

Міністерство освіти і науки України



**ДНІПРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
імені академіка В. ЛАЗАРЯНА**

Кафедра «Хімія та інженерна екологія»

«До захисту»

Завідувач кафедрою

д-р техн. наук, професор

_____ Ю. В. Зеленько

«__» _____ 20__ р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня «Магістр»

Галузь знань 10 Природничі науки

Спеціальність 101 Екологія

ОП Екологія

Тема: Екологізація системи очистки шахтних вод гірничовидобувного підприємства

Theme: Greening of mine water treatment systems by the mining enterprise

Керівник дипломної роботи

доцент

Яришкіна Л.О.

(підпис)

Студент групи

ЕО1921

Кияшко В. Ю.

(підпис)

Student

Kyashko V. Yu.

Дніпро

2020 р.

Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В.Лазаряна

Факультет: «Промислове та цивільне будівництво»
Кафедра: «Хімія та інженерна екологія»
Спеціальність: 101 «Екологія»
ОП «Екологія»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедрою

Ю.В.Зеленько

« » _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

до дипломної магістерської роботи студента

Кияшко Владислав Юрійович

1. Тема дипломної роботи «Екологізація системи очистки шахтних вод гірничовидобувного підприємства», затверджена наказом по університету № 177 ст від «13» травня 2020 року.

2. Термін подання студентом закінченого проекту 30.11.2020 р.

3. Вихідні дані до дипломної роботи: теоретичний та практичний досвід у галузі очистки шахтних вод, результати огляду науково-технічної інформації за темою магістерської роботи, стандартизовані методики визначення вмісту забруднювачів у шахтних та стічних водах.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань до розробки): Загальні відомості про склад шахтних вод та їх вплив на навколишнє середовище, аналіз сучасних методів очищення шахтних вод; огляд технологій та технологічних схем очищення шахтних вод в Україні та в світі; розробка рекомендацій щодо вдосконалення системи очистки шахтних вод; техніко-економічне обґрунтування ефективності запропонованих технологічних схем; охорона праці та безпека на підприємствах вугільної галузі.

5. Перелік демонстраційного матеріалу: мультимедійна презентація за результатами виконання дипломної роботи у обсязі до 20 слайдів, які повною мірою відображають актуальність поставленої мети та задач дослідження, методологію та постановку експериментів, практичну та наукову новизну отриманих результатів.

6. Консультанти (з назвами розділів)

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва розділів дипломної роботи	Термін виконання розділів роботи	Примітка
1.	Дослідження впливу високомінералізованих шахтних вод на стан та якість водних ресурсів	28.10.2020	
2.	Аналіз сучасних методів захисту гідро екосистем від забруднення шахтними водами	28.10.2020	
3.	Розробка раціональних способів очищення високомінералізованих шахтних вод	16.11.2020	
4.	Вдосконалення системи захисту водних екосистем від мінералізованих шахтних вод Павлоградського басейну	23.11.2020	
5.	Висновки, Вступ	03.12.2020	
6.	Перевірка на плагіат	07.12.2020	

7. Дата видачі завдання 13.06.2020р.Керівник дипломного проекту
канд. хім. наук, доцент_____
(підпис)

Яришкіна Л.О.

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Кияшко В. Ю.

РЕФЕРАТ

Дипломна магістерська робота «Екологізація системи очистки шахтних вод гірничовидобувного підприємства»: 90 стор., 14 рис., 21 табл., 59 літ. джерела.

Об'єкт дослідження – забруднення водних екосистем Павлоградського басейну високомінералізованими шахтними водами.

Мета роботи - вдосконалення існуючої системи захисту водних ресурсів Павлоградського басейну від негативної дії неочищених шахтних вод.

Методологія та методи досліджень – теоретичні дослідження виконані спираючись на аналіз науково-технічної інформації у цій галузі знань, експериментальні дослідження проведені на лабораторних установках з використанням модельних розчинів високомінералізованих шахтних вод з використанням сучасних методик і обладнання.

Наукова новизна отриманих результатів: обґрунтування екологічно-безпечних методів захисту водних ресурсів від забруднення сульфатами високомінералізованих шахтних вод.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці комплексних схем очистки шахтних вод в залежності від напрямку їх подальшого застосування або скиду у водні об'єкти України.

У магістерській роботі проведено оцінку якості шахтних вод, що скидаються у водні басени Придніпровського регіону. Розглянута проблема очистки високомінералізованих стічних вод від сульфатів. Проведено узагальнення досвіду застосування сучасних методів і комплексних технологічних схем очищення шахтних вод. Розроблено пропозиції комплексних схем очищення шахтних вод. Рекомендовано для зменшення скиду зважених речовин з шахтними водами в балку Свідовок.

Результати експериментальних та теоретичних досліджень можуть бути використані широким колом спеціалістів у галузі екологічної безпеки, раціонального природокористування та водопостачання.

**ВОДА, МІНІРАЛІЗАЦІЯ, ОЧИЩЕННЯ ВОДИ, ПІДЗЕМНІ ВОДИ,
СУЛЬФАТИ, ТЕХНОЛОГІЯ, ШАХТНІ ВОДИ**

ABSTRACT

Master's thesis "Greening of mine water treatment systems by the mining enterprise ": 90 pages, 14 figures, 21 tables, 59 sources.

The object of research is the pollution of aquatic ecosystems of the Pavlograd basin with highly mineralized mine waters.

The purpose of the work is to improve the existing system of protection of water resources of the Pavlograd basin from the negative effects of untreated mine waters.

Methodology and research methods - theoretical research is based on the analysis of scientific and technical information in this field of knowledge, experimental research was conducted in laboratory facilities using model solutions of highly mineralized mine waters using modern techniques and equipment.

Scientific novelty of the obtained results: substantiation of ecologically safe methods of protection of water resources from sulphate pollution of highly mineralized mine waters.

The practical significance of the obtained results lies in the development of complex schemes of mine water treatment depending on the direction of their further application or discharge into water bodies of Ukraine.

The master's thesis evaluates the quality of mine waters discharged into the water basins of the Dnieper region. The problem of treatment of highly mineralized wastewater from sulfates is considered. The generalization of experience of application of modern methods and complex technological schemes of mine water treatment is carried out. Proposals for complex mine water treatment schemes have been developed. Recommended to reduce the discharge of suspended solids from mine water into the Svidovok beam.

The results of experimental and theoretical research can be used by a wide range of specialists in the field of environmental safety, environmental management and water supply.

WATER, MINIRALIZATION, WATER TREATMENT, GROUNDWATER, SULPHATES, TECHNOLOGY, MINING WATER3MICT

ВСТУП

	С.
Вступ.....	8
1 Дослідження впливу високомінералізованих шахтних вод на стан та якість водних ресурсів.....	11
1.1 Еколого-технологічна класифікація мінералізованих шахтних вод...	11
1.2 Огляд специфічного складу високо мінералізованих шахтних вод...	15
1.3 Вплив шахтних вод на стан природних водних об'єкти.....	21
2 Аналіз сучасних методів захисту гідро екосистем від забруднення шахтними водами.....	28
2.1 Методи видалення зважених речовин з шахтних вод.....	29
2.1.1 Методи відстоювання.....	29
2.1.2 Використання гідро циклонів.....	32
2.1.3 Флотаційне прояснення шахтних вод.....	34
2.1.4 Прояснення шахтних вод методами фільтрації.....	36
2.1.5 Спеціальні методи очищення шахтних вод.....	39
2.2 Еколого-технологічний аналіз методів демінералізації шахтних вод..	43
2.2.1 Методи дистиляції шахтних вод.....	44
2.2.2 Електрохімічні методи зменшення солевмісту у шахтних водах	47
2.2.3 Демінералізація води методом зворотного осмосу.....	49
2.2.4 Демінералізація шахтних вод методами іонного обміну.....	51
3 Розробка раціональних способів очищення високомінералізованих шахтних вод.....	53
3.1 Аналіз сучасних технологічних схем очистки шахтних вод.....	53
3.2 Способи повторного використання очищених шахтних вод.....	54
3.3 Особливості очищення шахтних вод під час скиду до природних водних екосистем.....	57
4 Вдосконалення системи захисту водних екосистем від мінералізованих шахтних вод Павлоградського басейну.....	68
4.1 Аналіз екологічного впливу шахтних вод модельного підприємства..	68

4.2 Дослідження реагентного очищення шахтних вод з метою їх подальшого технологічного використання.....	73
4.3 Рекомендації щодо вдосконалення очистки шахтних вод ПАТ «А» з метою захисту довкілля від забруднення.....	78
4.4 Визначення ефективності запропонованих технологічних схем очищення шахтних вод.....	80
Висновки.....	83
Список бібліографічних посилань.....	85

ВСТУП

План розвитку вугільної галузі Західного Донбасу у відповідності з рішеннями Міністерства енергетики та вугільної промисловості України передбачає необхідність розвитку галузі з метою збільшення видобутку кам'яного вугілля [1]. Цей вид енергетичної сировини повинен стати основним для України, оскільки країна володіє значними запасами кам'яного вугілля і його більш широке застосування в енергетиці країни дозволить знизити залежність від імпорتنих енергоносіїв.

У вугільній промисловості попутно з видобуванням корисних копалин забирається вода, об'єм якої в декілька разів перевищує об'єм споживання її промисловими підприємствами галузі. Тому створення безстічних систем на гірничодобувних підприємствах не можливо за рядом причин, насамперед технічних. Обігові системи водокористування є на ряді збагачувальних фабрик і на деяких спорудах поверхневого комплексу шахт. Забруднена шахтна та кар'єрна вода піддається в тій чи іншій мірі очищенню при скиданні її у водні об'єкти та при передачі споживачам вугільної промисловості чи іншим галузям.

Постійний перехід гірничих робіт на більш глибокі горизонти призводять до збільшення обсягів і забруднення різними речовинами шахтних вод. Вимоги до якості очищення цих вод при випуску їх у водойми, а також при подальшому використанні обумовлюють широке застосування різноманітних методів і технологій очищення [2]. Крім забруднення механічними і органічними домішками шахтні води характеризуються високим солевмістом, що обмежує їх комплексне використання у промисловості без належного очищення, а також представляє реальну небезпеку забруднення поверхневих і підземних вод.

З вугільних шахт у нашій країні щорічно відкачують понад 1 км³ шахтних вод. Найбільший солевміст мають води Донецького вугільного

басейну - 500 шахт скидають близько 1,7 млн м³ стічних вод на добу, з яких 95 % відносяться до категорії солонуватих і солоних. Загальна кількість солей, які надходять у Дніпровський каскад водосховищ з мінералізованими стоками Західного Донбасу, сягає 1 млн. т/рік; у зв'язку з закриттям шахт очікується підвищення сольового навантаження. Так у Дніпропетровській області утворюється 50 млн. м³ шахтних вод у рік, з них: - 30 млн. м³ з солевмістом 3-5 г/л та 20 млн. м³ з солевмістом 14 - 30 г/л. [2]

За основу для виконання магістерської роботи обрано діяльність ПАТ «А» - як найбільшого підприємства України, яке видобуває вугілля. Враховуючи особливості застережень про конфіденційність, для усіх згадок про підприємство використовується спеціальне шифрування ПАТ «А». Це підприємство проводить видобуток вугілля (енергетичного та того, що коксується) на території Павлоградсько-Петропавлівського вугленосного району Західного Донбасу. ПАТ «А» розробило програму перспективного розвитку до 2020 року, в якій передбачає зростання видобутку вугілля до 2015 року - 15 млн. т, а до 2020 року - 17,0 млн. т в рік.

Сутність екологічних проблем у зв'язку з необхідністю збільшення видобутку вугілля в таких обсягах для центральної групи шахт Павлоградського басейну, куди входить шахти, що розглядаються у даній роботі полягає в тому, що ці запаси вугілля розташовані в основному в заплавах річок Тернівка, Самара і Гнездка.

Згідно з рішенням Дніпропетровської обласної Ради від 19.03.2002 р. території заправ річок Тернівки і Самара є державним ландшафтним заказником. Видобуток вугілля під заплавою р. Самара яка затоплюється групою шахт призведе до осідання земної поверхні та часткового затоплення ділянок лісу, лучних земель та чагарників на території площею 1387,2 га, негативного впливу на підземні води, ґрунтовий покрив, рослинність та іхтіофауну. Аналогічний вплив на довкілля буде здійснено при збільшенні видобутку вугілля в заплавах річок Тернівка та Гнездка.

Таким чином проблема очистки шахтних вод в придніпровському регіоні стає все актуальнішою проблемою екологічної безпеки. Це обумовлено рядом екологічних та економічних причин, насамперед великими нормативами плати та штрафами за забруднення водних об'єктів. У зв'язку з цим все гостріше постає необхідність вирішення проблеми очищення стічних вод підприємств гірничо-видобувного комплексу, насамперед, шахтних.

Метою цього магістерського дослідження є вдосконалення існуючої системи захисту водних ресурсів Павлоградського басейну від негативної дії неочищених шахтних вод. Для реалізації поставленої мети в роботі виконані такі завдання:

- оцінено якість шахтних вод, що скидаються в водні басейні Придніпровського регіону;
- узагальнений досвід застосування сучасних методів і комплексних технологічних схем очищення шахтних вод;
- визначена методологія та етапність вибору оптимальної технології очистки шахтних вод;
- розроблені пропозиції щодо застосування комплексних схем очищення шахтних вод ПАТ «А» з метою одержання води для технологічних та побутових потреб підприємств;
- дослідженні можливості використання вапна та металевого алюмінію для очищення шахтної води від сульфатів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в дослідженні сучасних методів захисту водних ресурсів від забруднення сульфатами високомінералізованих шахтних вод.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці комплексних схем очистки шахтних вод в залежності від напрямку їх подальшого застосування або скиду у водні об'єкти України.

