунтування вибору очисного обладнання та технологій… 41

3.3.1. Обґрунтування механічного очищення…… 41

3.3.2. Обґрунтування застосування аераційної установки…… 43

3.3.3. Обґрунтування реагентного очищення…… 46

3.3.4. Обґрунтування використання вторинних відстійників… 50

3.3.5. Обґрунтування вибору фільтраційного обладнання… 53
3.3.6. Обґрунтування знезараження води…… 56
3.3.7. Обґрунтування системи утилізації осаду…… 56
3.4. Інженерно-технологічні розрахунки системи очищення шахтних вод…… 59
3.4.1. Розрахунок механічного очищення…… 60
3.4.2. Розрахунок аераційної установки…… 61
3.4.3. Розрахунок реагентного очищення…… 62
3.4.4. Розрахунок вторинного відстійника…… 62
3.4.5. Розрахунок фільтраційного обладнання…… 62
3.4.6. Розрахунок ефективності очищення…… 63
3.4.7. Розрахунок кількості осаду…… 63
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ПРИ ПРОВЕДЕННІ РОБІТ З ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ ЗАТОПЛЕННЯ ШАХТ… 65
4.1. Небезпечні та шкідливі фактори при роботі із шахтними водами… 65
4.2. Заходи безпеки при експлуатації очисних споруд…… 68
4.3. Пожежна та екологічна безпека…… 71
ВИСНОВКИ…… 76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…… 78

ВСТУП

Вугільна промисловість є однією з найбільш екологічно небезпечних галузей господарства, діяльність якої супроводжується значним техногенним навантаженням на навколишнє природне середовище. Особливої актуальності проблема набуває у процесі закриття та затоплення шахт, що супроводжується порушенням гідрогеологічного режиму територій, погіршенням якості поверхневих і підземних вод, а також поширенням забруднюючих речовин у водних екосистемах. Шахтні води містять підвищені концентрації сульфатів, хлоридів, важких металів, нафтопродуктів та інших токсичних компонентів, які негативно впливають на стан довкілля та здоров'я населення.

Проблема забруднення водних об'єктів унаслідок затоплення шахт є особливо актуальною для вугледобувних регіонів України, де значна кількість шахт перебуває у стадії ліквідації або консервації. Відсутність належного контролю за процесами затоплення та недостатня ефективність природоохоронних заходів призводять до погіршення екологічного стану територій, підтоплення земель, забруднення річок і водоносних горизонтів. У зв'язку з цим виникає необхідність розробки та впровадження сучасних технологій запобігання забрудненню водних об'єктів, що дозволять мінімізувати негативний вплив шахтних вод на навколишнє середовище.

Актуальність теми полягає у необхідності вдосконалення технологій очищення шахтних вод, локалізації джерел забруднення та підвищення екологічної безпеки територій, що зазнають впливу процесів затоплення шахт. Використання сучасних фізико-хімічних, біологічних та комбінованих методів очищення дозволяє значно знизити концентрацію забруднюючих речовин у стічних водах та забезпечити дотримання екологічних нормативів.

Метою бакалаврської роботи є дослідження технологій запобігання забрудненню водних об'єктів при ліквідації екологічних наслідків

затоплення шахт та розробка ефективних природоохоронних заходів щодо очищення шахтних вод.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- проаналізувати причини затоплення шахт та їх екологічні наслідки;
- дослідити склад і основні джерела забруднення шахтних вод;
- оцінити вплив шахтних вод на поверхневі та підземні водні об’єкти;
- розглянути сучасні технології очищення та запобігання забрудненню вод;
- обґрунтувати вибір ефективних технологічних рішень для очищення шахтних вод;
- оцінити ефективність запропонованих природоохоронних заходів.

Об’єктом дослідження є процеси забруднення водних об’єктів унаслідок затоплення шахт.

Предметом дослідження є технології очищення та запобігання забрудненню водних ресурсів при ліквідації екологічних наслідків затоплення шахт.

У роботі використано методи аналізу та узагальнення наукової літератури, порівняльного аналізу технологій очищення вод, екологічної оцінки стану водних об’єктів, а також методи системного підходу для розробки природоохоронних заходів.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості використання запропонованих технологій та заходів для підвищення ефективності очищення шахтних вод, зменшення техногенного навантаження на водні об’єкти та забезпечення екологічної безпеки територій, що зазнали впливу затоплення шахт.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ УНАСЛІДОК ЗАТОПЛЕННЯ ШАХТ

1.1. Причини затоплення шахт та їх екологічні наслідки

Затоплення шахт є одним із найбільш небезпечних екологічних наслідків закриття або консервації гірничодобувних підприємств. Після припинення видобутку корисних копалин та зупинки систем водовідливу відбувається поступове заповнення підземних виробок ґрунтовими, пластовими та інфільтраційними водами. Такий процес супроводжується суттєвими змінами гідрогеологічного режиму територій, погіршенням якості поверхневих і підземних вод, підтопленням земель та виникненням ризиків для населення і навколишнього середовища.

За даними досліджень Christian Wolkersdorfer, затоплення шахт є складним гідрогеологічним процесом, який залежить від глибини виробок, геологічної будови родовища, інтенсивності припливу підземних вод та особливостей експлуатації шахти. Під час функціонування шахт постійно здійснюється водовідлив для підтримання безпечних умов видобутку. Після припинення роботи насосного обладнання вода починає накопичуватися у виробках, поступово піднімаючись до природного рівня підземних вод.

Основними причинами затоплення шахт є:

- припинення або скорочення видобутку корисних копалин;
- ліквідація нерентабельних шахт;
- відключення систем водовідливу;
- економічні та енергетичні кризи;
- військові дії та пошкодження інфраструктури;
- порушення гідрогеологічного балансу територій.

Особливо актуальною проблема затоплення шахт є для старопромислових вугледобувних регіонів, де значна кількість шахт перебуває у стадії ліквідації або консервації. У таких умовах відбувається

формування так званих шахтних вод, які характеризуються високим рівнем мінералізації та значним вмістом токсичних компонентів.

У праці Thomas Kessler зазначається, що після затоплення шахт відбувається активізація геохімічних процесів у породному масиві. Вода, контактуючи з мінералами, спричиняє їх розчинення та вивільнення великої кількості забруднювальних речовин. Найбільш небезпечним процесом є окиснення сульфідних мінералів, насамперед піриту, що призводить до утворення кислого шахтного дренажу.

Кислий шахтний дренаж характеризується низьким значенням pH;, високою концентрацією сульфатів, підвищеним вмістом заліза та значною кількістю важких металів.

У результаті цих процесів у шахтних водах можуть накопичуватися: свинець, кадмій, ртуть, миш’як, марганець, цинк, мідь. хром.

Підвищення концентрації токсичних речовин у шахтних водах створює небезпеку для поверхневих і підземних водних об’єктів. Після виходу на поверхню або потрапляння у водоносні горизонти забруднені шахтні води здатні поширюватися на значні відстані, погіршуючи якість питної води та стан водних екосистем.

Дослідження Pekka Heikkinen підтверджують, що затоплення шахт часто супроводжується забрудненням поверхневих та підземних вод сульфатами, хлоридами і важкими металами. Особливо небезпечними є процеси міграції забруднювачів між водоносними горизонтами, що може призводити до тривалого погіршення якості водних ресурсів.

Одним із серйозних наслідків затоплення шахт є підтоплення територій. Підняття рівня підземних вод спричиняє:

- заболочування земель;
- деградацію ґрунтів;
- руйнування будівель та інженерних споруд;
- деформацію поверхні;
- просідання ґрунтів.

За результатами досліджень Grzegorz Gzyl, ризик підтоплення територій залежить від швидкості підняття шахтних вод, геологічних умов та ступеня порушення породного масиву. Особливо небезпечними є території із значною кількістю старих виробок та високою щільністю забудови.

Важливим екологічним наслідком затоплення шахт є також забруднення річок та інших поверхневих водойм. Після скидання шахтних вод у природні водотоки змінюється їх хімічний склад, зростає мінералізація та погіршується кисневий режим. Це негативно впливає на водні екосистеми, спричиняючи загибель риб, безхребетних організмів та водної рослинності.

У роботах Antonio Álvarez-Valero описано випадки аварійних виливів кислих шахтних вод, які призводили до масштабного забруднення річкових басейнів та деградації екосистем. Дослідники відзначають, що шахтні води можуть містити не лише важкі метали, а й токсичні органічні сполуки, які тривалий час зберігаються у донних відкладах водойм.

Крім забруднення водних ресурсів, затоплення шахт супроводжується виділенням шахтних газів, зокрема метану та сірководню. Це створює додаткові ризики вибухів, пожеж та погіршення якості атмосферного повітря.

Таким чином, затоплення шахт є комплексною екологічною проблемою, що супроводжується зміною гідрогеологічного режиму територій, забрудненням поверхневих і підземних вод, деградацією земель та порушенням екологічної рівноваги. Для мінімізації негативного впливу необхідне впровадження сучасних технологій моніторингу, очищення шахтних вод та управління екологічними ризиками.

1.2. Основні джерела та види забруднення шахтних вод

Шахтні води є одним із найважливіших джерел техногенного впливу на водні екосистеми гірничопромислових регіонів. У процесі видобутку корисних копалин відбувається постійний приплив підземних і поверхневих вод до гірничих виробок, що потребує їх відкачування для забезпечення

безпечних умов експлуатації шахт. У результаті контакту води з гірськими породами, мінералами, технологічним обладнанням та відходами виробництва відбувається зміна її фізичних, хімічних і біологічних властивостей. Такі води характеризуються підвищеним вмістом завислих речовин, мінеральних солей, важких металів, нафтопродуктів та інших забруднювачів, що становлять загрозу для навколишнього середовища.

Забруднення шахтних вод формується під впливом природних і антропогенних факторів. Природні фактори пов'язані з геологічною будовою родовища, мінералогічним складом порід та гідрогеологічними умовами території. Антропогенні фактори виникають унаслідок технологічних процесів видобутку, транспортування та переробки корисних копалин.

Основними джерелами забруднення шахтних вод є:

1. Контакт води з мінералізованими породами.

Підземні води, проходячи через товщу гірських порід, розчиняють мінерали та солі, що призводить до підвищення мінералізації шахтних вод. Особливо інтенсивно цей процес відбувається у вугільних і рудних шахтах, де присутні сульфіди заліза, кальцію, магнію та інших елементів. Унаслідок цього у воді накопичуються сульфати, хлориди, гідрокарбонати та інші іони.

2. Окиснення сульфідних мінералів.

Одним із найнебезпечніших джерел забруднення є окиснення піриту (FeS_2) та інших сульфідних мінералів. У присутності кисню і води відбувається утворення сірчаної кислоти, що спричиняє закислення шахтних вод. Кисле середовище активізує процес вилуговування металів із порід, унаслідок чого зростає концентрація заліза, марганцю, міді, цинку, кадмію та інших токсичних елементів.

3. Відвали пустих порід і хвостосховища.

На територіях гірничодобувних підприємств накопичуються значні обсяги відходів видобутку та збагачення корисних копалин. Атмосферні опади, проходячи через відвали та хвостосховища, вимивають забруднювальні речовини, які потрапляють у поверхневі та підземні води.

Особливо небезпечними є відвали, що містять сульфідні сполуки та важкі метали.

4. Використання технічних мастил і паливно-мастильних матеріалів.

У процесі роботи гірничого обладнання використовуються мастила, гідравлічні рідини та паливо. У разі витоків ці речовини можуть потрапляти до шахтних вод, формуючи забруднення нафтопродуктами. Навіть незначні концентрації нафтопродуктів негативно впливають на якість води та ускладнюють її очищення.

5. Вибухові роботи.

Під час проведення вибухових робіт використовуються амонійні вибухові речовини, залишки яких можуть розчинятися у воді. Це призводить до підвищення концентрації нітратів, нітритів та амонійного азоту в шахтних водах.

6. Господарсько-побутові стоки шахтних підприємств.

На великих гірничодобувних об'єктах утворюються господарсько-побутові стічні води від адміністративних та виробничих приміщень. У разі недостатнього очищення вони можуть змішуватися із шахтними водами, збільшуючи вміст органічних речовин та патогенних мікроорганізмів.

Залежно від походження та складу забруднювачів виділяють кілька основних видів забруднення шахтних вод.

Механічне забруднення

Механічне забруднення пов'язане з надходженням у воду твердих частинок гірських порід, вугілля, піску, глини та інших завислих речовин. Такі домішки утворюються внаслідок бурових, вибухових і навантажувально-розвантажувальних робіт. Підвищений вміст завислих речовин спричиняє замулення водойм, погіршення умов існування водних організмів та зниження ефективності процесів очищення.

Основними показниками механічного забруднення є каламутність, вміст завислих речовин та кольоровість води. У деяких шахтах концентрація завислих речовин може перевищувати нормативні значення у десятки разів.

Хімічне забруднення

Хімічне забруднення є найпоширенішим видом забруднення шахтних вод. Воно характеризується підвищеним вмістом розчинених мінеральних і органічних сполук. До основних забруднювачів належать:

- сульфати;
- хлориди;
- карбонати та гідрокарбонати;
- сполуки азоту;
- важкі метали;
- нафтопродукти;
- феноли;
- поверхнево-активні речовини.

Особливу небезпеку становлять важкі метали, оскільки вони здатні накопичуватися в живих організмах та передаватися харчовими ланцюгами. Найчастіше у шахтних водах виявляють залізо, марганець, свинець, кадмій, цинк, мідь та нікель.

Сольове забруднення

Сольове забруднення характерне для шахт вугільної промисловості та глибоких гірничих виробок. Воно проявляється у високій мінералізації води через підвищений вміст розчинених солей. Мінералізація шахтних вод може коливатися від кількох грамів до десятків грамів на літр.

