СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені Володимира Даля

Факультет _____інженерії_____
(повне найменування факультету)

Кафедра_____хімічної інженерії та екології___
(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту (роботи)

освітнього ступеня _____магістр_____
(бакалавр, магістр)
спеціальності _____101 – Екологія_____
(шифр і назва спеціальності)
спеціалізація _____Екологія та охорона навколишнього середовища_____

на тему: Оптимізація скидання та утилізації надлишку шахтних вод

Виконав: здобувач вищої освіти групи ___ПЕО–19дм__

_____Удовенко Г.В._____ .....
(прізвище, та ініціали) (підпис)

Керівник ___Лисиця В.Є.___ .....
(прізвище та ініціали) (підпис)

Завідувач кафедрою ___Суворін О.В.__ .....
(прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент__Суворін О.В.__ .....
(прізвище та ініціали) (підпис)

Сєвєродонецьк – 2021 р.

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені Володимира Даля

Факультет _____інженерії_____
Кафедра _____хімічної інженерії та екології_____
Освітній ступінь _____магістр_____
(бакалавр, магістр)
Спеціальність _____101 – Екологія_____
(шифр і назва)

Спеціалізація _____Екологія та охорона навколишнього середовища_____

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедрою ХІЕ
_____ О.В. Суворін
"_____" _____ 2020 р.

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Удовенко Ганні Володимирівні

1. Тема роботи:
Оптимізація скидання та утилізації надлишку шахтних вод

Керівник роботи _____Лисиця Вікторія Євгенівна_____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом по університету від 19.11.2020 р. № 163/15.25

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи – 14 січня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи: літературні, патентні та регламентні дані.

4. Зміст розрахунково–пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
Вступ. 1. Аналітичний огляд. 2. Обґрунтування вибраного напрямку досліджень 3. Аналіз стану існуючої системи скидання надлишку шахтних вод 4. Аналіз впливу системи скидання надлишку шахтних вод на довкілля 5. Розробка природоохоронного заходу 6. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 7. Еколого-економічні розрахунки. Висновки. Література. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
1. Схема використання та скиду вод гірничорудних підприємств Кривбасу (1 лист).
2. Фактичні обсяги відкачки шахтних вод (1 лист).
3. Джерела впливу на якість води в басейні р. Інгулець (1 лист).
4. Якість шахтних вод для демінералізації (1 лист).
5. Концепція запропонованої установки демінералізації шахтних вод (1 лист).
6. Принципова схема установки демінералізації шахтної води (1 лист)

6. Дата видачі завдання – 07 грудня 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор №	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ	08.12.2020	
2	Аналітичний огляд	13.12.2020	
3	Обґрунтування вибраного напрямку досліджень	14.12.2020	
4	Аналіз стану існуючої системи скидання надлишку шахтних вод	20.12.2020	
5	Аналіз впливу системи скидання надлишку шахтних вод на довкілля	22.12.2020	
6	Розробка природоохоронного заходу	25.12.2020	
7	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	04.01.2021	
9	Еколого-економічні розрахунки	06.01.2021	
10	Висновки	11.01.2021	
ГРАФІЧНА ЧАСТИНА			
1	Схема використання та скиду вод гірничорудних підприємств Кривбасу	26.12.2020	
2	Фактичні обсяги відкачки шахтних вод	28.12.2020	
3	Джерела впливу на якість води в басейні р. Інгулець	29.12.2020	
4	Якість шахтних вод для демінералізації	31.12.2020	
5	Концепція запропонованої установки демінералізації шахтних вод	02.01.2021	
6	Принципова схема установки демінералізації шахтної води	11.01.2021	

Здобувач вищої освіти _____ Удовенко Г.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Лисиця В.Є.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Відомість магістерської роботи

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
				Текстові документи		
А4		1	РМ.59.01.ПЗ	Пояснювальна записка магістерської роботи	108	
				Графічні документи		
А3		2	РМ.59.02.СХ	Схема використання та скиду вод гірничорудних підприємств Кривбасу	1	
А3		3	РМ.59.03.СХ	Фактичні обсяги відкачки шахтних вод	1	
А3		4	РМ.59.04.СХ	Джерела впливу на якість води в басейні р. Інгулець	1	
А3		5	РМ.59.05.СХ	Якість шахтних вод для демінералізації	1	
А3		6	РМ.59.06.СХ	Концепція запропонованої установки демінералізації шахтних вод	1	
А3		7	РМ.59.07.СХ	Принципова схема установки демінералізації шахтної води	1	
				Демонстраційний матеріал		
А4		8	РМ.59.08.СХ	Презентація Power Point	11	

Перв. примен. | Справ. № | Инв. № подл.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	РМ.59.01.ПЗ		
Розробив		Удовенко Г.В.			Відомість магістерської роботи	Літ.	Арк. 4 / Аркушів 108
Керівник пр.		Лисиця В.Є..					
Консультант		Лисиця В.Є..				СНУ ім. В. Даля, гр. ПЕО–19 дм	
Н. Контр.		Лисиця В.Є..					
Затвердив		Суворін О.В.					

РЕФЕРАТ

Дипломний проект на тему «Оптимізація скидання та утилізації надлишку шахтних вод» складається з пояснювальної записки, що містить 108 сторінок, 14 таблиць, 4 рисунки, використано 31 найменування літературних джерел. Графічна частина – 6 аркушів.

СИСТЕМА ВІДВОДУ ШАХТНИХ ВОД, ХІМІЧНИЙ СКЛАД ВОДИ, ПОСТІЙНИЙ СКИД, РОЗШИРЕНИЙ ПЕРІОДИЧНИЙ СКИД, ТЕХНОЛОГІЇ ДЕМІНЕРАЛІЗАЦІЇ ШАХТНИХ ВОД, УТИЛІЗАЦІЯ КІНЦЕВИХ ПРОДУКТІВ ДЕМІНЕРАЛІЗАЦІЇ, СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ТА КІЛЬКОСТІ ВОДИ

Мета роботи – дослідження можливостей вдосконалення системи управління шахтними водами.

Об’єкт дослідження – система скидання надлишку шахтних вод.

Методи дослідження: аналітичний огляд, еколого-дослідний, теоретичний аналіз з використанням програмного і методичного забезпечення.

Проведено аналіз стану існуючої системи скидання надлишку шахтних вод та впливу системи скидання надлишку шахтних вод на довкілля.

Виконано техніко-економічне порівняння двох варіантів оптимізації системи скидання надлишку шахтних вод, вибрано придатну технологію демінералізації шахтних вод Кривбасу, розроблено рекомендації щодо утилізації кінцевих продуктів демінералізації, вдосконалення системи моніторингу якості та кількості води.

Результати досліджень висвітлено в матеріалах Всеукраїнської науково-практичної конференції «Майбутній науковець – 2020» [1].

ЗМІСТ

Вступ 8
1 Аналітичний огляд 10
2 Обґрунтування вибраного напрямку досліджень 22
3 Аналіз стану існуючої системи скидання надлишку шахтних вод 24
3.1 Джерела скидання шахтних вод 24
3.2 Система збору та транспортування шахтних вод 28
3.3 Режим скиду надлишків шахтних вод по існуючій системі 29
3.4 Стан системи відводу шахтних вод 32
3.4.1 Стан трубопроводу 32
3.4.2 Стан ставка-накопичувача 32
3.4.3 Стан хвостосховища ПАТ «Північний гірничо-збагачувальний комбінат» 34
4 Аналіз впливу системи скидання надлишку шахтних вод на довкілля 36
4.1 Особливості хімічного складу води в водоймах басейну р. Інгулець 36
4.2 Стан іхтіофауни в річках Інгулець і Саксагань 37
4.3 Джерела можливого впливу на якість води в басейні р. Інгулець 38
5 Розробка природоохоронного заходу 41
5.1 Оптимізація існуючої системи акумуляції та скиду шахтних вод 41
5.1.1 Постійний скид на протязі року 41
5.1.2 Розширений періодичний скид 48
5.2 Демінералізація шахтних вод 53
5.2.1 Кількість та якість води на вході 53
5.2.2 Вибір придатної технології 54
5.2.3 Опис технології 67
5.2.4 Концепція установки демінералізації в Кривому Розі 72

5.2.5 Продукти демінералізації 75
5.3 Отримання та утилізація твердого матеріалу 76
5.3.1 Використання у будівництві 78
5.3.2 Утилізація кінцевих продуктів під землею 79
5.3.3 Потенціал для утилізації відходів 82
5.4 Оптимізація системи моніторингу 83
6 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях 86
6.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів в приміщенні установки демінералізації шахтних вод 86
6.2 Пропоновані заходи з безпеки праці для апаратника установок демінералізації шахтних вод 87
6.2.1 Загальні заходи 87
6.2.2 Вимоги безпеки перед початком роботи 90
6.2.3 Вимоги безпеки під час роботи 91
6.2.4 Вимоги безпеки після закінчення роботи 93
6.2.5 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях 93
7 Еколого-економічні розрахунки 95
7.1 Розрахунок витрат по варіанту з розширеним періодичним скидом 95
7.2 Розрахунок витрат на демінералізацію 99
7.2.1 Капітальні витрати 99
7.2.2 Операційні витрати 100
Висновки 102
Анотація 104
Література 105
ДОДАТКИ

ВСТУП

Останні десятиріччя діючі гірничорудні підприємства Кривбасу та ті що працюють в режимі гідрозахисту, щорічно, відкачують на поверхню близько 40 млн.м^3 підземних вод (шахтні, кар'єрні), серед яких 21 – 22 млн.м^3 кар'єрних вод та 16-17 млн.м^3 високомінералізованих шахтних вод. В основному це хлорид-сульфатні води з високим вмістом іон-хлору, сульфату, натрію, калію, магнію та кальцію з підвищеним рівнем загальної мінералізації від 5 до 96 г/л, усереднена мінералізація до 40 г/л.

Рівень мінералізації і склад солей шахтних вод є генетично властивими для літосфери регіону, його окремих гірничо-геологічних і промислових зон. Тому радикальним чином змінити склад і концентрацію солей в шахтній воді в процесі її міграції в виробки за допомогою сучасних інженерно-технічних засобів не представляється можливим.

Аналіз досвіду роботи поверхневих очисних споруд, що застосовуються на шахтах, вказує на їх низьку екологічну ефективність. При цьому за останні десять років має місце тенденції зростання скидання недостатньо очищених вод і забруднених скидів, обсяг яких досяг до теперішнього часу майже 95%.

Зниження концентрації як суспензій, так і солей відбувається переважно лише в результаті розведення шахтних вод більш чистою водою в водоприймачах або атмосферними опадами.

Що стосується проблеми демінералізації шахтних вод, то багато років вона не знаходить свого практичного вирішення і залишається найважливішою екологічною проблемою видобувної промисловості.

Аналіз дозволяє зробити висновок, що позитивне вирішення цієї актуальної проблеми може відбутися, по-перше, в результаті технічного вдосконалення методів демінералізації, а по-друге, в рамках комплексної переробки шахтних вод. Саме комплексна переробка є радикальним напрямком повернення шахтних вод в

господарських оборот регіону і захисту природних водних об'єктів від забруднення. Вона дозволяє використовувати кондиціоновано-освітлену і опріснену шахтну воду на власні потреби шахт, зрошення сільгоспугідь, комунальні потреби міст і селищ, а також дозволить переробляти рідкі розсоли в сухі товарні солепродукти, які можна утилізувати.

Рентабельність процесу демінералізації може бути забезпечена шляхом реалізації в якості товару очищеної шахтної води, а також витягнутих з неї солепродуктів.

Цінність відкачуваних шахтних вод полягає не тільки у використанні їх в якості ресурсу для подолання дефіциту питної води, але і в тому, що одержувані в процесі демінералізації розсоли можна розглядати як комплексне сировинне джерело не тільки звичайних, тобто широко поширених солей, але також цінних рідкісних і розсіяних хімічних елементів. До теперішнього часу достовірно відомо, що шахтні води характеризуються підвищеним вмістом стронцію, титану, нікелю.

Впровадження комплексної переробки і кондиціонування шахтних вод сприятливо позначиться на економічному розвитку та екологічному стані регіону.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

«Правила охорони поверхневих вод від забруднення стічними водами» [2] регламентує скиди шахтних вод у водойми.

Методи очищення шахтних вод обумовлюють їх фізико-хімічні та технологічні властивості, а також кліматичні умови вугільних родовищ. У вітчизняній і зарубіжній практиці застосовують механічну (безреагентна) очистку шахтних вод, фізико-хімічну, хімічну (реагентну), електро-хімічну та інші [3].

Шахтні води, на відміну від стічних вод інших виробництв, як правило, не містять шкідливих і важко розчинних домішок в значних кількостях, тому очищення цих стоків здійснюється на відокремлених очисних спорудах.

Відстоювання, освітлення у зваженому шарі осаду та фільтрування – є основними методами очищення шахтних вод від зважених речовин.

Відстоювання може бути як без обробки, так і з попередньою обробкою води реагентами. Освітлення та фільтрування – переважно з попередньою обробкою води реагентами.

Для реалізації цих методів використовуються такі споруди як ставки-відстійники, горизонтальні відстійники (земляні та залізобетонні), вертикальні та радіальні відстійники, освітлювачі зі зваженим шаром осаду, швидкі напірні і відкриті одношарові та двошарові фільтри, фільтри з висхідним потоком води.

Методи очищення і очисні споруди мають певну ефективність, що може бути досягнена при оптимальних технологічних параметрах роботи даних очисних споруд і їх правильній експлуатації.

Методи відстоювання, як правило, застосовуються в якості першого ступеня очищення (попереднього очищення) перед фільтруванням. Але при сприятливих умовах (невисоких вимогах до якості води, відмінною спроможністю зважених речовин до осаджуваності або доброю здатністю їх до коагуляції під впливом реагентів) може бути застосований в якості самостійного методу очищення перед

скиданням шахтних вод у водойми.

В ставках-відстійниках, розрахованих на накопичення осаду протягом тривалого терміну, з тривалим безреагентним відстоюванням та при відстоюванні з попередньою обробкою води реагентами в горизонтальних відстійниках досягається найбільш висока ефективність очищення шахтної води [4].

Фільтрування застосовується для глибокого одноступеневого очищення шахтних вод з невеликим вихідним вмістом зважених речовин або в якості другого ступеня очищення після відстоювання або освітлення в шарі зваженого осаду.

Всі відомі типи фільтрів [5] забезпечують практично однаково високу якість очищення, але відрізняються один від одного за технологічними параметрами, конструктивним виконанням, величиною граничної концентрації зважених речовин у вихідній воді.

Ефективність і економічність роботи фільтрів підвищується при зниженні концентрації зважених речовин у воді, що подається на фільтри.

Застосування реагентів дозволяє суттєво інтенсифікувати процес очищення і підвищити його ефективність. Найбільш економічно застосовувати реагенти при використанні метода фільтрування. В порівнянні з застосуванням їх в методах освітлення в підвішеному шарі осаду та відстоюванні, цей метод призводить до зменшення доз реагентів.

Завершальним етапом очищення шахтних вод є очищення від бактеріальних домішок, що відбувається шляхом хлорування з використанням рідкого хлору, хлорного вапна і гіпохлорида натрію або шляхом бактерицидного опромінення.

Знезараження води бактерицидним опроміненням більш доцільне ніж хлорування, бо при його використанні природні смакові якості і хімічні властивості води не змінюються. Бактерицидна дія набагато швидша, ніж дія хлору. Тому воду можна відразу подавати споживачам.

Бактерицидне опромінення знищує не тільки вегетативні види бактерій, а й спороутворюючі види. Експлуатація бактерицидних установок простіша, ніж експлуатація хлорного господарства.

Бактерицидне опромінення знищує не тільки вегетативні види бактерій, а й спороутворюючі види. Експлуатація бактерицидних установок для знезараження води простіша, ніж експлуатація хлорного господарства [6].

Однак всі ці технології очищення шахтної води не зменшують високий рівень її мінералізації.

Зменшення вмісту солі в воді до границь, встановлених ДЕСТ 2874-82 «Питна вода» чи до концентрації солі, близької до вмісту в дистильованій воді, називається, відповідно, демінералізацією та знесоленням [7]. Існуючі методи демінералізації та знесолення води поділені на дві різні групи: із зміною чи без зміни фізичного стану воду. Перша група методів, включає дистиляцію, нагрів води до надкритичної температури (350 °С), замороження, газогідратний метод; друга група – іонний обмін, електродіаліз, зворотний осмос (гіперфільтрація), ультрафільтрація, виділення і т.д. Не всі ці методи придатні для демінералізації шахтних вод із високим вмістом солей та/чи з великим обсягом шахтних вод [4].

Найбільш розповсюджені в промисловості методи – це дистиляція, іонний обмін, електродіаліз, зворотний осмос. Випарювання та зворотний осмос використовуються приблизно в 90% процесів знесолення у всьому світі [8].

Метод дистиляції базується на здатності води випаруватися при нагріванні, утворюючи таким чином прісну пару та концентрований розсіл. Принцип дистиляції базується на тому, що коли солона вода нагрівається до точки кипіння (при певному тиску та вмісті солі), вона починає кипіти. Пара, вироблена під тиском до 5 МПа, практично не здатна розчинити солі, що міститься в солоній воді, тому при конденсації такого пару виробляється прісна вода. Щоб випаровувати 1 кг води, її треба нагріти до температури кипіння, після чого повинна бути застосована додаткова енергія для фазового переходу пари у воду, так звана латентна теплота пароутворення. Це значення при температурі 100°С дорівнює 539,55 ккал/кг. Щоб повернути пару в рідкий стан (для її конденсації), теплоту фазового переходу потрібно видалити з пари (539,55 ккал/г). Більша частина цього тепла може бути повернута назад на підприємство, тобто

відновлена. Чим більше відновлена частина теплоти фазового переходу, тим вище буде термічна ефективність установки дистиляції.

Принцип роботи одноступеневої дистиляційної установки базується на наступному процесі.

Вхідна вода подається через конденсаторний водяний нагрівач у випарник, де вона нагрівається теплою опалювальною парою або гарячою водою і випаровується. Таким чином, утворена вторинна, або сокова пара входить у конденсатор, де вона охолоджується вхідною водою і перетворюється на дистилят. Так тепло конденсату використовується для нагріву вхідної води, яка поступає в випарник.

Набагато частіше використовуються так звані випарники багатоступінчатої дистиляції (БСД) [9].

Вони складаються з декількох одноетапних установок, які підключені послідовно відповідно до потоку рідини та пари. Після цього вторинна пара попередньої стадії використовується як нагрівальна пара для випаровування води на наступному етапі. Збільшуючи кількість етапів, багатоступеневі установки стають більш економічними. Проте збільшення кількості етапів зменшує різницю температур на кожному з них, відповідно, збільшується загальна поверхня нагрівання установки, тобто значно зростають капітальні витрати на установку з демінералізації.

Основна перевага багатостадійних дистиляційних установок для демінералізації полягає у значному збільшенні кількості демінералізованої води, яку можна отримати на одиницю первинної пари. Таким чином, в той час як одноетапне випаровування дає близько 1 т демінералізованої води на 1 тонну первинної пари, 50 ... 60 етапна установка виробляє 15 ... 20 т демінералізованої води. Питомі витрати електроенергії на дистиляційних установках становлять 3,5 ... 4,5 кВт г на м³ дистиляту.

Негативною особливістю роботи таких установок дистиляції є утворення накипу на нагрівальних елементах випарників та конденсаторів. Цей накип знижує температуру гарячої води, впливає на теплопередачу та експлуатацію всіх

агрегатів установки. Для запобігання утворення накипу застосовуються методи на основі реагентів (спеціальні інгібітори, добавки, попереднє окислення та ін.) та методи без застосування реагентів (магнітний, ультразвуковий тощо). На практиці повна профілактика утворення накипу можлива завдяки створенню глибокого вакууму в випарнику, що дозволяє зменшити температуру випарної води до 50°С і нижче. Витрати електроенергії, щоби створити такий вакуум, складають приблизно 10 кВт год/м^3 демінералізованої води.

Ще одним видом технології дистиляції/випаровування є так зване багатоступеневе випарування. Установки знесолення із багатоступеневим випаруванням (MSF) базуються на миттєвому випаруванні в каскаді стадій (ефектів) при різних рівнях тиску. Кожна стадія має теплообмінник та колектор конденсату. У режимі повторної подачі розсолу в цикл, він знову подається в систему. На заключній стадії установки миттєвого випаровування (УМВ) нагріта вода подається в камеру високого тиску, де її частка миттєво випаровується через зниження тиску.

Пара використовується для попереднього нагріву води, що подається. Частина розсолу, яка не випарилася, переходить до наступного етапу, який має нижчий тиск. Така ж процедура випаровування відбувається знову, але при зниженому тиску і, як наслідок, при зниженні температури. Таким чином, вода, що подається, яка використовується для конденсації пари на кожній стадії від найнижчого тиску на першому етапі до найвищого тиску на останній стадії, постійно нагрівається. Результатом є низька середня різниця температур між водою, що подається, і парою, що конденсується, хоча теплопередача є латентно-чутливого типу. Таким чином, втрати ексергії є низькими. Циркуляція розсолу в основному знижує витрати на попередню підготовку, але також забезпечує більш високу операційну гнучкість та кращу термічну ефективність. У той же час зростає складність і витрати на компоненти, будівництво та обслуговування. Витрати електроенергії знаходиться в діапазоні 23-27 кВт год/м^3 дистильованої води. Зазвичай такі установки працюють разом з електростанціями. Таким чином, вони, з одного боку, можуть використовувати низькотемпературну не

використану енергію та, з іншого боку, установка знесолення забезпечує охолодження електростанції. Вимоги до попередньої підготовки води, що подається, значно нижчі, ніж для основного конкурентного процесу – зворотного осмосу [10].

В останні роки зворотний осмос став широко використовуватися для очищення води. *Метод зворотного осмосу* – один з найбільш перспективних методів очистки та глибокого знесолення води з різними рівнями мінералізації. Він базується на розділенні розчинів фільтрацією через напівпроникні мембрани з порами, які дозволяють проникати молекулам води, але не пропускають гідратовані іони або молекули недіссоціірованних сполук.

Знесолення мінералізованої води шляхом зворотного осмосу базується на процесі, коли чиста вода тече під тиском, який перевищує осмотичний тиск у напрямку від сольового розчину до прісної води через напівпроникний бар'єр. Останній, як правило, вибирають так, щоб молекули води могли проходити крізь нього, але іони солей, розчинені в мінералізованій воді, не проходили через мембрану. Оскільки іони солей розміром принаймні наполовину більше, ніж молекули води, такий процес цілком може бути технічно реалізований.

Метод зворотного осмосу у порівнянні з традиційними методами має деякі істотні переваги: енергоспоживання протягом процесу є відносно невеликим, установки є простими та компактними, їх робота мало залежить від коливань щодо складу води на вході, нема потреби в висококваліфікованому персоналу для їх експлуатації, установки можуть бути легко автоматизовані. Основна перевага методу зворотного осмосу полягає у фактичній відсутності хімічних речовин для обробки води (кислоти, лугів та ін.) в основному процесі, за винятком невеликої вартості реагентів для регулювання pH, гальмування відкладення солей та періодичної очистки мембран. Скиди стічних вод з установки (концентрат) містять в основному ті ж самі солі, що і вхідна вода, тоді як при процесі демінералізації шляхом іонного обміну загальна кількість розчинних солей становить, щонайменше,в два або навіть в три рази більше, ніж їх вміст у вхідній

воді. У конкретному випадку демінералізації шахтних вод концентрат повністю піддається випаровуванню, тому теоретично відсутня стічна вода взагалі.

Крім того, метод зворотного осмосу характеризується тим фактом, що мембранне розділення відбувається без фазових перетворень, тому електрична енергія використовується тільки для прокачування розчину через мембрану та «проштовхування» розчинника (води) через мембрану. При цьому напівпроникна мембрана не функціонує, як фільтр, який акумулює виділені речовини на її поверхні. Мембрана лише розподіляє вхідний потік на два. Перший потік – це вода, яка пройшла крізь мембрану (фільтрат). Вона містить менше солі, ніж вхідна вода. Другий потік – вхідна вода, яка стає більш концентрованою, коли вона проходить впродовж мембрани, і забирає всю сіль, виділену мембраною. Потік розсолу, що залишає зворотний осмотичний елемент, називається концентратом.

Робочий тиск пристрою залежить від вмісту солей у воді на вході та осмотичного тиску розчину. Для знесолення слабомінералізованої водопровідної води зазвичай достатньо тиску 1 - 2 МПа; для знесолення шахтних вод із вмістом солей до 20 000 мг / дм^3, необхідний тиск 2,5 ... 3,5 МПа; для знесолення морської води необхідний тиск 5 ... 7 МПа.