Результати експериментальних та теоретичних досліджень можуть бути використані широким колом спеціалістів у галузі водопостачання та водовідведення, екологічної безпеки, раціонального природокористування.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВИСОКОМІНЕРАЛІЗОВАНИХ ШАХТНИХ ВОД НА СТАН ТА ЯКІСТЬ ВОДНИХ РЕСУРСІВ

1.1 Еколого-технологічна класифікація мінералізованих шахтних вод

Вугільна промисловість об'єднує гірничодобувні і переробні підприємства - шахти і резерви, збагачувальні й брикетні фабрики, а також машинобудівні і ремонтні заводи, підприємства будіндустрії і промислового транспорту. Кожне підприємство в результаті своєї діяльності утворює різну кількість стічних вод, склад і властивості яких залежать в основному від продукції і прийнятих технологічних процесів [3]. Відкриття та експлуатація вугільних родовищ пов'язано з неодмінним відкачуванням води, що потрапляє в гірничі виробки. Всі стічні води вугільної промисловості поділяються на [3,4]:

- ті, що забирають попутно: шахтні, кар'єрні, дренажні.
- виробничо-технологічні: технологічні, охолоджуючі, промивочно-знепилуючі.
- поверхневі: дощові, талі, поливально-мийні.
- господарсько-побутові: банно-пральні, фекальні, мийні.

За визначенням [3], шахтні води вугільних родовищ - це поверхневі й підземні води, які потрапили у гірські виробки при розкритті та експлуатації родовищ і які набули певних змін в результаті контакту з вугіллям та вуглевмісними породами. Вони характеризуються підвищеною мінералізацією, загальною жорсткістю, вмістом завислих речовин, сульфатів, хлоридів, фосфатів, фторидів, заліза, марганцю, міді, санітарно-індикаторних бактерій, тригалометанів, галогенфенолів, галогенізованих альдегідів, нафтопродуктів, важких металів та інших речовин [4, 5, 6]. Така вода не може бути скинута у водойми без очищення і використана для технічного водопостачання, як правило, без відповідної обробки.

Кар'єрні води утворюються за рахунок поверхневих, а також підземних вод. Вода, що потрапила в гірничі виробки, подібно шахтній, забруднюється і

повинна бути очищена перед скиданням у водойми або при технічному водокористуванні.

Дренажні води формуються з поверхневих та підземних вод, що відкачуються на поверхню через дренажні гірничі виробки або споруди з метою осушення шахтних або кар'єрних полів. Дренажні води не мають контакту з забруднюючими їх об'єктами гірського виробництва і тому можуть бути використані в господарсько-побутовому та технічному водопостачанні, як з очищенням, так і без нього [7].

Технологічні води є робочим середовищем в технологічних процесах. До таких технологічних процесів можна віднести: мокре збагачення вугілля та сланців, гідровидобуток, гідротранспорт, гідрозоловидалення та інш. Ці води сильно забруднені і потребують очищення [5]. Охолоджувальні води утворюються при охолодженні машин і апаратів (компресорів, кондиціонерів, дегазаційних установок), а також деталей машин при термообробці тощо. Ці води в основному мають так звані «температурні» забруднення, їх інакше називають «умовно чисті» [6, 7]. Вони потребують охолодження і можуть повторно використовуватися в процесах.

Промивально-знепилюючі води утворюються в результаті продування котлоагрегатів, промивання деталей і вузлів машин на ремонтних заводах і майстернях, а також при боротьбі з пилом на підприємствах. Ці води дуже сильно забруднені і потребують очищення. Всі виробничо - технологічні стічні води при їх використанні і скиданні у водоймища в основному потребують очищення. Велика різноманітність хімічного складу шахтних вод викликає необхідність їх класифікації за хімічним складом, так як це полегшує оцінку її питних, технічних та іригаційних якостей, а також властивостей, які мають негативний вплив на поверхневі і підземні водні джерела. Сумарний вміст розчинених солей у шахтних водах коливається в значних межах 500...100 000 мг/л і навіть вище.

Існує ряд класифікації підземних вод за ступенем мінералізації, найбільш прийнятною є класифікація шахтних вод, яка наведена в таблиці 1.1 [3].

Таблиця 1.1 – Характеристика підземних вод за рівнем мінералізації [3]

Ч.ч.	Класифікаційний тип вод	Показник мінералізації, г/л
1	Прісні	< 1
2	Слабосолонуваті	1...3
3	Солонуваті	3...5
4	Сильносолонуваті	5...10
5	Солоні	10...25
6	Сильносолоні	25...50
7	Розсоли	> 50

Шахтні води за показниками, що визначають їх склад поділяються на три види [3,8,9]:

- нейтральні прісні (рН 6,5...8,5, мінералізація до 1 г/л);
- солонуваті і солоні з підвищеною мінералізацією (рН 6,5...8,8, мінералізація понад 1 г/л)
- кислі (рН менше 6,5). Кислі шахтні води мають, як правило, підвищену мінералізацію.

Із загального обсягу шахтних вод 52 % мають мінералізацію понад 1 г/л, 10 % вод є кислими; в тому числі з мінералізацією понад 3 г/л - 2,6 % і з мінералізацією понад 5 г / л - 6,0 % [8, 9].

Ступінь кислотності шахтних вод обумовлюється присутністю вільної сірчаної кислоти і характеризується концентрацією водневих іонів (рН). Такі води найбільш характерні для шахт східного Донбасу. Наявність кислих шахтних вод показує, що не можна узагальнювати підземні та шахтні води. Кислих підземних вод в районі вугільних родовищ не існує, в той час як кислі шахтні води мають місце і утворюються у виробках (переважно у старих) внаслідок окиснення сульфідів (у вигляді піриту) під дією води і кисню повітря.

Існує також ряд хімічних класифікацій природних вод, у тому числі і підземних за вмістом переважного аніону. Згідно з найбільш поширеною

класифікацією [8], води поділяються на три класи: I клас - гідрокарбонатні і карбонатні; II клас - сульфатні, III клас - хлоридні. Кожний клас в свою чергу поділяється за переважним катіоном на три групи: кальцієву, магнієву, натрієву.

Обсяги утворення шахтних вод залежать від багатьох чинників і становлять від 100 до 1000 м³/год і більше. Кількість води, що надходить у гірничі виробки, тобто обводненість шахт (див. табл. 1.2) з точки зору водоохоронних заходів має певне значення при виборі тієї або іншої технології очищення шахтних вод. Так, якщо приплив води менш ніж 50 м³/год він може бути використаний при відповідній водопідготовці для технічних потреб шахти без скидання в гідравлічну мережу. Максимальний приплив шахтних вод, особливо в неглибоких розробках (до 300 м.), спостерігається в період весняної повені.

Таблиця 1.2 – Водність шахт основних вугільних басейнів України [3,8,9]

Басейни	Приплив вод, м ³ /годину ¹⁾				
	< 50	50...100	100...300	300...1000	> 1000
1 Донецький	3,4/0,5	9/2,6	58,9/43,1	27,9/50,8	0,8/3
2 Львівсько-Волинський	35/15,1	55/53,7	5/6,8	5/24,4	-
3 Західно-Донбаський	-	-	-	100/100	-
¹⁾ Примітка : чисельник – кількість шахт, %, знаменник – загальний приплив води, %.					

За обводненням шахти, а вірніше шахтні поля, поділять на чотири основні групи [2]:

- слабо обводнені і практично не обводнені з припливом до 100 м³/годину;
- помірно обводнені, приплив яких змінюється від 100 до 300 м³/годину;
- обводнені, 300...1000 м³/годину;
- дуже обводнені, більше 1000 м³/годину;

1.2 Огляд специфічного складу високо мінералізованих шахтних вод

Склад і властивості шахтних вод залежать від безлічі факторів. До головних можна віднести: склад і властивості підземних вод, що живлять гірничі виробки, склад і властивості гірських порід, властивості вугільних пластів, гірничогеологічні і гірничотехнічні умови, засоби механізації видобутку вугілля, підготовчих виробок; до допоміжних - клімат, рельєф місцевості, рослинність та ін.

Шахтні води відрізняються великою різноманітністю хімічного складу, непридатні для пиття і мають властивості, що виключають їх використання в технічних цілях без попередньої обробки. Шахтна вода зазвичай не має запаху, однак іноді неприємний затхлий запах надає їй розчинений сірководень або органічні речовини, що розкладаються. Температура води в залежності від географічного розташування шахт і глибини розробки коливається в межах 6...25°C. Колір воді додають розчинені і зважені речовини. Присмак шахтній воді надають в основному розчинені мінеральні сполуки, гази та інші речовини. Солонуватий присмак пояснюється присутністю хлористого натрію. При наявності у воді сульфатів магнію і кальцію вона набуває гіркий присмак, іони заліза надають воді неприємний смак, а органічні речовини солодкуватий. На верхніх горизонтах багатьох шахт переважають гідрокарбонатні шахтні води. Ці води мають приємний смак, що є результатом присутності в них гідрокарбонатів, кальцію і магнію, а також вуглекислоти. Забруднення шахтних вод поділяються на мінеральні, органічні і бактеріальні.

Органічні забруднення представлені частками чистого вугілля, мінеральних мастил, що застосовуються для змащування машин і механізмів, продуктами життєдіяльності живих організмів, розкладання деревини та іншими, основною складовою частиною яких є вуглець (органічний). Ці забруднення знаходяться в шахтних водах у розчиненому і зваженому стані. Більше половини шахтних вод забруднені нафтопродуктами. Ступінь забруднення шахтних вод органічними речовинами оцінюється за показниками БСК, ХСК і окислюваністю. Окислюваність є забрудненість шахтної води

органічними речовинами і визначається як кількість кисню в міліграмах, що витрачається на окиснення цих речовин в 1л. води в певних умовах. Величина окислюваності шахтних вод Донецького басейну знаходиться в межах 6,5...40,0 мг O_2 /л. Іншим показником органічного забруднення шахтних вод є БСК - біохімічна потреба в кисні, яка визначається кількістю кисню, потрібного для окиснення органічних речовин біологічним шляхом за певний проміжок часу. Зазвичай визначають БСК₅, БСК₂₀, БСК_{повн}. Показники БСК дуже різноманітні для вод навіть в межах одного басейну. Так, БСК₅ шахтних вод Донецького басейну знаходяться в межах 0,36...85,9 мг O_2 /л, за іншими даними 0,2...110 мг O_2 /л.

Третім показником забруднення шахтних вод є ХСК - хімічна потреба в кисні, яка визначається кількістю кисню необхідного для окислення всіх забруднюючих речовин у воді за допомогою різних хімічних речовин - окислювачів. Показники ХСК досить різноманітні для вод навіть в межах одного басейну від 5 до 250 мгО/л

Вміст нафтопродуктів в шахтних водах змінюється від 0 до 50 мг/л і більше. Середній вміст нафтопродуктів в шахтних водах складає зазвичай 0,5...2 мг/л і залежить від ступеня механізації шахт.

Зважені нерозчинні забруднення шахтних вод- грубо дисперсні зависі з розміром часток 100мкм, суспензії та колоїдні частки з розміром відповідно 100-0,1 та 0,1-0,001 мм. Середній вміст зважених речовин (див. табл. 1.3) в шахтних водах складає 30...250 мг/л, для шахт Західного Донбасу 50...600 мг/л.

Таблиця 1.3 - Дисперсний склад зважених речовин у шахтних водах [2]

Ч.ч.	Розмір частинок, мкм.	Вміст часток,% (за масою)
1	> 50	7...18
2	10...50	22...77
3	5...10	15...35
4	< 5	17...53

Частинки розміром більше 50 мкм. можуть бути в основному видалені в відстійниках без додавання реагентів; частинки в діапазоні 10...50 мкм в відстійниках, але з відповідним додаванням реагентів; частинки розміром 5...10 мкм - в фільтрах без додавання реагентів; частинки менше 5 мкм - у фільтрах з додаванням реагентів.

Вміст мікроелементів в шахтних водах обумовлено їх кількістю в підземних водах вугленосних відкладень і процесами, пов'язаними з міграцією елементів з гірських порід в шахтні води. Так, на шахтах Східного Донбасу виявлено близько 30 хімічних елементів, що в основному відповідає кількості мікроелементів підземних вод вугленосних відкладень. Ряд мікроелементів, таких як Fe, Al, Mn, Cu, Co, Sr в шахтних водах міститься в значних кількостях в порівнянні з вмістом їх в підземних водах. З таблиці 1.4 видно, що вміст окремих мікроелементів в шахтних водах перевищує гранично-допустимі концентрації (ГДК), що викликає необхідність проводити оцінку можливості відведення стоків у водойми з урахуванням їх здатності до розведення або попереднього очищення перед скиданням у водойми. Так, вміст в шахтних водах Донбасу стронцію, нікелю, міді, титану, цинку, барію і заліза вище допустимих концентрацій. Наявність у воді пов'язаної сірчаної кислотою прискорює процеси вилуговування з гірських порід солей міді, цинку, алюмінію.

Важкі метали впливають на здоров'я людей, на навколишнє середовище і самоочищення водойм і тому повинні враховуватися при очищенні і скиданні шахтних вод у водойми. Мінеральні забруднення в шахтних водах (табл. 1.5) знаходяться в розчиненому і зваженому стані. Сума мінеральних речовин змінюється досить значно навіть в межах однієї шахти, проте кожен вугільний басейн можна охарактеризувати певним інтервалом зміни мінералізації шахтних вод.