Скидання високомінералізованих вод у природні водойми спричиняє засолення річок, озер та ґрунтів, що негативно впливає на рослинність, тваринний світ і господарське використання водних ресурсів.

Кислотне забруднення

Кислотне забруднення виникає внаслідок утворення кислотного шахтного дренажу. Цей процес характерний для родовищ, що містять значну кількість сульфідних мінералів. Значення pH таких вод може знижуватися до 2–4 одиниць, що відповідає сильно кислому середовищу.

Кислотні шахтні води мають високу корозійну активність, руйнують інженерні споруди та сприяють мобілізації токсичних металів. Потрапляючи у водні об'єкти, вони викликають деградацію водних екосистем і загибель гідробіонтів.

Біологічне забруднення

Біологічне забруднення формується за рахунок потрапляння до шахтних вод мікроорганізмів, бактерій та органічних речовин. Особливе значення мають сіркоокиснювальні та залізобактерії, які беруть участь у процесах утворення кислотного дренажу та змінюють хімічний склад води.

Крім того, біологічне забруднення може бути пов'язане зі скиданням недостатньо очищених господарсько-побутових стічних вод підприємств.

Таким чином, шахтні води є складним багатокомпонентним об'єктом забруднення, що формується під впливом природних геохімічних процесів та виробничої діяльності гірничодобувних підприємств. Основними джерелами забруднення виступають мінералізовані породи, сульфідні мінерали, відвали гірничих відходів, вибухові роботи та паливно-мастильні матеріали. Найпоширенішими видами забруднення є механічне, хімічне, сольове, кислотне та біологічне. Розуміння джерел і характеру забруднення шахтних вод є необхідною передумовою для вибору ефективних технологій їх очищення та мінімізації негативного впливу на довкілля.

1.3. Вплив шахтних вод на поверхневі та підземні водні об’єкти

Шахтні води є одним із найсуттєвіших джерел антропогенного навантаження на водні екосистеми гірничодобувних регіонів. У процесі експлуатації шахт відбувається постійне відкачування значних обсягів води, яка після контакту з гірськими породами та виробничими об'єктами набуває специфічного хімічного складу. За відсутності належного очищення або при аварійних скидах шахтні води потрапляють у природні водні об'єкти, викликаючи погіршення їхнього екологічного стану. Негативний вплив

поширюється як на поверхневі, так і на підземні води, що може призводити до довготривалих екологічних наслідків.

Особливо актуальною ця проблема є для вугільних, рудних та соляних родовищ, де шахтні води характеризуються високою мінералізацією, підвищеним вмістом сульфатів, хлоридів, заліза, марганцю, важких металів та інших забруднювальних речовин. Потрапляючи до природного середовища, такі води порушують природний гідрохімічний баланс та знижують якість водних ресурсів.

Вплив шахтних вод на поверхневі водні об'єкти

Поверхневі водні об'єкти є першими реципієнтами шахтних вод, оскільки більшість відкачаних вод після очищення або без нього скидається в річки, струмки, озера та водосховища. Ступінь негативного впливу залежить від обсягів скидів, концентрації забруднювачів, гідрологічних характеристик водойми та ефективності очисних споруд.

Одним із найпоширеніших наслідків є *підвищення мінералізації води.* Високий вміст розчинених солей змінює природний сольовий склад водойм, що негативно впливає на водні організми. Багато видів риб, молюсків та водних рослин є чутливими до зміни солоності води, тому підвищення концентрації солей може призводити до скорочення біорізноманіття та зміни структури водних екосистем.

Важливою проблемою є також *забруднення важкими металами.* Залізо, марганець, кадмій, свинець, мідь, цинк та інші метали, що містяться у шахтних водах, накопичуються у донних відкладах та живих організмах. Процес біоакумуляції сприяє накопиченню токсичних речовин у харчових ланцюгах, що може становити небезпеку не лише для водної флори та фауни, але й для людини.

Особливу загрозу становлять *кислотні шахтні води,* які утворюються внаслідок окиснення сульфідних мінералів. Потрапляючи до водойм, вони знижують показник pH, підвищують кислотність середовища та спричиняють розчинення токсичних металів із донних відкладів. У результаті створюються

несприятливі умови для розвитку водних організмів, а в окремих випадках можливе повне знищення локальних екосистем.

Ще одним наслідком є *збільшення вмісту завислих речовин.* Частинки породи, вугілля та глини підвищують каламутність води, зменшують проникнення сонячного світла у водну товщу та пригнічують процеси фотосинтезу водної рослинності. Осідання завислих речовин на дно водойм призводить до замулення нерестовищ риб і погіршення умов існування донних організмів.

У разі надходження до поверхневих вод органічних забруднювачів та сполук азоту можливий розвиток процесів *евтрофікації.* Надлишок поживних речовин стимулює масове розмноження водоростей, що супроводжується зниженням концентрації розчиненого кисню та погіршенням санітарного стану водойм.

Вплив на гідрологічний режим річок

Тривале відкачування шахтних вод може суттєво змінювати природний водний баланс територій. У період активної експлуатації шахт обсяги скидних вод інколи становлять значну частину стоку малих річок. Це призводить до штучного збільшення водності водотоків, зміни швидкості течії та природного режиму їх функціонування.

Після закриття шахт ситуація часто змінюється кардинально. Припинення відкачування вод супроводжується підняттям рівня підземних вод та скороченням надходження шахтних вод до річкових систем. Такі зміни можуть викликати підтоплення територій або, навпаки, зменшення водності окремих водотоків.

Вплив шахтних вод на підземні води

Підземні води є особливо вразливими до забруднення через складність їх природного самоочищення. Потрапляння шахтних вод у водоносні горизонти може відбуватися через тріщини в породах, порушення цілісності гірничих виробок, неізольовані свердловини, відвали порід та хвостосховища.

Одним із головних наслідків є *погіршення якості питних підземних вод.* Забруднювальні речовини можуть поширюватися на значні відстані від джерела забруднення, поступово охоплюючи великі площі водоносних горизонтів. Особливу небезпеку становлять важкі метали, сульфати, хлориди та нітрати, які можуть перевищувати встановлені санітарні нормативи.

Унаслідок тривалого надходження шахтних вод відбувається *засолення підземних вод,* що знижує можливість їх використання для питного водопостачання та сільськогосподарських потреб. Висока концентрація солей негативно впливає на якість води та може викликати деградацію ґрунтів при використанні такої води для зрошення.

Важливою проблемою є також *зміна гідрогеологічного режиму територій.* Під час роботи шахт формується депресійна лійка навколо виробок, унаслідок чого знижується рівень ґрунтових вод. Це може призводити до висихання колодязів, джерел та заболочених ділянок. Після припинення відкачування вод рівень підземних вод починає підніматися, що нерідко спричиняє підтоплення населених пунктів, сільськогосподарських угідь та об'єктів інфраструктури.

Екологічні та соціально-економічні наслідки

Негативний вплив шахтних вод на водні об'єкти має не лише екологічний, а й соціально-економічний характер. Погіршення якості поверхневих і підземних вод призводить до зростання витрат на водопідготовку та очищення питної води. Забруднення водойм обмежує можливості їх використання для господарсько-побутових, рекреаційних та рибогосподарських потреб.

Зниження біологічної продуктивності водойм спричиняє скорочення популяцій риб та інших гідробіонтів. Крім того, накопичення токсичних речовин у водному середовищі створює ризики для здоров'я населення через споживання забрудненої води та продуктів водного походження.

Особливо гостро проблема проявляється в районах ліквідованих шахт, де після припинення гірничих робіт часто спостерігаються процеси

підтоплення, вторинного забруднення водоносних горизонтів та утворення кислотного дренажу.

1.4. Нормативно-правове регулювання охорони водних ресурсів при ліквідації шахт

Ліквідація та консервація шахт є складним інженерно-екологічним процесом, який супроводжується значними змінами гідрогеологічного режиму територій та може становити загрозу для поверхневих і підземних водних ресурсів. Після припинення відкачування шахтних вод відбувається поступове затоплення гірничих виробок, що нерідко призводить до забруднення водоносних горизонтів, підвищення рівня ґрунтових вод, підтоплення територій та погіршення якості водних об'єктів. У зв'язку з цим особливого значення набуває нормативно-правове регулювання охорони водних ресурсів на етапі закриття шахт.

Система правового забезпечення охорони водних ресурсів в Україні базується на положеннях Конституції України, кодексів, законів, постанов Кабінету Міністрів України, державних стандартів та інших нормативно-правових актів, які визначають вимоги щодо раціонального використання, відтворення та охорони водних ресурсів.

Конституційні засади охорони водних ресурсів

Основою природоохоронного законодавства України є Конституція України, відповідно до якої земля, її надра, атмосферне повітря, водні та інші природні ресурси є об'єктами права власності Українського народу. Конституція гарантує кожному громадянину право на безпечне для життя і здоров'я довкілля та відшкодування шкоди, завданої порушенням цього права.

Стаття 16 Конституції визначає забезпечення екологічної безпеки та підтримання екологічної рівноваги на території України як один із найважливіших обов'язків держави. Таким чином, охорона водних ресурсів

під час ліквідації шахт є складовою реалізації державної екологічної політики.

Водний кодекс України

Основним нормативним документом у сфері охорони водних ресурсів є Водний кодекс України, який регламентує правові засади використання та охорони вод.

Відповідно до положень Водного кодексу:

- усі водокористувачі зобов'язані запобігати забрудненню, засміченню та виснаженню вод;
- скид забруднених стічних вод у водні об'єкти допускається лише за наявності відповідного дозволу;
- підприємства повинні забезпечувати очищення стічних вод до нормативних показників;
- забороняється діяльність, що може призвести до погіршення екологічного стану водних об'єктів.

Під час ліквідації шахт особливого значення набуває контроль за якістю шахтних вод та їх впливом на поверхневі й підземні водні об'єкти. Водний кодекс передбачає необхідність здійснення моніторингу вод та розроблення заходів щодо попередження негативного впливу на водне середовище.

Кодекс України про надра

Правові засади використання та охорони надр визначає Кодекс України про надра. Документ встановлює обов'язки надрокористувачів щодо забезпечення екологічної безпеки під час розробки родовищ корисних копалин та після завершення їх експлуатації.

Згідно з Кодексом України про надра:

- ліквідація та консервація гірничих підприємств повинні здійснюватися за спеціально розробленими проєктами;
- проєкти ліквідації мають передбачати заходи щодо запобігання забрудненню водних ресурсів;

- підприємства зобов'язані проводити моніторинг стану довкілля після припинення гірничих робіт;
- власники шахт несуть відповідальність за наслідки негативного впливу ліквідованих виробок на навколишнє середовище.

Особливу увагу приділено запобіганню прориву забруднених шахтних вод у водоносні горизонти та поверхневі водойми.

Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища»

Базовим екологічним законом України є Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища», який визначає принципи державної політики у сфері охорони довкілля та раціонального природокористування.

Закон встановлює:

- обов'язковість дотримання екологічних вимог під час здійснення господарської діяльності;
- необхідність відшкодування шкоди, заподіяної довкіллю;
- проведення екологічного моніторингу;
- застосування заходів екологічного контролю та нагляду.

Під час ліквідації шахт цей закон вимагає здійснення комплексу природоохоронних заходів, спрямованих на недопущення погіршення стану водних об'єктів.

Закон України «Про оцінку впливу на довкілля»

Важливим механізмом екологічного регулювання є Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» (ОВД).

Відповідно до цього закону проєкти ліквідації або реструктуризації великих гірничодобувних підприємств можуть підлягати процедурі оцінки впливу на довкілля. У рамках ОВД аналізуються можливі наслідки для: поверхневих вод, підземних вод, водно-болотних угідь, екосистем і біорізноманіття, здоров'я населення.

Результати оцінки враховуються при ухваленні рішень щодо реалізації проєктів ліквідації шахт.

Законодавство у сфері моніторингу вод

В Україні функціонує державна система моніторингу вод, яка здійснюється відповідно до вимог водного законодавства та нормативних документів Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України.

Моніторинг водних ресурсів у районах ліквідованих шахт включає:

- спостереження за рівнями підземних вод;
- контроль мінералізації та кислотності вод;
- визначення концентрації важких металів;
- контроль вмісту сульфатів, хлоридів та інших забруднювачів;
- оцінку стану поверхневих водойм.

Отримані дані використовуються для прогнозування можливих екологічних ризиків та розроблення природоохоронних заходів.

Європейські екологічні вимоги та міжнародні зобов'язання України

У процесі гармонізації законодавства з вимогами Європейського Союзу Україна впроваджує положення основних екологічних директив ЄС.

Особливе значення має реалізація положень:

- *Водної рамкової директиви ЄС (2000/60/ЄС);*
- *Директиви про захист підземних вод (2006/118/ЄС);*
- *Директиви щодо управління відходами видобувної промисловості (2006/21/ЄС).*

Ці документи передбачають досягнення доброго екологічного стану водних об'єктів, запобігання їх забрудненню та застосування принципу «забруднювач платить».

Виконання європейських вимог сприяє вдосконаленню системи контролю за станом водних ресурсів у районах закриття шахт та впровадженню сучасних природоохоронних технологій.

Відповідальність за порушення водоохоронного законодавства

Чинне законодавство України передбачає дисциплінарну, адміністративну, цивільну та кримінальну відповідальність за порушення вимог щодо охорони водних ресурсів.

До основних видів порушень належать:

- скид забруднених вод без дозволу;
- перевищення встановлених нормативів забруднення;
- приховування інформації про екологічний стан водних об'єктів;
- невиконання природоохоронних заходів під час ліквідації шахт;
- порушення правил експлуатації та закриття гірничих виробок.

За завдану шкоду підприємства зобов'язані компенсувати збитки та здійснити відновлювальні природоохоронні заходи.