Мембранна дистиляція (МД) базується на передачі ненасиченої водяної пари через тонкі мембрани завдяки різниці парціального тиску, що виникає в порах мембрани між теплою водою розсолу, що тече з однієї сторони мембрани та між холодною демінералізованою водою, що тече з іншої сторони мембрани. Потік пари через мембрану залежить від її типу, гідрофобних властивостей поверхні, температурних відмінностей з обох сторін мембрани, складу води, технологічних властивостей тощо [10].

Незважаючи на наявність успішного випробування методу в лабораторних умовах, на даний час існує не так багато прикладів безперервної демінералізації в промислових об'ємах, що використовують МД. Гібридне використання МД з іншими технологіями зустрічається набагато частіше.

Дистиляційний модуль, по якому наявні експлуатаційні дані,представляє собою стійке до корозії обладнання та має мембранну поверхню площею 300 м².

Протягом приблизно 14 місяців експлуатації установки для демінералізації вод з океану не було виявлено значного забруднення мембран. Але ефективність модуля була не настільки високою (питомий потік демінералізованої води 3,6 кг/м² на рік), модуль може переробляти макс. 26 м³/добу при режимі роботи 24 години.

Найсучасніший об'єкт знаходиться на пілотній установці Plataforma Solar de Almeria Spain, де вода океану була демінералізована теплом, виробленим за допомогою сонячних батарей загальною потужністю 150 кВт год при 85 °C. В період з 2010 по 2013 використовували три різних типи мембран. Максимальна ефективність агрегатів досягала показників 35 кг/м^2 на рік, що є відносно високим рівнем. Технічні проблеми з'явилися через забруднення поверхні мембрани. Якщо припускати, що споживання енергії для демінералізації становить 3 кВт год/м^3 за оптимістичної оцінки, то максимальна ефективність такої установки може досягати 50 м³/год. За умови ефективної роботи сонячних батарей (в середньому 8 годин на добу), ефективність буде 400 м³/добу. Загалом, ефективність блоків МД не перевищує звичайно декілька сотень м³ на день.

Досвід застосування агрегатів для демінералізації океанських вод зі складом, що дуже схожий на воду шахт Донбаса, виявив такі проблеми [8, 14, 25]: надзвичайно високе споживання теплової енергії в діапазоні від 1 до 60 кВт год/м^3, яке можна значно зменшити, використовуючи залишкове тепло або невикористану гарячу воду (T> 77 °C); зменшення селективності мембран при наявності поверхнево-активних речовин; забруднення мембран відкладеннями солей та біологічними речовинами, що призводить до додаткових витрат на періодичне промивання кислими розчинами, після такої повторної обробки зменшується ефективність дистиляції.

Витрати на демінералізацію, що використовують МД, становить приблизно \$1/м^3, а інвестиції на агрегати МД оцінювалися як \$130/м^3 на день. Для технології зворотного осмосу ціна демінералізації значно нижче, ніж для МД (\$0,5 - 0,6/м^3). Але MD має шанс, якщо використовувати залишкове тепло (наприклад, вода теплоелектростанцій), це дозволяє знизити ціну очистки до 0,34-0,56 \$ /м³, це

також вимагає попередню підготовку, що включає в себе очистку від часток 40 мкм і деаерацію. Відповідно до цих даних, спільне використання МД та зворотного осмосу значно підвищує ефективність демінералізації.

Слід зазначити, що в оцінках не враховуються витрати на утилізацію залишкових розсолів.Вихід цього продукту може становити мільйони м³ на рік. Ціна на очищену воду буде занадто високою, а їх обсяги можуть використовуватися тільки для обмежених потреб на місті.

До того ж, не завжди існує можливості розмістити стільки МД-модулів поблизу ставків підприємств. Установка МД-модулів безпосередньо біля насосних станцій шахти залежить від місцевих умов на шахтах. Встановлення модуля МД поблизу насосної станції шахти має сенс лише в разі використання залишкового тепла шахтних вод (геотермального ресурсу). Це зменшить витрати на транспортування шахтних вод. Таким чином, використання МД для демінералізації всіх шахтних вод, буде економічно недоцільним, беручи до уваги всі відомі приклади промислового використання цієї технології. Причиною цього є низька ефективність модулів, високі витрати та потреба в утилізації залишкових розсолів. На дальшу перспективу, модулі дистиляції можуть бути встановлені біля локальних джерел залишкового тепла, наприклад, на теплоелектростанціях.

Метод іонного обміну при демінералізації та знесоленні води базується на послідовній фільтрації води через N-катіонний, а потім через NSO_3-, OH- або CO_2-аніонний фільтр. У Нкатіонному фільтрі катіони, що містяться у воді, переважно Ca (II), Mg (II), Na (I), замінюються на катіони водню. Потім вода проходить через OH-аніонні фільтри, де утворені кислотні аніони замінюються на OH-іони. Залежно від необхідної ступені знесолення води, інсталюють одно-, дво- та триступеневі установки, але в усіх випадках для видалення іонів металу з води використовуються сильнокислий H-катіон з великою обмінною здатністю [10].

Основними недоліками демінералізації методом іонного обміну є:

– в цьому конкретному випадку наявність стоків, які не підходять для переробки за допомогою цього методу внаслідок високої мінералізації, та значних витрат реагентів на регенерацію іоннообмінного матеріалу;

– Н-катіонні фільтри регенеруються кислотою (сірчана, хлористо-водородна) з витратою 70 ... 75 г / г еквіваленту. Для II стадії із Н-катіонними фільтрами, питома витрата 100% сірчаної кислоти дорівнює 100 г / г еквіваленту поглинених катіонів. Споживання води для промивки катіону: 5 ... 8 $м^3/м^3$ катіонів;

– регенерація ОН-аніонітових фільтрів проводиться лужним розчином, питома витрата 100% NaOH складає 120 ... 140 кг / $м^3$ аніоніту. Споживання води для промивки: до 10 $м^3$ / $м^3$ аніоніту;

– як правило, під час опріснення прісної води фільтри першого етапу регенеруються кожні 8 ... 10 годин, фільтри другого ступеню – кожні 8 ... 10 днів. Час регенерації фільтра становить 3 ... 3,5 години, тому установка потребує встановлення на кожному етапі двох фільтрів (один працює, інший регенерується), що збільшує капітальні витрати [11].

– зважаючи на велику кількість необхідних реагентів, витрати, пов'язані з їх транспортуванням та зберіганням, будуть зростати;

– виникає потреба в організації системи управління реагентами для отримання кислотта лугів, їх розчинення та підготовки вхідних та робочих розчинів;

– технологія супроводжується значним скиданням мінералізованих стічних вод у каналізаційні мережи та забрудненням навколишнього середовища;

– ця технологія не може використовуватися на великих очисних установках.

Демінералізація води за допомогою електродіалізу ґрунтується на ефекті перенесення іонів солей до протилежно заряджених електродів. У цьому процесі іони переносять електричний струм через розчин і розряджаються на електродах. Процес демінералізації в електродіалізі не потребує додаткових хімічних речовин, під час цього процесу не виробляються жодні речовини, що отруюють навколишнє середовище, але є одна передумова для експлуатації установки електродіалізу, це ретельна попередняпідготовка вхідної води, а саме видалення

завислих твердих речовин та органічних домішок,а також залізовмісних та марганцевих сполучень. Метод має і інші недоліки. Перш за все, це низька ефективність. Виробнича потужність установок електродіалізу пропорційна їх заряду електричним струмом. Але, збільшення густини струму має свої межі. Існує так звана гранична густина струму, вище якої ефективність катода істотно зменшується, а виробнича потужність навряд чи зросте. Тому, щоб покращити силу струму, поверхню іонообмінних мембран у електродіалізі слід збільшити. Проте в пристроях з плоскими чарунками питома щільність поверхні мембран ($м^2/м^3$) є низькою.

Крім того, під час опріснення води із вмістом солей 3000 ... 5000 мг / л споживана електроенергія становить кілька десятків $кВтг/м^3$. Тому вартість обробленої води висока [12].

У процесі очистки води за допомогою високої концентрації хлоридів відбувається виділення вільного хлору в атмосферу установи хімічного очищення води. Це вимагає додаткових заходів щодо забезпечення безпеки персоналу. Недоліками процесу також є необхідність періодичного розбирання та збирання дисків електродіалізаторів для обробки мембран хімічними реагентами. Ця операція займає багато часу і вимагає ручної праці кваліфікованих монтажників. Крім того, необхідно забезпечити резервне обладнання для очищення води під час періодичного обслуговування електродіалізаторів.

Переваги процесу обробки методом електродіалізу включають повну придатність пристроїв до ремонту та високу здатність до відновлення властивостей іонообмінних мембран, а також можливість заміни будь-якого компонента, що відказав. Досвід роботи промислових установок електродіалізу показав, що, за умови періодичного технічного обслуговування, це обладнання може надійно працювати протягом десятиліть.

Ця технологія насправді мало представлена на ринку через високі вимоги до якості мембран та вже згадані вимоги щодо якості води, що поступає.

Замороження та газогідратна технологія. Відомий факт, що під час заморожування мінералізованих вод, вони розділяються на концентрований розсіл

і лід, який майже не містить солі. Відокремлення льоду від води та його танення виробляє майже дистильовану воду. Назване явище було використано для розробки технології демінералізації води шляхом заморожування. Перевага заморожування над дистиляцією полягає в тому, що при таненні льоду поглинається лише 80 ккал/кг енергії, що майже в 7 разів менше, ніж при випаровуванні води. Однак ряд технічних проблем усуває цю теоретичну перевагу.

По-перше, багаторазове використання тепла води, що тане (як у випадку тепла конденсації в багатоагрегатних випарниках). Проведення демінералізації за технологією заморожування вимагає не тепла, яке безпосередньо одержується шляхом спалювання палива, а холоду, що виробляється з електроенергії. Ось чому 1 ккал холоду дорожче, ніж 1 ккал тепла. Значна частина прісної води (до 15%) повинна бути витрачена на те, щоб відмити лід від плівки розсолу між кристалами. Нарешті, четверте, із часом, як збільшується концентрація розсолу, значно збільшується різниця температур льоду, що тане, та води з розсолу, що замерзає. За таких обставин коефіцієнт корисної дії холодильної установки починає знижуватися. Тому спосіб заморожування не дозволяє отримати концентрований розчин, який можна безпосередньо перетворити в суху сіль [10].

Все вищевикладене призводить до того, що технології заморожування зараз використовуються дуже мало. Її частка у загальній демінералізації води менше 1%. Деякі з зазначених недоліків вирішується при технології газогідратів. Ідея методу полягає в кристалізації гідратів деяких газів – CO_2, CH_4, Ar, CF_4 та інше під підвищеним тиском. На відміну від заморожування льоду цей процес відбувається при позитивних температурах. Проте необхідність використання високого тиску вищезазначених газів та пов'язана з цим технічна складність створює перешкоду для реалізації технології газогідратів у фактичному виробництві.

2 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБРАНОГО НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

Відповідно до Правил охорони поверхневих вод від забруднення [2] та Інструкції [3], підприємства-водокористувачі, що скидають зворотні води з перевищенням ПДВ, зобов'язані в строки, узгоджені з органами охорони навколишнього природного середовища, забезпечити розробку та реалізацію водоохоронних заходів.

Зіставлення величин фактичного і гранично допустимого скидання забруднюючих речовин, підприємства, дозволяє визначити основні нормативні показники складу вод, що скидаються, за якими необхідна реалізація комплексу організаційних і технічних заходів. До таких показників відносяться основні компоненти мінерального складу – сульфати і мінералізація.

Слід зазначити, що перевищення ГДК речовини в шахтних водах по вмісту мінеральних солей не пов'язане безпосередньо з виробничою діяльністю і функціонуванням шахти. Шахтні води, що відкачуються з підземних горизонтів, мають сталий природний фон. Цей фон перевищує норми ГДК як для рибогосподарського, так і для комунально-побутового водокористування по солевмісту і сульфатам.

Згідно ст.72 Водного кодексу України [11], підприємства та організації, які відкачують з надр шахтні води, для запобігання затоплення шахт, кар'єрів і рудників, зобов'язані впроваджувати ефективні технології, які забезпечують зниження рівня їх природної мінералізації перед скиданням у водні об'єкти.

У вітчизняній і зарубіжній практиці є перевірені технології та обладнання для демінералізації води аналогічного класу до рівня прісної води з утилізацією розсолів, що виділяються при знесоленні.

Існуючі технології включають ряд основних технологічних стадій: попередню підготовку води перед концентруванням (видалення осадоутворюючих компонентів, тонке очищення від зважених речовин,

стабілізацію і т. інше); мембранне або термічне опріснення-концентрування; випарювання з розділенням солей і отриманням солепродуктів, які необхідно утилізувати. Для реалізації цього технічно складного і досить дорогого заходу (капітальні річні питомі витрати на будівництво установок і споруд для знесолення стічних вод до встановлених допустимих концентрацій, річні експлуатаційні витрати, утилізація розсолів) необхідна розробка техніко-економічного обґрунтування застосування того чи іншого виду установок демінералізації для конкретного водокористувача [8].

З огляду на високу вартість опріснення води, представляється економічно недоцільним проводити деминерализацию шахтної води окремої шахти. Доцільно це робити для групи шахт. Частину недемінералізованої шахтної води можна використовувати на виробничі потреби шахти (пилопригнічення, пожежогасіння).

Поверхневі водотоки отримують значне негативне техногенне навантаження, так як вони використовуються як приймальники недостатньо очищених шахтних вод. Системи очищення таких вод, як правило, складаються з локальних споруд, розміщених безпосередньо на територіях шахт, але величезні обсяги забруднених вод не дозволяють досягнути необхідного ступеню очищення в них. Тому після попереднього очищення на локальних очисних спорудах шахтні води відводяться у ставки-накопичувачі, які розміщуються у межах долин річок, в яружно-балочній системі. Але таке рішення є досить складним у реалізації та експлуатації.

Виходячи із цього, розгляд перспектив оптимізації скидання та утилізації надлишку шахтних вод є актуальним і важливим напрямом досліджень.

3 АНАЛІЗ СТАНУ ІСНУЮЧОЇ СИСТЕМИ СКИДАННЯ НАДЛИШКУ ШАХТНИХ ВОД

3.1 Джерела скидання шахтних вод

Криворізький залізорудний басейн (далі Кривбас) – найбільший в Україні басейн з покладами багатих залізних руд, головний гірничодобувний центр країни, розташований на території Дніпропетровської області. З початку промислового освоєння надр в Криворізькому залізорудному басейні видобуто близько 6 млрд. т залізорудної сировини. Сьогодні в Кривбасі одночасно експлуатується 18 родовищ, які розробляються відкритим та підземним способами. В басейні діє 8 шахт з підземного видобутку залізорудної сировини, які ведуть гірничі роботи в особливо небезпечних підземних умовах на глибинах 800 - 1500м. В 90-х роках минулого століття, в період економічного спаду, була зупинена виробнича діяльність 6 шахт. Для недопущення затоплення виробничого простору діючих шахт та втрати доступу до запасів залізних руд, державою, було прийнято низку рішень про переведення 3 шахт (Гігант, Саксагань, Першотравнева) в режим «сухої» консервації з підтримкою постійного режиму гідрозахисту (відкачки підземних вод з надр). Ще 3 відокремлені шахти (ГПУ, Південна, Північна ім. Валявко), які не мали гідравлічного зв’язку з іншими шахтами та відпрацювали запаси залізних руд, було закрито і ліквідовано. Відповідно відкачку підземних вод з них було припинено.

Паралельно з шахтами в Кривбасі функціонує 5 великих гірничо-збагачувальних комбінатів, які ведуть видобуток руди у 10 кар’єрах на глибинах 250 - 450 м та здійснюють її переробку на гірничо-збагачувальних фабриках.

Шахтні та кар’єрні води використовуються для поповнення зворотних систем водопостачання на гірничо-збагачувальних комбінатах Кривбасу, надлишки шахтної води накопичуються у ставку-накопичувачу шахтних вод в балці Свистунова. Останнє десятиріччя діючі гірничорудні підприємства

Кривбасу та ті що працюють в режимі гідрозахисту, щорічно, відкачують на поверхню близько 40 млн.м^3 підземних вод (шахтні, кар'єрні), серед яких 21 - 22 млн.м^3 кар'єрних вод та 16-17 млн.м^3 високомінералізованих шахтних вод. В основному це хлорид-сульфатні води з високим вмістом іон-хлору, сульфату, натрію, калію, магнію та кальцію з підвищеним рівнем загальної мінералізації від 5 до 96 г/л, усереднена мінералізація до 40 г/л.

Максимальні можливості по використанню підземних вод у зворотних циклах гірничорудних підприємств Кривбасу граничать на рівні 28 – 30 млн.м^3 на рік. Решта 11-12 млн. м^3 надлишків зворотних вод щорічно акумулюється і тимчасово утримується в ставку-накопичувачу шахтних вод.

Кар'єрні води ПРАТ «Інгулецький ГЗК», ПРАТ «Південний ГЗК», ГЗК ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», ПРАТ «Центральний ГЗК» та ПРАТ «Північний ГЗК» відкачуються цими підприємствами самостійно і використовуються на комбінатах у власних системах зворотного водопостачання (рис. 3.1).

Шахтні води відкачуються з 8 діючих шахт (Тернівська, Гвардійська, Жовтнева, Батьківщина ПАТ «Кривбасзалізрудком», Ювілейна та ім. Фрунзе ПрАТ «ЄВРАЗ СУХА БАЛКА», ім. Орджонікідзе ПРАТ «ЦГЗК», ШУ ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг) та з 2 шахт (Першотравнева-Дренажна ПРАТ «ПІВНГЗК», Гігант-Дренажна ПРАТ «ЦГЗК»), які реструктуризовані і працюють виключно у режимі гідрозахисту. Шахти ГПУ, Південна, Північна ім. Валявко ліквідовані і знаходяться на «мокрій» консервації, відкачка з них не здійснюється (табл. 3.1). Перекачка шахтних вод до накопичувачів здійснюється по магістральним трубопроводам трьома насосними станціями шахтних вод (Руднична, Шахтарська, та насосна станція №8).

Від південної групи шахт насосними станціями Руднична та Шахтарська шахтні води відкачується на південь (12-13 млн.м^3/рік), які перекачуються виключно в ставок-накопичувач шахтних вод в б. Свистунова, для їх тимчасової акумуляції та наступного скиду у міжвегетаційний період в річку Інгулець.

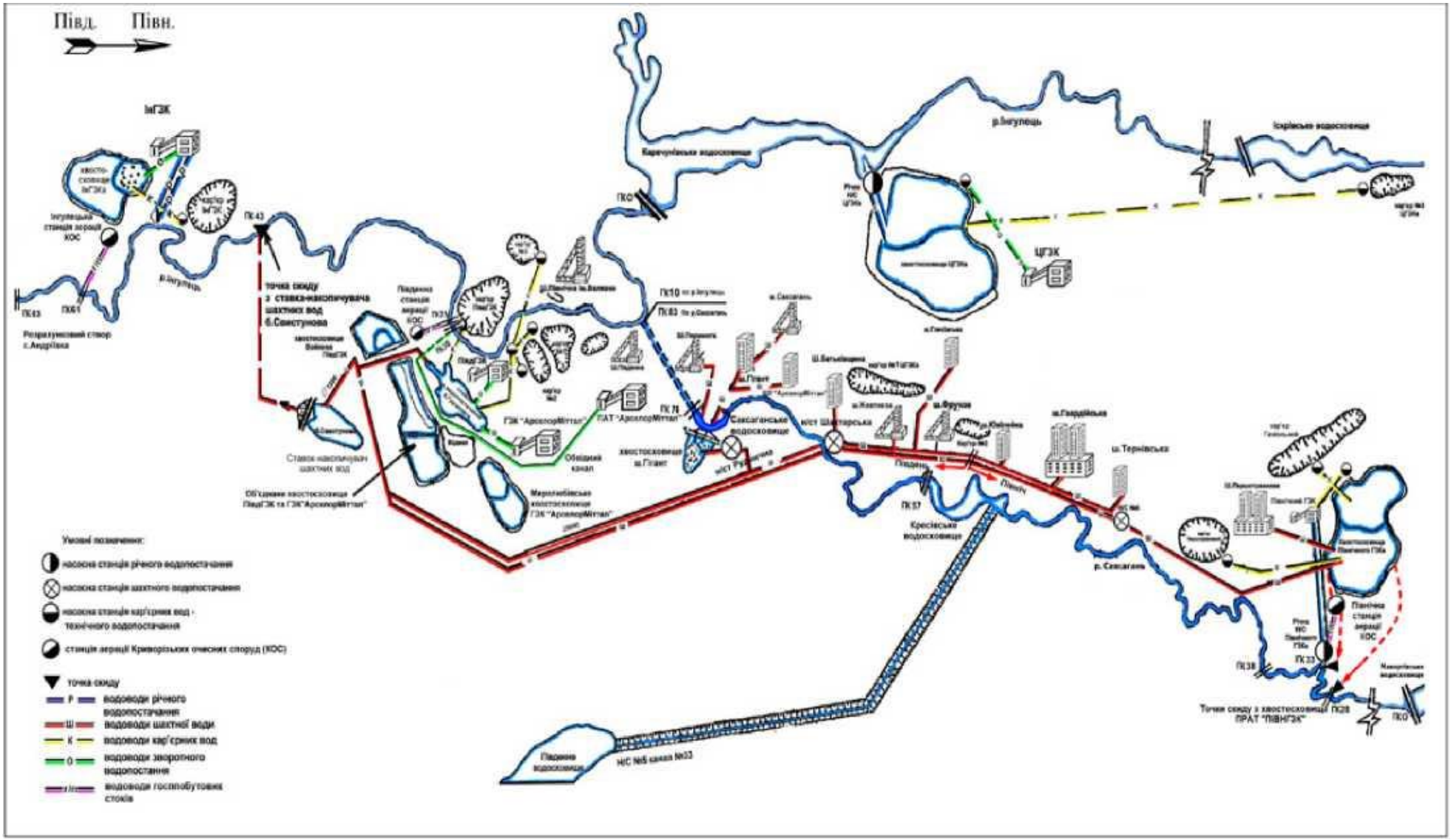

Рисунок 3.1 – Схема використання та скиду вод гірничорудних підприємств Кривбасу

Таблиця 3.1 – Фактичні обсяги відкачки шахтних вод (тис. м^3)

Назва підприємства	2014	2015	2016	2017	2018
Шахта «Тернівська»	1463,8	1584,4	1439,2	1368,4	1199,5
Шахта «Гвардійська»	1110,5	1232,2	1310,4	1136,6	929,3
Шахта «Ювілейна»	746,2	1002,4	1006,1	843,0	796,4
Шахта «Ім.Орджонікідзе»	161,2	159,3	146,1	126,0	136,0
Загалом по н.с. №8	3481,7	3978,3	3901,8	3474,0	3061,2
Шахта «Першотравнева-Дренажна»	585,4	628,0	569,9	563,4	587,1
Всього на північ	4067,1	4606,3	4471,7	4037,4	3648,3
Шахта «Октябрська»	1500,3	1482,6	1466,5	1273,9	1287,8
Шахта «Батьківщина»	3281,1	3709,8	4416,6	4619,1	4784,3
Шахта «ім.Фрунзе»	665,4	782,2	661,5	805,7	986,1
Загалом по н.с. Шахтарська	5446,8	5974,6	6544,6	6698,7	7058,2
ШУ «АрселорМіттал Кривий Ріг»	3673,1	3454,8	3229,0	3066,4	2791,1
Шахта «Гігант-Дренажна	3143,6	3326,5	3291,9	3121,8	2704,8
Загалом по н.с. Руднична	6816,7	6781,3	6520,9	6188,2	5495,9
Всього на південь	12263,5	12755,9	13065,5	12886,9	12554,1
Всього по Кривбасу	16330,6	17362,2	17537,2	16924,3	16202,4

Після скиду надлишку шахтних вод русло річки Інгулець промивається водою з Карачунівського водосховища, з компенсацією необхідних обсягів води дніпровською водою по каналу «Дніпро-Інгулець».

Від північної групи шахт насосною станцією №8 шахтні води відкачуються на північ (3,0 – 4,0 млн. м^3/рік) в хвостосховище ПРАТ «ПІВНГЗК», де вона використовується в циклах зворотного водопостачання комбінату.

Шахта «Першотравнева-Дренажна» самостійно здійснює відкачку та транспортування шахтних вод (близько 0,6 млн. $м^3$/рік) в хвостосховище ПРАТ «ПІВНГЗК».