Таблиця 1.4 – Вміст мікроелементів в шахтних водах [2, 3, 8, 9]

Ч.ч.	Елементи	Вміст мікроелементів в шахтних водах, мг/л					
	Виробниче об'єднання	Донецьквугілля		Артемвугілля		Павлоград вугілля	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max
1	Мідь	0,012	0,073	0,007	0,039	0	0,0023
2	Кобальт	0	0,019	0	0,020	0	0,02
3	Нікель	0	0,024	0,003	0,025	0	0,005
4	Цинк	Немає		Немає		0	0,005
5	Молібден	0,01	0,004	0	0,004	0	0
6	Хром	0	0,004	0	0,009	0	0,001
7	Ванадій	0	0,022	0	0,007	0	0
8	Титан	0,029	1,137	0,007	0,065	0	0
9	Марганець	0,048	0,374	0,025	0,474	0,15	0,32
10	Барій	0	4,400	0,025	0,660	0	0
11	Цирконій	0	0,187	0	0,834	0	0
12	Алюміній	0,350	2,130	0,131	2,788	0	0,02
13	Срібло	0	0,011	0	0,003	0	0
14	Літій	0	0,140	0	0,090	0	0
15	Стронцій	0	12,10	0	4,70	0	0
16	Кремній	18,4	35,0	15,0	39,8	-	-
17	Залізо	0,39	1,87	0,19	1,93	0,47	0,89

У Донбасі зустрічаються шахтні води від слабосолонуватих (1...3 г/л) до солоних (10...25 г/л), а окремі шахти Західного Донбасу характеризуються сильносолоними (25...50 і більше, г/л) шахтними водами (див. табл. 1.5). Ступінь мінералізації шахтних вод зі збільшенням глибини розробки зростає. Це спостерігається практично на всіх шахтах з високомінералізованими водами. Вельми виразна залежність підвищення мінералізації шахтних вод зі

збільшенням глибини розробки видно на терновській групі шахт, ПАТ «А», де з переходом гірничих робіт на кожен нижче лежачий горизонт солеміст збільшується на 3...5 г/л.

Таблиця 1.5 - Мінералізація шахтних вод різних вугільних басейнів України.

Басейн	Мінералізація, мг/л
1 Донецький	300...35000
2 Західний Донбас	15000...50000 і більше
3 Львівсько-Волинський	700...6500

У кислих шахтних водах (див. табл. 1.6) поряд зі збільшенням кількості сульфат-іонів, спостерігається помітне зменшення кількості гідрокарбонатів. В цілому в шахтних водах, як і в підземних, зі збільшенням глибини відбувається зменшення вмісту іонів кальцію, магнію, сульфат іонів і збільшення вмісту іонів натрію і хлору.

Таблиця 1.6 - Якісний склад шахтних вод України [3, 10]

Басейн	рН	Вміст, г/л				
		зважені речовини	хлориди	сульфати	залізо	сухий залишок
1 Донецький	6,8	0,2...13	0,024...4	0,13...8	0,33	0,030...7
2 Львівсько-Волинський	-	0,024...1,4	0,024...6	0,01...0,5	-	0,5...8
3 Західний Донбас	7,3...8,0	0,05...0,6	8...22,5	0,33...0,56	0,5...0,97	6...43,8

Жорсткість шахтних вод. Розрізняють жорсткість загальну, карбонатну (тимчасову) і некарбонатну (постійна). Загальна жорсткість характеризується присутністю в воді сполук кальцію і магнію - $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, CaSO_4 , MgSO_4 , MgCl_2 ,

$Mg(HCO_3)_2$. Величина жорсткості шахтних вод Донбасу змінюється в межах 1,5...30,0 мг-екв/л і більше. Наявність солей жорсткості і велика мінералізація шахтних вод сприяє забрудненню водоймищ солями, погіршує питні якості, а іноді робить їх непридатними для господарсько-питних і промислових цілей. Використання таких вод в сільському господарстві призводить до засолення ґрунтів і робить їх непридатними для вирощування культур. Солі жорсткості відкладаються на стінках трубопроводів, порушують теплообмінні процеси і можуть призвести до вибуху котлів.

Наявність забруднення азотної групи (азот амонійний, нітратні і нітритні іони) в шахтних водах свідчить, що це сталося в результаті розпаду продуктів рослинного і тваринного походження. Вміст нітритів і нітратів в шахтних водах складає відповідно 0,01...2,1 і 1...15 мг/л, вміст іона амонію - в межах 0,0...0,8 мг/л, а інколи до 10 мг/л. Наявність цих іонів може вказувати на фекальне забруднення шахтних вод.

За ступенем бактеріального забруднення О.А. Алекін [8] групує природні води на п'ять видів: сильнозабруднені - з колі-індексом вище 10000 та колі-титром 0,1 мл; забруднені - відповідно 1000 і 1 мл; слабозабруднені - 100 та 10 мл; задовільні - 10 і 100 мл та добрі - відповідно менше 3 і 333 мл. Звичайно колі-титр шахтних вод знаходиться в межах 0,01...0,001 мл. Проте вони являють меншу небезпеку в епідемічному відношенні, ніж побутові стічні води [17]. Колі-титр шахтних вод Донецького басейну знаходиться в межах 0,4/10...5/100 см³. Шахтні води непридатні для пиття без попередньої очистки і дезінфекції.

Агресивність шахтних вод по відношенню до бетону і металу обумовлено їх хімічним складом. Шахтним водам в основному властиві сульфатна і загальнокислотна агресивність. При вмісті сульфатів 300...800 мг/л вода вважається слабоагресивною. Великою сульфатною агресивністю характеризуються шахтні води Донецького басейну. Хлориди, присутні в шахтній воді, взаємодіють з вапном і утворюють розчинний хлористий кальцій, що підсилює тим самим корозію бетону. Підземні води можуть містити значну

кількість вільної вуглекислоти, частина цієї вуглекислоти перебуває в рівновазі з бікарбонатами і є не агресивною, а інша частина є активною і вступає в реакції, і тому агресивна. Агресивністю, що вилужує, характеризується вода з малою тимчасовою жорсткістю. Це призводить до розчинення карбонату кальцію і вимивання з бетону гідрату окису кальцію. Слід мати на увазі, що при змішуванні різних вод, навіть неагресивних, їх агресивність збільшується

1.3 Вплив шахтних вод на стан природних водних об'єкти

Статистичні дані [10,11] свідчать, що в гідрографічну мережу Донбасу скидається біля 1 млрд. м³/рік шахтних вод, а з ними у поверхневі вододжерела щорічно надходить за різними даними від 1 до 5 млн. т солей. Проблема загострюється також у зв'язку з масовим закриттям не перспективних шахт та обмеженістю коштів для вирішення пов'язаних з цим питань. У 2002 році в Донецькій області нараховувалось 130 шахт з діючим водозливом, в тому числі 36 закритих шахт [12]. Скидання забруднених шахтних вод призводить до порушення природних процесів у гідрологічній сітці, засолювання та заілювання річок і водойм та інших негативних наслідків [7]. Ускладнення ситуації в гірничовидобувних регіонах відмічається також з екологічним станом підземних вод, які зазнають техногенного впливу внаслідок їх виснаження та забруднення під впливом розробки корисних копалин з інтенсивним водозливом. В середньому на тону здобутого вугілля вугледобувними підприємствами Донецької та Луганської областей скидається 8...10 м³ шахтних вод в малі річки регіону, а далі - у Сіверський Донець, Кальміус і Міус та Азовське море. Загальний об'єм шахтних і кар'єрних вод, які поступають до Азовського моря, оцінюється у 650...700 млн. м³/рік [7]. Середня кількість води, яка надходить до шахти складає біля 100 м³/год. На величину припливів впливають такі фактори, як кількість пластів, що розробляються, ширина фронту робіт чи площа виробки, приплив поверхневих водотоків і водойм, глибина шахти, гірничо-геологічні умови [14]. Внаслідок

інфільтрації шахтних вод зі ставків-накопичувачів у водоносні горизонти відмічається підтоплення прилеглих територій з підйомом рівня підземних вод на 4...5 м і забруднення останніх на площі 50...70 км² до глибини 15...25 м [13, 15]. За даними держстатзвітності [16], об'єм шахтної води, яка відкачується на поверхню, складає близько 430 млн. м³/рік (10 м³ водовідливу на 1 т видобутого вугілля). Із цієї кількості на власні потреби шахт (пилозаглушення, охолодження компресорних установок, каналізація та прибирання приміщень АПК, банно-пральні потреби) використовується 23млн. м³/рік. Пирблизно 336 млн. м³/рік шахтних вод скидається у водні об'єкти: басейни річок Кальміус (173 млн. м³/рік), Міус (114 млн. м³/рік), Сіверський Донець (49 млн. м³/рік) [16]. Об'єм шахтних вод, що надходить до річок області, дорівнює об'єму їх природного стоку (від 300 до 900 млн. м³). Таким чином, якість шахтних вод, що скидаються, значною мірою обумовлює погіршення якості води в річках і водоймищах внаслідок вмісту мінеральних, органічних речовин та бактеріального забруднення. До мінеральних відносяться частки піску і глини, мінеральні включення вугілля (кварц, пірит, карбонати та ін.), інертний пил, а також розчинені солі, луги та кислоти. Середній вміст солей у шахтних водах Донецького басейну складає 2,5...3 г/м³. З мікроелементів поширені титан, арсен, нікель, берилій, цинк, кадмій, залізо, мідь, стронцій, ванадій, хром, кобальт, галій, свинець, молібден, срібло, олово, сурма, барій, телур, марганець, вісмут й ін. Найчастіше вище допустимих концентрацій шахтні води Донбасу містять стронцій, нікель, мідь, титан, цинк, барій і залізо [17,18].

Органічні забруднення являють собою частки чистого вугілля, мінеральні мастила, які застосовуються для змащування гірничих машин та механізмів, продукти життєдіяльності живих організмів, розкладання деревини та ін. речовини, складовою частиною яких є органічний вуглець. З шахтними водами скидається значна кількість завислих речовин (близько 12 тис. т), нафтопродуктів, фенолів та ін. [13]. Біохімічне споживання кисню шахтних вод Донецького басейну знаходиться в межах 0,36...85,9 мг/дм³.

Бактеріальне забруднення шахтних вод обумовлено наявністю в них великої кількості мікроорганізмів, переважно пліснявих грибів, мікробів кишкової групи та ін., що є наслідком попадання до води продуктів гниття деревини і живих організмів [17]. У роботі А.Т. Пилипенка та ін. [19] зазначено, що підземні води на глибині гірських виробок утворюються за рахунок атмосферних опадів і поверхневих вод. Гірські породи насичуються водою та утворюють напірні й безнапірні водоносні горизонти. Зміна надходжень води в шахти за районами і в цілому по Луганській області знаходиться в прямій залежності з кількістю опадів. В шахтах Північного регіону середня величина припливів води досить швидко зростає зі збільшенням глибини шахт до 400...500 м, досягаючи максимальної величини 160 м³/год. З подальшим збільшенням глибини шахт надходження води знижуються. Інтенсивність припливів у шахтах Південного регіону відбувається повільніше. Дослідження Євграфіної Г.П. і Харитонова Н.Н. [20] показали, що на величину забруднення водоносних горизонтів впливають фільтраційні властивості ґрунтів, площа водовмісної частини водойм, мінералізація і кількість стічної води, градієнт фільтраційного потоку в напрямку області розвантаження. За даними М.О. Бичіна [14], хімічний склад та ступінь забруднення шахтних вод залежить від взаємодії з родовищною атмосферою, гірськими породами, вугільним шламом та пилом, кріпленням і шахтним обладнанням. Протікаючи по виробкам, у шахтних водах збільшується кількість завислих речовин, значно підвищується вміст катіонів і аніонів, зростає жорсткість і мінералізація, зменшується лужність. Інтенсивність цих процесів залежить від складу води, яка надходить до шахти, швидкості її протікання, площі змоченої поверхні, температури, складу вод, що змиваються, зокрема, вмісту в них сульфідів. В результаті контакту підземних вод з гірськими породами відбувається іонний обмін [21]. Крім того, метаморфізація іонно-сольового складу шахтних вод відбувається під дією кисню повітря та розчинних солей вугілля. При наявності в породах піриту і під дією кисню повітря й тіонових бактерій за певних умов формуються кислі шахтні води. Ці води мають підвищений вміст заліза

(90...713 мг/л), що надає їм бурого забарвлення. Також в підземних водах іноді спостерігається наднормативна концентрація ртуті в межах 0,006...0,007 мг/дм³, тоді як гідрогеохімічний фон для умов Донбасу складає 0,001 мг/л [21]. Ступінь забруднення шахтних вод завислими речовинами залежить від гірничогеологічних умов, способів розробки вугільних шарів, якості вугілля та порід, довжини підземних виробок, режиму експлуатації підземних водозбірників та сильно коливається протягом доби [3,14]. Залежно від положення родовища, а також глибини залягання корисної копалини склад води змінюється на різній глибині гірської виробки. У верхній зоні (до 300 м), яка характеризується активним водообміном, звичайно поширюються прісні гідрокарбонатні води, що утворюються в процесі інфільтрації ґрунтових вод. Мінеральний склад цієї зони визначається кліматичними умовами, складом гірських порід та рельєфом місцевості.