Висновки до розділу 1

Шахтні води справляють комплексний негативний вплив на поверхневі та підземні водні об'єкти. Основними наслідками є підвищення мінералізації вод, забруднення важкими металами та кислотними стоками, порушення гідрологічного режиму водойм і погіршення якості підземних вод. Масштаби впливу залежать від геологічних умов, характеру гірничих робіт та ефективності систем очищення. Для мінімізації негативних наслідків необхідним є впровадження сучасних технологій очищення шахтних вод, постійний екологічний моніторинг та контроль стану водних об'єктів у районах гірничодобувної діяльност

Таким чином, нормативно-правове регулювання охорони водних ресурсів при ліквідації шахт ґрунтується на комплексі законодавчих та підзаконних актів, які визначають вимоги до запобігання забрудненню поверхневих і підземних вод. Основними нормативними документами є Конституція України, Водний кодекс України, Кодекс України про надра, Закони України «Про охорону навколишнього природного середовища» та «Про оцінку впливу на довкілля». Реалізація вимог законодавства забезпечує екологічну безпеку територій, мінімізує ризики забруднення водних ресурсів та сприяє сталому розвитку гірничопромислових регіонів.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАПОБІГАННЯ ЗАБРУДНЕННЮ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Забруднення водних об'єктів шахтними водами є однією з найбільш актуальних екологічних проблем гірничодобувних регіонів. Під час експлуатації та особливо після ліквідації шахт відбувається надходження до навколишнього середовища значних обсягів вод, які містять завислі речовини, важкі метали, сульфати, хлориди, нафтопродукти та інші забруднювачі. Для мінімізації негативного впливу шахтних вод на водні екосистеми застосовуються різноманітні технології очищення, локалізації та моніторингу забруднення. Сучасні підходи поєднують механічні, фізико-хімічні, біологічні та інженерні методи, що дозволяє досягати високої ефективності очищення та забезпечувати екологічну безпеку територій.

2.1. Методи очищення шахтних вод

Очищення шахтних вод є важливою складовою природоохоронної діяльності гірничодобувних підприємств. Вибір методу очищення залежить від хімічного складу вод, концентрації забруднювальних речовин, обсягів стоків та вимог до якості очищеної води.

Залежно від характеру забруднень застосовуються механічні, фізико-хімічні, хімічні та біологічні методи очищення.

Механічне очищення

Механічне очищення використовується для видалення завислих речовин, частинок породи, піску та вугілля. До основних споруд механічного очищення належать: решітки, пісколовки, відстійники, фільтри.

Під час відстоювання тверді частинки осідають під дією сили тяжіння, що дозволяє знизити каламутність води та підготувати її до подальшого очищення.

Хімічне очищення

Хімічні методи передбачають використання реагентів для нейтралізації кислотності та осадження забруднювачів.

Найбільш поширеними реагентами є:

- вапно ($Ca(OH)_2$);
- кальцинована сода ($Na_2\ CO_3$);
- гідроксид натрію (NaOH);
- коагулянти та флокулянти.

У результаті хімічних реакцій важкі метали переходять у нерозчинні форми та видаляються у вигляді осаду.

Комбіновані технології

На сучасних очисних спорудах часто застосовуються комбіновані схеми очищення, які включають кілька послідовних етапів:

1. механічне очищення;
2. нейтралізація;
3. коагуляція та флокуляція;
4. фільтрування;
5. знезараження.

Такий підхід забезпечує максимальне видалення забруднювачів та дозволяє використовувати очищену воду повторно у виробничих процесах.

2.2. Фізико-хімічні технології очищення забруднених вод

Фізико-хімічні методи належать до найбільш ефективних способів очищення шахтних вод від розчинених домішок та токсичних речовин.

Коагуляція та флокуляція

Коагуляція полягає у введенні спеціальних реагентів, які сприяють укрупненню дрібнодисперсних частинок. Після утворення пластівців вони легко видаляються шляхом відстоювання або фільтрації.

Найчастіше використовуються сульфат алюмінію, хлорид заліза, полімерні коагулянти.

Іонний обмін

Метод ґрунтується на здатності іонообмінних смол поглинати іони забруднювачів та заміщувати їх безпечними іонами.

Технологія застосовується для видалення важких металів, зниження жорсткості води, демінералізації.

Перевагою методу є висока ефективність очищення навіть за низьких концентрацій забруднювачів.

Мембранні технології

До сучасних методів очищення належать ультрафільтрація, нанофільтрація, зворотний осмос.

Мембранні установки дозволяють видаляти до 95–99 % розчинених речовин і забезпечують отримання води високої якості.

Основними недоліками є висока вартість обладнання та необхідність періодичної заміни мембран.

Адсорбційне очищення

Метод базується на здатності сорбентів поглинати забруднювачі з води.

Як сорбенти використовують активоване вугілля, цеоліти, бентонітові глини та синтетичні сорбенти.

Адсорбція ефективна для видалення органічних сполук, нафтопродуктів та деяких важких металів.

2.3 Біологічні методи очищення шахтних вод

Біологічне очищення ґрунтується на використанні мікроорганізмів та водних рослин для видалення забруднювачів із водного середовища.

Активний мул

Активний мул являє собою комплекс мікроорганізмів, які окиснюють органічні речовини та переводять їх у безпечні сполуки.

Метод широко застосовується для очищення виробничих і господарсько-побутових стоків шахтних підприємств.

Біореактори

У біореакторах створюються оптимальні умови для розвитку бактерій, здатних:

- окиснювати органічні забруднювачі;
- відновлювати сульфати;
- зв'язувати важкі метали.

Завдяки контрольованим умовам забезпечується висока стабільність процесу очищення.

Штучні болотні системи

Одним із перспективних напрямів є використання штучно створених водно-болотних угідь.

У таких системах очищення здійснюється завдяки водним рослинам, бактеріям, процесам осадження та фільтрації.

Поширеними рослинами є очерет звичайний, рогіз вузьколистий і комиш озерний.

Штучні болота дозволяють ефективно очищати шахтні води при мінімальних експлуатаційних витратах.

Біосорбція

Деякі види мікроорганізмів та водоростей здатні накопичувати важкі метали у своїх клітинах. Ця властивість використовується для очищення вод від токсичних елементів.

2.4 Технології локалізації та попередження поширення забруднення

Окрім очищення шахтних вод, важливим напрямом є запобігання їх потраплянню до природних водних об'єктів.

Гідроізоляційні бар'єри

Для локалізації забруднених вод використовуються:

- бетонні екрани;
- глиняні завіси;

- геомембрани;
- полімерні покриття.

Такі конструкції перешкоджають міграції забруднювачів у водоносні горизонти.

Дренажні системи

Система дренажів дозволяє контролювати рух підземних вод та перехоплювати забруднені потоки до їх потрапляння у природне середовище.

До складу систем входять дренажні свердловини, трубопроводи, насосні станції та накопичувальні резервуари.

Локальні очисні споруди

У місцях потенційного забруднення встановлюються локальні установки очищення, які забезпечують оперативне очищення вод безпосередньо біля джерела утворення забруднення.

Системи моніторингу

Сучасні технології передбачають використання:

- автоматичних датчиків якості води;
- дистанційного зондування;
- геоінформаційних систем (ГІС);
- езпілотних літальних апаратів.

Моніторинг у режимі реального часу дозволяє своєчасно виявляти осередки забруднення та приймати необхідні природоохоронні заходи.

2.5 Зарубіжний досвід ліквідації екологічних наслідків затоплення шахт

У багатьох країнах світу проблема затоплення шахт виникла після реструктуризації вугільної та гірничодобувної промисловості. Для мінімізації негативних екологічних наслідків були розроблені ефективні системи управління шахтними водами.

Досвід Німеччини

Після закриття значної кількості вугільних шахт у Рурському басейні було створено комплексну систему контролю рівнів шахтних вод.

Основні заходи:

- безперервний моніторинг вод;
- використання насосних станцій;
- будівництво очисних споруд;
- створення штучних водно-болотних систем.

Завдяки цьому вдалося уникнути масштабного забруднення річок та підземних вод.

Досвід Великої Британії

У Великій Британії функціонує державна програма очищення шахтних вод, яка охоплює сотні закритих шахт.

Для очищення використовуються:

- пасивні очисні системи;
- штучні болота;
- відстійники;
- аераційні установки.

Значна увага приділяється довгостроковому моніторингу стану водних ресурсів.

Досвід США

У США для боротьби з кислотним шахтним дренажем активно використовуються:

- вапнякові канали;
- анаеробні біореактори;
- системи пасивного очищення.

Особливо ефективними виявилися технології природного очищення, що дозволяють суттєво знизити експлуатаційні витрати.

Досвід Польщі

У польських вугільних басейнах впроваджено технології демінералізації шахтних вод із подальшим використанням очищеної води у промисловості.

Це дозволяє зменшити обсяги скидів та раціонально використовувати водні ресурси.

Висновки до розділу 2.

Аналіз сучасних технологій показує, що найбільш ефективним підходом до запобігання забрудненню водних об'єктів є комплексне поєднання механічних, фізико-хімічних, біологічних та інженерних методів. Світовий досвід свідчить про доцільність застосування систем моніторингу, пасивних очисних споруд та природоорієнтованих технологій. Використання таких підходів дозволяє значно знизити екологічні ризики, пов'язані із затопленням шахт, та забезпечити ефективний захист поверхневих і підземних водних ресурсів.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ І ТЕХНОЛОГІЙ ЗАПОБІГАННЯ ЗАБРУДНЕННЮ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

3.1. Характеристика об'єкта дослідження та оцінка екологічного стану території

Об'єктом дослідження є територія, що зазнає впливу шахтних вод у зоні ліквідації вугільних шахт. Такі території характеризуються значним техногенним навантаженням на компоненти довкілля, насамперед на водні ресурси, ґрунти, атмосферне повітря та природні екосистеми. Після припинення експлуатації шахт відбуваються складні гідрогеологічні процеси, пов'язані із затопленням гірничих виробок, зміною рівня підземних вод та міграцією забруднювальних речовин у навколишнє середовище.

Досліджувана територія належить до гірничопромислового району, де тривалий час здійснювався видобуток корисних копалин. Багаторічна діяльність шахт призвела до формування значної кількості техногенних об'єктів, серед яких породні відвали, хвостосховища, шахтні стволи, насосні станції та очисні споруди. Після закриття шахт частина цих об'єктів продовжує залишатися потенційними джерелами забруднення довкілля.

Кліматичні умови території є помірно континентальними. Середньорічна температура повітря становить від +7 до +10 °C, а річна кількість атмосферних опадів коливається в межах 550–700 мм. Значна частина опадів інфільтрується через породні відвали та накопичувачі відходів, що сприяє утворенню забруднених фільтраційних вод та їх проникненню у підземні горизонти.

Рельєф території переважно рівнинний або слабко хвилястий із локальними техногенними формами, утвореними внаслідок гірничих робіт. Породні відвали значно змінюють природний ландшафт і можуть досягати десятків метрів у висоту. Їх поверхня піддається водній та вітровій ерозії, що сприяє поширенню забруднювачів у навколишнє середовище.

Гідрографічна мережа представлена малими річками, струмками, ставками та штучними водоймами. Водні об'єкти використовуються для господарсько-побутових потреб, риборозведення та рекреації. Потрапляння шахтних вод до поверхневих водойм призводить до зміни їх гідрохімічного режиму, підвищення мінералізації та накопичення токсичних речовин.

Особливістю досліджуваної території є наявність складної системи підземних водоносних горизонтів. Під час роботи шахт здійснювалося постійне відкачування води, що спричиняло утворення депресійних лійок і зниження рівня ґрунтових вод. Після припинення експлуатації шахт та зупинки водовідливу починається поступове затоплення виробок, унаслідок чого відбувається підняття рівня підземних вод та зміна напрямків їх руху.

Однією з головних екологічних проблем території є забруднення водних ресурсів. Шахтні води містять значні концентрації сульфатів, хлоридів, заліза, марганцю, важких металів та завислих речовин. Унаслідок контакту води з породами відбувається розчинення мінералів і перенесення забруднювачів до поверхневих та підземних водних об'єктів.

Важливим показником екологічного стану території є якість поверхневих вод. Результати численних досліджень подібних шахтарських регіонів свідчать про перевищення гранично допустимих концентрацій сульфатів, заліза, марганцю та мінеральних солей. Особливо небезпечним є утворення кислотного шахтного дренажу, який формується внаслідок окиснення сульфідних мінералів. Такі води характеризуються низькими значеннями pH та високим вмістом розчинених металів.

Значний вплив шахтні води справляють і на стан підземних вод. Після затоплення шахт забруднювальні речовини можуть проникати у водоносні горизонти, які використовуються для питного водопостачання населення. У багатьох гірничопромислових регіонах спостерігається зростання мінералізації підземних вод та погіршення їх санітарно-гігієнічних показників.

Стан ґрунтового покриву також зазнає негативного впливу. Тривале надходження мінералізованих вод сприяє засоленню ґрунтів, зміні їх кислотності та накопиченню важких металів. Це призводить до зниження родючості земель, погіршення умов росту рослин та деградації агроландшафтів. Найбільшого впливу зазнають ділянки, розташовані поблизу породних відвалів і місць скидання шахтних вод.

Рослинний покрив території характеризується значною трансформацією. У зонах інтенсивного техногенного навантаження спостерігається зменшення видового різноманіття, пригнічення природних фітоценозів та поширення стійких до забруднення видів рослин. На породних відвалах формуються специфічні техногенні екосистеми, процес природного відновлення яких може тривати десятки років.

Тваринний світ також зазнає негативного впливу внаслідок забруднення водних об'єктів та деградації природних середовищ існування. Зниження якості води призводить до скорочення чисельності риб, безхребетних та інших водних організмів. Накопичення токсичних речовин у харчових ланцюгах створює додаткові ризики для біорізноманіття.