Періодично, вразі утворення надлишку зворотних вод в хвостосховищі ПРАТ «ПІВНГЗК», надлишок зворотних вод, виключно у міжвегетаційний період скидається в річку Саксагань.

Після скиду надлишку зворотних вод у річку Саксагань, русло річки промивається дніпровською водою з Південного водосховища по каналу №33.

Шахтні води північної групи шахт технологічно використовуються у циклах зворотного водопостачання при збагаченні руди на Північному гірничо-збагачувальному комбінаті (ПРАТ «ПІВНГЗК»).

Періодично, зважаючи на неможливість використання, усього обсягу відкачуваної як шахтної так і кар'єрної води у технологічних циклах по збагаченню руди на ПРАТ «ПІВНГЗК» здійснюються вимушені скиди надлишків зворотних вод з хвостосховища ПРАТ «ПІВНГЗК» в р. Саксагань, лівобережний приток р. Інгулець. Зважаючи на гідравлічний зв'язок розбавлені до допустимих концентрацій зворотні води з хвостосховища ПРАТ «ПІВНГЗК» через р. Саксагань надходять в р. Інгулець, вище місця скиду надлишків шахтних вод зі ставка-накопичувача. Після здійснення скиду надлишків зворотних та шахтних вод, русла зазначених річок промиваються дніпровською водою.

Через відсутність інших вільних ємностей, придатних для постійної чи тимчасової акумуляції шахтних вод, в Кривбасі існує постійний ризик зупинки відкачки шахтних вод, і як наслідок припинення роботи підприємств з підземного видобутку залізорудної сировини (шахт).

3.2 Система збору та транспортування шахтних вод

Збір шахтних вод та транспортування їх до акумулуючих ємностей здійснюється по магістральним трубопроводам трьома насосними станціями шахтних вод. Загальна довжина системи відводу шахтних вод Кривбасу складає –

102,0 км. Загальна система відводу шахтних вод Кривбасу знаходить на балансі та експлуатується державним промисловим підприємством «Кривбас-промводопостачання» (далі ДПП «КПВП»).

Від шахти ім. Фрунзе, яка знаходиться на водорозділі, від південної групи шахт: «ім. Фрунзе» ПрАТ «Євраз Суха Балка», «Октябрьска» та «Батьківщина» ПАТ «Кривбасзалізрудком», шахтоуправління ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг» та «Гігант-дренажна» ПРАТ «ЦГЗК» насосними станціями Руднична та Шахтарська відкачується на південь близько 12 млн.м^3/рік шахтних вод, які подаються в ставок-накопичувач шахтних вод б. Свистунова для їх тимчасової акумуляції та подальшого скиду в р. Інгулець.

Від північної групи шахт: «Ювілейна» ПрАТ «Євраз Суха Балка», «ім. Орджонікідзе» ПРАТ «ЦГЗК», «Гвардійська» і «Тернівська» ПАТ «Кривбасзалізрудком» та шахта відкачка в обсязі 3,0 – 3,5 млн. м^3/рік здійснюється насосною станцією №8 в хвостосховище ПРАТ «ПІВНГЗК», де вона використовується в циклах зворотного водопостачання комбінату. Шахта «Першотравнева-дренажна» ПРАТ «ПІВНГЗК» здійснює самостійну відкачку та транспортування в хвостосховище ПРАТ «ПІВНГЗК», обсяг відкачки 0,6 – 0,8 млн. м^3/рік. Біля хвостосховища ПРАТ «ПІВНГЗК» побудована та діє насосна станція №9, яка забезпечує виключно підйом шахтних вод безпосередньо в хвостосховище, яке постійно розбудовується та нарощується. Зазначена насосна станція перебуває на балансі та експлуатується ПАТ «Кривбасзалізрудком».

3.3 Режим скиду надлишків шахтних вод по існуючій системі

Щорічний дозований (регулюваний) скид надлишків зворотних вод здійснюється згідно з «Регламентом скиду» виключно у міжвегетаційний період (листопад – лютий), з розбавленням зворотних вод до рекомендованих норм якості води у контрольних створах розташованих нижче місця скиду. Динаміку фактичних обсягів скиду надлишків шахтних вод гірничорудних підприємств

Кривбасу, що проходять через ставок-накопичувача з 2005 по 2017 рік наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Динаміка фактичних обсягів скиду

Період скиду: (листопад-лютий)	Фактичний обсяг скиду, млн. $м^3$
2005-2006 рр.	10,762
2006-2007 рр.	10,420
2007-2008 рр.	11,000
2008-2009 рр.	11,708
2009-2010 рр.	11,195
2010-2011 рр.	11,100
2011-2012 рр.	10,874
2012-2013 рр.	9,950
2013-2014 рр.	9,420
2014-2015 рр.	10,188
2015-2016 рр.	9,836
2016-2017 рр.	9,596

Відповідно до фактичних обсягів надходження та акумуляції шахтних вод в ставку-накопичувачу, скид їх надлишків здійснюється щорічно, у міжвегетаційний період, в обсязі 10,0 – 12,0 млн. $м^3$. Концентрація солей в шахтних водах, які скидаються, коливається в межах 38,0 – 42,0 г/л (в середньому близько 40,0 г/л) і має тенденцію до зростання. В зв'язку з подальшим поглибленням шахт виникає потреба у відкачці підземних вод з більш глибоких горизонтів, де концентрація солей вища у порівнянні з верхніми горизонтами. Для досягнення розрахункової концентрації солей у контрольному створі «Регламентом скиду» передбачається подача води з Карачунівського водосховища в обсягах, достатніх для розбавлення шахтних вод, що скидаються зі ставка накопичувана. Для компенсації відповідного обсягу води, що використовується з Карачунівського водосховища для розбавлення шахтної води, в басейн р. Інгулець залучаються аналогічні обсяги дніпровської води шляхом подачі по каналу «Дніпро-Інгулець».

Допустимі концентрації забруднюючих речовин у контрольному створі визначаються з урахуванням результатів досліджень та рекомендацій, наданих Національним аграрним університетом НАН України та інститутом гідробіології НАН України. На підставі багаторічних досліджень та враховуючи багато численні дані інших дослідників по впливу хлоридів, сульфатів, мінералізації на життєдіяльність іхтіофауни встановлено, що при скиді зворотних вод вміст хлоридів нижче зони змішування не повинен бути вищим, ніж 4,5 г/л при загальному рівні мінералізації води не більше 9,0 г/л.

У відповідності до «Регламентом скиду» на період скиду, для контролю за хімічним складом води шляхом відбору проб, на річках Інгулець і Саксагань встановлюються 10 тимчасових контрольних створів, з яких 1 контрольний створ на р. Саксагань і 9 контрольних створів на р. Інгулець. Серед них 6 розрахункових контрольних створів, 1 лімітуючий контрольний створ – скид з ставка-накопичувача б. Свистунова та 3 контрольних створи на постійно діючих водовипусках в р. Інгулець, розташованих нижче греблі Карачунівського водосховища до замикаючого контрольного створу – державний контрольний гідрологічний пост в с. Андріївка.

В період виконання скиду надлишків зворотних вод контроль за дотриманням розрахункових норм якості води, які повинні бути досягнуті на термін контролю, здійснюється контролюючими органами шляхом порівняння виміряних показників із відповідними однойменними показниками визначеними в регламенті скиду, безпосередньо в лімітуючому контрольному створі, контрольному створі нижче від місця скиду та зони змішування зворотних вод, а також в замикаючому контрольному створі – державний гідропост в с. Адріївка.

Скид надлишків шахтних вод призводить до тимчасового погіршення стану водного об’єкту нижче точки скидання, до моменту промивки. Для поліпшення якості води у водному об’єкті, після скиду надлишків зворотних вод, виконуються заходи з ліквідації наслідків скиду, шляхом виконання промивки русла річки Інгулець, від греблі Карачунівського водосховища до її гирла та, періодично,

річки Саксагань, від греблі Макортівського водосховища до її гирла, коли виконується скид надлишків зворотних вод з хвостосховища ПРАТ «ПІВНГЗК».

3.4 Стан системи відводу шахтних вод

3.4.1 Стан трубопроводу

До складу загальної системи відводу шахтних вод Кривбасу входять 3 насосні станції з перекачки шахтних вод та 107,0 км трубопроводів 0 від 400 до 1200 мм.

За тривалий період експлантації системи від 35 до 55 років (більшість ділянок трубопроводів понад 50 років) система відводу шахтних вод не зазнала значних реконструкцій та перебудов, через що трубопроводи фізично стали не придатними для їх подальшої експлуатації. На теперішній час потребують заміни майже 90% діючих трубопроводів системи.

Через високий вміст завислих речовин (10 – 30 мг/л) в шахтних водах, що відкачуються з шахт, за тривалий період експлуатації на занижених ділянках трубопроводів відбулося їх замулювання з втратою від 50 до 70 пропускної спроможності трубопроводів.

На протязі останніх 10 – 15 років система експлуатується практично в аварійному стані зі значними обмеженнями режимів тисків транспортування шахтних вод. Вся система відведення шахтних вод Кривбасу потребує невідкладних робіт з її капітальної реконструкції та навіть часткової перебудови.

3.4.2 Стан ставка-накопичувача

Ставок-накопичувач шахтних вод розміщений на лівому березі річки Інгулець в балці Свистунова, яка входить в систему водозбору р. Інгулець. Адміністративно об’єкт розташований в Широківському районі Дніпропетровської області, на південь від м. Кривий Ріг.

Ставок-накопичувач призначений для тимчасової акумуляції надлишків шахтних вод у вегетаційний період, з наступним повним спорожненням його в осінньо-зимовий (міжвегетаційний) період. В ставок-накопичувач постійно надходять шахтні води з південної групи шахт. Наповнення ставка-накопичувача шахтними водами здійснюється по напірному трубопроводу діаметром 1200 мм.

За висновками проектної організації (проектно-розвідувальний та науково-дослідний інститут ПАТ «Укрводпроект»), яка здійснює авторській нагляд за об'єктом, сучасний стан ставка-накопичувача в цілому задовільний. Ложе ставка-накопичувача у задовільному стані. Завдяки експлуатації ставка-накопичувача в режимі тимчасової акумуляції до рекомендованого рівня, з наступним повним його спорожненням, відсутній постійно діючий фільтраційний напір, тому і на далі залишається актуальним питання обмеження його наповнення вище рекомендованого рівня.

Відкачку шахтних вод на скид забезпечують дві плавучі насосні станції (НС1 та НС2) потужністю 0,9 $м^3/с$ кожна. Для дозування випуску шахтних вод в р. Інгулець насосні станції мають технічну можливість регулювати витрати скиду від 0,6 до 0,9 $м^3/с$.

Паралельний режим роботи насосних станцій може забезпечувати регульований скид шахтних вод в діапазоні від 06 до 1,7 $м^3/с$. Скид надлишків зворотних вод з ставка-накопичувача в р. Інгулець здійснюється одним поверхневим зосередженим випуском, діаметром 1000 мм, який розташований на лівому березі р. Інгулець, нижче с. Латівка, на 302 км від її гирла.

Гідровузол ставка-накопичувача знаходиться в задовільному стані. Кріплення укосів греблі не порушено. Величини вертикальних та горизонтальних зміщень греблі не перевищують допустимих значень. Виходу фільтраційних вод в нижньому б'єфі не спостерігається. Контрольно-вимірювальна апаратура перебуває у задовільному стані. Насосні станції (НС1 і НС2) утримуються в задовільному стані та потребують поточного ремонту. Скидний трубопровід також потребує поточного ремонту для підтримки його у робочому стані. Рівень підземних вод в районі розташування ставка-накопичувача стабільний.

3.4.3 Стан хвостосховища ПАТ «Північний гірничо-збагачувальний комбінат»

Хвостосховище приватного акціонерного товариства «Північний гірничо-збагачувальний комбінат» (далі ПРАТ «ПІВНГЗК») розташоване в північно-східній частині м. Кривий Ріг, на правому березі річки Саксагань, в межах балки Петрикова, яка входить в систему водозбору р. Саксагань.

Хвостосховище ПРАТ «ПІВНГЗК» це складна гідротехнічна споруда, огороджена системою гребель і дамб, всередині яких розташовуються відходи рудозбагачення (хвости і вода). Існуюче хвостосховище є головною спорудою, що забезпечує основний технологічний процес – складування відходів збагачення руди. Тип хвостосховища за способом заповнення-намивне, за характером рельєфу-балкове. Початок експлуатації хвостосховища 1964 рік.

Хвостосховище складається з двох відсіків. Будівництво хвостосховища ПРАТ «ПІВНГЗК» здійснюється чергами, шляхом створенням двох суміжних відсіків (№1 та №2) з каскадним їх розташуванням в балці Петрикова. Перший відсік розташовується в верхів'ї балки та побудований для складування хвостів, загальною площею 980 га. Сучасна відмітка гребня першого відсіку -157,0 м. Другий відсік, площею близько 315 га, розташований нижче по тальвегу балки та використовується як ставок зворотного водопостачання. Постійна відмітка гребня другого відсіку -145,0 м. Чаша хвостосховища та ставок зворотного водопостачання використовуються в якості ємностей для тимчасової акумуляції зворотної води, з метою її освітлення та наступної подачі в систему зворотного водопостачання рудозбагачувальних фабрик комбінату.

Вода на хвостосховищі проходить замкнутий зворотний цикл, поступаючи в нього у вигляді пульпи (хвости і вода) зі збагачувальних фабрик. Пульпа розподіляється по картах намиву у відсіку №1. Після осідання хвостів, частково освітлена вода, перетікає у відсік №2, де вона досягає остаточного освітлюється і насосною станцією зворотного водопостачання знову подається на збагачувальну фабрику для подальшого використання в процесі рудозбагачення.

Для поповнення обсягів зворотних вод замкнутого циклу водопостачання комбінату в хвостосховище постійно подається кар’єрна вода Першотравневого і Ганнівського кар'єрів ПРАТ «ПІВНГЗК», а також шахтна вода з шахти «Першотравнева-Дренажна» ПРАТ «ПІВНГЗК» та північної групи шахт Кривбасу. Якість води демонструє таблиця 3.3.

Таблиця 3.3 – Хімічний склад зворотних вод в хвостосховищі ПРАТ «ПІВНГЗК»

Компоненти, мг/л		
Хлориди	Сульфати	Мінералізація
8360	1835	17042

Скидання надлишків зворотних вод з хвостосховища в р. Саксагань здійснюється двома поверхневими зосередженими водовипусками діаметром 630 мм, що розташовані на правому березі р. Саксагань, відповідно на 48 та 50 км від її гирла, нижче за течією від села Сергіївка.

4 АНАЛІЗ ВПЛИВУ СИСТЕМИ СКИДАННЯ НАДЛИШКУ ШАХТНИХ ВОД НА ДОВКІЛЛЯ

4.1 Особливості хімічного складу води в водоймах басейну р. Інгулець

Пріоритетними хімічними речовинами, які суттєво впливають на водний біоценоз (рослинний і тваринний світ) є загальна мінералізація води, концентрації хлоридів і сульфатів. Саме їх підвищення вище фонових значень впливає на видовий склад і біомасу водних біоценозів.

Склад основних іонів водного середовища Карачунівського водосховища і низин Інгульця істотно відрізняється як в період скидання, так і в стабілізаційний період. Так, в стабілізаційний, літній період, вміст хлоридів і сульфатів коливається в межах 137,4-980,9 мг/л і 493,0 - 784,0 мг/л. У пониззі Інгульця їх концентрації в десятки разів менше 27,0 і 61,6 мг/л відповідно. У р. Саксагань в цей же період вміст хлоридів становив 500 мг/л, а сульфатів 991,8 мг/л. У період скидання ШВ, ці показники в р. Інгулець істотно зростали. В районі с. Широке концентрації хлоридів становили 2500 мг/л, а сульфатів 741,8 мг/л. Загальна мінералізація в період скидання ШВ становила в районі сіл Широке, Латовка, Могиловка 6000-8000мг/л, а в весняний період 1400-3000 мг/л. У весняний період промивання р. Інгулець прісною водою вміст хлоридів і сульфатів різко падав і становило по хлоридам 130-800 мг/л, а по сульфатів 500 - 900 мг/л і наближалося до їх вмісту в Карачунівському водосховищі.

Вміст органічних речовин за показниками біхроматної і перманганатної окислювальності за періодами скидання (зимовий період) і періодом стабілізації після промивання так само коливалося, але в значно менших амплітудах, ніж мінеральних речовин, приблизно в 1,2-1,5 рази.

В період скидання багатомінералізованих ШВ, вода в р. Інгулець істотно переповнена хлоридами, сульфатами, нітратами, нітритами, важкими металами та іншими забруднюючими речовинами.

Слід зазначити, що в результаті промивання Інгульця прісної водою гідрохімічна ситуація і якість води в р. Інгулець значно поліпшується. Однак, різкі перепади вмісту цих речовин протягом одного року негативно впливають на розвиток і продуктивність флори і фауни цих водойм.

4.2 Стан іхтіофауни в річках Інгулець і Саксагань

В даний час видовий склад риб в цих річках формується під сильним антропогенним впливом: забруднення водойм скидами промислових підприємств, зарегулюванням стоку малими водосховищами, що змінило гідрологію цих річок, практично припинилося доступ в середню і верхню течії цих річок прісноводних і солоноватоводних видів риб з низин Інгульця.

Істотний вплив на видову різноманітність риб надає і скидання високомінералізованих ШВ в зимовий період.

У той же час, іхтіофауна частково поповнюється за рахунок надходження води з каналу Дніпро-Інгулець.

У літній, стабілізаційний період в річках Інгулець і Саксагань було виявлено 33 види риб (28 видів в Інгульці та 21 вид в Саксагані). При цьому видовий склад збільшувався вниз за течією Інгульця від 8 видів в Карачунівському водосховищі і у села Лятовка до 13-14 видів у сіл Широке та Шестерня і до 17 видів у м Снігурівка і Нікольському лиман. У р. Саксагань чисельність видів в цей період становила 8–11.

У зимовий період скидання ШВ чисельність видів риб в р. Інгулець зменшилася до 21 го виду. У весняний період промивання видовий склад іхтіофауни зменшився до 20-ти видів. При цьому, як і в стабілізаційний період, чисельність видів збільшувалася вниз за течією Інгульця від 3 видів в Карачунівському водосховищі до 6 видів у сіл Лятовка і Широке і до 8 видів поблизу с Шестерня і до 11 видів у м Снігурівка і Нікольському лимані.

Таким чином, нестабільність мінералізації води в річці Інгульці в різні періоди року (скидання ШВ взимку, промивка навесні, стабільний річний період) є основною причиною низької чисельності видів іхтіофауни. При цьому більшість

видів є «бур'яними», тобто малопродуктивними, непромисловими, представленими еврігалинними видами, тобто такими, які можуть мешкати як в прісній воді, так і в воді невеликої підвищеної мінералізації.

Встановлено, що критичної солоністю для річкових прісноводних організмів різних видів є солоність в межах 3–5 г/л, за умови її сталості. В цьому випадку, складається стійке високопродуктивний водний біоценоз з високим видовим розмаїттям. Різкі коливання солоності протягом різних сезонів року викликають істотну деструкцію водного біоценозу, зниження чисельності і різноманітності видів і біопродуктвності біоценозу.

4.3 Джерела можливого впливу на якість води в басейні р. Інгулець

Скиди надлишків шахтних вод відсутні у «стабілізаційний» період (з 01.03. по 01.04 та з 01.09 по 31.10.), коли не виконуються роботи з промивки русла та поліпшення якості води в р. Інгулець.

Саме в стабілізаційний період стік та якість води в р. Інгулець нижче м. Кривий Ріг формується за рахунок скиду води з постійно діючих водовипусків у р. Інгулець, притоку з р. Саксагань та стоку з водозбірної площі р. Інгулець (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Джерела можливого впливу на якість води в басейні р. Інгулець

Назва об’єкту	*Середні показники вмісту забруднюючих речовин. мг/л			Жорсткість, мг/екв. л
	Хлориди	Сульфати	Мінералізація	
Карачунівське водосховище р. Інгулець	105	409	1003	8,7
Саксаганське водосховище р. Саксагань	636	1015	2692	18,5
Хвостосховище ПРАТ «ПІВНГЗК»	8310	1824	16839	78,7
Північна станція аерації КОС	161	205	683	-
Обвідний канал	422	480	2087	-

Продовження таблиці 4.1

Назва об'єкту	*Середні показники вмісту забруднюючих речовин. мг/л			Жорсткість, мг/екв. л
	Хлориди	Сульфати	Мінералізація	
Південна станція аерації КОС	493	433	2028	-
Ставок-накопичувач шахтних вод	20693	1382	39615	116,0
Канал «Дніпро-Інгулець»	26	29	230	3,6
Канал «Дніпро-Кривий Ріг»	35	61	322	4,0

При реалізації діючої останнім часом системи скиду надлишків шахтних вод в р. Інгулець та промивки русла з забезпеченням необхідної якості зрошувальної води в нижній течії, водні ресурси річки Інгулець протягом року зазнають істотної зміни якості води (від солонуватих до прісних).

Різкі коливання рівнів витрат води з короткими «стабілізаційними» періодами також можуть характеризувати цей водний потік, як досить не стабільний та скачкоподібний, що в цілому не характерно для рівнинних річок і вочевидь є результатом докорінних змін яких зазнав басейн р. Інгулець в цілому.

Вплив скидання шахтних вод в сучасному варіанті скиду надає досить великий негативний вплив на якісний і кількісний склад біоценозу річки Інгульця.

Обумовлено це перш за все різкими, стрибкоподібними змінами загальної мінералізації та концентраціями основних речовин - хлоридів, сульфатів, нітратів та інших хімічних компонентів важливих для обміну речовин водних організмів.

Аналізуючи наявні данні щодо витрат шахт на поточну експлуатацію діючої системи відводу, використання, акумуляції та скиду надлишків шахтних вод Кривбасу, слід відмітити чітку тенденцію зростання щорічних витрат шахт на вирішення питання їх «утилізації» шляхом часткового використання в замкнутих циклах зворотного водопостачання на гірничозбагачувальних комбінатах або скиду надлишків в річки Саксагань та Інгулець.

Негативний вплив на екологічну ситуацію в басейні річки Інгулець надає не стільки ставок-накопичувач шахтних вод в балці Свистунова, скільки

нерегулярний скидання високомінералізованих шахтних і викликані ним різкі коливання солоності в річці протягом року.

Зважаючи на тривалий термін експлуатації діючої системи (понад 50 років), слід виходити с того, що для забезпечення подальшого сталого функціонування існуючої системи за призначенням необхідно буде вжити невідкладних дієвих заходів з «реанімації» існуючої системи або розбудові нової системи.

5 РОЗРОБКА ПРИРОДООХОРОННОГО ЗАХОДУ

5.1 Оптимізація існуючої системи акумуляції та скиду шахтних вод

Основною метою оптимізації існуючої системи акумуляції та скиду шахтних вод є покращення якості води в річці Інгулець. Вимоги до якості води регулюються чинним законодавством України (ВНД-33-5.5-02-97 та ДСТУ 2730:2015) для водовипусків та водозаборів. На річці, нижче Карачунівського водосховища, існує лише тимчасовий водозабір (весна-літо) для зрошення. Таким чином, цільова якість води цей період встановлюється відповідно до потреб зрошення. В решту часу якість у річці Інгулець не повинна перевищувати фонових концентрацій забруднюючих речовин, коли відсутня подача води з Карачуновського водосховища для розбавлення та промивки (вересень - листопад) (див. табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Цільова якість води в р. Інгулець

	Хлориди (мг/л)	Мінералізація (мг/л)
Період зрошення (1.03 - 31.08)	350	1500
Період скиду шахтних вод (01.09 - 28.02)	1500	4500

Виходячи з цього, доцільні наступні варіанти оптимізації існуючої системи акумуляції та скиду шахтних вод:

– постійний скид на протязі року;

– періодичний скид на протязі року в період, коли відсутня потреба у воді на зрошення.

5.1.1 Постійний скид на протязі року

Даний варіант акумуляції та скиду передбачає постійний рівномірний скид шахтних вод з попередньою акумуляцією їх в ставку накопичувачі для освітлення шахтної води та періодичні скиди надлишків зворотних вод з хвостосховища ПРАТ «ПівнГЗК».

На початковому етапі в ставку-накопичувачу необхідно створити необхідний рівень регулювання обсягів води, який дозволить зменшити швидкість руху шахтних вод до місця забору насосною станцією. Таким чином значна частина завислих речовин осяде у верхів'ї ставка-накопичувача, а більш високі рівні біля плавучої насосної станції знизять ризики каламучення води при її заборі на скид.