Зі збільшенням глибини гідрокарбонатні води переходять в гідрокарбонатносульфатні та сульфатно-гідрокарбонатні. Це пояснюється тим, що на формування хімічного складу неглибоких шахт впливають виключно окислювальні процеси, які сприяють накопиченню сульфатних іонів. В посушливий період мінералізація ґрунтових вод підвищується [13,19]. У середній зоні (500...600 м і більше) з незначним водообміном більшість вод сульфатно-натрієво-кальцієвого або гідрокарбонатно-натрієвого типу, які переходять у хлоридно-гідрокарбонатно-натрієві. Вода цієї зони утворюється при змішуванні інфільтраційних вод з хлоридно-натрієвими водами глибоких водоносних горизонтів [4,19]. Нижня зона із застійним водним режимом характеризується високою мінералізацією та простягається на велику глибину (1000 м і більше). Це переважно давні води морського походження, склад яких протягом тривалого часу суттєво змінився. Хімічний склад шахтних вод змінюється також за сезонами і протягом їх експлуатації. Так, навесні спостерігається підвищення кислотності одночасно зі зростанням загального прибуття води в шахту. Це пояснюється змиванням весняними припливами води великої кількості окисненого матеріалу, що накопичився у старому

виробленому просторі. На деяких шахтах відмічається значне підвищення мінералізації проб води, відібраної восени, що пов'язано із розчиненням шахтних вод навесні маломінералізованими поверхневими водами. Така ж тенденція спостерігається і щодо сульфатних іонів, кількість яких трохи збільшується восени [4]. За даними І.М. Соболевої [22], на більшості шахт восени спостерігається зниження жорсткості води (в основному іонів кальцію) та переважання іонів натрію. Зі збільшенням глибини шахт відбувається зростання мінералізації води. Найбільш сильна її зміна спостерігається в інтервалі від 100 до 350 м, а також від 500 до 800 м. Тоді як при глибині шахт 350...500 м мінералізація води відносно постійна. В шахтах Північного району зі збільшенням глибини шахт знижується частка гідрокарбонатів і сульфатів та збільшується доля хлоридів.

В шахтах Південного району - зменшується частка гідрокарбонатів і збільшується вміст сульфатів, а кількість хлоридів майже не змінюється. Л.Н. Назарова [4], спостерігаючи за зміною хімічного складу шахтних вод протягом часу експлуатації шахт показала, що зі збільшенням останнього мінералізація шахтних вод зростає. Це пояснюється як окисними процесами, так і розкриттям новими гірськими родовищами більш глибоких водоносних горизонтів. Величина рН шахтних вод протягом часу спостережень відносно постійна, і тільки на молодих шахтах помітно різке її зниження у напрямку від забою виробки до головної гілки шахти. Одночасно зі зменшенням рН відбувається зростання вмісту іонів сульфатів, кальцію, магнію, натрію та калію, а також спостерігається поява Fe^{2+} та Fe^{3+} , що пов'язано з розвитком окислювальних процесів у гірських родовищах. Так, тіонові бактерії прискорюють процес окислення заліза (Fe^{+2}) порівняно зі стерильними умовами приблизно в 10-20 разів, а піриту (FeS^2) - більш ніж у 10 разів. Тому застосування антисептичних речовин дозволить значно уповільнити процес окислення піриту в шахті, що сприятиме тривалішій та ефективнішій роботі водозливного обладнання, а також зменшити забруднення шахтними водами гідрографічної сітки Донбасу.

Значне негативне техногенне навантаження отримують поверхневі водотоки регіонів зі значним розвитком гірничодобувної галузі, так як вони використовуються як приймачі недостатньо очищених шахтних вод. В умовах, що склалися, більшість очисних споруд невеликих міст і селищ, розташованих в басейнах річок (особливо малих річок України), знаходяться в незадовільному стані і, фактично, стічні води без необхідної очистки скидаються в річкову мережу.

Системи очищення шахтних вод, як правило, складаються з локальних споруд, але величезні їх обсяги не дозволяють досягти необхідного ступеня очищення. Тому після попередньої очистки на локальних очисних спорудах шахтні води відводяться в великі ставки-відстійники, які розташовуються в у заплавах річок, в яро-балочній системі. Технічна експлуатація цих споруд пов'язана з необхідністю постійного коригування режиму скидання вод з гідрологічним режимом річкової системи. Тому шахтні води, як правило, накопичуються в відстійниках протягом року, а потім, в період весняного паводку, скидаються в гідрографічну мережу. У процесі інтенсивного скидання величезних обсягів води відбувається різке осушення чаші ставків-відстійників, при цьому значний обсяг осаду вимивається і виноситься в річки.

Все це призводить до виникнення негативних явищ: порушення гідрологічного, бактеріологічного режимів, підтоплення територій. Така ж сама ситуація спостерігається в Західному Донбасі в районі м Павлоград, де шахтні води від трьох шахт накопичуються в ставку-відстійнику, розташованому в балці Космінна і скидаються в період паводка в гідрографічну мережу р. Самара (ліва притока р. Дніпро).

Основними факторами, що визначають зміну гідрогеологічних умов для шахт західного Донбасу є шахтні водовідливи та скид шахтних вод в пруди - накопичувачі. Шахтний водовідлив досягає в цих районах 114,83 тис.м³/рік, утворює умови для розвитку депресій підземних вод в водоносних горизонтах. Зараз в Центральній частині вугільного родовища експлуатується 6 шахт (Тернівська, Павлоградська, Благодатна, ім. Героїв Космосу, Західно-

Донбаська, Самарська) сумарний водовідлив яких складає 32...82 тис. м³/рік. У східній частині родовища працює 4 шахти (Ювілейна, Степова, Дніпровська, ім.Сташкова) їх водовідлив складає 82,01 тис. м³/рік.

Скид шахтних вод в пруди-накопичувачі, які збудовані в балках Микуліна, Свідовок, Таранова, Косьмінна призводить до інфільтрації вод, що акумулюються у водоносні горизонти. Всього у 2016 р. в пруди-накопичувачі було скинуто 24,4 млн.м³ шахтних вод при сумарному об'ємі прудів 9 млн.м³. Все це призвело до зниження рівня води з 13,2 до 151 м в підземних горизонтах, в заплаві р. Самара рівень води під дією водовідливу шахт знижено в алювіальному горизонті на 3,6м, в харківському – 2м. В цьому районі також спостерігається суттєве гідрохімічне забруднення підземних вод (мінералізація 17,2 г/л, зважені речовини 55 г/л). незважаючи на те що прямого скиду шахтних вод в р. Самара не відбувається якість води в ній погіршуються з року в рік, показники якості води перевищують санітарні норми за вмістом у воді кальцію, магнію, сульфатів, хрому, фенолів у декілька разів. В донних відкладеннях річки Самара після впадання водотоку б. Свідовок спостерігається перевищення фонових концентрацій цинку в 3 рази, нікелю - 2,4, ртуті та фтору -3,8, мангану та арсену в 1,4 рази. Забруднюючі речовини, що потрапили в поверхневі води включаються в природний кругообіг, вони накопичуються в донних відкладаннях, ґрунтах, потім переходять у рослинність, організми тварин – далі у організм людини.

2 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ЗАХИСТУ ГІДРОЕКОСИСТЕМ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ ШАХТНИМИ ВОДАМИ

Велика кількість різноманітних забруднюючих речовин в промислових стічних водах (ПСВ), зокрема підприємств вугільної промисловості, обумовлює і численні методи, прийоми і технологічні схеми, що можуть застосовуватися при їх очищенні. Існуючі методи очищення ПСВ можна розділити на чотири групи:

- а) механічні, серед яких усереднення, проціджування, відстоювання (прояснення), фільтрування;
- б) хімічні, серед яких нейтралізація і окиснення;
- в) фізико-хімічні, серед яких коагуляція, флокуляція, флотація, сорбція, електрохімічні методи (електрокоагуляція, електроліз, електродіаліз), екстракція, іонний обмін, мембранні методи.
- г) термічні методи (виварювання і випаровування, спалювання, сушіння осаду і ін.);
- д) біологічні, серед яких аеробне окислення і анаеробне зброджування.

Механічні методи застосовуються для очищення ПСВ від: часток дроту, дрантя, шматків дерева, вугілля, а також піску, землі, окалини, зважених органічних та неорганічних речовин, олив і нафтопродуктів тощо. Хімічні методи застосовуються для нейтралізації кислих і лужних стоків, очищення від розчинених у воді солей важких металів (хрому, кадмію, свинцю тощо), ціанідів, фенолу, крезолу. Фізико-хімічні методи застосовують для очищення ПСВ від будь-яких видів забруднюючих речовин в розчиненому, зваженому, колоїдному тощо стані. Біологічні методи застосовуються для очищення ПСВ від розчинених у воді органічних забруднюючих речовин (фенолів, роданидів і ін.), бактерій, вірусів тощо.

У більшості випадків очищення одним методом є малоефективним, а тому в технологічній схемі очищення води комбінують різні методи - механічні в поєднанні з фізико-хімічними та хімічними тощо. Тільки таким чином можна досягти високого ефекту очищення ПСВ. Вибору певної схеми очищення ПСВ повинен передувати техніко-економічний розрахунок декількох порівняльних варіантів з урахуванням питань охорони навколишнього середовища [3]. Методи очищення шахтних вод обумовлюються їх фізико-хімічними та технічними властивостями, а також кліматичними умовами вугільних родовищ. Шахтні і кар'єрні води очищають механічними, фізико-хімічними та хімічними методами, а для очищення їх від зважених речовин основними є - відстоювання, прояснювання і фільтрування (див. рис. 2.2). Біологічні методи очищення знаходять обмежене застосування. Кількість осадів, що утворюється при очищенні шахтних вод, становить 0,05...0,3 % обсягу води, що обробляється.

2.1 Методи видалення зважених речовин з шахтних вод

Відстоювання води засновано на осадженні частинок (зважених речовин) з щільністю більше води при її русі з малою швидкістю. Осадження зважених часток відбувається з різними швидкостями і залежить від їх форми, розмірів, щільності, шорсткості поверхні і температури води. Вологість осадів в відстійниках залежить від часу перебування їх в останніх і становить від 92 % до 98,5 %. При гідравлічному способі видалення осадів співвідношення твердого (зважених речовин) до рідкого (стоків) $T: P = 1: 6 \dots 1: 12$.

2.1.1 Методи відстоювання

Відстоювання (прояснення) шахтних і кар'єрних вод зазвичай виконується в ставках-прояснювачах або відстійниках різних конструкцій. Ставки-прояснювачі (або ставки- накопичувачі) споруджують одно-, двох- та багато каскадними з часом перебування води в них до 10 діб і більше. Об'єм

першого каскаду розраховують не менше ніж на 5-річний об'єм осаду, що ущільнюють.

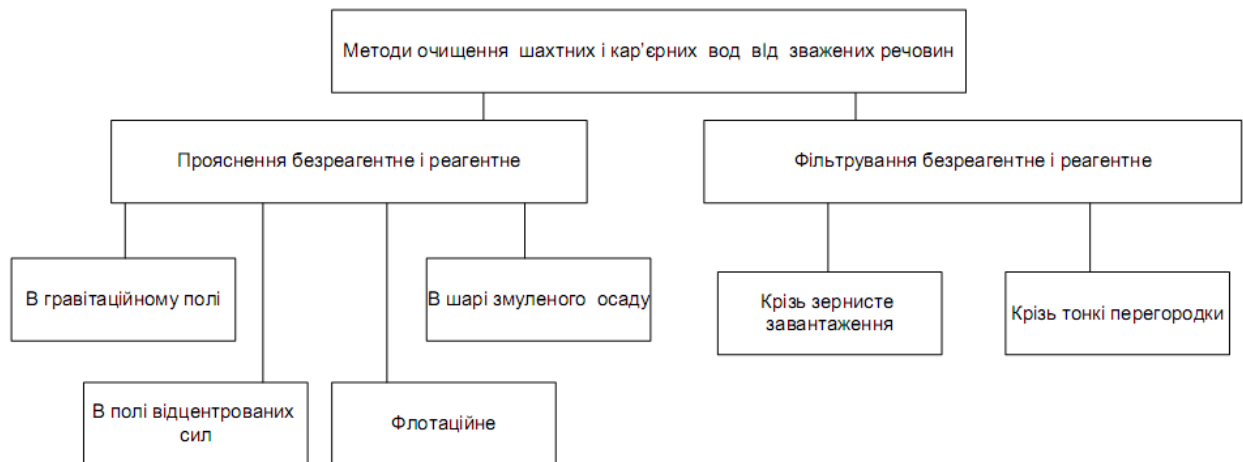


Рисунок 2.1 - Методи очищення шахтних і кар'єрних вод від зважених речовин

Ефективність прояснення в ставках досягає 50-62%, але взимку вони працюють гірше. Ставки періодично чистять. Однак вони займають великі площі землі і забруднюють навколишнє середовище (повітря, ґрунт, воду), тому споруджувати ставки-прояснювачі доцільно там, де дозволяє рельєф місцевості (яри, відпрацьовані кар'єри тощо) з підготовкою дна ставків (глиняні замки, плівка тощо), щоб не відбулося забруднення підземних вод.

Тонкошарові відстійники (див. рис. 2.2) зараз знайшли найбільше застосування для очищення шахтних вод. У цих апаратах процес відстоювання відбувається в тонкому шарі (до 100 мм) і триває до 10 хвилин. Відстійник складається з двох відділень - зони прояснення і зони накопичення осаду. Принцип дії тонкошарового відстійника конструкції ДонУГІ полягає в наступному: вихідна вода подається в поздовжні розподільні канали, звідки крізь щілини, утворені похилими спрямовуючими площинами, вона надходить у нижню частину похилих осередків. Похилі площини, що утворюють осередки, встановлені під кутом, більшим природного кута уносу осаду. Висхідний потік води між похилими площинами, має ламінарний характер,

внаслідок чого в межах осередку відбувається інтенсивне випадання зважених часток. Така конструкція в порівнянні зі звичайними горизонтальними відстійниками дозволяє підвищити навантаження на споруду в 45//50 разів. Такі відстійники експлуатуються на шахтах ВО «Донецьквугілля», та деяких шахтах ПАТ «А»[2].