Оцінка екологічного стану території здійснюється на основі аналізу комплексу показників, до яких належать якість поверхневих і підземних вод, стан ґрунтів, атмосферного повітря, рослинності та рівень техногенного навантаження. Для цього використовуються результати лабораторних досліджень, дані екологічного моніторингу, дистанційного зондування Землі та геоінформаційних систем.

За результатами оцінки територію можна віднести до категорії екологічно напружених районів із підвищеним рівнем антропогенного навантаження. Основними екологічними ризиками залишаються забруднення водних ресурсів, підтоплення територій після затоплення шахт, деградація ґрунтів та порушення природних екосистем.

Для покращення екологічного стану необхідним є впровадження комплексу природоохоронних заходів, зокрема очищення шахтних вод,

будівництво сучасних очисних споруд, рекультивація порушених земель, створення систем постійного моніторингу та використання геоінформаційних технологій для прогнозування екологічних ризиків. Реалізація таких заходів дозволить мінімізувати негативний вплив ліквідованих шахт на навколишнє середовище та забезпечити екологічну безпеку території.

3.2. Розробка технологічної схеми очищення шахтних вод

Шахтні води, що утворюються внаслідок затоплення гірничих виробок, характеризуються високою мінералізацією та значним вмістом завислих речовин, сульфатів, сполук заліза, марганцю, важких металів, нафтопродуктів і токсичних домішок. Скидання таких вод без попереднього очищення призводить до погіршення якості поверхневих і підземних вод, деградації водних екосистем та підвищення екологічних ризиків. Тому важливим завданням є розробка ефективної технологічної схеми очищення шахтних вод, яка забезпечить зниження концентрації забруднювальних речовин до нормативних показників.

При розробці технологічної схеми враховуються:

- хімічний склад шахтних вод;
- рівень мінералізації;
- концентрація важких металів;
- кислотність вод;
- наявність завислих речовин;
- необхідна продуктивність очисної системи;
- умови подальшого скидання або повторного використання води.

Для очищення шахтних вод доцільно застосовувати комбіновану систему, яка поєднує механічні, фізико-хімічні та біологічні методи очищення. Такий підхід дозволяє забезпечити високу ефективність видалення різних груп забруднювачів.

Основні етапи очищення шахтних вод

1. Механічне очищення

На першому етапі здійснюється видалення грубодисперсних домішок, завислих речовин та механічних частинок. Для цього використовуються решітки, пісколовки і відстійники.

Решітки забезпечують затримання великих механічних домішок, а у відстійниках відбувається осадження завислих частинок під дією сили тяжіння. Механічне очищення дозволяє зменшити навантаження на наступні стадії очищення.

2. Аерація шахтних вод

Після механічного очищення вода надходить до аераційної установки, де здійснюється насичення води киснем. Аерація необхідна для:

- окиснення двовалентного заліза до тривалентного;
- видалення сірководню;
- зниження концентрації розчинених газів;
- покращення умов подальшого осадження металів.

У процесі аерації відбувається утворення нерозчинних гідроксидів заліза, які можуть бути видалені на наступних етапах очищення.

3. Реагентне очищення

Для нейтралізації кислотності та осадження важких металів застосовується реагентна обробка шахтних вод. Найчастіше використовують вапняне молоко, гідроксид натрію, коагулянти та флокулянти.

Підвищення рівня pH сприяє осадженню заліза, марганцю, міді, цинку, свинцю, кадмію.

Коагулянти та флокулянти прискорюють процес утворення пластівців і покращують осадження завислих речовин.

4. Відстоювання та осадження

Після реагентної обробки вода надходить у вторинний відстійник, де відбувається осадження утворених пластівців та гідроксидів металів. Осад, який накопичується у відстійниках, підлягає зневодненню та подальшій утилізації.

Для зменшення об’єму осаду можуть використовуватися мулові майданчики, фільтр-преси та центрифуги.

5. Фільтрація

На стадії доочищення застосовується фільтрація через:

- піщані фільтри;
- сорбційні фільтри;
- вугільні фільтри.

Фільтрація забезпечує видалення дрібнодисперсних частинок, залишкових сполук металів та органічних домішок.

Для сорбції токсичних речовин можуть використовуватися:

- активоване вугілля;
- цеоліти;
- природні сорбенти.

6. Біологічне очищення

За наявності органічних забруднювачів або підвищеного вмісту амонійного азоту доцільно застосовувати біологічні методи очищення. Для цього використовують біофільтри, штучні біоплато та аеротенки.

Біологічне очищення сприяє:

- зниженню концентрації органічних речовин;
- видаленню азотних сполук;
- покращенню екологічних показників води.

7. Знезараження очищеної води

Перед скиданням у поверхневі водойми очищена вода проходить стадію знезараження. Для цього можуть застосовуватися:

- ультрафіолетове випромінювання;
- озонування;
- хлорування.

Знезараження забезпечує знищення патогенних мікроорганізмів та запобігає біологічному забрудненню водних об’єктів.

На рисунку 1.1. запропонована технологічна схема очищення шахтних вод.

Процес очищення шахтних вод починається з надходження забруднених вод із шахтних виробок у приймальний резервуар. У приймальному резервуарі відбувається накопичення та вирівнювання витрати води, що забезпечує стабільну роботу всієї очисної системи. Далі шахтні води направляються на механічне очищення.

На стадії механічного очищення вода проходить через решітки, де затримуються великі механічні домішки, такі як уламки породи, деревина, сміття та інші тверді частинки. Після цього вода надходить у пісколовку, в якій осідають важкі мінеральні частинки — пісок, шлам та інші завислі речовини.

Наступним етапом є первинне відстоювання. У первинному відстійнику швидкість руху води зменшується, внаслідок чого дрібнодисперсні завислі речовини осідають на дно у вигляді осаду. Частково освітлена вода після цього подається до аераційної установки.

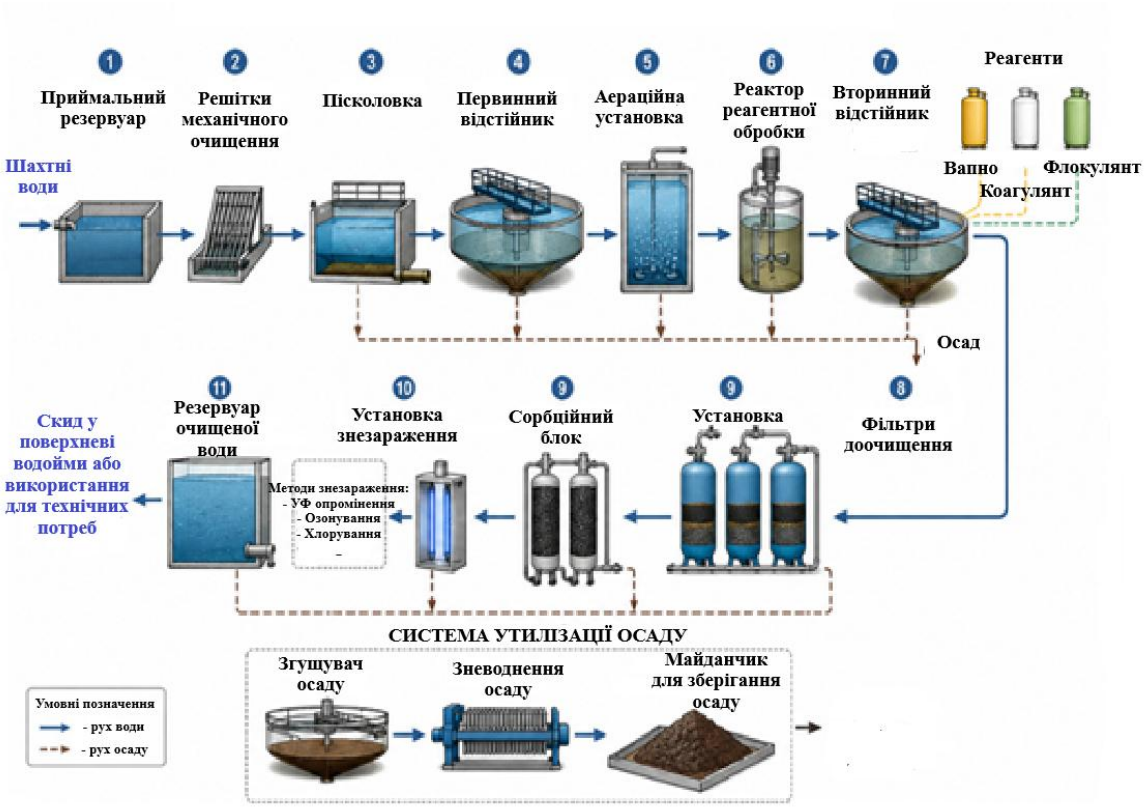


Рисунок 3.1 – Технологічна схема очищення шахтних вод

В аераційній установці здійснюється насичення води киснем повітря. Аерація сприяє окисненню двовалентного заліза до тривалентного, видаленню сірководню та інших розчинених газів. У результаті утворюються нерозчинні сполуки заліза, які можуть бути видалені під час подальшого очищення.

Після аерації вода надходить у реактор реагентної обробки. На цьому етапі до шахтних вод додаються реагенти:

- вапно;
- коагулянти;
- флокулянти.

Вапно використовується для нейтралізації кислотності шахтних вод та підвищення рівня pH. У результаті цього важкі метали переходять у нерозчинний стан і випадають в осад. Коагулянти та флокулянти сприяють укрупненню дрібних частинок та утворенню пластівців, які легше осаджуються.

Після реагентної обробки вода надходить у вторинний відстійник, де відбувається осадження утворених пластівців, гідроксидів металів та інших забруднювальних речовин. Осад, який накопичується на дні відстійника, видаляється та направляється до системи утилізації осаду.

Освітлена вода далі проходить через систему фільтрів доочищення. На цій стадії видаляються залишкові завислі речовини та дрібнодисперсні домішки. Для підвищення ефективності очищення застосовуються піщані та сорбційні фільтри.

У сорбційному блоці вода очищується від залишкових органічних забруднювачів, нафтопродуктів та токсичних сполук. Як сорбенти можуть використовуватися активоване вугілля, цеоліти або інші природні матеріали.

Після доочищення вода надходить на стадію знезараження. Для знищення патогенних мікроорганізмів можуть застосовуватися:

- ультрафіолетове опромінення;
- озонування;

- хлорування.

Очищена та знезаражена вода накопичується у резервуарі очищеної води, після чого може скидатися у поверхневі водойми або використовуватися для технічних потреб підприємства.

Осад, що утворюється у процесі очищення, надходить до системи утилізації. Спочатку він подається у згущувач осаду, де зменшується вміст води. Після цього осад проходить стадію зневоднення за допомогою фільтр-пресів або центрифуг. Зневоднений осад направляється на спеціальний майданчик для зберігання та подальшої утилізації або захоронення відповідно до вимог природоохоронного законодавства.

Запропонована технологічна схема забезпечує комплексне очищення шахтних вод від механічних, хімічних та органічних забруднювачів, що дозволяє суттєво зменшити негативний вплив на водні об’єкти та підвищити рівень екологічної безпеки територій, які зазнали впливу затоплення шахт.

Ефективність очищення за такої схеми може становити:

- для завислих речовин — до 95 %;
- для заліза — 90–98 %;
- для важких металів — 85–95 %;
- для нафтопродуктів — до 90 %.

Використання комбінованих методів очищення забезпечує комплексне видалення забруднювачів та дозволяє мінімізувати негативний вплив шахтних вод на водні екосистеми. Крім того, очищені шахтні води можуть частково використовуватися для технічних потреб або повторного водопостачання промислових підприємств, що сприяє раціональному використанню водних ресурсів.

3.3. Обґрунтування вибору очисного обладнання та технологій

Вибір технологій та обладнання для очищення шахтних вод здійснюється з урахуванням їх фізико-хімічного складу, рівня мінералізації, концентрації завислих речовин, важких металів, сульфатів та інших забруднювачів. Особливістю шахтних вод є наявність значної кількості токсичних компонентів, висока кислотність та нестабільність хімічного складу, що потребує застосування комплексних методів очищення.

Для забезпечення ефективного очищення шахтних вод у роботі запропоновано комбіновану технологічну схему, яка включає механічне, фізико-хімічне та сорбційне очищення. Такий підхід дозволяє досягти високого ступеня видалення забруднювальних речовин та забезпечити відповідність очищеної води екологічним нормативам.

3.3.1. Обґрунтування механічного очищення

Механічне очищення є базовим та обов’язковим етапом у системі підготовки стічних або шахтних вод перед подальшими фізико-хімічними чи біологічними методами обробки. Його основне призначення полягає у видаленні з води грубодисперсних і завислих домішок мінерального та органічного походження, які надходять у водні потоки в процесі видобутку корисних копалин, руйнування гірських порід, змиву порід із поверхні виробок та роботи технологічного обладнання.

До основних забруднювачів, які ефективно видаляються на стадії механічного очищення, належать пісок, глина, шлам, частинки породи, окалина та інші зважені речовини з відносно великим розміром частинок. Їх присутність у воді призводить до підвищення мутності, абразивного зношування насосного та трубопровідного обладнання, засмічення комунікацій, а також зниження ефективності наступних стадій очищення.

Застосування механічних методів (решітки, пісколовки, відстійники, гідроциклони, фільтри грубої очистки) дозволяє значно зменшити навантаження на реагентні та біологічні етапи очищення. Зокрема, зниження концентрації завислих речовин на початковому етапі забезпечує зменшення витрат коагулянтів і флокулянтів, підвищує ефективність осадження та покращує стабільність роботи всієї очисної системи.

Крім того, механічне очищення є енергетично та економічно доцільним, оскільки не потребує значних витрат реагентів і може працювати в безперервному режимі з мінімальним обслуговуванням. Воно також виконує функцію захисту обладнання від передчасного зносу, що особливо важливо в умовах високої абразивності шахтних вод.