Недоліком даного варіанту скиди є неможливість забезпечити рівномірний скид води зі ставка накопичувача при існуючому технічному оснащенні насосних станцій. Середньо добові витрати при подачі води у ставок-накопичувач по системі збору шахтних вод складають 0,38-0,4 $м^3/с$, а можливості по скиду зі ставка накопичувача при наявному на насосних станціях обладнанні розраховані на подачу 0,8 - 0,85 $м^3/с$, тому для скиду шахтних води, що надходять в ставок-накопичувач достатньо 10 годин роботи насосної станції на добу.

Виходячи з цього доцільно скиди зі ставка накопичувана виконувати двічі на добу, а саме у період, коли тарифи оплати за електроенергію нижчі, у нічний час з 23 години вечора до 7 години ранку, та один раз на добу вдень на дві години, або один раз на три-чотири доби на включати насосну станцію 6 - 8 годин. Але під такий режим скиду неможливо підібрати оптимальний режим попусків для розбавлення. При встановленні постійних попусків води для розбавлення частка води буде скидатися в «холосту».

Для забезпечення функціонування даного режиму скидів з розбавленням на сьогоднішній день реальними джерелами є (рис. 5.1):

1. Власний за акумульований стік Карачунівського водосховища, який можна залучити для розбавлення в обсягах не менше 50,0 $млн.м^3$.

Ці обсяги складаються з

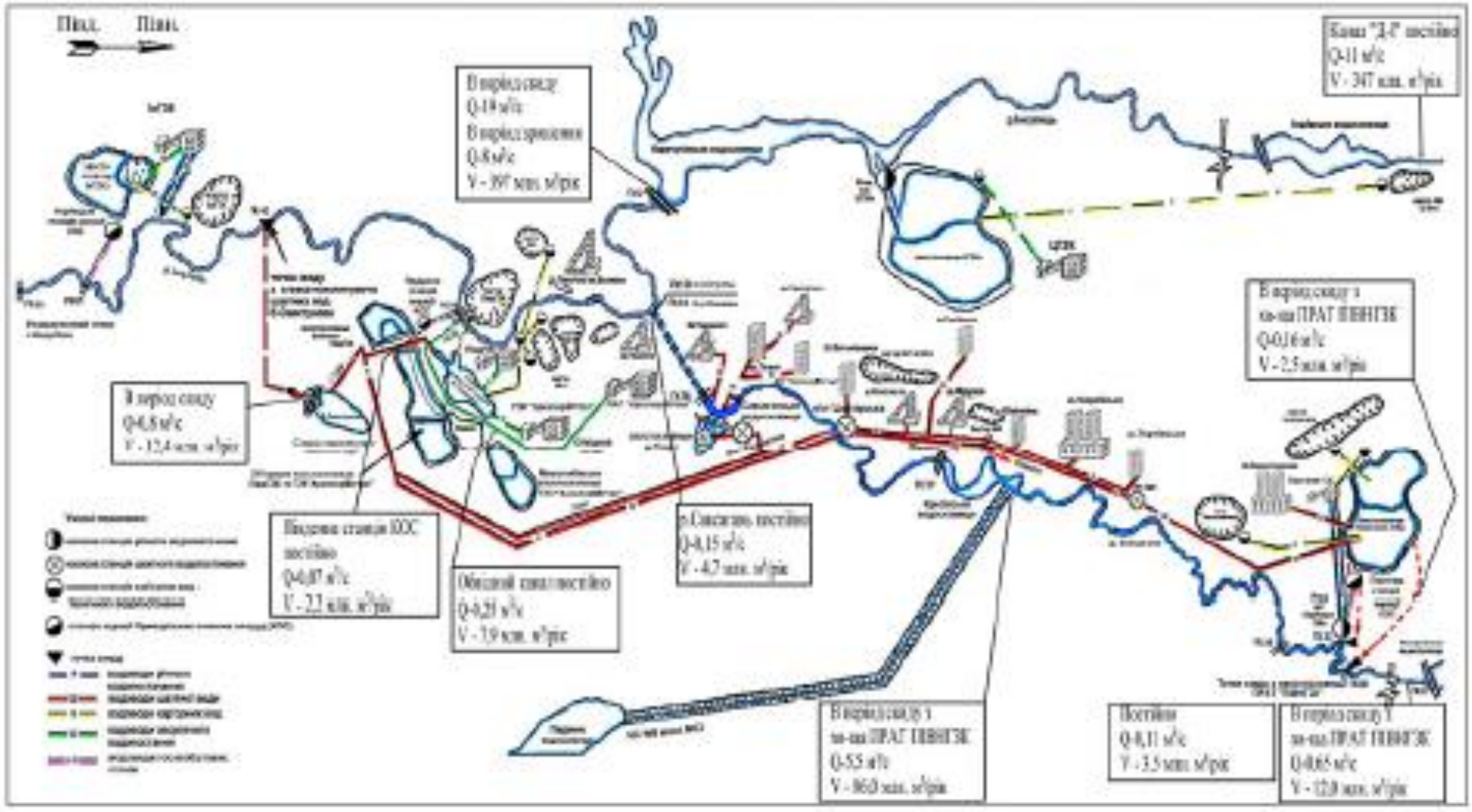

Рисунок 5.1 – Схема розташування об’єктів, задіяних у розбавлені шахтних вод

– мінімальних, передбачених «Правилами експлуатації Карачунівського водосховища», постійних санітарних попусків у нижній б'єф водосховища витратами 0,25 м^3/с на протязі 11 місяців що складають близько 7,4 млн.м^3 на рік;

– періодичних попусків на розбавлення шахтних вод під час осінньо-зимового періоду, передбачених регламентами скиду надлишків зворотних вод гірничорудних підприємств Кривбасу, обсяги якого в середньому становлять 43,0 - 45,0 млн.м^3 на рік.

2. Власний за акумульований стік Макортівського водосховища у вигляді санітарних попусків, встановлений «Правилами експлуатації Макортівського водосховища», в обсягах не менше 3,52 млн.м^{3}на рік, 0,11 м^3/с та спеціальних попусків для промивки русла, розбавлення зворотних вод, які встановлюються регламентами скидів в разі виникнення потребу у їх скиді.

Потреба у періодичних скидах надлишків зворотних вод з хвостосховища ПРАТ «ПІВНГЗК» виникає періодично один раз на 5 – 10 років, хоча на перспективу не можна виключати ймовірності їх проведення частіше. Згідно попередніх регламентів скиду, подача води з Макортівського водосховища для розбавлення передбачалася витратами 1,3 м^3/с протягом 90 діб загальним обсягом 10,1 млн.м^3. Таким чином можна стверджувати, що гарантована подача на розбавлення з Макортівського водосховища становить 3,5 + 10,1 = 13,6 млн.м^3 на рік, або середньорічними витратами - 0,43 м^3/с.

3. Канал Дніпро - Інгулець має можливість гарантовано подавати 11,0 м^3/с протягом року, що становить 347,0 млн.м на рік.

4. Канал Дніпро-Кривий Ріг має можливість подавати 5,5 м^3/с протягом року,через Південне водосховище далі по каналу №33 в Кресівське водосховища та по річці Саксагань через Саксаганьске водосховище в річку Інгулець, що становить 173,0 млн.м^3 на рік.

Всі наявні джерела для їх залучення не потребують додаткових капіталовкладень, але потребують додаткового фінансування на покриття витрат на подачу води.

В таблиці 5.2 наведено джерела, що формують якість води у річці Інгулець при умові їх залучення до розбавлення при скиді шатних вод зі ставка-накопичувача та надлишків зворотних вод з хвостосховища ПРАТ «ПівнГЗК».

Таблиця 5.2 – Джерела, витрати та якість води для постійного скиду станом на 2016 рік

Джерело впливу на формування якості води в р. Інгулець	Режим витрат	Потенційні можливості залучення джерел для розбавлення		Якість води[2]	
		Витрати, $м^3/с$	Річні обсяги, $млн.м^3$	Загальна мінералізація, мг/л	Хлориди, мг/л
Макортівське водосховище р. Саксагань	Рівномірні протягом року	0,43 (0,11)[3]	13,6 (3,5)[3]	2720,0	400,0
ПРАТ «ПівнГЗК» (зворотні води) скид в р. Саксагань	Рівномірні протягом року	0,08	2,5	17000,0	8400,0
р. Саксагань (Кресівське та Саксаганьске водосховища) на виході в р. Інгулець	Рівномірні протягом року	0,15	4,7	2700,0	640,0
Канал Дніпро-Кривий Ріг в р. Саксагань	Рівномірні протягом року	5,5	173,0	340,0	43,0
Канал Дніпро-Інгулець в р. Інгулець	Рівномірні протягом року	11,0	347,0	230,0	26,0
Карачунівське водосховище (перерозподілені витрати з урахування подачі води по каналу Дніпро-Інгулець)	Рівномірні протягом року	12,6	397,0	1000,0 (800,0)[2]	105,0 (80)[2]
Обвідний канал в р. Інгулець	Рівномірні протягом року	0,25	7,9	2000,0	420,0
Південна станція аерації КОС в р. Інгулець	Рівномірні протягом року	0,07	2,2	2100,0	500,0

Продовження таблиці 5.2

Джерело впливу на формування якості води в р. Інгулець	Режим витрат	Потенційні можливості залучення джерел для розбавлення		Якість води[2]	
		Витрати, $м^3/с$	Річні обсяги, $млн.м^3$	Загальна мінералізація, мг/л	Хлориди, мг/л
Ставок накопичувач шахтних вод в р. Інгулець	Нерівномірні протягом доби	0/0,8 (середні за добу - 0,4)	12,4	38000,0	20200,0

*в дужках наведена прогнозна якість води у Карачунівському водосховищі при умові постійної подачі води по каналу Дніпро-Інгулець; без дужок - витрати та обсяги при умові скиду зворотних вод зі шламосховища ПРАТ «ПівнГЗК», в дужках - в разі їх відсутності.

Проблема, пов'язана з солоністю води в Кривому Розі, є дуже складною. На неї впливає багато чинників і її стан в значній мірі залежить від часу (нестабільна). Прості усталені сценарії, наприклад, ступінь розбавлення взимку, можуть оцінюватися «вручну» (наприклад, з використанням MS EXCEL). Проте реальна ситуація в останні роки є нестабільною, та існує багато різних джерел сольового навантаження – іноді прихованих витоків ґрунтових вод та фільтраційних втрат з хвостосховищ, відвалів, ставків зворотного водопостачання та ставка-накопичувача шахтних вод. В якості сучасного інструменту оцінки, планування й управління питаннями, пов'язаними з управлінням водокористуванням в подібних обставинах, використовуються моделі ґрунтових вод і масопередачі. Цільова якість води в річці Інгулець може буди досягнута з залученням близько 25,3 $м^3/с$ з Карачунівського водосховища. Основною умовою функціонування даного варіанту є залучення максимальних обсягів води по каналу Дніпро Інгулець. На даний момент максимальні витрати, які може пропускати канал становлять 11,0 $м^3/с$. Виходячи з даної витрати річні обсяги подачі по каналу становить 347,0 $млн.м^3$, а з урахуванням власних резервів Карачунівського водосховища на розбавлення шахтних вод можна залучити 397 $млн.м^3$. Таким чином постійний рівномірній скид з Карачунівськогов

водосховища становитиме максимально 12,6 м^3/с. Таких обсягів води буде недостатньо для розбавлення води у річці Інгулець до цільових показників.

За умови забезпечення рівномірних витрат зі ставка-накопичувача протягом доби та постійного скиду надлишків зворотних вод з хвостосховища ПРАТ «ПівнГЗК», при залученні всіх наявних джерел для розбавлення у контрольному створі нижче скиду на річці Інгулець можна очікувати якість води:

– по загальній мінералізації - 1710,0 - 1590,0 млг/л;
– по хлоридам - 550,0 - 540,0 млг/л.

Зважаючи на те, що при існуючому технічному оснащенні насосних станцій подачі води на скид зі ставка-накопичувача шахтних вод не можливо досягти постійного рівномірного скиду, розрахунок концентрацій виконано на режим періодичних скидів протягом доби витратами 0,8 м^3/с. Для такого режиму максимальні концентрації солей у воді в контрольному створі нижче скиду можна очікувати:

– по загальній мінералізації - 4400,0 - 2310,0 млг/л;
– по хлоридам - 950,0 - 930,0 млг/л.

Таким чином, постійний скид із залученням всіх доступних джерел не зможе забезпечити водозабір Інгулецької зрошувальної системи якісною водою, яка відповідала б нормативним показникам, а саме:

– не більше 1500,0 мг/л по загальній мінералізації;
– не більше 350,0 мг/л по хлоридам.

При умові організації рівномірного скиду шахтної води зі ставка-накопичувача з урахуванням інших існуючих джерел впливу, без скиду зворотних вод з хвостосховища ПРАТ «ПівнГЗК», після змішування, у контрольному створі нижче скиду можна очікувати концентрації по загальній мінералізації на рівні 1630 – 1500 млг/л, а по хлоридам 520 – 500 млг/л. Навіть при цьому варіанті не досягається нормативна якість води для забезпечення якісною водою зрошувальних систем у Миколаївській та Херсонській областях.

Постійний скид шахтних вод та періодичний скид зворотних вод, при існуючій схемі залучення води зі всіх наявних джерел на розбавлення може знизити максимальні концентрації практично до фонових, але він виключає можливість забору води на полив Інгулецькою зрошувальною системою та не забезпечує досягнення нормативної якості води. Відповідно, цей варіант скиду в подальшому не розглядається.

5.1.2 Розширений періодичний скид

Варіант передбачає періодичний скид на протязі року в період, коли відсутня потреба у воді на зрошення. Даний варіант оптимізації значною мірою нагадує існуючий на сьогодні режим скиду у міжвегетаційний період. Єдиною відмінністю при даному варіанті буде подовжений період скиду та максимальне залучення всіх наявних джерел для розбавлення. Орієнтовно скид може здійснюватися з початку-середини вересня по середину – кінець березня. Тобто маємо подовження з нинішніх 3,0 – 4,0 місяців до 6,0 – 7,0 місяців. При розгляді даного варіанту покращення існуючої системи розглядається період з 16 вересня по 15 березня як найбільш оптимальний період для проведення скидів з розбавлення шахтних вод.

Перевагою даного режиму над існуючим режимом є можливість знизити протягом року витрати при скиді в річку Інгулець зі ставка-накопичувача з 1,7 $м^3/с$ до 0,8 $м^3/с$, забезпечити рівномірні витрати у пониззі р. Інгулець біля 20 $м^3/с$ і як наслідок, стабільні рівні води у пониззі Інгульця протягом року. Отже, можна очікувати позитивний вплив на водну фауну та флору за рахунок постійної проточності, більшого постійного заповнення русла річки, підтримки більших глибин води по усій ділянці річки та меншої концентрації солей у воді протягом року і зокрема - протягом періоду скиду.

Якщо задіяти максимальні можливості каналу Дніпро-Інгулець круглий рік на рівні 11,0 $м^3/с$, то можна використовувати для розбавлення шахтної води та підтримки якості води під час зрошувального сезону 347,0 млн.$м^3$, а також

додатково з Карачунівського водосховища за рахунок заакумульваного власного стоку річки Інгулець 50,0 млн.м^3. Кількість власного стоку, що можна використати для даних потреб складаються з обов'язкових санітарних попусків, передбачених «Правилами експлуатації Карачунівського водосховища» встановлених на рівні 0,25 м^3/с на протязі 11 місяців (7,4 млн.м^3) та щорічних обсягів, що залучаються в останні роки для розбавлення шахтних вод в обсягах 43 - 45 млн.м^3.

Періодичні скиди зворотних вод з хвостосховища ПРАТ «ПІВНГЗК» передбачають залучення води з Макортівського водосховища та по каналу Дніпро-Кривий Ріг. При скиді надлишків зворотних вод з хвостосховища ПРАТ «ПІВНГЗК» в осінньо-зимовий періоду, в обсязі близько 2,5 млн. м^{3}на протязі 6 місяців (з 16 вересня по 15 березня) розрахункові середньодобові витрати становитимуть 0,16 м^3/с.

Вода з Макортівського водосховища знизить концентрацію від місця скиду до Кресівського водосховища. Орієнтовні витрати на розбавлення прийняті на рівні 0,65 м^3/с. Сумарна потреба у воді з Макортівського водосховища на розбавлення при витратах 0,65 м^3/с становитиме близько 10,2 млн.м^3.

У таблиці 5.3 наведено джерела, що формують якість води у річці Інгулець при умові їх залучення до розбавлення шатних вод, за акумульованих у ставку-накопичувачі шахтних вод та надлишків зворотних вод в хвостосховищі ПРАТ «ПівнГЗК».

Таблиця 5.3 – Джерела, витрати, концентрації для розширеного періодичного скиду

Джерело впливу на формування якості води в р. Інгулець	Режим витрат	Потенційні можливості залучення джерел для розбавлення		Якість води[2]	
		Витрати, м^3/с	Річні обсяги, млн.м^3	Загальна мінералізація, мг/л	Хлориди, мг/л
Макортівське водосховище р. Саксагань	Рівномірні протягом періоду скиду	0,65 (0,11)[3]	12,0 (3,5)[3]	2720,0	400,0

Продовження таблиці 5.3

Джерело впливу на формування якості води в р. Інгулець	Режим витрат	Потенційні можливості залучення джерел для розбавлення		Якість води[2]	
		Витрати, $м^3/с$	Річні обсяги, $млн.м^3$	Загальна мінералізація, мг/л	Хлориди, мг/л
ПРАТ «ПівнГЗК» (зворотні води) скид в р. Саксагань	Рівномірні протягом періоду скиду	0,16	2,5	17000,0	8400,0
р. Саксагань (Кресівське та Саксаганьске водосховища) на виході в р. Інгулець	Рівномірні протягом періоду скиду	0,15	4,7	2700,0	640,0
Канал Дніпро-Кривий Ріг в р. Саксагань	Рівномірні протягом періоду скиду	5,5	86,0	340,0	43,0
Канал Дніпро-Інгулець в р. Інгулець	Рівномірні протягом періоду скиду	11,0	347,0	230,0	26,0
Карачунівське водосховище (перерозподілені витрати з урахування подачі води по каналу Дніпро-Інгулець)	Рівномірні протягом періоду скиду	19 (8)	397,0	1000,0 (800,0)[2]	105,0 (80)[2]
Обвідний канал в р. Інгулець	Рівномірні протягом періоду скиду	0,25	7,9	2000,0	420,0
Південна станція аерації КОС в р. Інгулець	Рівномірні протягом періоду скиду	0,07	2,2	2100,0	500,0
Ставок накопичувач шахтних вод в р. Інгулець	Рівномірні протягом періоду скиду	0,8	12,4	38000,0	20200,0

* в дужках наведена прогнозна якість води у Карачунівському водосховищі при умові постійної подачі води по каналу Дніпро-Інгулець

Для цієї альтернативи необхідне:

– продовження періоду скиду з 16.09. до 15.03;

– додатковий скид води з хвостосвовища ПРАТ «ПІВНГЗК» в об'ємі 9,6 $м^3$/хв (0,16 $м^3$/с);

– розбавлення води в річці Саксагань з витратами 330 $м^3$/хв (5,5 $м^3$/с) в період скиду через канал № 33 ;

– розбавлення водою з річці Саксагань з Маркротівського водосховища: 39 $м^3$/хв (0,65 $м^3$/с) в період скиду;

– вода з каналу Дніпро-Інгулець повинна постійно подаватися для розбавлення з витратами 11 $м^3$/с.

При організації скиду шахтних вод зі ставка-накопичувача витратами 0,8 м3/с (загальний обсяг – 12,4 млн.$м^3$/рік) та з шламосховища ПРАТ «ПівнГЗК» витратами 0,16 $м^3$/с (загальний обсяг – 2,5 млн.$м^3$/рік) з 16 вересня по 15 березня то, за умови скиду у цей період з Карачунівського водосховища 19 $м^3$/с, за рахунок перерозподілу стоку на протязі року та по каналу Дніпро-Кривий Ріг через канал №33 – 5,5 $м^3$/с , якість води на р. Інгулець у контрольному створі ижче зони змішування можна очікувати по загальній мінералізації 3090 – 3200 мг/л, а по хлоридам 1100 –1250 мг/л. Вода в р. Інгулець, після розбавлення, не перевищує фонові концентрації, що складаються у пониззі річки Інгулець після завершення поливного сезону перед дозованим скидом шахтних вод.

При таких концентраціях відпадає потреба у наступній промивці русла р. Інгулець перед поливним сезоном, зважаючи на те, що вода по якості буде відповідати нинішнім фоновим концентраціям. Після завершення скиду шахтних вод починаючи з 16 березня по 7 серпня подачу води з Карачунівського водосховища забезпечується на рівні 8,0 $м^3$/с.

Підчас сезону зрошення також будуть досягнуть цільові параметри якості р. Інгулець по загальній мінералізації 1500 мг/л, а по хлоридам 350 мг/л.

Перевагою даного варіанту буде досягнення рівномірної якості в річці в міжполивний сезон на рівні фонових концентрацій. Окремо слід відмітити й інші позитивні екологічні моменти, а саме, покращення якості води на ділянці річки

Інгулець від міста Олександрія, в Іскрівському водосховищі, джерелі питного водопостачання м. Жовті Води та Петрово та в Карачунівському водосховищі, що є джерелом питного водопостачання м. Кривий Ріг.

Головним недоліком – є потреба в додаткових енергетичних та фінансових резусах для залученні додаткових водних. Технічно можливість залучення на сьогодні існує по каналу Дніпро-Інгулець та по каналу Дніпро-Кривий Ріг з наступним пропуском води через 33 канал, Кресівське та Саксаганське водосховища. Потреба у залученні води по каналу Дніпро-Кривий Ріг виникатиме періодично при необхідності скиду зворотних вод зі хвостосховища ПРАТ «ПівнГЗК».

Розглянувши можливі альтернативні варіанти для подальшого економічного порівняння доцільно розглядати варіант періодичного скиду шахтних вод протягом року в період, коли відсутня потреба у воді на зрошення з максимально можливим розбавленням шахтної води шляхом використання наявних потужностей по залученню водних ресурсів.

З точки зору формування та/або збереження сприятливих екологічних умов для біоценозу річки Інгулець цей варіант має наступні недоліки:

– коливання концентрації загального вмісту мінеральних речовин і концентрації хлоридів між осінньо-зимовим та весняно-літнім сезонами досить великі близько: 2,6 і 2,8 рази відповідно;

– більшість представників водної флори і фауни можуть тимчасово акклiматизуватися (не акліматизуватися) до даних умов, але продуктивність біоценозу і видове різноманіття будуть низькими;

– в осінньо-зимовий період, протягом 6 місяців, вода з мінералізацією більше 3 000 мг/л та вмістом хлоридів близько 1 200 мг/л не може використовуватися для питних потреб домашніх тварин, без загрози їх здоров'ю та якості біопродукції. Спектр використання води з такими показниками на господарсько-побутові потреби так само скорочується, що створює серйозний дискомфорт в життєдіяльності місцевого населення.

для потреб зрошення у весняно-літній період, вода з таким вмістом солей не приведе до швидкої водної та хімічної ерозії ґрунтів, однак, з часом, потребують значних витрат на роботи з рекультивації ґрунтів і підвищення їх бонітету.

5.2 Демінералізація шахтних вод

Взагалі, існує близько 50 варіантів різних технологій демінералізації на даний момент. Але для промислового використання в 90% випадків використовують тільки три технології. Ці три технології: багатоетапне випарювання (БЕВ), багатоступінчата дистиляція (БСД) та зворотній осмос (ЗО). Процентне розповсюдження технологій представлено наступним чином: БЕВ – 20%, БСД – 5% та ЗО – 65%.

5.2.1 Кількість та якість води на вході

Щоби очистити шахтну воду, одна з опцій – це збирати воду з північних та південних точок скиду води, щоби розробити комплексний підхід, як можна ізолювати річки Інгулець та Саксагань від скидання шахтної води Кривбасу. Розробляючи цю опцію, логічним рішенням буде, направляти весь обсяг шахтної води, що відкачують в Кривбасі, через ставок-накопичувач (також буферна функція), місце знаходження на північ від Кривого Рогу, в Свістунову Балку Широківського району Дніпропетровської області, при цьому треба організувати відкачку постійного потоку шахтної води в південному напрямку, щоби очистити воду на центральному спорудженні для проведення демінералізації.