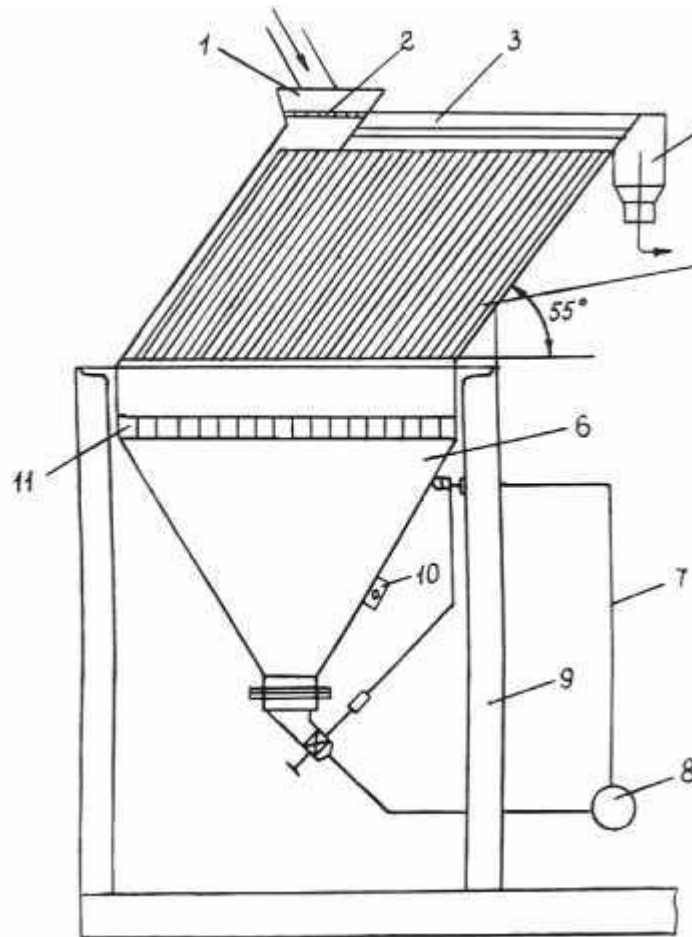


Рисунок 2.2 - Схема відстійника конструкції Дон УГІ¹

1 - приймальна воронка; 2 - решітка приймальні воронки; 3 - камера освітлення; 4 - патрубок для зливу освітленої води; 5 - пластини; 6 - бункер для згущеного залишку; 7 - система автоматичного контролю за рівнем осаду включенням і вимиканням насоса; 8 - насос; 9 - рама; 10 - вібратор накладної; 11 - решітка бункера

Радіальні відстійники мають круглу в плані форму. Вони мають ряд переваг перед горизонтальними і широко застосовуються на вуглезбагачувальних фабриках. Відстійники влаштовуються діаметром 100 м

¹ Посилання на джерело графічного матеріалу - <http://masters.donntu.org/2013/fimm/martsys/diss/index.htm>

для очищення великих мас води із значним вмістом мінеральної суспензії. Перевагами є простота і надійність в експлуатації, економічність, механізоване видалення осаду без їх відключення з роботи.

2.1.2 Використання гідроциклонів

Для очищення шахтних вод від зважених речовин застосовують також гідроциклони і центрифуги, в яких використовується відцентрова сила. За останні роки в технології очищення шахтних вод та підготовки води для промислового водопостачання широко застосовуються гідроциклони. Вони використовуються як прояснювачі, згущувачі та класифікатори. Це обумовлено рядом переваг, якими вони володіють у порівнянні з спорудами механічного очищення - відстійниками, згущувачами та прояснювачами. До основних переваг гідроциклонів слід віднести: високу питому продуктивність; високий ефект очищення – до 70%; низькі капітальні витрати на виготовлення установок; відсутність обертових механізмів для генерування центробіжних сил [23]. При цьому фактор поділу в гідроциклонах малого (150 мм і менше) діаметру може досягати декількох тисяч, а їх застосування забезпечує створення компактних технологічних установок. У таких установках крім гідроциклонів модульний блок включає камеру розподілу кінцевого продукту, камери проясненої води і шламу.

У порівнянні з відстоюванням спосіб гідроциклонування є більш енергоємним. Для зменшення енергетичних втрат можна створити необхідний тиск за рахунок гідростатичного тиску шахтної води, що утворюється внаслідок перепаду висот при розташуванні гірничих виробіток в підземних умовах (наприклад, гідроциклони встановлюються в нижній частині схилу). [23]

Найбільше застосування знайшли напірні (закриті) і безнапірні (відкриті) гідроциклони. Напірний гідроциклон (див. рис. 2.3) зазвичай складається з циліндричної і конічної частин. Вода подається під напором по дотичній. Під дією відцентрових сил великі і важкі частинки відкидаються до стінок апарату і

спрямовуються униз (осад), а легкі (тонкі) і очищена вода йдуть в зливний патрубок.

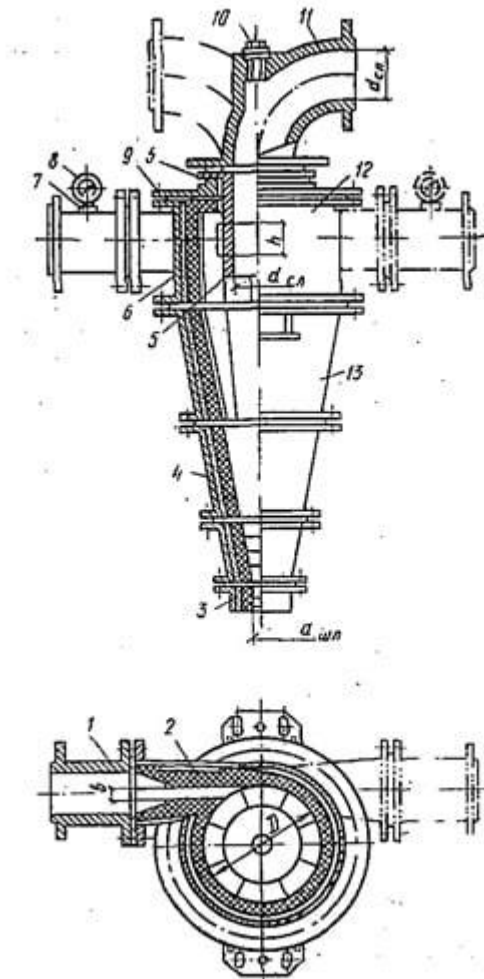


Рисунок 2.3 - Напірний гідроциклон²

1 - живильний патрубок; 2 - знімний, гумовий вкладиш; 3 - шламівий патрубок; 4 - складові елементи конічної частини; 5 - зливний патрубок; 6 - цементна стяжка; 7 - мембранний роздільник; 8 - манометр; 9 - кришка циліндричної частини; 10 - заглушка отвору для підключення імпульсної лінії системи автоматичного регулювання гідроциклону; 11 - зовнішній зливний патрубок; 12 - циліндрична частина; 13 - конічна частина

Застосування гідроциклонів в технології підготовки технічної (проясненої) води пов'язане з виділенням механічних забруднень - твердих частинок. Оскільки гідроциклони, що застосовуються для цього, працюють з невисокою (32-48% по Ханкоком-Луїкену) технологічною ефективністю, яка

² Посилання на джерело графічного матеріалу - <https://vodalos.ru/spravochniki-stroitelnya/spravochnik-proektirovshika/5/3/4/1>

обумовлена рядом причин [24], то можна рекомендувати нові конструкції гідроциклонів, розроблених в ДВНЗ "Національний гірничий університет". Їх розробка виконана на основі формування нової структури потоку двухфазного середовища з пристінним [23], пошаровим [24,25] перецищенням та перецищенням в прямоточному асиметричному потоці [26], а також моделювання гідродинамічних параметрів по вісі потоку в циліндрично-конічному гідроциклоні [27].

Одним з нетрадиційних підходів до зниження забрудненості шахтних вод завислими речовинами є перенесення гідроохороних заходів з земної поверхні в підземні гірничі виробки. У технологічній схемі очищення шахтних вод замість відстоювання запропоновано використовувати метод гідросепарації за допомогою компактних напірних гідроциклонних установок[23]. У гідроциклоні відбувається також гідравлічне розвантаження - гаситься надлишкова енергія потоку води водовідливу. Шлам із гідроциклону представляє собою вугільну пульпу з малою зольністю і може направлятися на вугільний склад. Досвід показує, що в гідроциклонах, які застосовуються у даний час можна відокремлювати частинки розміром від 0,5 до 20 мкм.

Центрифуги для очищення шахтних вод в Україні не застосовуються, але вони знайшли широке застосування для обробки осадів на вуглезбагачувальних фабриках України.

2.1.3 Флотаційне прояснення шахтних вод

Флотація, як фізико-хімічний процес, застосовується для очищення стічних вод і для збагачення вугілля. Цей метод забезпечує високу ступінь очищення стоків від нерозчинних домішок і зважених речовин (90...98 %), крім того, флотоустановки застосовують для видалення зі стічних вод масел, нафтопродуктів, гідроксидів важких металів. Видалення відбувається в результаті прилипання частинок до бульбашок газу (повітря), що утворюються в рідині або були введенні в неї. Разом з бульбашками повітря частинки спливають на поверхню, утворюючи пінний шар, який видаляють. Прилипання

частинок, що знаходяться у воді, до поверхні газової бульбашки можливо тільки тоді, коли частки не змочуються або погано змочуються водою (гідрофобні частки). Для отримання такого ефекту в стічні води додають різні флотаційні реагенти (гас, кам'яновугільні масла, піноутворювачі та інш.), які призводять до вторинного забруднення стічних вод, особливо при збагаченні вугілля і різних руд. На рис. 2.4 та 2.5 наведено сучасні конструкції флотаторів.

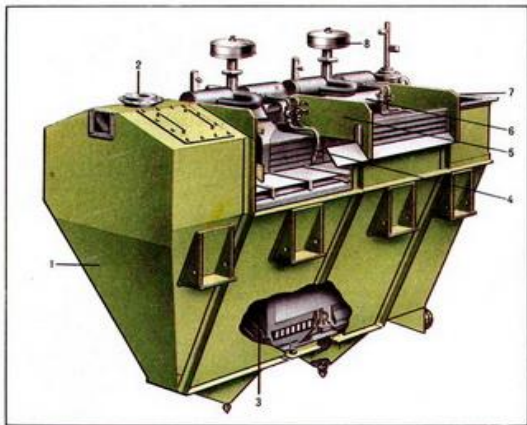


Рисунок 2.4 – Імпелерний флотатор

- 1 – розподільча камера;
- 2 – завантажувально - розподільний пристрій;
- 3 – похилі деки;
- 4 - ерлифт;
- 5 - диспергатор повітря;
- 6-пристрій для розподілу повітря;
- 7 –розвантажувальний карман;
- 8 – пристрій для відділення повітря

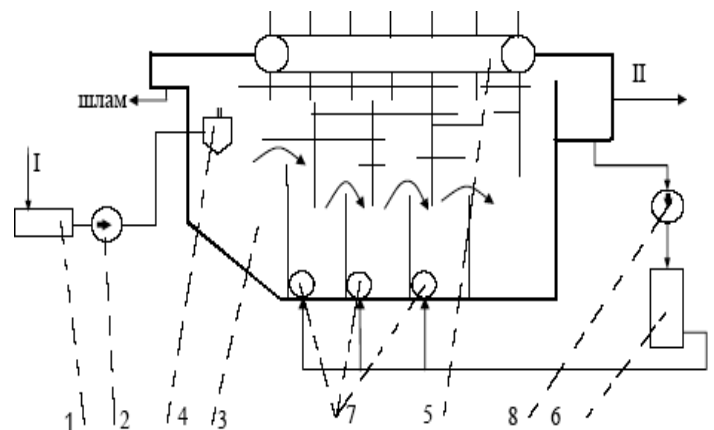


Рисунок 2.5 – Багатокамерний горизонтальний флотатор

- I – подача стічної води; II – відведення очищеної води;
- 1 – ємність; 2 – насос; 3 – флотатор;
- 4 – гідроциклон; 5 – пристрій для збору піни;
- 6 – напірний бак; 7 – аератори

Переваги сучасних флотаційних установок:

- широка галузь застосування;
- високий ступінь очищення забруднених різними домішками стічних вод;
- можливість селективно виділяти і, при необхідності, рекуперувати домішки в процесі очищення;
- простота експлуатації.

Особливості роботи флотаторів: в залежності від рівня забруднення стічних вод флотатори можуть працювати самостійно або включатися в загальну схему роботи очисних споруд разом з обладнанням, яке використовує в роботі інші методи; флотатори повинні розміщуватися за обладнанням, яке видаляє із забруднених вод великі зважені включення. Даний захід не тільки зберігає установки від поломок, але і знижує навантаження на них і загальні витрати на весь процес. Будь-які стічні води, після флотаційної очистки повинні спрямовуватися на подальше доочищення на спорудах біоочищення стоків. При наявності в них домішок у вигляді нафтопродуктів обов'язкове їх глибоке сорбційне очищення.