Таким чином, механічне очищення є критично важливим первинним етапом водоочисних технологій, який забезпечує ефективність, надійність та економічну доцільність подальших стадій очищення стічних вод.



Рисунок 3.2 – Схема механічного очищення шахтних вод

Схема механічного очищення стічних (або шахтних) вод (рис. 3.2) зазвичай описує послідовне видалення грубодисперсних і завислих домішок без застосування реагентів. Її можна пояснити як технологічний ланцюг, де вода поступово проходить кілька ступенів очищення.

Спочатку стічна вода надходить у приймальний резервуар або камеру вирівнювання витрати. Це потрібно для того, щоб згладити коливання об’єму та концентрації забруднень.

Далі потік спрямовується на решітки (або сита), де затримуються великі механічні домішки: гілки, пластик, шматки породи, сміття. Це перший бар’єр грубого очищення.

Після цього вода надходить у пісколовки (піскоуловлювачі). Тут під дією зменшення швидкості потоку осідають важкі мінеральні частинки — пісок, шлам, дрібний кам’яний матеріал. Це важливо для захисту насосів і подальшого обладнання від абразивного зносу.

Наступний етап — відстійники (первинні відстійні споруди). У них відбувається осадження завислих речовин більш дрібної фракції під дією сили тяжіння. У результаті утворюється осад (шлам), який періодично видаляється.

Освітлена вода після відстоювання може додатково проходити через фільтри (піщані або мультимедійні), де затримуються залишкові дрібні частинки, після чого спрямовується на подальше очищення (наприклад, реагентне, біологічне або скидання у водойму — залежно від вимог).

Осад із решіток, пісколовок і відстійників окремо збирається, зневоднюється (на майданчиках або в ущільнювачах) і вивозиться або утилізується.

3.3.2. Обґрунтування застосування аераційної установки

Аераційні установки застосовують у системах очищення стічних та шахтних вод для інтенсифікації процесів окиснення органічних і неорганічних забруднювальних речовин, а також для покращення фізико-хімічних і гідравлічних характеристик водного середовища.

Основною причиною впровадження аерації є необхідність підвищення концентрації розчиненого кисню у воді. Це створює умови для перебігу

аеробних біохімічних процесів, у ході яких органічні речовини окиснюються до менш токсичних сполук (вуглекислий газ, вода, нітрати тощо). Без достатньої кількості кисню ці процеси або різко уповільнюються, або переходять в анаеробні, що супроводжується утворенням сірководню, метану та інших небажаних газів.

У випадку шахтних вод аерація має додаткове технологічне значення: вона сприяє окисненню розчиненого двовалентного заліза (Fe^{2+}) до тривалентного (Fe^{3+}), марганцю та інших металів, що переходять у нерозчинні форми і можуть бути видалені шляхом подальшого відстоювання або фільтрації. Це суттєво знижує загальну мінералізацію та покращує прозорість води.

Крім хімічних ефектів, аерація виконує й фізичну функцію — перемішування води, запобігання застійним зонам, осадженню завислих речовин у небажаних ділянках та утворенню відкладень у трубопроводах і резервуарах.

Застосування аераційних систем також підвищує ефективність подальших етапів очищення (коагуляції, відстоювання, фільтрації), оскільки окиснені домішки легше агрегуються та видаляються.

Таким чином, впровадження аераційної установки є технологічно та екологічно доцільним, оскільки забезпечує:

- підвищення ефективності очищення води;
- стабілізацію гідрохімічного складу;
- зниження токсичності та запахів;
- покращення роботи наступних ступенів очищення.

Схема спрощеної аераційної установки наведена на рисунку 3,3.



Рисунок 3.3 – Схема аераційної установки для очищення стічних (шахтних) вод

Схема аераційної установки призначена для очищення стічних (зокрема шахтних) вод шляхом насичення їх киснем, окиснення розчинених домішок та подальшого видалення осаду. Робота установки відбувається послідовно у декілька етапів.

На першому етапі стічна або шахтна вода надходить до рівномірювального резервуара. Його призначення полягає у вирівнюванні витрати та концентрації забруднень. Це дозволяє забезпечити стабільну роботу всіх наступних елементів системи очищення.

Далі за допомогою насосної станції вода подається до аераційного бака. У цій споруді відбувається основний процес очищення. Через систему дифузорів у нижній частині бака подається стиснене повітря від повітродувки (компресора). Утворюються дрібні бульбашки, які інтенсивно перемішують воду та насичують її киснем.

Під час аерації відбуваються процеси окиснення розчинених домішок. Зокрема, двовалентне залізо Fe^{2+} переходить у тривалентну форму Fe^{3+} з утворенням нерозчинного гідроксиду заліза $Fe(OH)_3$. Аналогічно окиснюються сполуки марганцю та частина органічних речовин. У результаті

утворюються пластівці осаду, які можуть бути видалені на наступних стадіях очищення.

Після аераційного бака вода надходить до відстійника. Тут швидкість руху потоку зменшується, що забезпечує осадження утворених завислих речовин і гідроксидів металів на дно споруди. Освітлена вода переливається у верхній частині відстійника та спрямовується на подальше очищення.

Наступною стадією є фільтрація у піщаному фільтрі. У фільтрувальному матеріалі затримуються залишкові дрібнодисперсні частинки, які не осіли у відстійнику. Після цього вода вважається очищеною та може бути скинута у водойму або використана повторно у технологічному процесі.

Осад, який накопичується у відстійнику, транспортується до резервуара для шламу. Після цього він надходить на установку зневоднення (наприклад, фільтр-прес), де з нього видаляється надлишкова волога. Зневоднений осад вивозиться або утилізується відповідно до екологічних вимог.

Таким чином, аераційна установка забезпечує:

- насичення води киснем;
- окиснення сполук заліза та марганцю;
- видалення завислих речовин;
- покращення якості води перед скиданням або повторним використанням;
- зменшення екологічного навантаження на водні об’єкти.

3.3.3. Обґрунтування реагентного очищення

Реагентне очищення є ключовим етапом технології обробки шахтних вод, оскільки саме воно забезпечує видалення основної частини розчинених токсичних компонентів, важких металів та нейтралізацію кислотності. Шахтні води, особливо після затоплення виробок, характеризуються низьким pH (часто 2,5–6,0), високою концентрацією іонів Fe^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} , а також

сульфатів і хлоридів. У таких умовах механічні методи очищення є недостатніми, тому необхідне хімічне осадження забруднювачів.

Реагентне очищення базується на введенні у воду спеціальних хімічних реагентів, які змінюють фізико-хімічний стан забруднювачів:

- переводять розчинені форми металів у нерозчинні гідроксиди;
- нейтралізують кислотність;
- сприяють коагуляції та флокуляції дрібнодисперсних частинок.

Основним реагентом є вапняне молоко $Ca(OH)_2$, яке підвищує pH середовища та створює умови для осадження металів.

Основні хімічні процеси

1. *Нейтралізація кислотності:*

$$H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$$

2. Осадження заліза:

$$Fe^{2+} + 2OH^- \rightarrow Fe(OH)_2 \downarrow$$

$$4Fe(OH)_2 + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3 \downarrow$$

3. Осадження важких металів:

$$Me^{2+} + 2OH^- \rightarrow Me(OH)_2 \downarrow$$

де Me — Cu, Zn, Pb, Cd тощо).

Кожний реагент виконує свою технологічну роль. Наприклад, *вапняне молоко* нейтралізує кислий шахтний дренаж, підвищує pH до оптимальних значень 8,0–9,5, а також осаджує іони металів.

Коагулянти $(FeCl_3$, $Al_2 (SO_4)_3)$ дестабілізують колоїдні системи та сприяють агрегації дрібних частинок.

Флокулянти (поліакриламіди) формують великі пластівці, прискорюють осадження та зменшують каламутність води.

Переваги реагентного очищення

- висока ефективність видалення металів (до 95–99%);
- універсальність (працює при різному складі вод); \
- можливість обробки великих об’ємів;

– швидкість процесу;

– стабільність результатів навіть при коливаннях складу шахтних вод.

Недоліками даного методу є:

– утворення значної кількості осаду;

– потреба у реагентах та їх дозуванні;

– необхідність подальшої утилізації шламів.

Схема установки реагентного очищення шахтних вод зображена на рисунку 3.4.

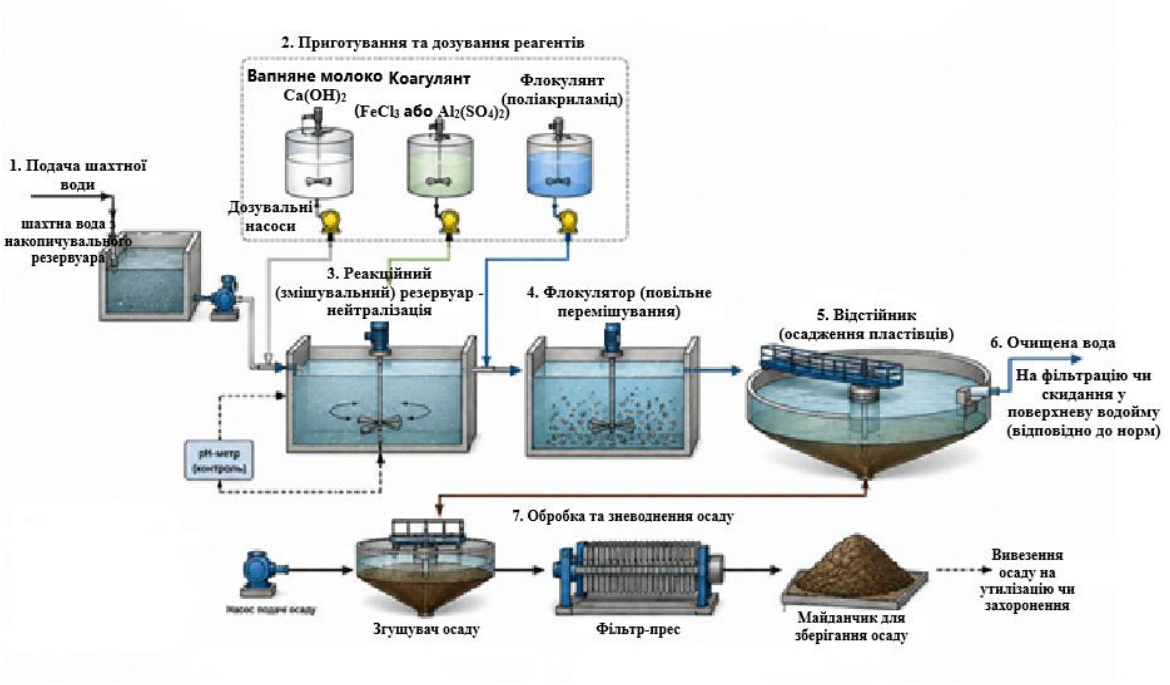


Рисунок 3.4 – Схема установки реагентного очищення шахтних вод

Запропонована схема реагентного очищення шахтних вод відображає комплексний багатостадійний процес, який включає підготовку реагентів, змішування з шахтною водою, фізико-хімічні реакції, утворення осаду та його подальшу обробку із отриманням очищеної води.

1. Подача шахтної води

Процес починається з надходження шахтної води з накопичувального резервуара до очисної системи за допомогою насосного обладнання. На цьому етапі здійснюється первинне вирівнювання витрати та стабілізація подачі води для забезпечення рівномірної роботи всієї установки.

2. Приготування та дозування реагентів

У спеціальних ємностях готуються основні реагенти:

- вапняне молоко ($Ca(OH)_2$) для нейтралізації кислотності;
- коагулянти (наприклад, $FeCl_3$ або $Al_2(SO_4)_3$) для дестабілізації колоїдів;
- флокулянти (поліакриламід) для укрупнення частинок.

Кожен реагент подається дозувальними насосами у строго контрольованих кількостях, що забезпечує оптимальний хімічний режим очищення.

3. Реакційний (змішувальний) резервуар – нейтралізація

Шахтна вода надходить у реактор, де відбувається інтенсивне перемішування з реагентами. Основні процеси на цьому етапі:

- нейтралізація кислотності (підвищення pH);
- осадження іонів важких металів у вигляді нерозчинних гідроксидів;
- початкове утворення мікропластівців.

Контроль pH є критично важливим для ефективності процесу.

4. Флокулятор (повільне перемішування)

Після реактора вода надходить у флокулятор, де відбувається повільне перемішування. Це сприяє:

- укрупненню дрібних частинок;
- формуванню стійких пластівців (флокул);
- підвищенню швидкості подальшого осадження.

5. Відстійник (осадження пластівців)

У відстійнику відбувається гравітаційне осадження утворених флокул. Тверді частинки осідають на дно у вигляді осаду, а освітлена вода піднімається у верхню частину резервуара.

6. Отримання очищеної води

Освітлена вода відводиться з верхньої частини відстійника та може бути направлена на доочищення (фільтрацію) або скинута у поверхневі водні об’єкти відповідно до нормативів.

На цьому етапі відбувається основне зниження концентрації забруднювачів.

7. Обробка та зневоднення осаду

Осад, що утворився у відстійнику, подається на систему обробки, яка включає:

- згущувач осаду;
- фільтр-прес для зневоднення;
- майданчик тимчасового зберігання.

У результаті зменшується вологість осаду, після чого він може бути утилізований або захоронений відповідно до екологічних вимог.

Схема демонструє повний замкнений цикл очищення шахтних вод, який включає:

- хімічну нейтралізацію;
- коагуляцію та флокуляцію;
- механічне осадження;
- зневоднення відходів.

Застосування такої технології дозволяє досягти високої ефективності очищення (до 90–99% видалення важких металів і завислих речовин) та мінімізувати негативний вплив шахтних вод на водні екосистеми.