Для того, щоби оцінити необхідну потужність установки демінералізації, провели оцінку фактичного обсягу шахтної води, що відкачують, в північному та південному напрямку за останні роки. Виключенням може бути лише шахта «Першотравнева-дренажна» ПРАТ «ПІВНГЗК», яка відокремлена від інших шахт і самостійно відкачує 0,6–0,7 млн.м^3 шахтних вод на рік та транспортує їх в

хвостосховище комбінату. Таким чином прогнозний річний обсяг відведення та скиду надлишкових шахтних вод складатиме 15,0–16,0 млн.м^3 (0,45–0,50 м^3/с).

На основі наданих вище даних, та з урахуванням часу роботи в майбутньому 365 днів/рік та 24 год/добу, виробнича потужність має бути десь приблизно 1 800 м^3/год. Головні параметри суміші шахтних вод надані в таблиці 5.4. Дані щодо детального хімічного складу також доступні тільки для шахт південної групи.

Таблиця 5.4 – Якість шахтних вод для демінералізації

Параметр	Тис.м^3/рік	мг/л
Загальний обсяг притоку шахтної води, тисячі м^3	16 237	
Хлориди		20700
Сульфати		1480
Загальна мінералізація		38 750
Аміачний азот		0,3*
БСК 5		3,5*
Нітрати		10,0*
Нітрити		0,25*
Завислі речовини		15,0*
Нафтопродукти		0,3*
Загальне залізо		0,30 – 0,35*
Феноли		0,001*
Фосфати		0,15*
Розчинений кисень		6,0 – 8,0*
ХСК		–
pH		8,0*

5.2.2 Вибір придатної технології

Вибір методу знесолення базується на якості та кількості вхідної води та вимогах до якості очищеної води, потужністю установки, а також на технічних та економічних аспектах.

Розгляд технологій демінералізації шахтних вод в регіоні Кривбас має тривалу історію. В минулому було проведено багато досліджень та оцінок.

У період з 1989 по 2010 було проведено не менш 6-ти різних детальних досліджень питання демінералізації шахтних вод Кривого Рогу. Дослідження стосувалося загальної демінералізації 12,0 млн. $м^3$ шахтних вод, а також часткової демінералізації скидів шахти «ім. Артема» (див. табл .5.5).

Таблиця 5.5 – Аналіз попередніх досліджень щодо використання технологій демінералізації шахтних вод Кривбасу

Технологія	Висновок дослідження
Випарювання	Надмірне споживання електроенергії не дозволило реалізацію цього проекту. Тому Міністерство чорної металургії СРСР вирішило припинити цейпроект.
Електродіаліз	Запропонована електроплазмова технологія не може бути застосована до високо мінералізованої шахтної води Кривбасу.
Комбінація технологій: очистка води із застосуванням реагентів, зворотній осмос, електродіаліз та випарювання концентрованого розчину, фільтрація та хімічна очистка залишків.	Отримані «корисні речовини» із продуктів не відповідають вимогам з якості, що висувають хімічні та будівельні компанії до потенційної сировини. Було рекомендовано зберігати 85% продукту на відповідних полігонах із гідроізоляцією, доки не буде знайдено рішення щодо їх майбутнього використання чи збагачення. Немає допустимого використання отриманих в результаті процесу продуктів (тверда сіль чи сольові розчини).
Комбінація зворотного осмосу, електродіалізу, фільтрації та випарювання	Припинення проекту із-за відсутності екологічнобезпечного рішення щодо збагачення та утилізації залишків після демінералізації.
Багато-етапна мембранна система зворотного осмосу та випарювання	Потреба в великих інвестиціях 715.8 млн. грн (70.181 млн. Євро) для очистки 4,4 млн. $м^3$/рік шахтної води та отримання 190,0 тис. т/рік твердого безпечного продукту демінералізації, без можливості його утилізації

Технології, що були оцінені, також включають три найрозповсюджені технології в світі: багатоетапне випарювання, багатоступінчата дистиляція (обидві технології випарювання) та зворотній осмос. Всі ці дослідження зробили висновок, що ці технології потребують надмірні витрати та/чи не існує рішення щодо утилізації залишків після демінералізації (сіль чи висококонцентрований сольовий розчин).

Зменшення вмісту солі в воді до границь, встановлених ДЕСТ 2874-82 «Питна вода» чи до концентрації солі, близької до вмісту в дистильованій воді, називається, відповідно, демінералізацією та знесоленням. Як було зазначено на початку розділу, існує багато різних технологій демінералізації. Існуючі методи демінералізації та знесолення води поділені на дві різні групи: із зміною чи без зміни фізичного стану воду. Перша група методів, включає дистиляцію, нагрів води до надкритичної температури (350 °C), замороження, газогідратний метод; друга група – іонний обмін, електродіаліз, зворотний осмос (гіперфільтрація), ультрафільтрація, виділення і т.д. Не всі ці методи придатні для демінералізації шахтних вод із високим вмістом солей та/чи з таким великим обсягом шахтних вод, як у випадку Кривого Рогу.

Найбільш розповсюджені в промисловості методи – це дистиляція, іонний обмін, електродіаліз, зворотний осмос. Також згадані на початку цього розділу випарювання та зворотний осмос використовуються приблизно в 90% процесів знесолення у всьому світі.

Метод дистиляції базується на здатності води випаруватися при нагріванні, утворюючи таким чином прісну пару та концентрований розсіл. Принцип дистиляції базується на тому, що коли солона вода нагрівається до точки кипіння (при певному тиску та вмісті солі), вона починає кипіти. Пара, вироблена під тиском до 5 МПа, практично не здатна розчинити солі, що міститься в солоній воді, тому при конденсації такого пару виробляється прісна вода. Щоб випаровувати 1 кг води, її треба нагріти до температури кипіння, після чого повинна бути застосована додаткова енергія для фазового переходу пари у воду, так звана латентна теплота пароутворення. Це значення при температурі 100°C

дорівнює 539,55 ккал/кг. Щоб повернути пару в рідкий стан (для її конденсації), теплоту фазового переходу потрібно видалити з пари (539,55 ккал/г). Більша частина цього тепла може бути повернута назад на підприємство, тобто відновлена. Чим більше відновлена частина теплоти фазового переходу, тим вище буде термічна ефективність установки дистиляції.

Принцип роботи одноступеневої дистиляційної установки базується на наступному процесі [26].

Вхідна вода подається через конденсаторний водяний нагрівач у випарник, де вона нагрівається теплою опалювальною парою або гарячою водою і випаровується. Таким чином, утворена вторинна, або сокова пара входить у конденсатор, де вона охолоджується вхідною водою і перетворюється на дистилят. Так тепло конденсату використовується для нагріву вхідної води, яка поступає в випарник.

Набагато частіше використовуються так звані випарники багатоступінчатої дистиляції (БСД).

Вони складаються з декількох одноетапних установок, які підключені послідовно відповідно до потоку рідини та пари. Після цього вторинна пара попередньої стадії використовується як нагрівальна пара для випаровування води на наступному етапі. Збільшуючи кількість етапів, багатоступеневі установки стають більш економічними. Проте збільшення кількості етапів зменшує різницю температур на кожному з них, відповідно, збільшується загальна поверхня нагрівання установки, тобто значно зростають капітальні витрати на установку з демінералізації.

Основна перевага багатостадійних дистиляційних установок для демінералізації полягає у значному збільшенні кількості демінералізованої води, яку можна отримати на одиницю первинної пари. Таким чином, в той час як одноетапне випаровування дає близько 1 т демінералізованої води на 1 тонну первинної пари, 50 ... 60 етапна установка виробляє 15 ... 20 т демінералізованої води. Питомі витрати електроенергії на дистиляційних установках становлять 3,5 ... 4,5 кВт г на $м^3$ дистиляту [28].

Негативною особливістю роботи таких установок дистиляції є утворення накипу на нагрівальних елементах випарників та конденсаторів. Цей накип знижує температуру гарячої води, впливає на теплопередачу та експлуатацію всіх агрегатів установки. Для запобігання утворення накипу застосовуються методи на основі реагентів (спеціальні інгібітори, добавки, попереднє окислення та ін.) та методи без застосування реагентів (магнітний, ультразвуковий тощо). На практиці повна профілактика утворення накипу можлива завдяки створенню глибокого вакууму в випарнику, що дозволяє зменшити температуру випарної води до 50°С і нижче. Витрати електроенергії, щоби створити такий вакуум, складають приблизно 10 кВт год/м^3 демінералізованої води [31].

Ще одним видом технології дистиляції/випаровування є так зване багатоступеневе випарування. Установки знесолення із багатоступеневим випаруванням (МЭБ) базуються на миттєвому випаруванні в каскаді стадій (ефектів) при різних рівнях тиску. Кожна стадія має теплообмінник та колектор конденсату. У режимі повторної подачі розсолу в цикл, він знову подається в систему. На заключній стадії установки миттєвого випаровування (УМВ) нагріта вода подається в камеру високого тиску, де її частка миттєво випаровується через зниження тиску.

Пара використовується для попереднього нагріву води, що подається. Частина розсолу, яка не випарилася, переходить до наступного етапу, який має нижчий тиск. Така ж процедура випаровування відбувається знову, але при зниженому тиску і, як наслідок, при зниженні температури. Таким чином, вода, що подається, яка використовується для конденсації пари на кожній стадії від найнижчого тиску на першому етапі до найвищого тиску на останній стадії, постійно нагрівається. Результатом є низька середня різниця температур між водою, що подається, і парою, що конденсується, хоча теплопередача є латентно-чутливого типу. Таким чином, втрати ексергії є низькими. Циркуляція розсолу в основному знижує витрати на попередню підготовку, але також забезпечує більш високу операційну гнучкість та кращу термічну ефективність. У той же час зростає складність і витрати на компоненти, будівництво та обслуговування.

Витрати електроенергії знаходиться в діапазоні 23-27 кВт год/м^3 дистильованої води.

Зазвичай такі установки працюють разом з електростанціями. Таким чином, вони, з одного боку, можуть використовувати низькотемпературну не використану енергію та, з іншого боку, установка знесолення забезпечує охолодження електростанції. Вимоги до попередньої підготовки води, що подається, значно нижчі, ніж для основного конкурентного процесу – зворотного осмосу.

В останні роки зворотний осмос став широко використовуватися для очищення води. Метод зворотного осмосу – один з найбільш перспективних методів очистки та глибокого знесолення води з різними рівнями мінералізації. Він базується на розділенні розчинів фільтрацією через напівпроникні мембрани з порами, які дозволяють проникати молекулам води, але не пропускають гідратовані іони або молекули недіссоціірованних сполук.

Знесолення мінералізованої води шляхом зворотного осмосу базується на процесі, коли чиста вода тече під тиском, який перевищує осмотичний тиск у напрямку від сольового розчину до прісної води через напівпроникний бар'єр. Останній, як правило, вибирають так, щоб молекули води могли проходити крізь нього, але іони солей, розчинені в мінералізованій воді, не проходили через мембрану. Оскільки іони солей розміром принаймні наполовину більше, ніж молекули води, такий процес цілком може бути технічно реалізований [19, 26].

Метод зворотного осмосу у порівнянні з традиційними методами має деякі істотні переваги: енергоспоживання протягом процесу є відносно невеликим, установки є простими та компактними, їх робота мало залежить від коливань щодо складу води на вході, нема потреби в висококваліфікованому персоналу для їх експлуатації, установки можуть бути легко автоматизовані. Основна перевага методу зворотного осмосу полягає у фактичній відсутності хімічних речовин для обробки води (кислоти, лугів та ін.) в основному процесі, за винятком невеликої вартості реагентів для регулювання pH, гальмування відкладення солей та періодичної очистки мембран. Скиди стічних вод з установки (концентрат)

містять в основному ті ж самі солі, що і вхідна вода, тоді як при процесі демінералізації шляхом іонного обміну загальна кількість розчинних солей становить, щонайменше,в два або навіть в три рази більше, ніж їх вміст у вхідній воді. У конкретному випадку демінералізації шахтних вод концентрат повністю піддається випаровуванню, тому теоретично відсутня стічна вода взагалі.

Крім того, метод зворотного осмосу характеризується тим фактом, що мембранне розділення відбувається без фазових перетворень, тому електрична енергія використовується тільки для прокачування розчину через мембрану та «проштовхування» розчинника (води) через мембрану. При цьому напівпроникна мембрана не функціонує, як фільтр, який акумулює виділені речовини на її поверхні. Мембрана лише розподіляє вхідний потік на два. Перший потік - це вода, яка пройшла крізь мембрану (фільтрат). Вона містить менше солі, ніж вхідна вода.

Другий потік – вхідна вода, яка стає більш концентрованою, коли вона проходить впродовж мембрани, і забирає всю сіль, виділену мембраною. Потік розсолу, що залишає зворотний осмотичний елемент, називається концентратом.

Робочий тиск пристрою залежить від вмісту солей у воді на вході та осмотичного тиску розчину. Для знесолення слабомінералізованої водопровідної води зазвичай достатньо тиску 1 - 2 МПа; для знесолення шахтних вод із вмістом солей до 20 000 мг/дм^3, необхідний тиск 2,5 ... 3,5 МПа; для знесолення морської води необхідний тиск 5 ... 7 МПа.

Мембранна дистиляція (МД) базується на передачі ненасиченої водяної пари через тонкі мембрани завдяки різниці парціального тиску, що виникає в порах мембрани між теплою водою розсолу, що тече з однієї сторони мембрани та між холодною демінералізованою водою, що тече з іншої сторони мембрани. Потік пари через мембрану залежить від її типу, гідрофобних властивостей поверхні, температурних відмінностей з обох сторін мембрани, складу води, технологічних властивостей тощо.

Незважаючи на наявність успішного випробування методу в лабораторних умовах, на даний час існує не так багато прикладів безперервної демінералізації в

промислових об'ємах, що використовують МД. Гібридне використання МД з іншими технологіями зустрічається набагато частіше.

Дистиляційний модуль, по якому наявні експлауатаційні дані, представляє собою стійке до корозії обладнання та має мембранну поверхню площею 300 м2. Протягом приблизно 14 місяців експлуатації установки для демінералізації вод з океану не було виявлено значного забруднення мембран. Але ефективність модуля була не настільки високою (питомий потік демінералізованої води 3,6 кг/м^2 на рік), модуль може переробляти макс. 26 м^3/добу при режимі роботи 24 години [27].

Найсучасніший об'єкт знаходиться на пілотній установці Plataforma Solar de Almeria Spain, де вода океану була демінералізована теплом, виробленим за допомогою сонячних батарей загальною потужністю 150 кВт год при 85 °C. В період з 2010 по 2013 використовували три різних типи мембран. Максимальна ефективність агрегатів досягала показників 35 кг/м^2 на рік, що є відносно високим рівнем. Технічні проблеми з'явилися через забруднення поверхні мембрани. Якщо припускати, що споживання енергії для демінералізації становить 3 кВт год/м^3 за оптимістичної оцінки, то максимальна ефективність такої установки може досягати 50 м^3/год. За умови ефективної роботи сонячних батарей (в середньому 8 годин на добу), ефективність буде 400 м^3/добу. Загалом, ефективність блоків МД не перевищує звичайно декілька сотень м^3 на день.

Досвід застосування агрегатів для демінералізації океанських вод зі складом, що дуже схожий на воду Свистунова, виявив такі проблеми [23]:

– Надзвичайно високе споживання теплової енергії в діапазоні від 1 до 60 кВт год / м^3, яке можна значно зменшити, використовуючи залишкове тепло або невикористану гарячу воду (T> 77 °C),

– Зменшення селективності мембран при наявності поверхнево-активних речовин,

– Забруднення мембран відкладеннями солей та біологічними речовинами, що призводить до додаткових витрат на періодичне промивання кислими розчинами, після такої повторної обробки зменшується ефективність дистиляції.

Витрати на демінералізацію, що використовують МД, становить приблизно \$1/м^3, а інвестиції на агрегати МД оцінювалися як \$130/м^3 на день. Для технології зворотного осмосу ціна демінералізації значно нижче, ніж для МД (\$0,5 - 0,6/м^3). Але МД має шанс, якщо використовувати залишкове тепло (наприклад, вода теплоелектростанцій), це дозволяє знизити ціну очистки до 0,34-0,56 \$ /м^3, це також вимагає попередню підготовку, що включає в себе очистку від часток 40 мкм і деаерацію. Відповідно до цих даних, спільне використання МД та зворотного осмосу значно підвищує ефективність демінералізації.

Слід зазначити, що в оцінках не враховуються витрати на утилізацію залишкових розсолів. Вихід цього продукту може становити мільйони м^3 на рік. Ціна на очищену воду буде занадто високою, а їх обсяги можуть використовуватися тільки для обмежених потреб на місті.

До того ж, не існує жодних можливостей розмістити стільки МД-модулів поблизу ставку Свистунова, площа на існуючих ділянках дозволяє встановити лише декілька модулів, які могли б переробити певний відсоток всієї води, яка скидається, але не зможе вирішити загальну проблему. Установка МД-модулів безпосередньо біля насосних станцій шахти залежить від місцевих умов на шахтах [24,26].

Встановлення модуля МД поблизу насосної станції шахти має сенс лише в разі використання залишкового тепла шахтних вод (геотермального ресурсу) з урахуванням досвіду використання теплових насосів на шахті «Благодатна» ПАТ ДТЕК «Павлоградвугілля». Це зменшить витрати на транспортування шахтних вод.

Таким чином, використання МД для демінералізації всіх шахтних вод, які скидають в ставок Свистунова, навряд чи буде економічно недоцільним, беручи до уваги всі відомі приклади промислового використання цієї технології. Причиною цього є низька ефективність модулів, високі витрати та потреба в утилізації залишкових розсолів. Встановлення необхідної кількості модулів для повної демінералізації води в ставку Свистунова не є реалістичною, це лише трохи покращить ситуацію, а очищені води можуть використовуватися лише для

місцевих потреб. На дальшу перспективу, модулі дистиляції можуть бути встановлені біля локальних джерел залишкового тепла, наприклад, на теплоелектростанціях.

Метод іонного обміну при демінералізації та знесоленні води базується на послідовній фільтрації води через N-катіонний, а потім через NSO3-, OH- або CO_2-аніонний фільтр. У N-катіонному фільтрі катіони, що містяться у воді, переважно Ca (II), Mg (II), Na (I), замінюються на катіони водню. Потім вода проходить через OH-аніонні фільтри, де утворені кислотні аніони замінюються на OH-іони. Залежно від необхідної ступені знесолення води, інсталюють одно-, дво- та триступеневі установки, але в усіх випадках для видалення іонів металу з води використовуються сильнокислий H-катіон з великою обмінною здатністю.

Основними недоліками демінералізації методом іонного обміну є [25]:

– В цьому конкретному випадку наявність стоків, які не підходять для переробки за допомогою цього методу внаслідок високої мінералізації, та значних витрат реагентів на регенерацію іоннообмінного матеріалу.

– H-катіонні фільтри регенеруються кислотою (сірчана, хлористо-водородна) з витратою 70 ... 75 г / г еквіваленту. Для II стадії із H-катіонними фільтрами, питома витрата 100% сірчаної кислоти дорівнює 100 г / г еквіваленту поглинених катіонів. Споживання води для промивки катіону: 5 ... 8 $м^3/м^3$ катіонів.

– Регенерація OH-аніонітових фільтрів проводиться лужним розчином, питома витрата 100% NaOH складає 120 ... 140 $кг/м^3$ аніоніту. Споживання води для промивки: до 10 $м^3/ м^3$ аніоніту.

– Як правило, під час опріснення прісної води фільтри першого етапу регенеруються кожні 8 ... 10 годин, фільтри другого ступеню - кожні 8 ... 10 днів. Час регенерації фільтра становить 3 ... 3,5 години, тому установка потребує встановлення на кожному етапі двох фільтрів (один працює, інший регенерується), що збільшує капітальні витрати.

– Зважаючи на велику кількість необхідних реагентів, витрати, пов'язані з їх транспортуванням та зберіганням, будуть зростати.

– Виникає потреба в організації системи управління реагентами для отримання кислот та лугів, їх розчинення та підготовки вхідних та робочих розчинів.

– Технологія супроводжується значним скиданням мінералізованих стічних вод у каналізаційні мережи та забрудненням навколишнього середовища.

– Ця технологія не може використовуватися на великих очисних установках.

Демінералізація води за допомогою електродіалізу ґрунтується на ефекті перенесення іонів солей до протилежно заряджених електродів. У цьому процесі іони переносять електричний струм через розчин і розряджаються на електродах. Процес демінералізації в електродіалізі не потребує додаткових хімічних речовин, під час цього процесу не виробляються жодні речовини, що отруюють навколишнє середовище, але є одна передумова для експлуатації установки електродіалізу, це ретельна попередня підготовка вхідної води, а саме видалення завислих твердих речовин та органічних домішок, а також залізовмісних та марганцевих сполук. Метод має і інші недоліки. Перш за все, це низька ефективність. Виробнича потужність установок електродіалізу пропорційна їх заряду електричним струмом. Але, збільшення густини струму має свої межі. Існує так звана гранична густина струму, вище якої ефективність катода істотно зменшується, а виробнича потужність навряд чи зросте. Тому, щоб покращити силу струму, поверхню іонообмінних мембран у електродіалізі слід збільшити. Проте в пристроях з плоскими чарунками питома щільність поверхні мембран ($м^2/м^3$) є низькою.

Крім того, під час опріснення води із вмістом солей 3000 ... 5000 мг / л споживана електроенергія становить кілька десятків $кВтг/м^3$. Тому вартість обробленої води висока [28].

У процесі очистки води за допомогою високої концентрації хлоридів відбувається виділення вільного хлору в атмосферу установи хімічного очищення води. Це вимагає додаткових заходів щодо забезпечення безпеки персоналу. Недоліками процесу також є необхідність періодичного розбирання та збирання

дисків електродіалізаторів для обробки мембран хімічними реагентами. Ця операція займає багато часу і вимагає ручної праці кваліфікованих монтажників. Крім того, необхідно забезпечити резервне обладнання для очищення води під час періодичного обслуговування електродіалізаторів.

Переваги процесу обробки методом електродіалізу включають повну придатність пристроїв до ремонту та високу здатність до відновлення властивостей іонообмінних мембран, а також можливість заміни будь-якого компонента, що відказав. Досвід роботи промислових установок електродіалізу показав, що, за умови періодичного технічного обслуговування, це обладнання може надійно працювати протягом десятиліть.

Ця технологія насправді мало представлена на ринку через високі вимоги до якості мембран та вже згадані вимоги щодо якості води, що поступає.

Відомий факт, що під час заморожування мінералізованих вод, вони розділяються на концентрований розсіл і лід, який майже не містить солі. Відокремлення льоду від води та його танення виробляє майже дистильовану воду. Назване явище було використано для розробки технології демінералізації води шляхом заморожування. Перевага заморожування над дистиляцією полягає в тому, що при таненнільоду поглинається лише 80 ккал/кг енергії, що майже в 7 разів менше, ніж при випаровуванні води. Однак ряд технічних проблем усуває цю теоретичну перевагу.

По-перше, багаторазове використання тепла води, що тане (як у випадку тепла конденсації в багатоагрегатних випарниках).

Проведення демінералізації за технологією заморожування вимагає не тепла, яке безпосередньо одержується шляхом спалювання палива, а холоду, що виробляється з електроенергії. Ось чому 1 ккал холоду дорожче, ніж 1 ккал тепла [30].

Значна частина прісної води (до 15%) повинна бути витрачена на те, щоб відмити лід від плівки розсолу між кристалами.

Нарешті, четверте, із часом, як збільшується концентрація розсолу, значно збільшується різниця температур льоду, що тане, та води з розсолу, що замерзає.

За таких обставин коефіцієнт корисної дії холодильної установки починає знижуватися. Тому спосіб заморожування не дозволяє отримати концентрований розчин, який можна безпосередньо перетворити в суху сіль.

Все вищевикладене призводить до того, що технології заморожування зараз використовуються дуже мало. Її частка у загальній демінералізації води менше 1%.

Деякі з зазначених недоліків вирішується при технології газогідратів. Ідея методу полягає в кристалізації гідратів деяких газів – CO_2, CH_4, Ar, CF_4 та інше під підвищеним тиском. На відміну від заморожування льоду цей процес відбувається при позитивних температурах. Проте необхідність використання високого тиску вищезазначених газів та пов'язана з цим технічна складність створює перешкоду для реалізації технології газогідратів у фактичному виробництві.

Оцінка економічних показників пов'язана з певними труднощами, оскільки вони залежать від багатьох факторів природного, технічного та економічного характеру. Проте існують загальні правила щодо застосування даного способу знесолення. На підставі опису різних технологій демінералізації та знесолення води вище, можна зробити наступні висновки. З усіх описаних вище способів знесолення води єдиним потенційно технічно та економічно доцільним методом у цьому випадку є зворотний осмос в поєднанні з випарюванням та кристалізацією. Ці методи є найбільш часто використовуваними технологіями для умов схожих на умови шахтних вод Кривбасу. Інші методи більш підходять для спеціальних невеликих сфер застосування.