2.1.4 Прояснення шахтних вод методами фільтрації

У більшості випадків фільтрування застосовують для доочищення стічних вод після застосування інших методів (прояснення, флотації та ін.). Воно може здійснюватися крізь зернисте завантаження і крізь фільтруючі перегородки. При реагентній обробці води коагулянтами і флокулянтами, внаслідок укрупнення зважених часток, видалення твердих частинок при фільтрації поліпшується. Фільтри з зернистим завантаженням поділяють [2]:

- за швидкістю фільтрування: (повільні до 0,7 м/год), швидкі (до 12 м/год), надшвидкі (20-40 м/год);
- за кількістю шарів завантаження: одношарові, двошарові, багат шарові;
- за розміром фільтруючих часток: дрібнозернисті, середньозернисті, грубозернисті;
- за напрямом потоку: спадний, висхідний, горизонтальний;
- за кількістю потоків: однопоточні, двопоточні, багатопотокові.
- за робочим тиском: відкриті, напірні.

Як завантаження при фільтруванні шахтних вод зазвичай використовують: пісок, подрібнений антрацит, керамзит, горілі породи, мінеральні породи (граніт, ільменіт, магнетит), синтетичні гранульовані матеріали (полістирол, поліетилен та ін.). На рис. 2.6, 2.7 наведені конструкції

напірного та відкритого фільтрів. Їх завантаження зазвичай складається з шару подрібненого антрациту товщиною 0,4...0,5 м з зернами розміром 0,8...1,8 мм, розміщеного під (над) шаром кварцового піску товщиною 0,6...0,7 м із зернами розміром 0,5...1,25 мм. Технологічні показники деяких фільтрів для очищення стічних вод вугільних підприємств наведені в таблиці 2.1.

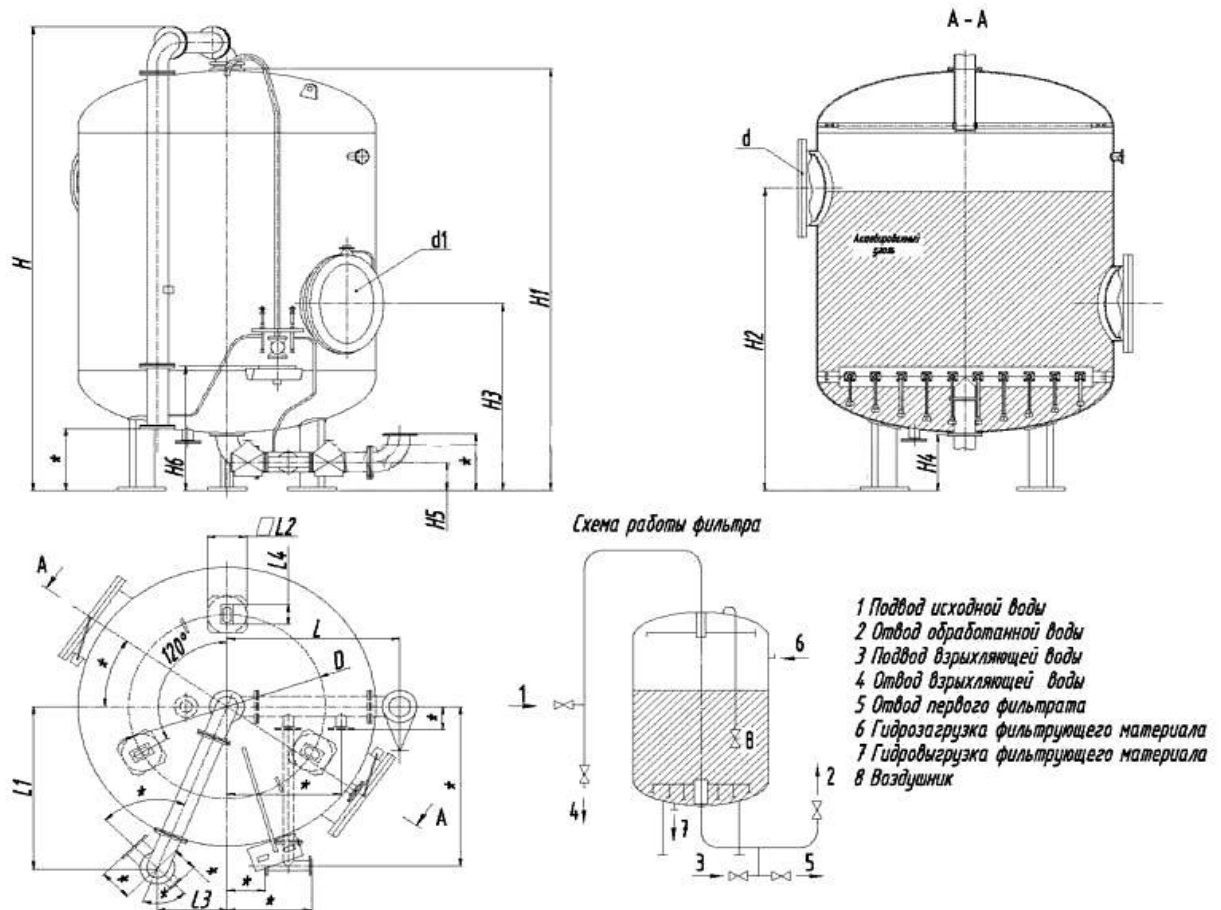


Рисунок 2.6 – Напірний прояснювальний фільтр [2]

1- підвод вихідної води, 2- відвод обробленої води, 3- підвод води, що розпушує, 4- відведення води, що розпушує, відвод першого фільтрату, 6-гідрозавантаження фільтруючого матеріалу, 7-гідророзвантаження фільтруючого матеріалу, 8-відведення повітря

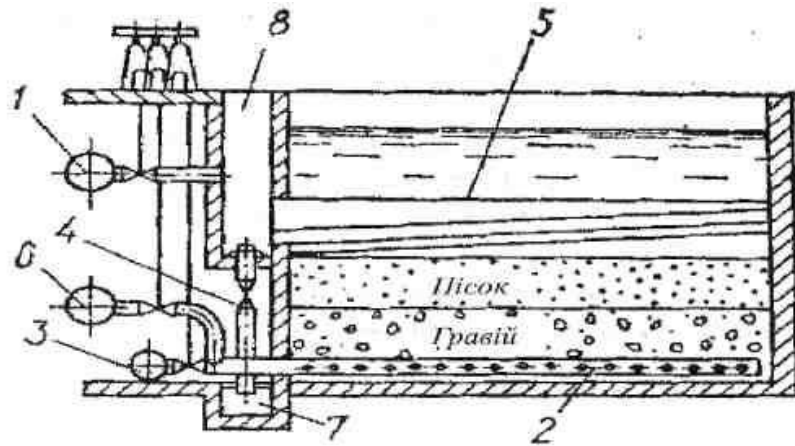


Рисунок 2.7 - Відкритий швидкий фільтр [2]

1 - подача вихідної води; 2 - дренажна система; 3 - відведення фільтрату;
 4 - випуск брудної промивної води; 5 - жолоби для розподілення вихідної та відведення
 брудної промивної води; 6 - подача промивної води; 7 - каналізаційний канал; 8 -
 розподільчий карман

Таблиця 2.1 - Технологічні показники фільтрів із завантаженням з зернистих матеріалів при очищенні стічних вод вугільних підприємств[2]

Тип фільтру	Наявність реагентної обробки	Вміст суспензії у воді, мг/л		Загальна висота фільтруючих шарів, м
		Вихідна вода	Очищена вода	
1 Повільні	-	≤ 700	1,5	0,5...0,8
2 Швидкі одношарові відкриті	+	≤ 30	1,5	0,7...1,3
3 Швидкі грубозернисті	+	≤ 150	3-5	1,5...2
4 Швидкі одношарові напірні	+	≤ 50	1,5	0,75...1,2
5 Швидкі двошарові	+	≤ 50	1,5	1...1,2
6 Контактні прояснювачі	+	20...30	1,5	2,0...2,3
Надшвидкі	-	≤ 200	30	0,8...1

Фільтри періодично промивають профільтрованою водою, яка подається під необхідним тиском в розподільчу систему, при цьому краще застосовувати водо-повітряну промивку. При реагентному знезалізненні шахтних вод одночасно зі звичайним промиванням доцільно використовувати поверхневу промивку верхнього шару завантаження від забруднення. Широке використання для очищення шахтних вод знаходять фільтри типа ФОВ, що застосовуються в підземних водоочисних установках типа «ДОН». При одноступеневій фільтрації вміст зважених речовин зменшується від 500 мг/л до 20 мг/л, після фільтру тонкої очистки концентрація зважених речовин не більш ніж 2,0 мг/л.

Фільтрування крізь тонкі перегородки здійснюється за двома напрямками: фільтрування з утворенням осаду та фільтрування з закупорюванням пор. Останнє здійснюється в вібраційних фільтрувальних апаратах типу УВА-300. Ці фільтри у порівнянні з фільтрами з зернистим завантаженням мають більшу питому потужність і менші габаритні розміри. Вібраційні фільтри типу УВА-300 ефективно працюють на шахті ПАТ «А», ефективність очистки становить 35...75 % [2].

2.1.5 Спеціальні методи очищення шахтних вод

Реагентне очищення застосовують для повнішого видалення завислих речовин з шахтної води, її стабілізації тощо. Його виконують за допомогою різних хімічних сполук або шляхом електрохімічного процесу. Для досягнення необхідного ступеня прояснення шахтні води перед відстоюванням і фільтруванням обробляють коагулянтами - солями алюмінію або заліза. Для інтенсифікації процесу прояснення шахтних вод широко застосовують високомолекулярні флокулянти. У практиці реагентної очистки шахтних вод застосовують вертикальні та горизонтальні відстійники, безнапірні та напірні швидкі фільтри, флотатори та два типи конструкцій прояснювачів. У першому типі прояснювачів контакт води з осадом, що випав раніше, досягається при її русі знизу вгору крізь шар осаду зі швидкістю, достатньо великою для того,

щоб привести осад у завислий стан (так званий псевдозріджений шар), але меншою, ніж швидкість вільного осадження пластівців осаду в нерухомій воді. У другому типі конструкцій прояснювачів є спеціальна камера реакції (камера пластівцеутворення), як правило, обладнана механічними мішалками, в яких вода перемішується з осадом, що випав раніше, а потім надходить у зону прояснення, де відбувається виділення з води крупних пластівців, які утворилися в камері реакції. Найчастіше застосовують прояснювачі конструкції ВНИИВодГео, ЦНИИ МПС [41]. Прояснення води після осадження скоагульованих домішок супроводжується її знебарвленням і частково знезараженням. Для нейтралізації кислих шахтних вод використовують речовини з лужною реакцією.

Електрохімічні методи обробки води можна розділити на три групи: методи перетворення, методи розділення та комбіновані методи. Перша група методів забезпечує зміну фізико-хімічних і фазово-дисперсних характеристик забруднень з метою їх знешкодження або швидшого вилучення з води. Перетворення домішок може протікати через ряд послідовних стадій, починаючи з електронного рівня взаємодії розчинних сполук і закінчуючи зміною яких-небудь електроповерхневих або об'ємних характеристик грубо-дисперсних речовин. З електрохімічних методів перетворення речовин найширше розроблений і впроваджується у практику метод електрокоагуляції.

Метод очищення стічних вод в електролізерах з розчинними електродами називається електрокоагуляцією. Процеси, які відбуваються в електрокоагуляторі на електродах та в розчині, визначаються природою матеріалу електродів, рН розчину і домішок, що містяться у воді. При накладенні електричного поля металевий анод розчиняється, на ньому виділяються бульбашки кисню.

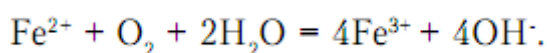
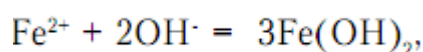
Тобто на аноді: $\text{Me} \rightarrow \text{Me}^n + n\text{e}^-$; $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2\uparrow + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^-$.

На катоді: $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\uparrow + 2\text{OH}^-$.

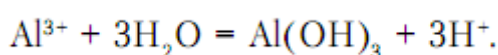
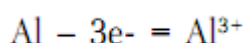
З підвищенням концентрації зважених речовин понад 100 мг/л ефективність електрокоагуляції знижується. Зі зменшенням відстані між

електродами зменшується витрата енергії на анодне розчинення металу. Ступінь використання металу електродів становить 50...90 % і залежить від конструкції коагулятора, матеріалу анода і складу води, що очищується. Теоретична витрата електроенергії і щільність струму залежать від матеріалу електродів. Відстань між електродами не більше 20 мм, швидкість руху води між електродами від 0,03 м/с до 0,5 м/с [42].

Для виготовлення анодів використовують залізо (сталь), алюміній, магній, часто катоди виробляють з такого матеріалу, що дозволяє підвищити ресурс роботи апарату, періодично змінюючи полярність електродів (реверс струму). В результаті розчинення сталевих анодів вода збагачується іонами заліза (II), які утворюють потім при $\text{pH} > 5,5$ гідроксид заліза (II), який під дією розчиненого у воді кисню переходить у гідроксид заліза (III):



Розчинення алюмінієвого аноду протікає за реакцією з подальшою гідротацією іонів Al^{3+} . Крім того, при катодній поляризації алюмінію можливе протікання хімічної реакції взаємодії алюмінію з водою:



В результаті здійснюється процес коагуляції, аналогічний обробці стічної води відповідними солями заліза або алюмінію. Однак у порівнянні з реагентною коагуляцією при електрохімічному розчиненні металів не відбувається збагачення води сульфатами та хлоридами, вміст яких у воді лімітується як при скиданні у відкриті водойми, так і при повторному використанні в системах промислового водопостачання.

Основними перевагами електрокоагуляційного методу в порівнянні з реагентними, є компактність установки, відносна простота її експлуатації і різке зменшення реагентного господарства.