3.3.4. Обґрунтування використання вторинних відстійників

Вторинні відстійники є важливим елементом систем очищення стічних та шахтних вод і застосовуються для остаточного видалення завислих речовин, осаду та продуктів окиснення після основних стадій очищення, зокрема після аерації або біологічного очищення.

Основне призначення вторинних відстійників полягає у відокремленні твердих частинок від освітленої води шляхом гравітаційного осадження. Після проходження процесів аерації у воді утворюється значна кількість

пластівців гідроксидів заліза, марганцю, активного мулу та інших завислих речовин. Якщо ці домішки не видалити, вони можуть потрапляти у водойми або перевантажувати наступні стадії очищення.

У вторинному відстійнику швидкість руху води значно знижується, що створює умови для осадження завислих частинок під дією сили тяжіння. Осад накопичується на дні споруди та періодично видаляється для подальшого зневоднення і утилізації. Освітлена вода відводиться через переливні лотки до наступних етапів очищення або скиду.

Використання вторинних відстійників забезпечує:

- зниження концентрації завислих речовин;
- видалення продуктів окиснення заліза та марганцю;
- зменшення каламутності води;
- підвищення ефективності подальшої фільтрації;
- стабілізацію роботи всієї очисної системи.

Особливо важливим є застосування вторинних відстійників у схемах очищення шахтних вод, оскільки після аерації у воді утворюється велика кількість нерозчинних сполук металів. Без ефективного відстоювання ці частинки можуть спричиняти замулення фільтрів, зниження пропускної здатності трубопроводів та погіршення якості очищеної води.

Крім технологічних переваг, вторинні відстійники мають і економічне значення. Вони дозволяють знизити навантаження на фільтрувальне обладнання, зменшити витрати реагентів та підвищити довговічність систем очищення.

Таким чином, застосування вторинних відстійників є технічно та екологічно обґрунтованим рішенням, яке забезпечує ефективне видалення осаду та покращення якості очищеної води відповідно до екологічних нормативів.



Рисунок 3.5 – Схема очищення стічних (шахтних) вод з використанням вторинних відстійників

Схема очищення стічних (шахтних) вод із використанням вторинних відстійників (рис. 3.5) демонструє послідовний процес видалення механічних та хімічних забруднень із води. Основною метою установки є окиснення розчинених домішок, осадження завислих речовин та отримання очищеної води, придатної для скиду або повторного використання.

На першому етапі стічна або шахтна вода надходить до рівномірювального резервуара. Ця споруда необхідна для стабілізації витрати води та вирівнювання концентрації забруднювальних речовин. Завдяки цьому забезпечується рівномірна робота всіх наступних елементів системи очищення.

Із резервуара вода насосною станцією подається до аераційного бака. У нижній частині бака встановлені дифузори, через які від компресора (повітродувки) подається повітря. Під час проходження дрібних бульбашок через воду відбувається її інтенсивне перемішування та насичення киснем.

У процесі аерації здійснюється окиснення розчинених сполук заліза та марганцю. Двовалентне залізо Fe^{2+} переходить у тривалентну форму Fe^{3+}, унаслідок чого утворюється нерозчинний осад гідроксиду заліза $Fe(OH)_3$.

Аналогічно окиснюються інші домішки та частково органічні речовини. Це створює умови для подальшого ефективного відокремлення забруднень.

Після аерації вода надходить до вторинного відстійника. У цій споруді швидкість руху потоку значно зменшується, завдяки чому завислі речовини, продукти окиснення металів та активний мул осідають на дно. Осад збирається у нижній частині відстійника та періодично видаляється.

Освітлена вода з верхньої частини вторинного відстійника спрямовується на піщаний фільтр. У фільтрі затримуються залишкові дрібнодисперсні частинки, які не були видалені під час відстоювання. Після проходження фільтра вода вважається очищеною та може бути скинута у водойму або використана повторно у виробничому процесі.

Осад із вторинного відстійника транспортується до резервуара для шламу. Далі він надходить на установку зневоднення, наприклад фільтр-прес, де відбувається видалення надлишкової вологи. Після зневоднення осад вивозиться або утилізується відповідно до екологічних вимог.

Таким чином, використання вторинних відстійників у схемі очищення забезпечує:

- ефективне видалення завислих речовин;
- осадження продуктів окиснення металів;
- зменшення каламутності води;
- покращення роботи фільтрів;
- підвищення загальної ефективності очищення стічних та шахтних вод.

3.3.5. Обґрунтування вибору фільтраційного обладнання

Фільтраційне обладнання є завершальним та одним із найважливіших етапів очищення стічних і шахтних вод, оскільки саме на цій стадії забезпечується видалення залишкових завислих речовин, продуктів окиснення металів та дрібнодисперсних домішок, які не були повністю усунуті у відстійниках.

Після процесів аерації та відстоювання у воді можуть залишатися дрібні частинки гідроксидів заліза $Fe(OH)_3$, оксидів марганцю, мулу та інших механічних домішок. Наявність цих речовин погіршує прозорість води, підвищує каламутність та може призводити до перевищення нормативних показників якості очищених стічних вод. Саме тому застосування фільтраційного обладнання є технологічно необхідним.

Для очищення шахтних та стічних вод доцільним є використання піщаних або мультимедійних фільтрів. Такі установки характеризуються:

- високою ефективністю затримання дрібнодисперсних частинок;
- простотою конструкції та експлуатації;
- надійністю роботи;
- можливістю автоматичного промивання;
- невеликими експлуатаційними витратами.

Принцип роботи фільтра полягає у проходженні води через шар зернистого фільтрувального матеріалу. Під час фільтрації завислі речовини затримуються у порах завантаження, а очищена вода відводиться до резервуара чистої води або на скид у водойму.

У якості фільтрувального матеріалу найчастіше використовують:

- кварцовий пісок;
- антрацит;
- гравій;
- багатошарові завантаження.

Піщані фільтри особливо ефективні після аераційного очищення, оскільки добре затримують пластівці окисненого заліза та марганцю. Для підвищення якості очищення можуть застосовуватись мультимедійні фільтри, які складаються з декількох шарів матеріалів різної щільності та гранулометричного складу.

Вибір саме такого фільтраційного обладнання обумовлений також його екологічною та економічною доцільністю. Фільтри дозволяють:

- знизити концентрацію завислих речовин до нормативних значень;

- покращити прозорість і якість води;
- зменшити вміст сполук заліза та марганцю;
- забезпечити стабільну роботу всієї системи очищення;
- скоротити витрати на додаткове реагентне очищення.

Крім того, сучасні фільтраційні установки можуть працювати в автоматичному режимі, що спрощує експлуатацію та зменшує потребу у постійному обслуговуванні.

Таким чином, застосування фільтраційного обладнання є обов'язковою складовою комплексної системи очищення стічних та шахтних вод, оскільки воно забезпечує досягнення необхідних показників якості очищеної води та підвищує загальну ефективність очисної системи.



Рисунок 3.6 – Схема фільтраційного очищення стічних вод

Схема фільтраційного очищення стічних (рис. 3.6) вод відображає послідовний процес видалення механічних та розчинених забруднюючих речовин із використанням кількох ступенів очищення.

На першому етапі стічні води надходять у систему очищення. Потік забрудненої води містить завислі речовини, органічні домішки, дрібнодисперсні частинки та інші забруднювачі.

Далі стічні води подаються на механічне очищення, де відбувається видалення крупних домішок і завислих частинок. Для цього можуть використовуватися решітки, сита або відстійники. Механічне очищення дозволяє зменшити навантаження на подальші ступені фільтрації та підвищити ефективність роботи обладнання.

Після механічного очищення вода надходить до піщаного фільтра. У цьому фільтрі затримуються дрібні завислі частинки, які не були видалені на

попередньому етапі. Фільтрація через шар кварцового піску забезпечує освітлення води та зниження концентрації механічних домішок.

Наступним етапом є сорбційне очищення у вугільному фільтрі. Активоване вугілля поглинає залишкові органічні речовини, нафтопродукти, запахи та окремі токсичні компоненти. Завдяки високій сорбційній здатності вугільні фільтри забезпечують доочищення води до нормативних показників.

На завершальному етапі отримують очищену воду, яка може бути повторно використана у виробничому циклі або скинута у водний об’єкт відповідно до екологічних нормативів.

Застосування багатоступеневої системи фільтрації забезпечує високу ефективність очищення стічних вод, підвищує надійність роботи очисних споруд та сприяє зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

3.3.6. Обґрунтування знезараження води

Для знезараження очищеної води обрано ультрафіолетове опромінення. Даний метод має такі переваги:

- висока ефективність знищення мікроорганізмів;
- відсутність токсичних побічних продуктів;
- екологічна безпечність;
- простота експлуатації.

Ультрафіолетове знезараження не змінює хімічний склад води та не потребує використання великої кількості хімічних реагентів.

3.3.7. Обґрунтування системи утилізації осаду

Система утилізації осаду є невід’ємною складовою комплексу очищення стічних вод, оскільки в процесі механічного, фізико-хімічного та біологічного очищення утворюється значна кількість осадів, які містять

органічні речовини, мінеральні домішки, важкі метали та інші забруднювачі. Неправильне поводження з осадом може призвести до вторинного забруднення ґрунтів, поверхневих і підземних вод, а також атмосферного повітря.

Основною метою системи утилізації осаду є зменшення його об’єму, стабілізація складу, зниження вологості та забезпечення екологічно безпечного видалення або повторного використання.

На першому етапі осад, що утворюється у відстійниках та фільтраційних установках, збирається у спеціальних резервуарах-ущільнювачах. Ущільнення дозволяє зменшити вміст води та скоротити об’єм осаду, що значно знижує витрати на його подальшу обробку.

Після ущільнення осад надходить на зневоднення. Для цього можуть використовуватись фільтр-преси, центрифуги, вакуум-фільтри та шнекові дегідратори.

Найбільш ефективним рішенням для промислових підприємств є застосування фільтр-пресів, оскільки вони забезпечують високу ступінь зневоднення, зменшують масу осаду та спрощують його транспортування.

Після зневоднення осад може піддаватися стабілізації або сушінню. Це дозволяє знизити вміст органічних речовин, усунути неприємні запахи та зменшити ризик розвитку патогенних мікроорганізмів.

Схема системи утилізації осаду (рис. 3.7.) відображає послідовність основних етапів обробки осаду, що утворюється під час очищення стічних вод на промислових підприємствах. У верхній частині схеми показано процес утворення осаду у відстійниках та фільтраційних установках очисних споруд. Саме на цьому етапі формуються тверді та напіврідкі відходи, які містять органічні речовини, мінеральні домішки та інші забруднювачі.

Далі осад надходить до резервуарів-ущільнювачів, де відбувається його ущільнення. Цей процес забезпечує зменшення вмісту води та скорочення загального об’єму осаду, що дозволяє знизити витрати на подальшу обробку і транспортування.

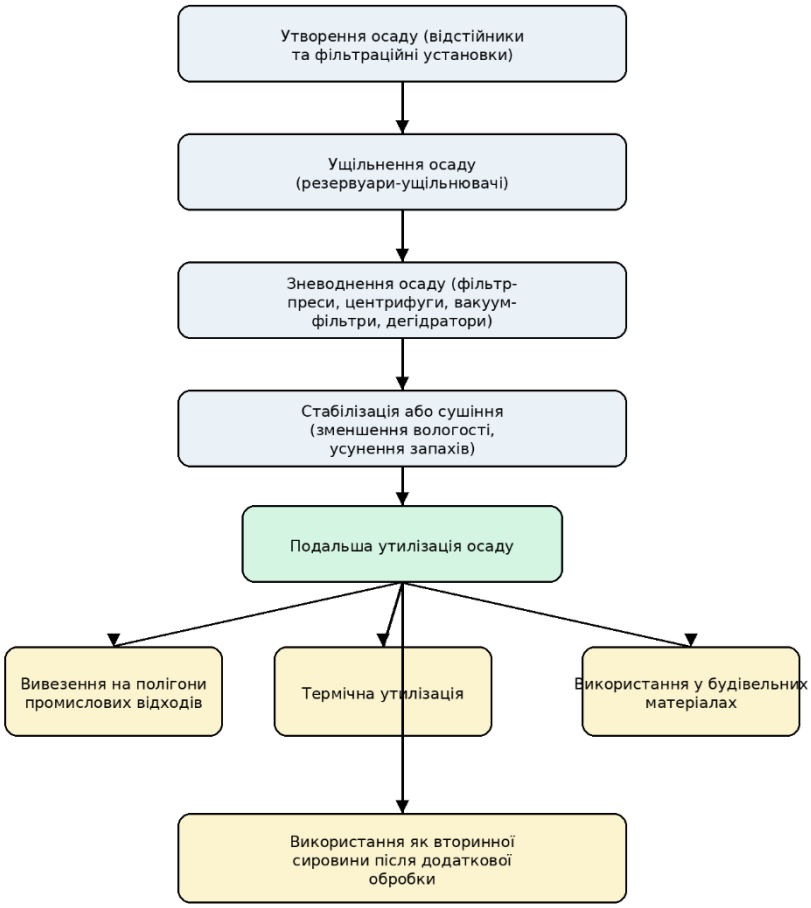


Рисунок 3.7 – Схема системи утилізації осаду

Наступним етапом є зневоднення осаду. На схемі зазначено, що для цього використовуються фільтр-преси, центрифуги, вакуум-фільтри або шнекові дегідратори. У результаті зневоднення значно зменшується вологість осаду та його маса, що підвищує ефективність подальшої утилізації.

Після зневоднення осад проходить стадію стабілізації або сушіння. На цьому етапі зменшується вміст органічних речовин, усуваються неприємні запахи та знижується ризик розвитку патогенних мікроорганізмів. Це забезпечує екологічну безпеку подальшого поводження з відходами.

У центральній частині схеми показано блок «Подальша утилізація осаду», від якого відходять основні напрями поводження з осадом. До них належать:

- вивезення на полігони промислових відходів;
- термічна утилізація;
- використання у виробництві будівельних матеріалів;
- застосування як вторинної сировини після додаткової обробки.