Застосування технології має низку переваг [31]:

– вода не проходить фазові переходи (випаровування або замерзання), що забезпечує низькі затрати на енергоспоживання при використанні даного методу в порівнянні з іншими відомими технологіями демінералізації;

– висока селективність поліамідних мембран (96–99,8%);

– порівняно низькі експлуатаційні витрати;

– простота технологічного процесу;

– технічно-простий контроль за якістю очищеної води (наприклад, за електропровідністю);

– зворотний осмос забезпечує повну бактерицидну обробку води завдяки комбінованим процесам демінералізації та дезінфекції внаслідок невеликого діаметра мембранних пор, які не пропускають не тільки іони солі, а й бактерії, спори та віруси. Однак при скиданні води в систему подачу води, вона повинна пройти хлорування.

Подібні технології стають все більш розвиненими. Ось чому ми можемо припустити подальше вдосконалення пристроїв зворотного осмосу, мембран та технологій їх виробництва. У майбутньому можна очікувати зменшення ціни на мембрани та зменшення вартості їхньої планової заміни.

5.2.3 Опис технології

Подібний процес демінералізації реалізований під час одного великого промислового проекту в Польщі біля шахт Дебієнско та Будрик, які очищають шахтну воду обох шахт перед скиданням в річку Одра. Цей процес поділений на три основні етапи:

- підготовка перед зворотним осмосом;
- установка зворотного осмосу;
- наступна переробка фільтрату ЗО;

Термічна установка для підвищення концентрації розсолу та виділення хлориду натрію методом кристалізації, центрифугування та сушіння.

Вхідні дані цієї установки:

- 8000 $м^3$ із вмістом солей 9,900 мг/л з Дебієнско; та
- 4400 $м^3$ із вмістом солей 26,900 мг/л з Будрика.

Завдання блоку попередньої підготовки полягає у формуванні неочищеної води для оптимльної роботи зворотного осмосу. З загального ставку-

накопичувача неочищена вода обох шахт перекачується на завод попередньої підготовки. До ставку вже додано альгіцид.

Попередня підготовка складається з наступних кроків [17, 19]:

– отримання показників pH за допомогою сірчаною кислоти, флокуляція алюмінію за допомогою полімеру у вигляді допоміжного засобу для флокуляції та седиментації;

– двохслойна фільтрація піском та антрацитом;

– фільтрація гранульованим активованим вугіллям для видалення вуглеводнів унаслідок випадкових розливів нафти;

– дозування гексаметафосфату натрію в лінії, щоб запобігти виникнення нальоту на мембранах ЗО;

– постійне або тимчасове дозування хімічних засобів для дезінфекції, наприклад, гіпохлорид натрію або бісульфіт натрію. Бісульфіт натрію також для дехлорування.

Шлам з відстійників та освітлений промитий шлам з фільтрів згущується перед тем, як відправити в шламовідстійники.

Підготовлену воду подають на установку ЗО. В цілому працює 7 ліній ЗО, чотири – для Дебієнско та три – для Будрик. Етап у кожній лінії ЗО становить відповідно дві для Дебієнско та три для Будрика. Перед тим, як вода буде подана до мембран, застосовують дві стадії мікрофільтрації (50 мкм та 5 мкм). Кожна лінія ЗО має власний насос високого тиску, тобто вони можуть працювати незалежно. Це корисно у випадку очищення мембран або при зміні обсягу. Процес контролюється pH-датчиком, витратоміром, системою реєстрації даних тощо. Якість фільтрату буде контролюватися за допомогою вимірювача провідності [27].

Фільтрати з усіх ліній ЗО змішують перед установкою подальшої очистки. Потік подають до декарбонізатора для видалення двоокису вуглецю, який виникає в ході додавання кислоти на установці попередньої обробці. Для використання фільтрату у якості питної води необхідні подальші засоби, як додавання хлору

проти бактеріологічного росту в резервуарах та трубах та додавання гідроксиду кальцію для регулювання значення pH та збільшення тимчасової жорсткості.

Потім розсіл після процесу ЗО подають до концентратора розсолу. Це випарний агрегат з падаючою плівкою. Концентрація потоку відбувається біля точки, при якій NaCl осаджується.

Сульфат кальцію, що виділяється з розчину, буде осідати на ділянках кристалізації, що виникають завдяки зародкам кристалізації, а не на поверхні нагрівача. Слідом за розсолом продукт буде очищений від кристалів сульфату кальцію в освітлювачі. Перетоки з освітлювача доводять до показників pH за допомогою гідроксиду натрію, а потім подають до кристалізатора.

Кристалізатор виробляє хлорид натрію, дистилят та продувний матеріал із домішками, що надходять з вхідної рідини. Кристалізатор представляє собою примусову циркуляцію зануреними трубчастими випарниками, оснащеними механічним агрегатом рекомпресії пари. Об'єм корпусу визначається часом дії, необхідної для одержання кристалів NaCl необхідного розміру. Треба випарити велику кількість води, щоби отримати сіль. Пара з цього механізму стискається і конденсується в нагрівачі кристалізатора. Сольові шлами зливають до центрифуг, обезводнюють, а потім висушують в охолоджувачі сушки кип’ячого слою. Продувні продукти після кристалізатора проходять обробку хімічним та термічним способом для отримання додаткового дистиляту та отримання інших хімічних речовин.

Сутність пропонованої технології зображено на рис. 5.2.

Зі ставка-відстійника вода прямує на реагентну обробку, яка полягає в послідовном здійсненні спочатку коагуляції, а потім содо-вапняного або електромембранних пом'якшення [24]. Запропоновано здійснювати обидва процеси одночасно в контактних освітлювачах ВТІ-160І з використанням аніоноактивних і катіоноактивних органічних флокулянтів. Як відходи у процесі коагуляції-пом'якшення утворюється шлам $CaCO_3$ і $Mg(OH)_2$. Зазначений шлам після ущільнення і фільтрування на фільтр-пресі є кальцієво-магнієвою сировиною цементної промисловості.

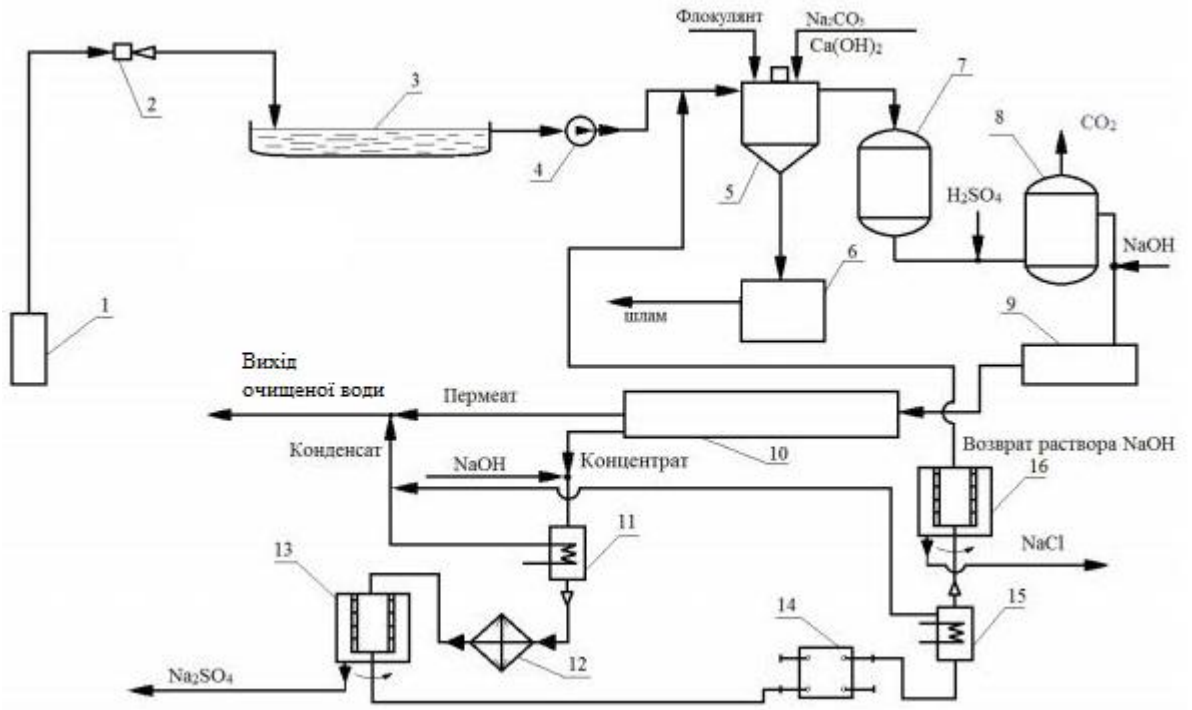

Рисунок 5.2 – Принципова схема установки демінералізації шахтної води

1 – шахтний насос; 2 – ежектор; 3 – ставок-відстійник шахтної води; 4 – насос другого підйому; 5 – коагуляційний освітлювач; 6 – фільтрпрес шламу коагуляції; 7 – зернистий фільтр; 8 – декарбонізатор; 9 – ультрафіолетова установка; 10 – блок зворотного осмосу; 11 – перший ступінь випарювання; 12 – кристалізатор; 13 – центрифуга сульфату натрію; 14 – рекуперацийний теплообмінник; 15 – другий ступінь випарювання; 16 – центрифуга хлориду натрію

Після пом'якшення і фільтрування на зернистих фільтрах вода має pH на рівні 11 – 12. З такою реакцією середовища вона дуже погано піддається мембранної обробці. Тому перед подачею на модулі зворотного осмосу вода нейтралізується розчином сірчаної кислоти до pH 4. Потім її піддають декарбонізації в декарбонізаторі, після чого нейтралізують розчином їдкого натру до pH 6,8. Загальна жорсткість води після реагентного пом'якшення не перевищуватиме 0,5 мг-екв / дм^3. Такі параметри вихідної води дають можливість

здійснювати зворотноосмотичне знесолення без добавки спеціальних реагентів – інгібіторів осадоутворення (т.зв. антискаланта).

Використання антискаланта в запропонованій схемі вкрай небажано, оскільки воно буде супроводжуватися забрудненням продуктів знесолення фосфатами та іншими шкідливими домішками. без використання антискаланта воду зазначеної мінералізації і жорсткості можна сконцентрувати не більше ніж в 15 - 20 разів.

Пом'якшена, декарбонізована і нейтралізована вода подається на стерилізуючу обробку в ультрафіолетовій установці і потім в блок зворотньоосмотичного знесолення. Тут, під тиском в 2,5 МПа, приблизно три чверті витрат води фільтруються через мембрани з утворенням пермеату з солевмістом 200 - 220 мг / дм^3. Частина води, що залишилася витікає з модулів в вигляді концентрату із загальним солевмістом приблизно 80000 мг / дм^3.

Розчин такої концентрації далі можна переробляти тільки випарюванням, оскільки при подальшому концентруванні його зворотним осмосом існує небезпека інтенсивного відкладення на мембранах осаду солей жорсткості.

pH концентрату зворотного осмосу складе 6,8. При наявності в розчині високої концентрації хлоридів (до 30000 мг / дм^3). Концентрат з таким значенням pH є досить агресивною рідиною. Потрібну стійкість в даних умовах при високій температурі має тільки титан. Випарні установки з титану будуть занадто дорогими. Тому передбачено підвищення pH концентрату зворотного осмосу до 10,0 - 11,0 шляхом дозування невеликих кількостей їдкого натру. При такій реакції середовища достатню стійкість має легована сталь Х20.

На випарній установці, що складається з п'яти апаратів плівкового випаровування, розчин випаровується до сумарної концентрації сухих речовин 22%. Потім його направляють в кристалізатор, де охолоджують до температури - 10 ° С. При цьому з розчину викристалізовується сульфат натрію у вигляді десятиводного мірабіліту $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$. Кристали мірабіліту відокремлюються центрифугою від маточника, промиваються охолодженою до 0 °С

демінералізованою водою, фасуються і відвантажуються споживачам, які виробляють скло.

Маточник кристалізації сульфату натрію підігрівається в рекуперацийному теплообміннику і направляється в випарні апарати другого ступеня для виділення кристалічного хлориду натрію. Кристали хлориду натрію відокремлюються центрифугою і реалізуються для використання в процесах пом'якшення води або в комунальному господарстві.

Маточник кристалізації хлориду натрію, що залишається в кількості до 1% від вихідної води направляється на стадію пом'якшення. Таким чином, вдається отримати відносно чистий хлорид натрію, повернувши більшу частину домішок сульфату натрію і їдкого натру для використання в процесах пом'якшення води, концентрування і кристалізації солей.

Пермеат зворотного осмосу змішується з конденсатом випарних станцій. Його мінералізація відповідно до розрахунків складе 100 - 120 мг / дм. Зазначена вода буде мати температуру 50 - 55 °С. Таку воду передбачається використовувати для гарячого водопостачання ШУ «АрселорМіттал Кривий Ріг» і задоволення санітарно-технічних потреб підприємства в чистій воді. Надлишок можна використовувати в якості живильної води котлів низького тиску або тепломережі, а також застосовувати в якості частково знесоленої води при водопідготовці ТЕЦ і ТЕС. Таким чином, запропонована технологія демінералізації шахтної води може вважатися практично безвідходної, оскільки все макро домішки витягуються з води у вигляді цінної сировини.

5.2.4 Концепція установки демінералізації в Кривому Розі

Базуючись на технічному огляді вище ДМТ вважає, що процес (комбіновані модульні етапи процесу попередньої обробки, зворотного осмосу та випаровування/кристалізації), придатний для демінералізації близько 16 млн. $м^3$/рік Кривбасу. Установка з демінералізації працюватиме 24 години на добу, 365 діб/рік та матиме наступні характеристики:

- річна подача води: прибл.16 млн. $м^3$;
- добова подача води: прибл. 43,900 $м^3$; та
- подача води у годину: прибл. 1 830 $м^3$.

Обесолення води за допомогою зворотного осмосу буде генерувати демінералізовану воду, а також великий об'єм високомінералізованого розсолу. Це означає, що ми матимемо таку саму ситуацію, як і раніше, тільки розподіл води та солі змінився. Слід зазначити, що обидва процеси виробляють, окрім чистої води, другу частину сольового розчину або твердої фракції, чиє подальше використання є проблематичним.

Специфіка застосування обладнання з очистки (демінералізації) високомінералізованих шахтних вод Кривбасу полягає в тому, що для нормальної роботи устаткування по знесоленню, необхідно забезпечити стабільні гідрохімічні показники вихідної шахтної води, яка буде подаватися на очистку. Враховуючи, що відкачка води з шахт Кривбасу, на протязі доби здійснюється не рівномірно, а також з різних горизонтів та з різними гідрохімічними показниками, при застосуванні технологічного обладнання по знесоленню шахтних вод на поверхні, на всіх шахтах, необхідно буде створювати ставки – відстійники, для накопичування певного обсягу води, усереднення та стабілізації хімічного складу, а також часткового освітлення шахтних вод від завислих речовин. Лише після відстоювання та стабілізації хімічного складу шахтної води, можливий забір певного обсягу води на наступний технологічний цикл водопідготовки та очистки. Будівництво, на кожній із шахт, таких ставків-відстійників, виробничих ділянок з очистки шахтних вод та створення необхідної інфраструктури навколо цих об’єктів, вимагатиме додатково виділення земельних ділянок, що в умовах Кривбасу, є досить складною задачею, оскільки шахти розташовані практично в міській жилій зоні, де обмежені чи взагалі відсутні вільні для забудови території. За існуючих умов, ідеальним варіантом, з точки зору місця розташування та режиму роботи є діючий ставок-накопичувач шахтних вод, розташований поза межами м. Кривий Ріг, в Широківському районі Дніпропетровської області (рис. 5.2).

Шахтна вода, яка надходить від південної групи шахт, потрапляючи в ставок-накопичувач, змішується, відстоюється, освітлюється та усереднюється по хімічному складу починаючи з верхів'я ставка-накопичувача. В місці водозабору шахтних вод на скид (гребля ставка-накопичувача) шахтні води мають стабільний усереднений хімічний склад та максимальне освітлення від завислих речовин і в необхідному обсязі можуть відбиратися для їх знесолення. Таким чином діючий ставок-накопичувач є оптимальним об'єктом для усереднення, освітлення та відбору шахтної вод на очистку (демінералізацію).

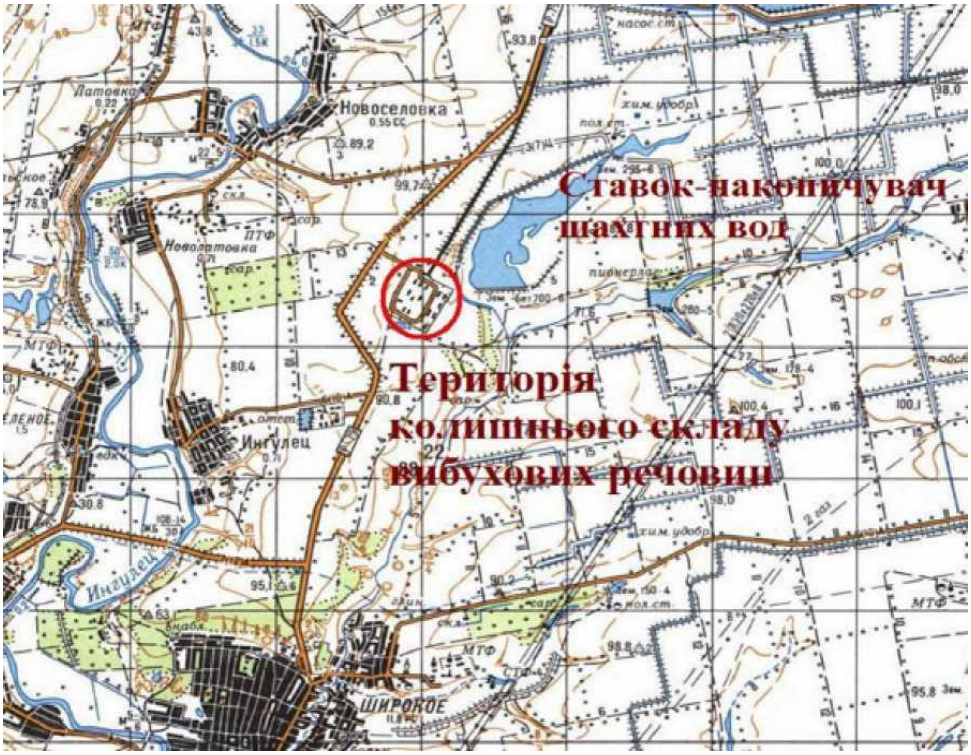

Рисунок 5.2 – Потенційне розташування устаткування з очистки шахтних вод

Виходячи з вище викладеного, розміщення виробничого майданчика та обладнання по знесоленню (демінералізації) шахтних вод, раціонально було б розташувати неподалік від ставка-накопичувача шахтних вод або безпосередньо на ставку-накопичувачу, залежно від наявності необхідних площ.

Аналізуючи місцевість в районі розташування ставка-накопичувача шахтних вод та об’єкти, які розташовані неподалік від нього, вибір припадає на територію колишнього складу вибухових речовин, розташовану поруч зі ставком-накопичувачем. Це місце має низку переваг, а саме:

– вдале розташування відносно ставка-накопичувача шахтних вод;

– до об’єкту підведені під’їзні шляхи та відповідні комунікації;

– у минулому об’єкт мав промислове призначення, тому значно спрощується процедура отримання дозвільних документів на нове будівництво;

– територія об’єкту достатня для розміщення необхідної кількості обладнання по знесоленню (демінералізації) шахтних вод;

– і саме головне, не має потреби у виділенні додаткової земельної ділянки для нового будівництва поблизу ставка-накопичувача шахтних вод.

Разом з тим, необхідно зазначити, що зазвичай застосування технологій по знесоленню шахтних вод потребують значної кількості енергоносіїв (теплова, електрична та інші види енергій). Поблизу ставка-накопичувача та потенційного місця розташування виробничого майданчика та обладнання по знесоленню (демінералізації) шахтних вод, відсутні енергогенеруючі об’єкти, з яких можливо було б залучити певні види енергій. Однак даний район є досить перспективним місцем для розвитку та впровадження так званих «зелених» технологій з генерації електричної енергії використовуючи енергію вітру та сонячну енергію.

5.2.5 Продукти демінералізації

Під час процесу демінералізації утворюються різні продукти. У процесі попереднього очищення треба вилучити забруднюючі речовини перед подачею до зворотного осмосу, тому що це негативно вплине на процес зворотного осмосу. На цьому етапі процесу видаляються, наприклад, завислі тверді речовини, гідроуглеводи, залізо і магнезія будуть зосереджені в фракції шламу. Проте частина цієї фракції є порівняно невеликою і залежить від точного хімічного та фізичного складу загального потоку шахтної води, що підлягає демінералізації.

У наступних попередніх оцінках розглядалася лише основна частина забруднюючих речовин - хлорид і сульфати. Інші забруднювачі на цій стадії невідомі. Дані розраховані на один рік.

Подача: 16 млн. $м^3$; розчинених твердих часток: прибл. 38,8 г/л.

Під час процесу зворотного осмосу очікується зміна пропорцій 70%. Невеликі частини солі на етапі демінералізації не розглядають на цій стадії. Таким чином, на виході зворотного осмосу отримають із потоку 16 млн. $м^3$ наступні потоки матеріалу:

– Демінералізована вода: приблизно 11,200,000 $м^3$

– Високомінералізований розсіл: приблизно 4,800,000 $м^3$ (Хлорид та сульфат: прибл. 129 г/л).

4,800,000 $м^3$ буде подано на останній етап процесу випаровування/кристалізації. З цього кроку також отримують демінералізовану воду та твердий продукт. Демінералізована вода з випарювання: близько 4 490 000 $м^3$ Тверді частини з розчину складуть близько 310 000 $м^3$ або 620 800 т (середня припустима щільність солі/твердого матеріалу 2 кг/$дм^3$).

Таким чином, на виході демінералізації шахтної води Кривбасу буде близько 15 690 000 $м^3$ демінералізованої води та близько 310 000 $м^3$ (620,8 тис. т) твердого соляного матеріалу.

5.3 Отримання та утилізація твердого матеріалу

Залишки від процесу демінералізації можуть бути високим сольовим розсолом або твердою сольовою сумішшю, переважно із хлориду натрію та сульфату натрію. ЗО створює висококонцентрований сольовий розчин, з яким важко працювати. Ситуація буде такою ж, як і перед процесом очистки, тільки кількість мінералізованої води зменшилась, але збільшився вміст мінералізованих солей, проблеми залишилися ті ж самими, бо немає розумного рішення щодо використання цієї високомінералізованої води. Включення розсолу в тверду масу за допомогою цементу та/або золи (шлаків) є можливим. Проте тоді ця тверда

маса повинна бути утилізована, наприклад, для засипки в шахті або на відвалі. Але головне питання полягає в тому, наскільки добре мінерали можуть бути закріплені в «цементній структурі», так що повторна сепарація неможлива. Якщо сепарації неможливо уникнути, використання в якості засипки неможливе в районах, де можливе просочування води. Те саме стосується і утилізації таких цементних матеріалів на відвалах.

В обраному вище процесі отримують лише тверді залишки. Цей сольовий матеріал також можна зберігати на відвалах. Цей спосіб також використовується в промисловості з видобутку солі в Німеччині, але ведеться дуже багато активних дискусій і спорів з цього приводу.

Проблемою таких відвалів є вихід мінералів до ґрунтових вод і, наприклад, в річки неподалік. Це може бути зменшено гідрологічним бар'єром під відвалом, але залишається проблема дренажу з поверхні відвалу. Повна ізоляція подібних відвалів від впливів дощу не здається реалістичною.

Однією з основних вимог до бетонних сумішей отриманих з залученням розсолів та/або вод з високою мінералізацією для умов Кривого Рогу буде їх нерозчинність. Лабораторія будівельних матеріалів ДМТ розробила ряд рецептів для отримання бетонних сумішей з залученням вод з високою мінералізацією.