Основними недоліками є: витрата металу (алюмінію і заліза) та електроенергії. Теоретично для розчинення 1 г заліза і 1 г алюмінію витрачається відповідно 3 і 12 Вт×год. Запропоновано цілий ряд конструкцій електрокоагуляторів (Э-ЭУК, Е-91А, ЭПУ (ВПТИЕМП)), модуль МОПВ НИТИАП, Нижній Новгород), регенератори (ЦМИ «Контакт», Пермь), проте і вони не позбавлені недоліків. Їх застосування обмежене труднощами, що виникають при регулюванні процесу: більшою витратою анодного матеріалу і забиванням межелектродного простору продуктами електрохімічного розчинення анодів.

З метою інтенсифікації процесу електрокоагуляції використовується конструкція віброелектрокоагулятора. Застосування вібраційних коливань середнього діапазону частот практично виключає пасивацію електродів, знімає дифузійні обмеження у всьому робочому обсязі, полегшує видалення газів. Електрокоагулятори зі сталевими електродами, на думку розробників РХТУ ім. Д.І. Менделєєва [19], слід застосовувати для очищення стічних вод при витраті не більше 50 м³/год, вихідному загальному змісті іонів кольорових металів (цинку, міді, нікелю, кадмію, тривалентного хрому) до 100 мг/л, при концентрації кожного з іонів металів до 30 мг/л, мінімальному загальному солевмісті стічної води 300 мг/л, концентрації зважених речовин до 50 мг/л.

Електрофлоотокоагуляція, що відноситься до групи комбінованих методів, дозволяє одночасно здійснювати два процеси: зміна дисперсного стану домішок за рахунок їх коагуляції під дією електричного поля і закріплення бульбашок електролітичного газу на поверхні коагулюючих частинок, що забезпечує їх подальшу флоатацію. Електрофлоотокоагулятори, як правило, виконують двокамерними. У другій камері відбувається виділення флотокомплексів, що утворилися, з води. Ефект очищення на електрофлоотокоагуляційних установках залежить від початкової концентрації забруднень, характеру їх взаємодії з коагулянтом, що утворюється, їх конструкції та ін. чинників [32].

2.2 Еколого-технологічний аналіз методів демінералізації шахтних вод

Традиційні технології водопідготовки, які включають фільтрування на пісчано-вугільних фільтрах, коагуляцію, флокуляцію та знезараження, очищають воду від механічних домішок, завислих речовин, мікроорганізмів, не здатні усунути мінеральну складову вихідної води. Процес видалення солей з води в залежності від ступеня їх вилучення називається знесоленням або опрісненням. При знесоленні води концентрація розчинених солей знижується до межі, близької до вмісту їх у дистильованій воді; при опрісненні - до концентрації, допустимої при використанні води для господарсько-питних потреб.

В літературі наводяться різні способи демінералізації шахтних вод, такі як електродіаліз, дистиляція (випарювання), виморожування, кристалогідратний метод, зворотний осмос [10,14,17,25,19,28,29,30].

Методи знесолення і опріснення води поділяють на дві основні групи: зі зміною і без зміни агрегатного стану. До першої групи методів належать дистиляція, нагрівання води понад критичної температури (350°C), виморожування, газогідратний метод; до другої – іонний обмін, електродіаліз, зворотний осмос (гіперфільтрація), ультрафільтрація, екстракція та інш. Вибір методу обумовлюється якістю води, що очищається, вимогами до якості очищеної води, продуктивністю установки і техніко-економічними міркуваннями. Вартість знесолення води іонним обміном зростає зі збільшенням мінералізації води; одночасно знижується глибина знесолення води. Тому іонообмінне знесолення застосовують переважно для вод зі ступенем мінералізації менше 2000 мг/л і сумарним вмістом хлоридів і сульфатів не більше 5 мг-екв/л. При вмісті солей у воді до 2,5...15 г/л рекомендується використовувати електродіаліз або гіперфільтрацію; більше 10г/л дистиляцію, заморожування або зворотний осмос; більше 30г/л-зворотний осмос.

2.2.1 Методи дистиляції шахтних вод

Одержання знесолоної води шляхом пароутворення з наступною конденсацією пари - один з найбільш старих і розповсюджених методів опріснення. При конденсації пари, для її перетворення у воду, потрібно відняти й рекуперувати тепло фазового переходу (539,55 кКал/кг): ступінь рекуперації тепла характеризує теплову економічність дистиляційних установок. За характером тепловикористання застосовують одноступеневі, багатоступеневі й термокомпресорні випарні установки. Недоліками такого способу опріснення є наявність твердих продуктивних стоків, що забруднюють навколишнє середовище, великі витрати електроенергії, а також витрати на випарні апарати, які виготовляють з дорогих і дефіцитних сплавів. Тому часто спосіб термічного знесолення передбачає попереднє пом'якшення води натрій-катіонуванням з регенерацією катіонітних фільтрів харчовою сіллю, яка підкислена продуктивною водою випарників та містить 20-50% відпрацьованого регенераційного розчину, з якого попередньо вилучені іони жорсткості.

В даний час у вітчизняній і зарубіжній практиці експлуатуються установки з використанням випарників, принцип дії яких базується на використанні адіабатних, тонкоплівкових та інших конструкцій дистиляторів [31, 42]. Найбільш розповсюдженим типом знесолоюючих установок термічної дистиляції необхідно визнати схеми миттєвого скипання й тонкоплівкового типу (див. рис. 2.8). Сучасні принципові схеми установок миттєвого скипання досить складні, тому що поряд з основним елементом - випарником - містять ряд додаткових пристроїв, що забезпечують їхню надійну роботу [28]. Розходження цих схем полягає в тому, що вони відрізняються компонованням і числом щаблів, регенерацією, організацією подачі вихідної води, технологією її попередньої підготовки, розташуванням труб у конденсаторах вторинної пари й інш.

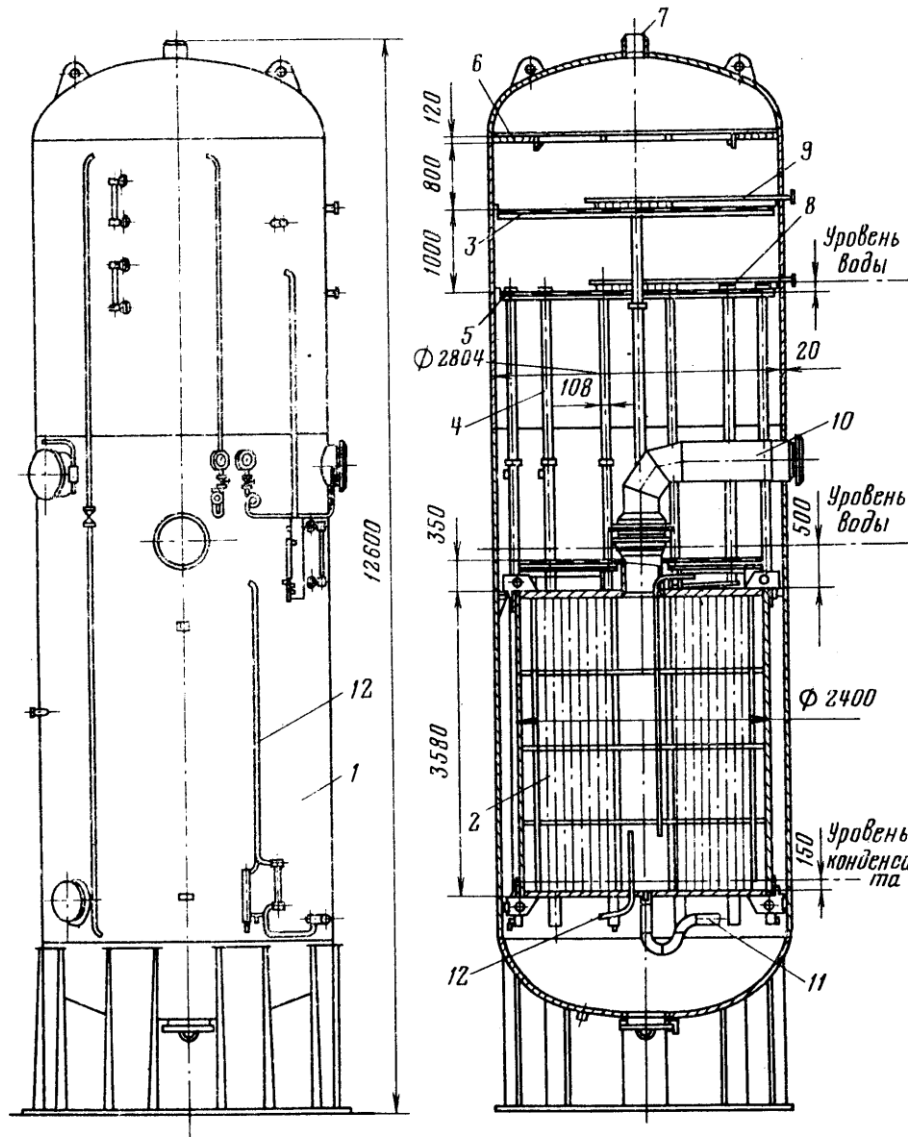


Рисунок 2.8 - Вертикальний випарник із двоступеневим промиванням пари [31]

1 – корпус випарника; 2-секція, що гріє; 3-паропромивний дірчастий лист; 4 - опускна труба;
 5 - перелив; 6 - жалюзійний сепаратор; 7 - відвід вторинної пари; 8 - підведення живильної
 води; 9 - підведення конденсату; 10 - підведення пари, що гріє; 11 - відвід конденсату;
 12 - відвід газів, що не конденсуються

Випарники такої конструкції застосовуються на шахті ПАТ «А», де обробці підлягає вода з початковим солемістом 9000 мг/л та загальною жорсткістю 29...37 мг/л, вмістом хлоридів до 5500 мг/л. Випарювання здійснюється у чотирьох послідовно розміщених випарниках. Опріснена вода має солеміст 25...2000 мг/л, загальну жорсткість 0,7...1,0 мг/л, вміст хлоридів 10...90мг/л. Потужність дистилятора складає 0,65...0,8 т/год.

Використання дистиляційної технології [28] дає змогу зменшити кількість забруднюючих речовин в забрудненій шахтній воді, і зробити її придатною для використання підприємствами гірничо-видобувного комплексу України. При цьому очищену шахтну воду можна також «використовувати для сільськогосподарської та рекреативної рекультивації. Видалений осад можна використовувати як основу для отримання цінних речовин, що містяться в шахтній воді. При відкачуванні та очищенні шахтних вод встановлюється максимально близький до природного кругообіг води (фільтраційний обмін підземних і поверхневих вод). Запропонований метод очищення шахтної води з використанням геотермальної енергії дасть змогу знизити собівартість очищеного продукту (дистиляту) і раціонально використовувати вичерпні види енергоносіїв (таких як вугілля, природний газ, торф), які необхідні для перетворення води в пароподібний стан відомими способами, і які в умовах сучасної енергетичної проблеми є цінною сировиною» [28].

Дослідження дистиляційного опріснення високомінералізованої води свідчать [32], що якість дистиляту значною мірою залежить від складу вихідної солоної води, ефективності її попереднього очищення і роботи самих опріснювачів. Випаровування води в установках миттєвого скипання відбувається за температури 101...108 °С, а в останніх ступенях, що знаходяться під вакуумом, за температури 35...45 °С. Отриманий дистилят має невелику жорсткість – близько 0,15 ммоль/дм³, тобто він належить до дуже м'яких вод. За такої малої буферності середовища значення рН дистиляту коливаються в межах 6,2...8,2 і згідно з прийнятою класифікацією така опріснена вода є слабкокислою. В опрісненій воді залишається 0,8...4,8 мг/дм³ СО₂, внаслідок чого вона має певну корозійну активність. Концентрація агресивної карбонатної кислоти в дистиляті непостійна, оскільки залежить від режиму роботи опріснювачів. Важливе санітарне значення має вміст у дистиляті деяких мікроелементів, особливо бром і бор. Під час термічної дистиляції вони концентруються звичайно у розсолі.

Виморожування ґрунтується на охолодженні високомінералізованої води до температури нижче 0°C , її заморожуванні та виділенні кристалів льоду, які не містять солі. Демінералізація води при цьому здійснюється різними методами: теплообміном через охолоджувальну стінку, заморожуванням води у вакуумі та прямим заморожуванням солоної води хладагентом (бутан, ізобутан, етан, метиленхлорид, фреони). Перевагами даного методу є економія енергії порівняно з попереднім способом опріснення води та нечутливість до мінерального складу вихідної води. Стримуючим фактором поширення методу виморожування являється технічна складність і висока вартість відповідних холодильних систем та використання екологічно небезпечних агентів (фреон) [30]. Кристалогідратний метод полягає в утворенні деякими газами (фреони, пропан) з водою при певних умовах твердих кристалогідратів, які після відділення та відмивання плавлять і отримують чисту воду. Газ, який виділяється при плавленні повертається до кристалізатора для повторного використання. Метод не отримав поширення внаслідок конструктивної складності та недостатнього опрацювання окремих стадій процесу, зокрема сепарації і очистки льоду та кристалогідратів [10].