У нижній частині схеми наведено основні переваги впровадження системи утилізації осаду. До них належать зменшення негативного впливу на довкілля, скорочення обсягів відходів, підвищення ефективності роботи очисних споруд та забезпечення відповідності сучасним екологічним нормативам і вимогам сталого природокористування.

3.4. Інженерно-технологічні розрахунки системи очищення шахтних вод

Для забезпечення ефективної роботи запропонованої системи очищення шахтних вод необхідно виконати інженерно-технологічні розрахунки основних елементів очисної системи. Розрахунки дозволяють визначити продуктивність споруд, потребу в реагентах, параметри аерації, ефективність очищення та кількість утвореного осаду.

Для розрахунків приймаємо умовну продуктивність очисної системи:

$$Q_{\text{доб}} = 500\,{}^{\text{м}^3}\!/_{\text{добу}}$$

Годинна витрата води:

$$Q_{\text{год}} = \frac{500}{24} = 20.8\,{}^{\text{м}^3}\!/_{\text{год}}$$

3.4.1. Розрахунок механічного очищення

Механічне очищення включає решітки, пісколовки та первинний відстійник. Основним розрахунковим елементом є відстійник.

Визначення об’єму первинного відстійника

Час відстоювання для шахтних вод приймаємо:

t = 2 год

Об’єм відстійника:

$V = Q \cdot t$

де: V - об’єм відстійника, м³;

Q - витрата води, м³/год;

t - час відстоювання, год.

Підставляємо значення:

$V = 20{,}8 \times 2 = 41{,}6$ м^3

Приймаємо відстійник об’ємом:

V=45 м^3

Ефективність механічного очищення

Концентрація завислих речовин:

- до очищення: C_1=350 мг/л
- після очищення: C_2=140 мг/л

Ефективність очищення:

$$\eta = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \cdot 100\%$$

$$\eta = \frac{350 - 140}{350} \cdot 100 = 60\%$$

Отже, механічне очищення забезпечує видалення приблизно 60 % завислих речовин.

3.4.2. Розрахунок аераційної установки

Розрахунок аерації

Аерація необхідна для окиснення сполук заліза, марганцю та видалення сірководню.

Розрахунок потреби в кисні

Приймаємо:

- необхідна концентрація кисню: $C_н$ = 8 мг/л
- фактична концентрація: Сф = 2 мг/л
- коефіцієнт окиснення: k=1,2

$$G = Q(C_н - C_ф)k$$

$$G = 20.8 \cdot (8 - 2) \cdot 1.2 = 149.76\ ^г/_{год} = 0{,}15\ ^{кг}/_{год}$$

Розрахунок витрати повітря

Ефективність передачі кисню: η=0,1

Частка кисню в повітрі: 0,21

$$L = \frac{G}{\eta \cdot 0.21}$$

$$L = \frac{0.15}{0.1 \cdot 0.21} = 8\ ^{м^3}/_{год}$$

Залежно від типу вод:

- шахтні води → дрібнобульбашкова аерація (найефективніша)
- висока залізистість → інтенсивне перемішування + аерація
- великі витрати → повітродувки низького тиску.

Аераційна установка є ключовою, тому що вона переводить розчинені метали у нерозчинну форму, підвищує ефективність відстоювання до 60–90%, зменшує навантаження на фільтри, а також не потребує реагентів (або зменшує їх дозу).

Для очищення доцільно використовувати дрібнобульбашкову аерацію.

3.4.3. Розрахунок реагентного очищення

Для нейтралізації кислотності використовується вапняне молоко.

Визначення витрати вапна

Приймаємо дозу вапна: D=1,5 кг/м^3

$$M = Q_{доб} \cdot D$$

$$M = 500 \cdot 1.5 = 750\,{}^{\text{кг}}/_{\text{добу}}$$

Отже, добова потреба у вапні становить: 750 кг/добу

Витрата коагулянту

Приймаємо дозу коагулянту: 40 мг/л.

$$M = 500 \cdot 40 = 20000\text{г} = 20\,{}^{\text{кг}}/_{\text{добу}}.$$

3.4.4. Розрахунок вторинного відстійника

Час відстоювання після реагентного очищення: t = 1,5 год.

Об'єм вторинного відстійника:

$$V = Q \cdot t$$

$$V = 20.8 \cdot 1.5 = 31.2\text{м}^3$$

Приймаємо: V=35 м^3.

3.4.5. Розрахунок фільтраційного обладнання

Швидкість фільтрації: v=6 м/год

Площа фільтра:

$$F = \frac{Q}{v}$$

$$F = \frac{20.8}{6} = 3.47\text{м}^2$$

Приймаємо площу фільтра: F = 4 м^2.

Для очищення рекомендується застосування піщаного та сорбційного фільтрів.

3.4.6. Розрахунок ефективності очищення

Видалення заліза

Концентрація заліза:

– до очищення: C_1 = 18 мг/л

– після очищення: C_2 = 1,2 мг/л

$$\eta = \frac{18 - 1{,}2}{18} \cdot 100 = 93{,}3\%$$

Видалення завислих речовин

C_1 = 350 мг/л

C_2 = 20 мг/л

$$\eta = \frac{350 - 20}{350} \cdot 100 = 94{,}3\%$$

Видалення нафтопродуктів

C_1 = 12 мг/л

C_2 = 1,5 мг/л

η = 87,5%.

3.4.7. Розрахунок кількості осаду

Приймаємо утворення осаду: 0,35 кг/м^3

Добова кількість осаду: $M_{ос}$ = 500×0,35 = 175 кг/добу.

Після зневоднення вологість осаду знижується до 65–75 %, що дозволяє значно зменшити його об’єм та спростити транспортування.

Висновок до розділу 3

Проведені інженерно-технологічні розрахунки підтвердили ефективність запропонованої системи очищення шахтних вод. Розраховані параметри очисних споруд забезпечують стабільну роботу системи при продуктивності 500 м³/добу та дозволяють досягти високого ступеня очищення води від завислих речовин, сполук заліза, нафтопродуктів та інших забруднювачів.

Запропонована технологічна схема забезпечує:

- ефективне механічне очищення;

- окиснення та осадження металів;
- нейтралізацію кислотності;
- доочищення на фільтраційних установках;
- екологічно безпечну утилізацію осаду.

Ефективність очищення за основними показниками становить 87–94 %, що відповідає сучасним вимогам екологічної безпеки та охорони водних ресурсів.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ПРИ ПРОВЕДЕННІ РОБІТ З ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ ЗАТОПЛЕННЯ ШАХТ

4.1. Небезпечні та шкідливі фактори при роботі із шахтними водами

Під час проведення робіт з ліквідації наслідків затоплення шахт особлива увага повинна приділятися питанням охорони праці та безпеки персоналу. Роботи, пов’язані з відкачуванням, транспортуванням, очищенням та контролем якості шахтних вод, характеризуються наявністю небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які можуть негативно впливати на здоров’я працівників та створювати ризик виникнення аварійних ситуацій.

Шахтні води є складними за своїм хімічним складом і можуть містити завислі речовини, сполуки заліза та марганцю, сульфати, хлориди, важкі метали, нафтопродукти та інші забруднювальні компоненти. Під час контакту з такими водами працівники можуть зазнавати впливу шкідливих хімічних речовин, що становлять потенційну небезпеку для організму людини.

Відповідно до вимог охорони праці небезпечні та шкідливі виробничі фактори при роботі із шахтними водами поділяються на фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні.

До фізичних факторів належать:

– підвищена вологість повітря у виробничих приміщеннях;

– знижена або підвищена температура навколишнього середовища;

– недостатня освітленість робочих місць;

– підвищений рівень шуму від насосного обладнання;

– вібрація під час роботи насосних агрегатів;

– небезпека ураження електричним струмом;

– ризик падіння на слизьких поверхнях.

Підвищена вологість є характерною особливістю об'єктів очищення шахтних вод. Постійне випаровування води та наявність відкритих

резервуарів призводять до погіршення мікрокліматичних умов праці. У таких умовах збільшується ризик простудних захворювань, погіршується самопочуття працівників та знижується працездатність.

Одним із найбільш поширених небезпечних факторів є виробничий шум. Основними джерелами шумового навантаження виступають насосні станції, компресорне обладнання, аераційні установки та механізми транспортування осаду. Тривалий вплив шуму може призводити до зниження слуху, підвищеної втомлюваності та погіршення концентрації уваги працівників.

Суттєву небезпеку становить можливість ураження електричним струмом. Робота очисних споруд передбачає використання великої кількості електрообладнання, яке функціонує в умовах підвищеної вологості. Пошкодження ізоляції кабелів, несправність електричних установок або порушення правил експлуатації можуть стати причиною нещасних випадків.

До хімічних факторів належить вплив шкідливих речовин, які містяться у шахтних водах або використовуються в процесі їх очищення. Особливу небезпеку становлять сполуки важких металів, сірководень, сульфати, реагенти для нейтралізації кислотності, коагулянти та флокулянти.

Під час виконання технологічних операцій можливий контакт працівників із розчинами кислот і лугів, які використовуються для коригування значення pH та реагентної обробки води. Потрапляння таких речовин на шкіру або слизові оболонки може спричиняти хімічні опіки та подразнення.

Небезпечним фактором також є утворення шкідливих газів. У процесі накопичення та очищення шахтних вод можливе виділення сірководню, метану, вуглекислого газу та інших газоподібних речовин. Найбільшу небезпеку становить сірководень, який навіть у незначних концентраціях негативно впливає на органи дихання та нервову систему людини.

До біологічних факторів належить наявність у шахтних водах різноманітних мікроорганізмів, бактерій, грибків та продуктів їх

життєдіяльності. Особливо це характерно для відкритих накопичувальних резервуарів, відстійників та біологічних споруд очищення.

Тривалий контакт із біологічно забрудненими водами може спричиняти розвиток алергічних реакцій, захворювань шкіри та органів дихання. Саме тому працівники повинні використовувати спеціальні засоби індивідуального захисту та дотримуватися вимог виробничої санітарії.

Окрему групу становлять психофізіологічні фактори. Під час експлуатації очисних споруд працівники несуть відповідальність за безперервність технологічного процесу та контроль екологічно небезпечних об’єктів. Це супроводжується підвищеним нервово-емоційним напруженням, необхідністю постійного контролю показників роботи обладнання та швидкого реагування на аварійні ситуації.

Підвищене психоемоційне навантаження може призводити до зниження концентрації уваги, збільшення кількості помилок та підвищення ризику виробничого травматизму. Для зниження негативного впливу психофізіологічних факторів необхідно забезпечувати раціональний режим праці та відпочинку, а також належну організацію робочих місць.

Для забезпечення безпечних умов праці при роботі із шахтними водами необхідно здійснювати постійний контроль виробничого середовища, проводити моніторинг концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони, контролювати параметри мікроклімату та технічний стан обладнання. Важливим елементом системи охорони праці є своєчасне проведення інструктажів, навчання персоналу та забезпечення працівників сертифікованими засобами індивідуального захисту.

Таким чином, роботи з ліквідації наслідків затоплення шахт характеризуються наявністю значної кількості небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Основними з них є вплив шкідливих хімічних речовин, виробничого шуму, підвищеної вологості, електричного струму, біологічних агентів та психофізіологічних навантажень. Ефективне управління ризиками

та дотримання вимог охорони праці є необхідною умовою забезпечення безпеки персоналу та безаварійної експлуатації споруд очищення шахтних вод.

4.2. Заходи безпеки при експлуатації очисних споруд

Експлуатація очисних споруд для очищення шахтних вод пов'язана з використанням технологічного обладнання, що працює в умовах підвищеної вологості, наявності агресивних хімічних речовин та безперервного виробничого циклу. У зв'язку з цим особливого значення набуває забезпечення безпечних умов праці для персоналу, який здійснює обслуговування та контроль роботи споруд очищення.

До складу систем очищення шахтних вод, розглянутих у даній роботі, входять аераційна установка, відстійники, насосне обладнання, трубопроводи, запірна арматура та допоміжні технологічні споруди. Під час їх експлуатації необхідно дотримуватися вимог нормативних документів з охорони праці, електробезпеки, пожежної та екологічної безпеки.

Однією з головних умов безпечної експлуатації очисних споруд є забезпечення справного технічного стану обладнання. Перед введенням споруд в експлуатацію та в процесі роботи необхідно проводити регулярні огляди, технічне обслуговування і своєчасний ремонт обладнання. Особлива увага повинна приділятися перевірці насосних агрегатів, електродвигунів, аераторів, трубопроводів та запобіжної арматури.

Під час експлуатації насосного обладнання існує ризик механічного травмування працівників рухомими частинами механізмів. Для запобігання виробничому травматизму всі рухомі елементи повинні бути обладнані захисними кожухами та огородженнями. Забороняється виконувати ремонтні роботи або очищення механізмів під час їх функціонування.

Важливе значення має забезпечення електробезпеки. Очисні споруди функціонують із використанням електричних насосів, компресорів та систем

автоматизації, які працюють у середовищі з підвищеною вологістю. У таких умовах зростає небезпека ураження електричним струмом.

Для забезпечення електробезпеки необхідно:

– використовувати обладнання із захисним заземленням;

– здійснювати періодичний контроль стану ізоляції електричних мереж;

– застосовувати пристрої захисного відключення;

– не допускати експлуатацію несправного електрообладнання;

– виконувати ремонтні роботи лише після повного відключення обладнання від мережі.

Особливої уваги потребує безпечна експлуатація аераційної установки. Під час роботи аераторів відбувається інтенсивне перемішування води та насичення її киснем. При обслуговуванні обладнання існує ризик падіння працівників у резервуари та контакту з технологічним середовищем.