В рамках розробки оптимальної рецептури солебетонів ДМТ виконувалися ряд досліджень можливостей отримання нерозчинних солебетонів. Соляний бетон використовується в відпрацьованих соляних шахтах для будівництва бар’єрів та перемичок. Якщо в таких соляних шахтах з’являється рідина, то вона звичайно насичується сіллю, і ніякі мінералізовани солі не можуть виділитися із матеріалу перемичок. У разі контакту з немінералізованою водою сепарація солі можлива. В результаті лабораторних досліджень компанія ДМТ не змогла отримати нерозчинного солебетону. Слід відзначити, що ДМТ також невідомі вдалі приклади отримання нерозчинних солебетонів в Німеччині та інших країнах. Отже, використання такого сольового цементу обмежене.

Для виробництва сольового бетону зроблено припущення, що маса 1 м^3 буде приблизно 1,8 т. Потреба у цементі складає тоді близько 0,3 т, а потреба у

воді становить близько 50% частини цементу – 0,15 т. Цей показник отримають з відношення вода – твердий матеріал (цемент) 0,5. Відношення вода – твердий матеріал 0,5 є середньою величиною для забезпечення доброго реагування цементу. Це значення може варіюватися від 0,35 до 1. Частинки солі будуть включені в цю цементну структуру. Із збільшенням вмісту частини цементу збільшується кількість частини солі. Подібні суміші будуть утворювати тверду матрицю, але не гарантують, що солі та мінерали не виділяться при контакті з прісною водою. Частину цементу можна замінити максимально до 50% золою після електрофільтрів електростанцій.

Підхід щодо зменшення обсягу розсолу після зворотного осмосу виявився складним через відоме співвідношення вода – твердий матеріал (цемент). Необхідне значення 0,5 означає, що для ущільнення розсолу необхідно мати приблизно вдвічі більшу кількість цементу/золи.

Тобто для проекту в Кривому Розі для 4,800,000 $м^3$ розсолу буде потрібно 9,6 млн. т цементу. Ці оцінки можуть бути дещо скореговані у разі диференційованої (на окремих шахтах) демінералізації перед змішуванням у накопичувані в б. Свистунова.

5.3.1 Використання у будівництві

Існують певні обмеження на якість води для приготування бетонних сумішей. Згідно з українського стандарту ГОСТ 23732-2011 бетонні суміші мають створюватися на воді з умістом солей до 10 г/л. Навіть для поливки зовнішніх бетонних поверхонь допускається використання води з мінералізацією до 35 г/л. Використання більш солоної води може призводити до зменшення міцності бетону, який з часом почне руйнуватися через вивітрювання та вплив атмосферних вод. Зважаючи на середню мінералізацію шахтних вод балки Свистунова близько 38,8 г/л, використання бетонних виробів на основі розсолів для господарських потреб в межах існуючих стандартів не допускається.

Таким чином, цементація як засіб утилізації шахтних вод або розсолів - відходів демінералізації шахтних вод – потребує додаткових досліджень у галузі будівельної хімії: виготовлення бетонних виробів на основі розсолів.

Звазаючи на технічні та законодавчі перепони використанню шахтних вод в будівництві, потенційними об’єктами для розміщення твердих мас отриманих в процесі очистки (демінералізації) шахтних вод в Кривбасі могли б бути вільні відкриті та підземні гірничі виробки, відпрацьовані рудні та нерудні кар’єри, або відпрацьований підземний простір.

5.3.2 Утилізація кінцевих продуктів під землею

За інформацією наданою державним підприємством «Державний інститут по проектуванню підприємств гірничорудної промисловості «Кривбаспроект»», в різні часи видобуток залізних руд в Кривбасі підземним способом здійснювався з застосуванням наступних систем розробки:

- поверхово-камерна;
- підповерхово-камерна;
- підповерхового обвалення;
- поверхового обвалення;
- із закладанням виробленого простору.

Системи з закладанням виробленого простору застосовувалися в Кривбасі лише на двох шахтах: «Октябрська» ВО «Кривбасруда» та «Південна» РУ ім. Ілліча. На рівні 80-90 років минулого тисячоліття робота шахти «Південна» була зупинена у зв’язку з її збитковістю, а по шахті «Октябрьска» було прийнято рішення відмовитися від роботи шахти системою із закладанням виробленого простору з економічних міркувань (зростання собівартості видобутку руди у зв’язку з інтенсивним збільшенням глибини ведення гірничих робіт, зростання конкуренції на ринку залізорудної продукції, підвищення вимог щодо якості товарної продукції). В теперішній час система відпрацювання із закладанням виробленого простору в Кривбасі не застосовується (таблиця 5.6).

Таблиця 5.6. – Системи розробки та параметри шахт Кривбасу

Назва підприємства	Кількість шахт в структурі підприємства	Діюча система відпрацювання рудних покладів	Проектна глибина ведення очисних робіт	Фактична глибина ведення очисних робіт	Прогнозний термін відпрацювання балансових запасів
ПАТ Кривбас залізрудком	Тернівська	підповерхневого обвалення, поверхнево та підповерхнево камерна	1500м	1275-1350м	2080р. (до гор. 1955м)
	Гвардійська	підповерхневого обвалення, поверхнево та підповерхнево камерна	1510 м	1270-1350м	2076 р. (до гор. 1990 м)
	Октябрьська	підповерхневого обвалення, підповерхнево камерна	1490 м	1190-1265м	2110 р. (до гор. 2015 м)
	Батьківщина	підповерхневого обвалення	1465 м	1315- 1390м	2087 р. (до гор.1765 м)
ПрАТ ЄВРАЗ Суха Балка	Ювілейна ім. Фрунзе	поверхнево та підповерхнево камерна підповерхневого обвалення	1580 м 1285 м	1420 м 1210 м	2036 р. 2024 р.
ПАТ АрселорМіттал Кривий ріг	Шахта АМКР	Підповерхневого обвалення	1315 м	1135м	2038 р. (до гор. 1315 м)
ПРАТ ЦГЗК	ім. Орджоникідзе	поверхнево камерна	607 м	527 м	2036 р.
	Гігант-Дренажна	законсервована перебуває в режимі гідрозахисту	800 м	800 м	
ПРАТ ПІВНГЗК	Першотравнева-Дренажна	законсервована перебуває в режимі гідрозахисту	920 м	920 м	

Система розробки із закладкою, більш придатна для шахт з міцними породами – шахти Тернівська (Леніна), Орджонікідзе, Гвардійська КЗРК.

У шахтах зі слабкими породами не утворюються порожнечі в чистому вигляді. Разом з обваленням руди відбувається обвалення і налягаючих порід.

Проте, детальний аналіз умов шахт може ідентфікувати істотні обмеження для роботи з закладкою на окремих шахтах. Наприклад, питання переходу на відробку рудних покладів системою іншого класу, а саме з частковим використанням систем з твердіючою закладкою очисного простору розглядався інститутом ДП «ДПІ Кривбаспроект» у проекті «Розкриття та розробка горизонтів 1340м, 1415м і 1490м шахти «Октябрська» (2010).

Глибини на яких проводяться очисні роботи (1265 м і нижче), фізико-механичні властивості руди та вміщаючих порід, дозволяють відпрацювати не більше 30% річного обсягу видобутку руди шахтою з застосуванням системи із закладанням виробленого простору. Розмір камери по простиранню на підповерху при товщині рудного покладу 15 – 20 м не може перевищувати 18-22м. За таких умов через два три - поверхи по глибині шахта «Октябрська» не зможе працювати камерними системами і вимушена буде перейде повністю на системи з обваленням, де використання закладки неможливе.

Міцність закладки в меншій мірі залежить від міцності порід, а повинна відповідати системі відпрацювання і геометричними розмірами камер - при обваленні цілика одночасно відбувається і часткове обвалення закладки, що призводить до засмічення руди. Засмічення руди закладочним матеріалом з вмістом заліза 0% несе значно більш негативний ефект, ніж засмічення некондиційної руди з вмістом заліза 30%.

Всі ці фактори на різних шахтах відрізняються, тому і вимоги до закладочного матеріала відповідно різняться. За комплексом вимог міцність закладки може коливатися від 3 до 8 МПа. Основними вимогами до закладки є : межа міцності на стиск на 90 добу, твердіння – 3,0-8,0 МПа; рухливість суміші –10-11см., текучість – до 20 см.

Використання мінералізованих вод в їх природному вигляді для приготування твердіючих сумішей наврядчи буде раціональним. При мінералізації води понад 10 г/л відбувається зниження міцності закладки на 30-50 % і більше, а ці води мають мінералізацію до 30-40 г/л (іноді до 90 г/л). Меншою мірою шахтна вода знижує твердіння шлакових сполук (міцність знижується на 20%), а цемент може взагалі не тверднути.

5.3.3 Потенціал для утилізації відходів

Сучасна продуктивність видобутку залізних руд підземним способом в Криворізькому басейні становить близько 8,0 млн. т/рік. При цьому середня обємна вага руди становит близько 3,8 т/м^3. За умови повного переведення всіх шахт басейну на системи розробки з твердіючою закладкою, закладного матеріалу потрібно близько 2,1 млн. м^3 на рік. Якщо в розрахунок прийняти тільки 3 працюючі шахти, таки званої «південної групи», які скидають води в накопичувач «Балка Свистунова», в такому разі потрібно закладного матеріалу в обсязі 600-900 тис.м/рік.

На рік необхідно захоронити 0,6 млн т (або 0,3 млн м^3) солей в безводному стані, чи 4,1 млн т (3,4 млн м^3) солей у вигляді насиченого розчину. Враховуючи, що для водостійкого стану солевідходів у розчин необхідно добавляти молотий шлак та інші складові, сумарний обсяг закладної суміші за рік буде становити близько 0,6 млн м^3 для безводних солевідходів, або 6,8 млн м^3 при захороненні концентрату солевідходів. Таким чином, в разі переводу всіх шахт Кривбасу на роботу з закладкою, потенційною наявності достатньо місця для утилізації сухих продуктів демінералізації шахтних вод у відпрацьованому просторі.

В той же час, обємів виробленного простору відпрацьвуємого шахтами та , потенційно необхідної закладки, буде недосить для утилізації концентратів солевідходів.

5.4 Оптимізація системи моніторингу

Сьогоднішня система моніторингу сфокусована на вимірюванні об’ємного потоку та важливих хімічних параметрів (дані з якості) шахтних вод, що скидаються за планом, та вимірюванні якісних даних на окремих важливих точках контролю річки Інгулець. За межами періоду скидання шахтних вод вимірювання даних практично не проводиться. На деяких важливих потоках заміри виконуються лише час від часу, наприклад Обвідний канал, річка Саксагань. Результати таких несистематичних вимірів можуть розглядатися лише як орієнтири.

На протязі року існують значні коливання водоносності річки та якості води, що скидається, а також її об’єму, і ці коливання мають значний вплив на отриману в результаті концентрацію в Інгульці. Існуюча система, котра передбачає постійний об’єм скидання шахтних вод та постійний об’єм потоків для розбавлення на означений період, дуже часто дає більше розбавлення, ніж було необхідно. Це приводить до значно більших витрат.

Оскільки реальні потреби можуть дуже відрізняються, залежно від часу, доцільно організувати систему регулювання, котра буде орієнтуватися на реальних потребах в режимі реального часу.

Така концепція управління потоками має враховувати багато аспектів [22]. Серед них:

– Обладнання постійної системи моніторингу. Знання реального рівня мінералізації в річці Інгулець отримані від системи моніторингу в режимі онлайн є важливою основою для управління мінералізаційного навантаження. Вміст солі має постійно визначатися, вимірюючи провідність. Також треба встановити, по можливості більше точок вимірювання по ходу річці Інгулець та, наприклад, також по ходу річці Саксагань. Це дасть можливість отримати інформацію також про скиди та притоки меншого масштабу та про їх динаміку із часом. Це можна

зробити через абсолютний рівень на мінімум однієї контрольної точці на Інгульці після скидання із ставку Свістунова.

– На базі системи моніторингу є, в принципі, вже розроблена в рамках цього проекту система управління (0_розбавлення = 1(0_Інгулець; с_Інгулець), далі привести у відповідність до реальної ситуації та і у відповідність до окремих випадків. Скидання із ставку Свістунова: на додаток до оптимального управління скиду із ставку Свістунова треба забезпечити необхідний резервний обсяг, щоб можна було збалансувати показники у непередбачених випадках.

– Скидання із північного хвостосховища: незалежно від параметрів циклу скиду з цього обєкта, треба оптимізувати цикл між ставком-накопичувачем та забором води з хвостосховища.

– Враховувати в деталях безпосереднє відведення від стволів шахт.

– Враховувати в деталях дифузний вихід речовин з ґрунтових вод.

– Враховувати в деталях інші джерела отримання речовин після скидання в Саксагань (наприклад, від АрселорМіттал та через Обвідний канал).

– В майбутньому дозвіл на регулювання сольового навантаження має існувати постійно, щоби не втрачати час при сприятливих метеорологічних умовах.

– Треба забезпечити, щоб водосховище Карачун мало достатньо води для розбавлення. Точне відображення профілю глибини та об’єму, як вже було зроблено для ставку Свістунова, треба враховувати в моделі управління.

– Додаткове заповнення через канал Дніпро-Інгулець треба також враховувати в програмі управління, щоб було достатньо води в необхідний момент. Також треба враховувати подачу води через канал Дніпро-Кривий Ріг, якщо достигли максимуму ефективності/потужності насосів.

Дані моніторінга в реальному часі мають збиратися в центральній диспетчерській. Із цієї диспетчерської інформація для управління скидами мінералізованої води та водою на розбавлення може видаватися назовні згідно з встановлених управлінських процедур.

Дані, що надходять, будуть відображатися на моніторах в режимі реального часу. Якщо граничні показники будуть перевищені, то в ручному режимі можна залучитися до засобів управління чи буде напівавтоматичне чи автоматичне управління водою, що підлягає розбавленню чи скиданню.

Вдосконалена система моніторингу якості та кількості води дозволить:

– покращити якість води у задіяних річках;

– знизити витрати на управління шахтними водами;

– виконати відповідні вимоги директиви ЕС;

– забезбечити прозорість управляння шахтними водами для усіх сторін, включаючи громадськість.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів в приміщенні установки демінералізації шахтних вод

В процесі роботи на апаратника установки демінералізації шахтних вод можливий вплив таких небезпечних і шкідливих виробничих факторів:

Фізичних:

- незахищені рухомі частини виробничого устаткування, вироби та матеріали, які пересуваються;
- небезпечне значення напруги в електричній мережі, замкнення якої може відбутися через тіло людини;
- підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони;
- підвищена або понижена температура повітря робочої зони;
- підвищена або понижена температура поверхні устаткування, матеріалів;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;
- підвищена або понижена вологість повітря;
- підвищена рухомість повітря (протяги);
- підвищений рівень статичної електрики;
- недостатня освітленість робочої зони;
- гострі ребра, задирки, шорсткість на поверхні устаткування.

Хімічних:

- загальнотоксичні;
- подразнюючі;
- сенсибілізуючі;
- канцерогенні.

Психофізіологічних:

- нервово-психічні та фізичні перенавантаження.

6.2 Пропоновані заходи з безпеки праці для апаратника установок демінералізації шахтних вод

6.2.1 Загальні заходи

До складу робіт, які виконує апаратник, можуть входити у т.ч. роботи з підвищеною небезпекою.

Апаратник має постійне робоче місце (зону обслуговування) і виконує такі види робіт:

- ведення технологічного процесу, у т.ч. підтримання регламентованих параметрів (температури, тиску, величин масової або об'ємної частини компонентів, рівня, часу відведеного на ту чи іншу операцію і ін.) в межах допустимих їх значень, що забезпечують безаварійну роботу виробництва;

- періодичну (передбачену технологічним регламентом) реєстрацію параметрів в журналі;

- проведення контрольних аналізів;

- обслуговування апаратів, систем комунікацій, контрольно-вимірювальних приладів і іншого устаткування;

- забезпечення справної і безаварійної роботи технологічного устаткування, комунікацій;

- виявлення і усунення можливих неполадок в роботі;

- пуск і зупинку устаткування, яке він обслуговує;

- підготовку устаткування до ремонту та прийняття з ремонту за установленим на підприємстві порядком;

- виконання інших робіт відповідно з Довідником кваліфікаційних характеристик професій працівників.

До виконання робіт за цим фахом допускаються особи, які:

- досягли 18 років, пройшли медичний огляд відповідно до Положення про медичний огляд працівників певних категорій, затвердженого наказом

Міністерства охорони здоров'я України від 31.03.94 №45 , наркологічний огляд (якщо апаратник відноситься до категорії осіб, що повинні проходити наркологічний огляд згідно з Переліком професій та видів діяльності, для яких є обов'язковим первинний і періодичний профілактичний наркологічний огляд, затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 06.11.97 №1238) та не мають протипоказань;

- мають повну загальну середню освіту, професійно-технічну освіту;

- пройшли навчання за професією, у т.ч. підготовку (попереднє спеціальне навчання) для виконання робіт з підвищеною небезпекою і перевірку знань з питань охорони праці стосовно конкретних робіт, які вони виконуватимуть та виявили задовільні результати при перевірці знань;

- пройшли інструктажі (вступний, первинний) з питань охорони праці, пожежної безпеки, надання першої допомоги потерпілим від нещасних випадків, з правил поведінки та дій при виникненні аварійних ситуацій, пожеж і стихійних лих.

Повторний інструктаж з питань охорони праці (за змістом і обсягом питань первинного інструктажу) проводиться один раз на три місяці.

Перевірка знань з питань охорони праці повинна проводитися щорічно.

Апаратник зобов'язаний:

- виконувати правила внутрішнього трудового розпорядку;

- не з'являтися на роботі в стані алкогольного або наркотичного сп'яніння;

- вміти користуватися засобами індивідуального та колективного захисту, первинними засобами пожежогасіння;

- користуватися спецодягом та іншими засобами індивідуального захисту за їх призначенням;

- дотримуватися зобов'язань з охорони праці, передбачених колективним договором (угодою, трудовим договором);

- не допускати на своє робоче місце сторонніх осіб;

- не виконувати роботи , не передбачені змінним завданням;

- не знаходитися на робочому місці у позаробочий час без відповідного дозволу безпосереднього керівника;

- проходити у встановленому порядку попередні та періодичні медичні огляди.

Апаратнику видається безплатно за встановленими нормами спеціальний одяг, спеціальне взуття та інші засоби індивідуального захисту, які вибираються в залежності від умов праці і можливого впливу на людину небезпечних та шкідливих виробничих факторів:

- костюм (сукняний, сукняний з напівшерстяної тканини, з термозахисної тканини "Нотех", бавовняний, гумовий, бавовняний з кислотозахисним просочуванням, бавовняний з капюшоном із пилонепроникної тканини, лавсановий, лавсаново-бавовняний прогумований, бавовняний з капюшоном, лавсаново-бавовняний, бавовняний з вогнезахисним просочуванням, бавовняний з водовідштовхувальним просочуванням), напівкомбінезон бавовняний, халат бавовняний, плащ непромокальний;

- білизна натільна;

- черевики (шкіряні, шкіряні на латунних цвяхах, шкіряні з металевим носком), чоботи (гумові, шкіряні, кирзові, пластмасові), тапочки шкіряні, напівчеревики шкіряні, туфлі шкіряні;

- рукавиці (комбіновані, КР, брезентові, сукняні, азбестові), рукавички (гумові, діелектричні, маслобензостійкі, трикотажні бавовняні);

- шолом (сукняний, бавовняний), головний убір бавовняний, берет шерстяний, ковпак бавовняний;

- фартух (прогумований, прогумований з нагрудником, бавовняний з нагрудником);

- окуляри захисні;

- екран захисний С-40;

- протишумові навушники;

- онучі бавовняні.

На зовнішніх роботах додатково видаються:

- куртка бавовняна на утеплювальній прокладці;

- штани бавовняні на утеплювальній прокладці;

- валянки.

Для захисту органів дихання в залежності від умов праці апаратнику, при необхідності, видається протигаз відповідної марки або респіратор.

При виконанні апаратником робіт певного виду , у т.ч. з підвищеною небезпекою (газонебезпечних, на висоті і ін.), додатково видаються засоби індивідуального захисту, що передбачені інструкціями з охорони праці, на проведення цих видів робіт.

Апаратник зобов'язаний дотримуватися вимог санітарних норм і правил особистої гігієни, а саме:

- приступати до роботи у засобах індивідуального захисту;

- утримувати в чистоті і порядку робоче місце;

- дбайливо і за призначенням користуватися санітарно-побутовими приміщеннями, спецодягом і іншими засобами індивідуального захисту, утримувати їх у справному стані і чистому вигляді;

- мити руки з милом теплою водою перед кожним прийманням їжі;

- дотримуватися питного режиму з урахуванням особливостей умов праці;

- палити у спеціально відведених для цього місцях;

- приймати їжу у відведених для цього місцях;

- зберігати харчові продукти, у т.ч. молочні, що видаються на підприємстві, в холодильниках, які для цього призначені.

6.2.2 Вимоги безпеки перед початком роботи

Перед початком роботи апаратник повинен:

- Перевірити справність та одягти засоби індивідуального захисту (спецодяг, спецвзуття і ін.). У випадку змінної роботи з'явитися на робоче місце завчасно для прийняття зміни.

- Оглянути (разом з апаратником, якого він змінює, у випадку змінної роботи) робоче місце , переконатися: у справній роботі систем вентиляції, технологічного устаткування, комунікацій; справності контрольно-вимірювальних приладів, засобів блокування і сигналізації; наявності та справності засобів пожежогасіння, колективного захисту; в належному рівні освітлення і ін.

- Увімкнути (якщо вона вимкнена) припливно-витяжну вентиляцію за 15-20 хв. до початку роботи.

- При безперервній роботі - перевірити режим роботи устаткування (хід технологічного процесу).

- Перевірити наявність необхідної кількості сировини, напівфабрикатів, матеріалів, тари, транспортних засобів і ін. На робочому місці апаратника повинні знаходитися тільки необхідні для ведення технологічного процесу сировина, матеріали, тара і ін.

- Заслухати інформацію апаратника, якого він змінює, про недоліки і зауваження стосовно роботи устаткування, приладів і ін.

- Прийняти зміну за встановленим на підприємстві порядком.

- При виявленні в процесі огляду несправностей і порушень сповістити безпосереднього керівника і не приступати до роботи (не приймати зміну) до усунення виявлених порушень, якщо ці порушення унеможливлюють безпечне і безаварійне ведення технологічного процесу.

6.2.3 Вимоги безпеки під час роботи

Під час роботи апаратник забезпечує безпечне та безаварійне ведення технологічного процесу, дотримуючись послідовності виконання операцій у відповідності з технологічним регламентом (технологічною картою). 3.2 Апаратник зобов'язаний:

- дотримуватися періодичності вимірювання основних технологічних параметрів згідно з методиками їх виконання, та реєструвати їх значення у журналі;

- контролювати основні технологічні параметри, в т.ч. параметри, які забезпечують безпеку виробництва (температуру, тиск, рівень і ін.). Не допускати їх відхилень за межі допустимих значень, які можуть призвести до аварійної ситуації;

- вживати заходів щодо усунення можливих неполадок в роботі, які можуть призвести до аварійної ситуації, а при їх виникненні діяти згідно з вимогами технологічного регламенту;

- не залишати без нагляду своє робоче місце;

- дотримуватися правил безпечного поводження з сировиною, матеріалами, напівпродуктами, готовою продукцією, які використовуються та виробляються в процесі ведення технологічного процесу, враховуючи їх пожежовибухонебезпечні і токсичні властивості;

- не захаращувати робочу зону та дотримуватися чистоти і порядку;

- не здійснювати ремонт, чистку і прибирання устаткування під час його роботи.

Апаратник готує технологічне устаткування, комунікації до ремонту та приймає їх з ремонту згідно з установленим на підприємстві порядком.

Про виявлені під час роботи порушення, неполадки, які можуть завадити безпечному веденню технологічного процесу або призвести до аварійної ситуації, а також про кожний нещасний випадок апаратник повинен негайно повідомити безпосереднього керівника і вжити заходів щодо надання долікарської допомоги потерпілому.

До прибуття комісії з розслідування на місці події необхідно зберігати обстановку та устаткування у такому стані, в якому вони були на момент події, якщо це не загрожує життю та здоров'ю інших працівників і не призведе до більш тяжких наслідків. Крім того, необхідно вжити заходів щодо недопущення подібних випадків у ситуації, що склалася.

6.2.4 Вимоги безпеки після закінчення роботи

- Після закінчення роботи апаратник повинен:

- Прибрати робоче місце.

- У випадку змінної роботи не залишати працююче устаткування до прибуття змінника і прийняття ним зміни. Здати зміну у встановленому порядку, повідомивши змінника про всі недоліки і зауваження, стосовно роботи устаткування, приладів і ін. та надавши іншу, необхідну для забезпечення подальшої безпечної роботи, інформацію.