З метою забезпечення безпеки аераційні басейни повинні бути обладнані:

– захисними огородженнями;

– неслизькими пішохідними доріжками;

– аварійними сходами;

– попереджувальними знаками безпеки;

– системами освітлення.

Під час обслуговування відстійників та накопичувальних резервуарів необхідно враховувати можливість накопичення шкідливих газів та нестачі кисню у замкнених просторах. Перед виконанням робіт усередині резервуарів необхідно здійснювати контроль повітряного середовища та забезпечувати ефективну вентиляцію.

Виконання робіт у колодязях, камерах та інших замкнених просторах дозволяється лише за нарядом-допуском із застосуванням відповідних засобів індивідуального захисту та постійним контролем з боку відповідальних осіб.

Під час очищення шахтних вод часто використовуються реагенти для нейтралізації кислотності, коагуляції та флокуляції. Робота з такими речовинами потребує дотримання спеціальних заходів безпеки.

При поводженні з реагентами необхідно:

– використовувати захисні окуляри;

– застосовувати гумові рукавички;

– користуватися захисним одягом;

– забезпечувати приміщення припливно-витяжною вентиляцією;

– дотримуватися правил зберігання та транспортування хімічних речовин.

У випадку потрапляння реагентів на шкіру або в очі працівник повинен негайно припинити роботу та провести промивання ураженої ділянки великою кількістю води з подальшим зверненням за медичною допомогою.

Для зменшення негативного впливу виробничих факторів працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту. Залежно від характеру виконуваних робіт використовуються:

– захисні каски;

– спецодяг;

– гумові чоботи;

– захисні рукавички;

– окуляри або захисні щитки;

– фільтрувальні респіратори.

Важливим елементом безпечної експлуатації очисних споруд є автоматизація виробничих процесів. Використання сучасних систем контролю та керування дозволяє здійснювати моніторинг параметрів роботи обладнання у режимі реального часу, своєчасно виявляти відхилення від нормального режиму роботи та запобігати виникненню аварійних ситуацій.

Для забезпечення безпечної роботи персоналу на об'єкті повинні регулярно проводитися первинний, повторний та позаплановий інструктажі з

охорони праці. Працівники допускаються до виконання робіт лише після проходження відповідного навчання, перевірки знань та медичного огляду.

Таким чином, безпечна експлуатація очисних споруд очищення шахтних вод забезпечується комплексом організаційних і технічних заходів, спрямованих на захист працівників від впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Дотримання вимог охорони праці, використання сучасних засобів захисту та постійний контроль технічного стану обладнання дозволяють мінімізувати ризик виробничого травматизму та забезпечити стабільну роботу систем очищення шахтних вод.

4.3. Пожежна та екологічна безпека

Забезпечення пожежної та екологічної безпеки є важливою складовою ефективної експлуатації споруд очищення шахтних вод та проведення робіт з ліквідації наслідків затоплення шахт. Дотримання відповідних вимог дозволяє запобігати виникненню аварійних ситуацій, зменшувати ризик травмування персоналу та мінімізувати негативний вплив виробничої діяльності на навколишнє природне середовище.

Незважаючи на те, що шахтні води не належать до легкозаймистих речовин, на об'єктах очищення можуть бути присутні пожежонебезпечні фактори, пов'язані з використанням електротехнічного обладнання, паливно-мастильних матеріалів, кабельних мереж та допоміжних виробничих приміщень. Крім того, у процесі експлуатації шахт можливе виділення метану та інших горючих газів, які за певних умов можуть утворювати вибухонебезпечні суміші.

Основними причинами виникнення пожеж на об'єктах очищення шахтних вод можуть бути:

– несправність електрообладнання;

– коротке замикання електричних мереж;

– порушення правил експлуатації електроустановок;

– використання несправного інструменту;

– необережне поводження з відкритим вогнем;

– порушення правил проведення ремонтних і зварювальних робіт.

Для попередження виникнення пожеж необхідно забезпечувати постійний контроль технічного стану електричних мереж та обладнання. Електрощитові приміщення повинні бути обладнані справними системами захисту від перевантаження та короткого замикання. Проведення планових оглядів і профілактичних випробувань електрообладнання дозволяє своєчасно виявляти несправності та запобігати виникненню аварійних ситуацій.

Особливу увагу слід приділяти місцям зберігання паливно-мастильних матеріалів. Такі речовини повинні зберігатися у спеціально обладнаних приміщеннях або резервуарах, що відповідають вимогам пожежної безпеки. Забороняється розміщення горючих матеріалів поблизу джерел тепла та електрообладнання.

Усі виробничі приміщення повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння. До них належать:

– порошкові вогнегасники;

– вуглекислотні вогнегасники;

– пожежні крани;

– пожежні щити з необхідним інвентарем;

– резервні джерела водопостачання для пожежогасіння.

Розміщення засобів пожежогасіння повинно здійснюватися у легкодоступних місцях відповідно до вимог чинних нормативних документів. Персонал підприємства повинен проходити навчання з правил пожежної безпеки та вміти користуватися первинними засобами пожежогасіння.

Для забезпечення безпечної евакуації працівників у разі виникнення пожежі на об'єкті повинні бути розроблені та затверджені плани евакуації.

Евакуаційні виходи необхідно утримувати вільними від сторонніх предметів, а шляхи евакуації повинні бути позначені відповідними знаками безпеки.

Важливим напрямом забезпечення безпеки під час ліквідації наслідків затоплення шахт є екологічна безпека. Основним завданням природоохоронних заходів є недопущення потрапляння забруднених шахтних вод до поверхневих і підземних водних об'єктів.

Шахтні води можуть містити значну кількість мінеральних солей, завислих речовин, сполук заліза, марганцю, важких металів та інших забруднювачів. Безконтрольний скид таких вод здатний призводити до погіршення якості водних ресурсів, порушення функціонування водних екосистем та зниження біологічного різноманіття.

Для забезпечення екологічної безпеки необхідно здійснювати очищення шахтних вод перед їх скиданням у навколишнє середовище. Запропонована у даній роботі технологічна схема очищення, що включає аерацію та відстоювання, дозволяє суттєво знизити концентрацію завислих речовин і сполук заліза, а також покращити якісні показники води перед її відведенням у природні водні об'єкти.

Одним із найважливіших заходів екологічного захисту є організація постійного моніторингу якості води. Контроль повинен здійснюватися на всіх етапах технологічного процесу: під час надходження шахтних вод, після проходження окремих стадій очищення та перед скиданням очищеної води у водний об'єкт.

Система екологічного моніторингу повинна включати:

– регулярний відбір проб води;

– лабораторний контроль показників якості;

– спостереження за станом поверхневих та підземних вод;

– контроль роботи очисного обладнання;

– ведення екологічної звітності.

Важливе значення має своєчасне виявлення аварійних ситуацій. Для цього на об'єкті повинні функціонувати системи контролю рівня води,

витрати та основних показників якості очищення. У разі виникнення аварії необхідно негайно припинити скид забруднених вод, локалізувати джерело забруднення та вжити заходів щодо мінімізації негативних наслідків для навколишнього середовища.

Додатковими природоохоронними заходами є використання накопичувальних резервуарів, локалізаційних споруд, дренажних систем та протифільтраційних екранів, які перешкоджають поширенню забруднювальних речовин за межі виробничого майданчика.

Таким чином, забезпечення пожежної та екологічної безпеки є обов'язковою умовою ефективної ліквідації наслідків затоплення шахт та експлуатації очисних споруд. Реалізація комплексу організаційних і технічних заходів дозволяє запобігати виникненню пожеж, знижувати ризик аварійних ситуацій та забезпечувати надійний захист навколишнього природного середовища від негативного впливу шахтних вод.

Висновки до розділу 4

Роботи з ліквідації наслідків затоплення шахт пов'язані з впливом низки небезпечних і шкідливих виробничих факторів, серед яких підвищена вологість, контакт із хімічними реагентами, використання електрообладнання та ризик виникнення аварійних ситуацій. За таких умов особливого значення набуває дотримання вимог охорони праці та виробничої безпеки.

Безпечна експлуатація очисних споруд забезпечується застосуванням засобів індивідуального захисту, дотриманням правил роботи з технологічним обладнанням і реагентами, а також постійним контролем технічного стану виробничих систем. Важливу роль відіграють своєчасне проведення інструктажів, виробничий контроль та підтримання належних санітарно-гігієнічних умов праці.

Зниженню ризику аварій та надзвичайних ситуацій сприяє впровадження заходів пожежної безпеки, систем моніторингу та контролю

технологічних процесів. Дотримання екологічних вимог під час функціонування очисних споруд дозволяє мінімізувати негативний вплив виробничої діяльності на навколишнє середовище та забезпечити належний рівень захисту водних об'єктів.

ВИСНОВКИ

Затоплення шахт є одним із найбільш складних екологічних наслідків припинення гірничодобувної діяльності, що супроводжується зміною гідрогеологічного режиму територій, формуванням забруднених шахтних вод та виникненням ризику їх потрапляння до поверхневих і підземних водних об'єктів. Особливу небезпеку становлять підвищені концентрації сульфатів, сполук заліза, важких металів та інших забруднювальних речовин, здатних негативно впливати на стан водних екосистем і якість водних ресурсів.

Проведений аналіз сучасних технологій показав, що ефективне запобігання забрудненню водних об'єктів можливе лише за умови комплексного підходу, який поєднує очищення шахтних вод, локалізацію джерел забруднення та постійний екологічний моніторинг. Найбільшого поширення набули фізико-хімічні методи очищення, зокрема аерація, реагентна обробка, коагуляція, фільтрація та мембранні технології. Важливу роль також відіграють біологічні методи очищення, які дозволяють додатково знижувати концентрацію окремих забруднювачів та підвищувати ефективність природоохоронних заходів.

Світовий досвід ліквідації наслідків затоплення шахт підтверджує доцільність використання комбінованих технологічних рішень, що забезпечують довготривалий контроль якості шахтних вод та мінімізацію їх негативного впливу на навколишнє середовище. Особливої ефективності вдається досягти завдяки поєднанню очисних споруд із системами локалізації забруднення, дренажними комплексами та автоматизованими системами моніторингу.

Для вирішення поставлених завдань було запропоновано технологічну схему очищення шахтних вод, яка включає послідовне застосування механічного очищення, аерації, реагентної обробки, відстоювання, фільтрації та знезараження. Виконані інженерно-технологічні розрахунки підтвердили можливість ефективного функціонування запропонованої системи та досягнення нормативних показників якості очищеної води. Очікувана

ефективність очищення за основними показниками становить 87–94 %, що забезпечує суттєве зменшення антропогенного навантаження на водні об'єкти.

Належний рівень екологічної безпеки неможливий без дотримання вимог охорони праці та безпечної експлуатації технологічного обладнання. Використання сучасних засобів контролю, виробничого моніторингу та комплексу організаційно-технічних заходів сприяє зниженню ризику аварійних ситуацій та підвищує надійність функціонування очисних споруд.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Водний кодекс України від 06.06.1995 № 213/95-ВР.
2. Кодекс України про надра від 27.07.1994 № 132/94-ВР.
3. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25.06.1991 № 1264-XII.
4. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» від 23.05.2017 № 2059-VIII.
5. Закон України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» від 28.02.2019 № 2697-VIII.
6. Директива 2000/60/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 23 жовтня 2000 року про встановлення рамок діяльності Співтовариства у сфері водної політики.
7. Директива 2006/118/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 12 грудня 2006 року про захист підземних вод від забруднення та погіршення стану.
8. Директива 2006/21/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 15 березня 2006 року щодо управління відходами видобувної промисловості.
9. Skousen J., Ziemkiewicz P., McDonald L. Acid Mine Drainage Formation, Control and Treatment. Morgantown : West Virginia University, 2019. 145 p.
10. Crini G., Lichtfouse E. Advantages and Disadvantages of Techniques Used for Wastewater Treatment. Environmental Chemistry Letters. 2019. Vol. 17. No. 1. P. 145–155.
11. Skousen J., Ziemkiewicz P., McDonald L. Acid Mine Drainage Formation, Control and Treatment. Morgantown : West Virginia University, 2019. 145 p.
12. Skousen J., Ziemkiewicz P., McDonald L. Acid Mine Drainage Formation, Control and Treatment. Morgantown : West Virginia University, 2019. 145 p.
13. Coal mine water treatment. GOV.UK. URL: https://www.gov.uk/government/collections/coal-mine-water-treatment (дата звернення: 18.06.2026).

14. Horden Mine Water Treatment Scheme. GOV.UK. URL: https://www.gov.uk/government/case-studies/horden-mine-water-treatment-scheme (дата звернення: 18.06.2026).
15. Hudson A., Murnane J., Courtney R. Use of Constructed Wetlands for Treating Mine Waste Leachates: Assessment of Longevity and Management Implications. Dublin: Environmental Protection Agency, 2021. 42 p.
16. Opitz J. et al. Optimising Operational Reliability and Performance in Aerobic Passive Mine Water Treatment. Water, Air, & Soil Pollution. 2022. Vol. 233. Article 66.
17. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12 (дата звернення: 18.06.2026).
18. ДСТУ EN 689:2021. Повітря робочої зони. Настанова щодо оцінювання впливу хімічних агентів шляхом інгаляції. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2021.
19. Запорожець О. І., Бойченко С. В. Безпека життєдіяльності : підручник. Київ : Центр учбової літератури, 2019. 448 с.
20. Лапін В. М. Охорона праці в галузі : навчальний посібник. Львів : Новий Світ-2000, 2020. 312 с.
21. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12 (дата звернення: 18.06.2026).
22. Лапін В. М. Охорона праці в галузі : навчальний посібник. Львів : Новий Світ-2000, 2020. 312 с.
23. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 № 5403-VI. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17 (дата звернення: 18.06.2026).
24. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 25.06.1991 № 1264-XII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12 (дата звернення: 18.06.2026).