- Прибрати спецодяг і інші засоби індивідуального захисту, які використовувалися в процесі роботи, у відведене для цього місце.

- Помити лице, руки теплою водою з милом або прийняти душ.

- Повідомити безпосереднього керівника про всі недоліки, які мали місце під час роботи.

6.2.5 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

Характерні для хімічних виробництв ознаки аварійних ситуацій наступні: тимчасова зупинка технологічного процесу внаслідок спрацювання автоматичних захисних блокувань;

- небезпечний режим роботи устаткування - вихід за межі допустимих значень параметрів (тиску, температури, швидкості руху, рівня і т.п.) технологічного процесу, що може призвести до аварійного стану;

- утворення вибухонебезпечного середовища в апаратурі;

- розгерметизація технологічного устаткування, трубопроводів, тари і ін.

- наявність джерел запалювання в апаратурі та поза устаткуванням;

- загоряння технологічного устаткування, трубопроводів, продуктів, тари і ін.;

- відключення електропостачання, обривання і коротке замикання електрокомунікацій, електрообладнання і ін.

У випадку виникнення аварійної ситуації апаратник повинен негайно повідомити про те, що сталося, безпосереднього керівника та діяти у відповідності з вказаними у розділі "Безпечна експлуатація виробництва" (технологічного регламенту для даного виробництва) діями щодо їх усунення, а також у відповідності з Планом локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій (ПЛАС), якщо його наявність для даного об'єкта передбачена.

У випадку виникнення пожежі апаратник повинен припинити роботу, обезживлити електрообладнання, негайно розпочати гасіння пожежі наявними засобами пожежогасіння, діючи у відповідності з вимогами інструкції з пожежної безпеки підприємства.

У випадку травмування, отруєння потерпілому необхідно надати першу долікарську допомогу (до прибуття швидкої медичної допомоги)

Конкретні дії щодо надання першої допомоги потерпілим при різноманітних ураженнях викладені в інструкції з надання першої (долікарської) допомоги потерпілим, що діє на підприємстві та вивчається апаратником при проходженні навчання та інструктажів з питань охорони праці.

7 ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ

7.1 Розрахунок витрат по варіанту з розширеним періодичним скидом

Для оцінки вартості подачі води на розбавлення використовувалися тарифи на подачу води каналом Дніпро-Інгулець, що станом на травень 2019 року становили 0,69 грн/м^3 та вартість встановлена ДПП «Кривбаспромводопостачання» на залучення технічної безнапірної води зКарачуніського і Макортівського водосховищ в розмірі 0,25 грн/м^3 та технічної напірної по каналу «Дніпро-Кривий Ріг» – 1,52 грн/м^3.

Базуючись на технічних можливостях залучення води по каналу Дніпро-Інгулець витратами 11,0 м^3 та річним обсягом 347,0 млн.м^3, вартість подачі води становитиме:

$$0,69 \text{ х } 347,0 = 239,43 \text{ млн.м}^3$$

Вартість подачі технічної безнапірної води з Карачунівського водосховища за рахунок місцевого заакумульованого стоку прийнятих в обсягах 50,0 млн.м^3 становитиме:

$$0,25 \text{ х } 50,0 = 12,5 \text{ млн.м}^3$$

З загальних обсягів води для забезпечення зрошення при умові подачі в період з 16 березня по 7 серпня води з Карачунівського водосховища на рівні 8,0 м^3/с, а сумарна подача за зрошувальний сезон – 100 млн. м^3. Таким чином, для розбавлення шахтних вод на протязі осінньо-зимового періоду за рахунок річного перерозподілу стоку можна залучити

$$347,0 + 50,0 -100,0 = 297,0 \text{ млн.м}^3$$

води з Карачуніського водосховища з середньодобовими витратами на період розбавлення шахтних вод близькими до 19,0 м^3/с.

Затрати згідно діючого тарифу на 2019 рік на подачу шахтної води на скид зі ставка - накопичувача з урахуванням експлуатаційних витрат складають 0,58 грн./м^3. Середній річний обсяг шахтної води, що скидається в р. Інгулець зі ставка-накопичувача становить 12,4 млн.м^3 складуть. Річні експлуатаційні витрати скиду шахтних вод в цінах 2019 року складуть:

$$0,58 \text{ х } 12,4 = 7,19 \text{ млн. грн.}$$

Періодичні скиди зворотних вод з хвостосховища ПРАТ «ПІВНГЗК» передбачають залучення води з Макортівського водосховища та по каналу Дніпро-Кривий Ріг. При скиді зворотних вод протягом осінньо-зимового періоду з хвостосховища Прат «ПІВНГЗК» в обсягах 2,5 млн. м^3 протягом 6 місяців розрахункові середньодобові витрати становитимуть 0,16 м^3/с. Вода з Макортівського водосховища знизить концентрацію від місця скиду до Кресівського водосховища. Орієнтовні витрати на розбавлення прийняті 1,0 м^3/с.

Сумарна потреба у воді на розбавлення з Макортівського водосховища при витратах 1,0 м^3/с становитиме близько 16,0 млн.м^3 на рік.

Вартість подачі технічної безнапірної води з Макортівського водосховища, встановлена КП «Кривбаспромводопостачання» на 2019 рік у розмірі 0,25 грн/м^3.

Витрати на подачу 16,0 млн. м^3 відповідно становитимуть:

$$0,25 \text{ х } 16 = 4,0 \text{ млн. грн.}$$

Далі в процес розбавлення залучається канал Дніпро-Кривий Ріг шляхом подачі з Південного водосховища по існуючому 33 каналу в Кресівське водосховище.

Максимальна проектна потужність каналу - 5,5 $м^3$/с. Сумарна потреба у воді на розбавлення з Південного водосховища при витратах 5,5 $м^3$/с становитиме близько 86,0 млн.$м^3$.

Вартість на подачу технічної води з Південного водосховища, встановлена КП «Кривбаспромводопостачання» на 2019 рік у розмірі 1,52 грн/$м^3$.

Витрати на подачу 86,0 млн. $м^3$ відповідно становитимуть:

$$1,52 \times 86 = 130,72 \text{ млн. грн.}$$

Загальна вартість подачі води на розбавлення шахтної води та підтримки якості води на рівні нормативних вимог на період забору води на зрошення по даному варіанту становить:

$$4,0 + 7,19 + 239,43 + 12,5 + 130,72 = 393,84 \text{ млн.грн.}$$

Сумарний скид шахтних та зворотних вод становитиме:

$$12,4 + 2,5 = 14,9 \text{ млн.}м^3.$$

Вартість розбавлення 1 $м^3$ шахтної та зворотної води становитиме:

$$383,52 / 14,9 = 25,74 \text{ грн.}$$

В разі відсутності періодичного скиду зворотних вод зі шламосховища ПРАТ «ПІВНГЗК» загальна вартість подачі води на розбавлення шахтної води та підтримки якості води на рівні нормативних вимог на період забору води на зрошення становитиме:

$$7,19 + 239,43 + 12,5 = 259,12 \text{ млн.}м^3.$$

Собівартість розбавлення 1 м^3 шахтної води становитиме:

259,12 /12,4 = 20,9 грн.

Таблиця 7.1 демонструє зведені витрати по варіанту покращення наявної системи з розширеним періодичним скидом.

Таблиця 7.1 – Витрати по варіанту з розширеним періодичним скидом

Стаття витрат	Скид шахтних вод зі ставка-накопичувача та зворотних вод зі шламосховища ПРАТ «ПівнГЗК»		Скид шахтних вод зі ставка-накопичувача	
	Річний обсяг подачі води, млн.м^3	Річні експлуатаційні витрати, млн. грн.	Річний обсяг подачі води, млн.м^3	Річні експлуатаційні витрати, млн. грн.
Подача води з Макортівського водосховища	16,0	4,0		
Скид зворотних вод зі шламосховища ПРАТ «ПівнГЗК»	2,5			
Подача води по каналу Дніпро - Кривий Ріг (з Південного водосховища по 33 каналу)	86,0	130,72		
Подача води по каналу Дніпро-Інгулець	347,0	239,43	347,0	239,43
Залучення води з Карачуніського водосховища для розбавлення ШВ за рахунок власного стоку річки Інгулець	50,0	12,5	50,0	12,5
Скид шахтних вод зі ставка-накопичувача у р. Інгулець	12,4	7,19	12,4	7,19
Сумарні річні експлуатаційні витрати		393,84		259,12

7.2 Розрахунок витрат на демінералізацію

Наступна оцінка витрат базується на аналогії витрат діючих установок. Оцінка вартості капіталу не враховує витрат на підготовку локального майданчику та, наприклад, придбання власності.

7.2.1 Капітальні витрати

Аналогічна реалізованою на польських шахтах Дебієнско та Будрик технологія демінералізації була запропонована в Україні у дослідженні установки демінералізації шахти «Артема» (інститут «УкрНДІ Водоканалпроект», Київ, 2010 р.). Потужність та капітальні витрати цих установок наведені в таблиці 7.2. На цьому етапі не розглядається можливе зменшення витрат за рахунок розвитку майбутнього розвитку технології.

Таблиця 7.2 – Капітальні витрати на установках Дебієнско/Будрик та ш.Артема

Шахта	Потужність, м^3/добу	Капітальні витрати, млн. євро
Дебієнско/Будрик	12,000	60
Артема (розрахункові)	12,055	70

Капітальні витрати на установці Дебієнско/Будрик та Артема відносно витрат м^3/добу складали 5000 € за м^3/добу; та5800 € за м^3/добу відповідно.

Необхідна потужність установки становить близько 44 000 м^3/добу. Лінійна інтерполяція витрат, залежно від потужності, не є коректною. Для отримання більш коректних значень, враховувалися вартість та технічні параметри ряду великих опріснювальних установок в Австралії, США та регіоні Північної Африки та Близького Сходу, те, що обсяг капітальних інвестицій знижується із ростом потужності установки, а також, що розглядаєма технологія демінералізації для Кривбасу є комбінацією термітного процесу зі зворотнім осмосом.

Оцінка лінії тренду – y = -217 ln(x) + 4204.7 - між 12 000 м^3/добу та 44 000 м^3/добу показує у порівнянні до євро за м^3/добу коефіцієнт зниження 0,87.

При застосуванні цього фактору отримуємо нове значення 4 698 євро за м^3/добу як результат інтерполяції.

Таким чином, оцінка капітальних інвестицій, потрібних для установки потужністю 44 000 м^3/добу, складає близько 207 млн. євро.

Враховуючи витрати на будівництво системи по переорієнтації потоків північної групи шахт на південь 1963,6 млн. грн, загальні капітальні витрати по варіанту, при курсі 29 гривень за євро, становитимуть 6003 + 1963,6 = 7 966 млн.грн.

7.2.2 Операційні витрати

Для оцінки операційних витрат використовуються також фактори потреби в електроенергії та основних витратних матеріалах. Енергетичні фактори складаються з оцінок даних Дебієнско та дослідження установки з демінералізації для шахти Артема. Для фінансування капіталу було передбачено коефіцієнт 5%. Витрати на технічне обслуговування та витратні матеріали розглядаються із застосуванням загальних факторів для концептуального планування (технічне обслуговування/запасні частини 3% та витратні матеріали 0,5%), коефіцієнт технічного обслуговування трохи зменшений, тому що такі установки сьогодні дуже надійні і лише невелика потреба в технічному обслуговуванні. Кількість персоналу врахована як 12 операторів, але це не є значною частиною витрат. Експлуатаційні витрати можуть зменшуватися, якщо продукти від попередньої обробки та процесу кристалізації можуть бути продані на ринку. Вочевидь, для цього потрібен ринок з попитом на подібний соляний продукт більш як 600 000 т на рік. Чи існує в ринок з таким потенціалом – предмет окремої маркетингової стадії. Референтна установка демінералізації в Польщі покриває близько 37 % операційних витрат з продажу солепродукта.

Тож, для завдань ТЕО, можна прийняти що потенціно установка в Кривбасі зможе також покривати 37 % операційних витрат з продажу продукта в оптимістичному сценарії. З іншого боку, операційні витрати можуть збільшуватися, якщо складування цього матеріалу є необхідним.

Таким чином, витрати на демінералізацію шахтних вод Кривбасу складуть близько 6 млрд. гривен капітальних витрат та 841(в оптимістичному сценарії 530) млн. грн /рік операційних витрат. Додатково враховуються витрати (144,49 млн. грн.) на воду (210 млн. $м^3$) для розбавлення інших забруднювачів води в р. Інгулець, задля забезпечення цільової якості води та 11,79 млн. грн. переорієнтації потоків північної групи шахт. Відповідно, операційні витрати становитимуть 997,28 (в оптимістичному сценарії 686,28) млн. грн /рік (табл. 7.3).

Таблиця 7.3 Витрати на демінералізацію

Витрати [млн. грн.]	Без продажу солепродукту	З продажем солепродукту
Капітальні	7 966	7 966
Операційні	997,28	686,28

Якість води у річці Інгулець може бути далі покращена за рахунок залучення додаткової води на розбавлення. Це дозволить додатково пом’якшити зміни коливання якості води у річці між сезоном зрошення та рештою року, що позитивно вплине на стані флори та фауни у річці. Експлуатаційні витрати в такому разі збільшаться відповідно.

ВИСНОВКИ

Аналіз існуючих технологій очищення шахтних вод, показав, що в основному вони припускають освітлення і механічну очистку. Очищені таким чином шахтні води мають підвищену мінералізацію і при скиданні у поверхневі водойми забруднюють їх.

В результаті виконання магістерської роботи було проведено дослідження щодо можливостей вдосконалення системи управління шахтними водами Кривбасу.

Наразі, шахтні води збираються у ставку-накопичувачу з подальшим скидом у річку Інгулець. Це негативно впливає на якість води у річці та, відповідно, на екологічну ситуацію у її басейні.

В проекті виконано техніко-економічне порівняння двох варіантів оптимізації системи:

– оцінка та пропозиції щодо поліпшення існуючої системи;

– очищення шахтних вод (демінералізація) і утилізація кінцевого продукту.

Прогнозну якість води у річці Інгулець для розглянутих альтернатив та відповідні витрати наведено у таблиці нижче.

Варіант		Якість у р. Інгулець, мг/л, (сезон зрошення / решта часу)		Витрати, млн. грн.	
		Концентрація хлоридів	Загальна мінералізація	Капітальні	Експлуатаційні
Поліпшення існуючої системи (1)	Розширений періодичний скид	350/1500	1500/4500	0	394
Демінералізація шахтних вод включно з утилізацією продукту (2)		350/1200	1600/4000	7 966	1 107

.

Усі розглянуті варіанти забезпечать цільову якість води у річці Інгулець. При реалізації альтернативи з демінералізацією (2), якість води може бути далі покращена за рахунок залучення додаткової води на розбавлення. Це дозволить додатково пом'якшити зміни коливання якості води у річці між сезоном зрошення та рештою року, що позитивно вплине на стан флори та фауни у річці. Експлуатаційні витрати в такому разі збільшяться відповідно.

Варіант 2 потребує додаткового капітального будівництва. Відповідно, реалізація цих опцій потребуватиме кількох років. Альтернатива 1 не передбачає капітального будівництва та може буди реалізована скоріше.

При розробці природоохоронного заходу запропоновано комплексну безстічну технологію глибокої переробки шахтних вод. Технологія полягає в їх демінералізації і виділення домішок в якості товарних продуктів для використання в будівельній промисловості, виробництві скла, комунальному господарстві і т. інше.

В роботі розроблено рекомендації щодо вдосконалення системи моніторингу якості та кількості води, які дозволять:

– покращити якість води у задіяних річках;

– знизити витрати на управління шахтними водами;

– виконати відповідні вимоги директиви ЕС;

– забезбечити прозорість управляння шахтними водами для усіх сторін, включаючи громадськість.

АНОТАЦІЯ

В роботі проаналізовано існуючі методологічні підходи щодо оптимізації скидання та утилізації надлишку шахтних вод, проведено аналіз стану існуючої системи скидання шахтних вод та впливу системи скидання шахтних вод на довкілля. Виконано техніко-економічне порівняння двох варіантів оптимізації системи скидання надлишку шахтних вод, вибрано придатну технологію демінералізації шахтних вод Кривбасу, розроблено рекомендації щодо утилізації кінцевих продуктів демінералізації, вдосконалення системи моніторингу якості та кількості води.

АНОТАЦИЯ

В работе проанализированы существующие методологические подходы по оптимизации сброса и утилизации избытка шахтных вод, проведен анализ состояния существующей системы сброса шахтных вод и влияния системы сброса шахтных вод на окружающую среду. Выполнено технико-экономическое сравнение двух вариантов оптимизации системы сброса избытка шахтных вод, выбрано пригодную технологию деминерализации шахтных вод Кривбасса, разработаны рекомендации по утилизации конечных продуктов деминерализации, совершенствования системы мониторинга качества и количества воды.

ANOTATION

The paper analyzes the existing methodological approaches to optimizing the discharge and utilization of excess mine water, analyzes the state of the existing mine water discharge system and the impact of the mine water discharge system on the environment. A technical and economic comparison of two options for optimizing the system for discharging excess mine water was carried out, a suitable technology for demineralization of mine water in Kryvbas was selected, recommendations for the disposal of the final products of demineralization, improvement of the monitoring system for the quality and quantity of water were developed.

ЛІТЕРАТУРА

1. Удовенко Г. В. ОПТИМІЗАЦІЯ СКИДАННЯ ТА УТИЛІЗАЦІЇ НАДЛИШКУ ШАХТНИХ ВОД/ Г. В. Удовенко, В. Є. Лисиця. // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Майбутній науковець – 2020». – 2020. – С. 49–50.

2. Про затвердження Правил охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами [Електронний ресурс]. – 1999. – Режим доступу до ресурсу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/465-99-%D0%BF.

3. Омельченко Н.П. Очистка шахтных вод / Н.П. Омельченко. – Макеевка.: МакНИИ, 1999. – 224 с.

4. Бондаренко Н.К., Сафронов В.А., Лесогоров А.В. О свойствах взвешенных веществ шахтных сточных вод. / Н.К.Бондаренко, В.А.Сафронов, А.В. Лесогоров. // Донецкий национальный технический университет Общегосударственный научно-технический журнал «Проблемы экологии» Вип. № 1. – 2000. – С. 22–27.

5. Николин В.И. Матлак Е.С. Охрана окружающей среды в горной промышленности / В.И. Николин, Е.С. Матлак. – Киев Донецк.: Вища шк., 1987. – 191 с.

6. Гулько С. Е., Гомаль И. И. Опыт и перспективы использования шахтных вод / С. Е. Гулько, И. И. Гомаль. // Уголь Украины. – 2013. – № 2. – С. 30 – 34.

7. Використання шахтних вод для технічного водопостачання. Загальні технічні вимоги: СОУ 10.1.00174125.016:2008 / Мінвуглепром України. – К., 2008. – 32 с.

8. Синявский С. А. О проблеме деминерализации шахтных вод / С. А. Синявский // Уголь Украины. – 2010. – № 2. – С. 22 – 24.

9. Резников Ю.Н., Львов В.Г., Кульченко В.В. Шахтные и карьерные воды: кондиционирование, использование, обессоливание и комплексная переработка. / Ю.Н. Резников, В.Г. Львов, В.В. Кульченко. – Донецк: Изд-во «Каштан», 2003. – 94 с.

10. Физико-химические основы технологии деминерализации шахтных вод: Монография /[Гребенкин С.С., Костенко В.К., Матлак Е.С. и др.]; под общ. ред. Костенко В.К. – Донецк: «ВИК», 2008. – 287с.

11. Водний кодекс України [Електронний ресурс]. – 1995. – Режим доступу до ресурсу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80. – (дата звернення: 12.05.2019)

12. Стольберг В.Ф. Экология города: Учебник./В.Ф. Стольберг. – К: Либра, 2000. – 464 с.

13. Долина, Л.Ф. Сточные воды предприятий горной промышленности и методы их очистки. Справочное пособие. / Л.Ф. Долина. – Днепропетровск: Молодежная экологическая лига Приднепровья, 2000 . – 61 с.

14. Ивлева Г. А. Анализ мирового опыта и научно-технических разработок в области кондиционирования опресненных высокоминерализованных вод для питьевых целей (применительно к шахтным водам Восточного Донбасса) / Г. А. Ивлева, Н. Н. Гусев. // Горный информационно-аналитический бюллетень (ГИАБ). – 2011. – С. 162–170.

15. Методы снижения концентрации сульфатов в сточных водах горнорудных предприятий / [В. А. Маслобоев, В. Е. Вигдергауз, Д. В. Макаров та ін.]. // Вестник Кольского научного центра РАН. – 2017. – №1. – С. 99–115.

16. Левченко, Е.С. Опреснение карьерных, рудничных и шахтных вод – один из путей оздоровления рек Украины / Е.С. Левченко // Збірник наукових праць за результатами роботи III Міжнародної науково-технічної конференції (Кривий Ріг, 19 червня 2015 р.). – Кривий Ріг: Вид. Р.А. Козлов, 2015. – с. 191 - 193.

17. Фрог Б. Н., Левченко А. П. Водоподготовка: учеб. пособ. для вузов. М.: Изд - во МГУ, 1996. 680 с.

18. Reverse Osmosis Demineralization of Acid Mine Drainage [Електронний ресурс] // National Service Center for Environmental Publications (NSCEP). – 1992. – Режим доступу до ресурсу: https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/9100GB7V.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=Prior+to+1976&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5Czyfiles%5CIndex%20Data%5C70thru75%5CTxt%5C00000011%5C9100GB7V.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1&SeekPage=x&ZyPURL.

19. Стариков Е. Н. Мембранные методы очистки сточных вод. Водоподготовка 2007: Матер. II междунар. конф. (21 мая 2007 г.). М., 2007. С. 98 – 107.

20. Запольський А. К., Мішкова-Кліменко Н. А., Астрелін І. М, Брик М. Т., Гвоздяк П. І., Князькова Т. В. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод: підручник. К., Лібра, 2000. 552 с.

21. Cutting-edge technology to meet emerging regulatory challenges [Електронний ресурс] // Envirogen Technology. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://www.envirogen.com/markets/mining-and-minerals/.

22. Крайнюков О. М., Некос А. Н. Моніторинг довкілля: підруч. для студ. вищ. навч. закл. / О. М. Крайнюков, А. Н. Некос. – Харків: Фоліо, 2015. – 203 с.

23. Water Solutions for the Mining Industry [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: https://ecodyne.com/markets/mining-2/.

24. РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЙ КОМПЛЕКС ДЕМИНЕРАЛИЗАЦИИ ШАХТНОЙ ВОДЫ [Електронний ресурс] / А. А.Тарелин, В. Г. Михайленко, А. В.

Антонов, А. А. Тарелин // ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://journal-me.com/archive/ua/2018_1_8_rus.pdf.

25. Галецкий Л. С., Сляднев В. А., Яковлев Е. А. Эколого-геологические аспекты формирования качества подземных вод в горно-промышленных районах центрального Донбасса. Аква-Україна 2006: Матер. IV міжнар. водного форуму (К., 19-21 вересня 2006 р.). К., 2006. С. 96 – 100.

26. Майдуков Г Л. Шахтная вода как природный ресурс / Г. Л. Майдуков. М. Е. Григорюк // Уголь Украины. – 2006. – № 12. С. 22 – 28.

27. Удалов И. В. Оценка возможности захоронения шахтных вод шахты «Любельская» в глубокие непродуктивные водоносные горизонты / И. В. Удалов, Н. К. Маркина, Я. С. Маркина. Я. В. Яроха // Вестник ПТУ «ХПИ». – 2008. – № 39. – С. 77 – 85.

28. Пилипенко А.,Т. Комплексная переработка шахтных вод, А. Т. Пилипенко. И.Т. Гороновский. В. Д. Гребенюк и др.\\ под ред. А.Т. Пилипенко. – К.: Техника, 1985. – 183 с.

29. Lichtner F. Acid mine water demineralization methods [Електронний ресурс] / F. Lichtner, R. Hendel, D. Polizzotti. – 2008. – Режим доступу до ресурсу: https://patents.google.com/patent/US20070045189A1/en.

30. Tarelin A. RESOURCE-SAVING COMPLEX FOR MINE WATER DEMINERALIZATION [Електронний ресурс] / A. Tarelin // Journal of Mechanical Engineering. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://journal-me.com/en/archive/vol21-2018-iss1-paper8/.

31. Behera S. K. Demineralization mechanism and influence of parameters on high ash Indian coal by chemical leaching of acid and alkali solution [Електронний ресурс] / S. K. Behera, S. Chakraborty, B. C. Meikap // International Journal of Coal Science & Technology. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://link.springer.com/article/10.1007/s40789-018-0208-3.