2.2.2 Електрохімічні методи зменшення солевмісту у шахтних водах

З електрохімічних методів розділення найбільшого поширення набув метод електродіалізу з метою знесолювання природних і промислових стічних вод. Розроблені і серійно освоєні апарати для електродіалізного опріснення води. Процес очищення стічних вод електродіалізом заснований на поділі іонізованих речовин під дією електрорушійної сили, яка створюється в розчині по обидва боки мембран. Цей процес широко застосовується для опріснення високомінералізованих шахтних вод або для видалення іонів важких металів [32,33,43]. Електродіаліз здійснюється в багатокамерних електродіалізаторах під дією постійного електричного струму, спрямованого перпендикулярно площині мембран. У найпростішому випадку електродіалізатор складається з двох, трьох камер, відокремлених одна від одної діафрагмами. (див. рис. 2.9)

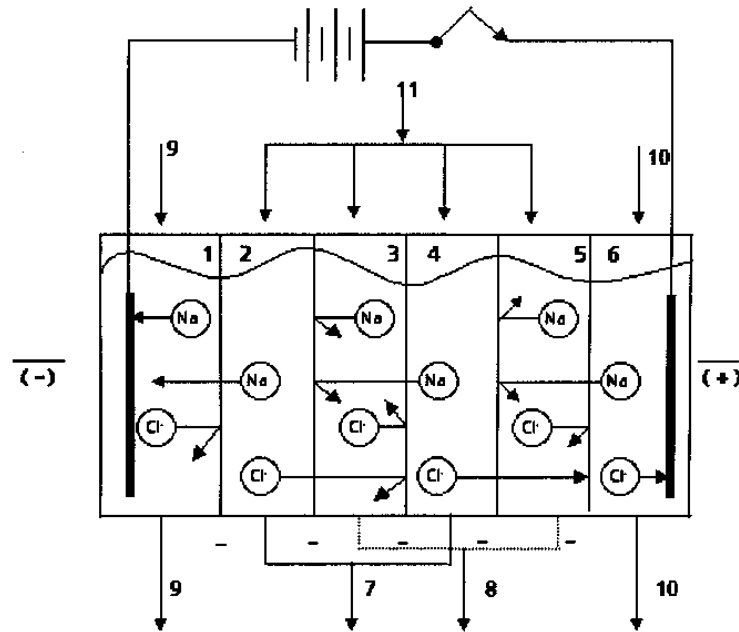


Рисунок 2.9 - Принципова схема електродіалізатора [32,33,43]

А - кніонообмінна мембрана; С - катіонообмінна мембрана; 6 - анод; 2,4 - камери знесолення;
3,5 - камери концентрування; 1 - катод

Вода, опріснена електродіалізом, характеризується істотним зменшенням загальної мінералізації, вмісту хлоридів, сульфатів і кальцію. Спостерігається деяке зменшення біологічно активних мікроелементів, зокрема фтору, бромю і бору. Після електродіалізаторів прісна вода має такий склад: загальна мінералізація $600 \dots 900 \text{ мг/дм}^3$; хлориди $230 \dots 470 \text{ мг/дм}^3$; сульфати $100 \dots 480 \text{ мг/дм}^3$; фтор $0,6 \dots 0,9 \text{ мг/дм}^3$; бор $0,6 \dots 2,1 \text{ мг/дм}^3$, бром $1,1 \dots 1,4 \text{ мг/дм}^3$. Отже концентрація бору й бромю значно перевищують величини ГДК. У процесі електродіалізу вода значно очищується від домішок органічних речовин. Вміст нафтопродуктів зменшується на 50 %, поверхнево-активних речовин в 2...3 рази, канцерогенних сполук - на 40-50 %. Ефективність вилучення органічних речовин знаходиться у прямій залежності від тривалості опріснення, мінералізації, якості вихідної води й густини струму. Однак тривала експлуатація йонітових мембран погіршує якість опрісненої води. Характерною особливістю опрісненої електродіалізом води є накопичення в ній гідрокарбонат-йонів. Якщо електродіаліз здійснюють за

низьких значень рН, то в дилюаті утворюється малодисоційована карбонатна кислота, переважно в агресивному стані [32]. Тому воду, опріснену електродіалізом, можна рекомендувати для промислово-технічного водопостачання. За умови зменшення в ній бору і бромиду до гігієнічно допустимого рівня після додаткового оброблення її можна використовувати і для господарсько-питного водопостачання.

2.2.3 Демінералізація води методом зворотного осмосу

Зворотний осмос - проходження води або інших розчинників через мембрану із більш концентрованого в менш концентрований розчин в результаті впливу тиску, перевищуючого різницю осмотичних тисків обох розчинів. Зворотний осмос (гіперфільтрація) процес відділення розчинів від розчинених речовин на молекулярному рівні при фільтруванні через напівпроникні мембрани під тиском, вищим за осмотичний. Гіперфільтрація застосовується при мінералізації до 40000 мг/дм³. Перевагами методу є малі енерговитрати, простота експлуатації, можливість автоматизації процесу, невеликі виробничі площі та можливість отримання води питної якості. Недолік полягає у швидкому забрудненні високовартісних мембран та необхідності їх заміни [10,29,34]. Дослідженнями багатьох інститутів (УкрНДІпроект, Донгіпрошахт, УкрНТЕК, ДонВУГІ, Інститут колоїдної хімії та хімії води НАНУ та інших), які займаються проблемою дефіциту питної води, доведено, що найефективнішим для глибокого очищення шахтних вод є метод зворотного осмосу. За таким принципом уже діють пілотні установки з демінералізації води у містах Антрацит, Алчевськ, Свердловськ, Брянка, Ровеньки Луганської області [35,36,17].

Характерною особливістю опріснення води зворотним осмосом є не тільки висока його ефективність, а й значний ступінь очищення води від органічних домішок і мікроорганізмів (до 93...98 %). У разі використання високоселективних мембран (понад 98 % за вмістом хлорид-йонів) вміст високомолекулярних органічних речовин в очищеній воді може зменшуватися

в кілька десятків разів. Спосіб зворотного осмосу є ефективним для опріснення мінералізованих вод із концентрацією солей до 15 г/дм^3 . У процесі опріснення води з більшою мінералізацією мембранний процес має бути багатоступінчастим для забезпечення потрібної мінералізації води, що значно підвищує його вартість і робить менш ефективним порівняно з іншими способами демінералізації. Опріснення води із загальною мінералізацією до 10 г/дм^3 способом зворотного осмосу дає змогу отримати опріснену воду, яка за фізико-хімічними показниками якості відповідає вимогам питної води. Так, загальна мінералізація у ній становить менше 1 г/дм^3 , вміст хлоридів – $60 \dots 180 \text{ мг/дм}^3$, сульфатів – $140 \dots 260 \text{ мг/дм}^3$, жорсткість – $1,7 \dots 3,1 \text{ ммоль/дм}^3$, окислюваність – $0,7 \dots 2,6 \text{ мг } \text{O}_2/\text{дм}^3$. У процесі зворотноосмотичного опріснення очищення від мікроелементів становить: фтору на $88 \dots 92 \%$, бромю на $70 \dots 80 \%$, бору на $30 \dots 35 \%$. За вмістом загального числа бактерій опріснена вода здебільшого відповідає вимогам державного стандарту на питну воду [45]. Проте в деяких випадках кількість бактерій групи кишкової палички (колі-індекс) перевищує санітарні норми, тому для повного знезараження води потрібно проводити її хлорування.

Таким чином метод зворотного осмосу забезпечує найбільш низькі питомі енерговитрати в процесах очищення високомінералізованої шахтної води, значне зниження екологічного навантаження на навколишнє середовище за рахунок відмови від скидання промивних вод аніонітових і катіонітових фільтрів; можливість використання отриманої води на промислових підприємствах в інших технічних цілях, а також у комунальному господарстві (наприклад, поставлятися в міських централізованих мережах теплопостачання).

З метою оцінки шахтних вод в якості питних джерел Міністерство палива і енергетики України прийняло і надало чинності методичним вказівкам «Використання шахтних вод для господарсько-питного водопостачання» [37]

2.2.4 Демінералізація шахтних вод методами іонного обміну

Зниження жорсткості води іонним обміном засновано на здатності деяких природних і штучних матеріалів – катіонітів, обмінювати наявні у їхньому складі іони Na^+ і H^+ на іони Ca^{+2} і Mg^{+2} , що обумовлюють жорсткість води. До катіонітів відносяться: сульфовугілля, матеріали на основі штучних смол (КУ-1, КУ-2, СГ-1, КБ-2, КБ-4). Характеристики катіонітів наведені в табл. 2.4. При фільтруванні води крізь шар катіоніта, його обмінна ємність зменшується, що викликає необхідність періодичної регенерації матеріалу. Н – катіонові фільтри регенеруються розчином кислоти; Na – розчином повареної солі.

Таблиця 2.4 - Технологічна характеристика іонітів.

Іоніт	Діаметр зерен, мм	Повна об'ємна ємність, г-екв/м ³	Насипна вага, т/м ³		Вартість, грн/т
			вологий	сухий	
1 Сульфоуголь дрібний, 1 сорт	0,25 – 0,7	570	0,45	0,65	160
2 Сульфоуголь великий, 1 сорт	0,3 – 1,5	570	0,45	0,70	170
3 КУ-1	0,2 – 0,3	650	0,4	0,71	
4 КУ-2	0,3 – 1,5	1700	0,4	0,71	2250
5 АН-31	0,3 – 10	850 - 1100	0,37	0,73	3270
6 АВ-17-8	0,2 – 0,85	420	0,39	0,74	6600

Перспективним напрямком при переробці та видалення надлишкових солей зі стічних вод є застосування активованого вугілля, природних мінералів (шунгізит, вермікуліт, цеоліти), синтетичних модифікованих цеолітів (МЦ) [38]. Однак сьогодні, незважаючи на великі перспективи комплексної переробки мінералізованих вод за допомогою сорбентів - цеолітів, ця

технологія не отримала широкого поширення. Сорбційний метод дозволяє досягати великої глибини видалення солей, але він майже не використовується через високу вартість. Заважають використуванню сорбційних методів і причини, пов'язані з проблемами регенерації сорбентів. При роботі з сильно мінералізованим середовищем сорбент необхідно часто регенерувати; для подовження фільтроціклов необхідно використовувати великі одноразові завантаження сорбційних матеріалів.

3 РОЗРОБКА РАЦІОНАЛЬНИХ СПОСОБІВ ОЧИЩЕННЯ ВИСОКОМІНЕРАЛІЗОВАНИХ ШАХТНИХ ВОД

3.1 Аналіз сучасних технологічних схем очистки шахтних вод

Технологія очистки шахтних вод від зважених речовин складається, як правило з трьох послідовних процесів розподілення рідкої та твердої фази, знезараження, обробка осаду. Технологічні схеми при цьому поділяють:

- за методами відділення рідкої фази від твердої: відстійні, відстійно-фільтрувальні, фільтрувальні;
- за використанням реагентів: реагентні, безреагентні.
- за кількістю однотипних споруд: одно-, двох-, багатоступеневі;
- за методами зневодження: дренажні, механічні;
- за методам знезараження: контактні, безконтактні;

У випадках демінералізації шахтної води технологічні схеми значно ускладнюються і вміщують процеси мембранної, термічної, сорбційної обробки. Найчастіше очистка стічних вод передбачає лише механічне очищення і знезараження. На рис. 3.1 наведено схему механічної очистки стічних вод підприємств гірничо-видобувного комплексу. Стічна вода проходить механічну очистку в такій послідовності: крупні забруднення затримуються ґратами; мінеральні важкі домішки (переважно пісок) затримуються піскоуловлювачами; нерозчинені органічні домішки затримуються відстійниками. Далі стічну воду знезаражують (найчастіше хлоруванням) і випускають у водоймище. При невеликих витратах стічних вод і необхідності їх біологічного очищення може бути застосовувана схема наведена на рис. 3.2. За цією схемою механічне очищення відбувається на ґратах, в піскоуловлювачах і в відстійниках. У відстійниках (або прояснювачах-перегнивачах) одночасно з проясненням стічних вод відбувається стабілізаційна обробка затриманого органічного осаду [46].

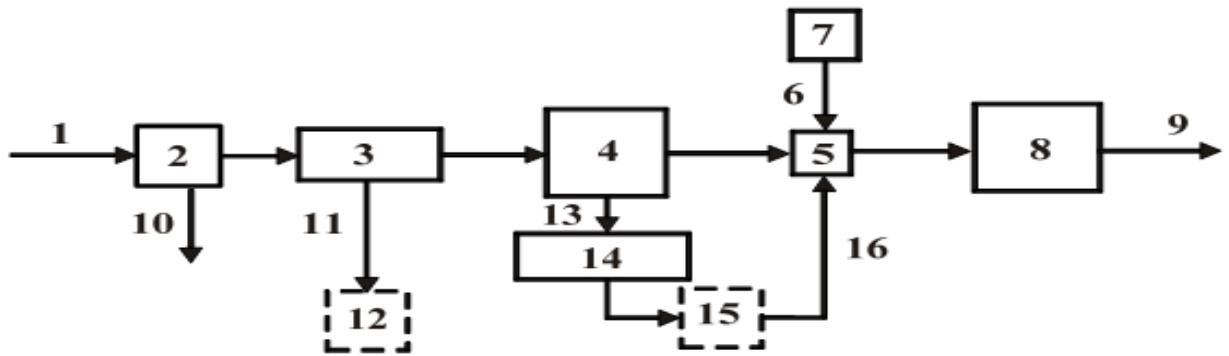


Рисунок 3.1 – Технологічна схема механічного очищення стічних вод

1 – подача стічної води на очищення; 2 – ґрати; 3 – пісковловлювач; 4 – відстійник;
5 – змішувач; 6 – хлорна вода; 7 – хлораторна; 8 – контактний резервуар; 9 – спуск очищеної
води у водоймище; 10 – крупні відходи; 11 – піщана пульпа; 12 – піскові майданчики;
13 – осад відстійника (сирий осад); 14 – метантенк; 15 – мулові майданчики; 16 – дренажна
вода

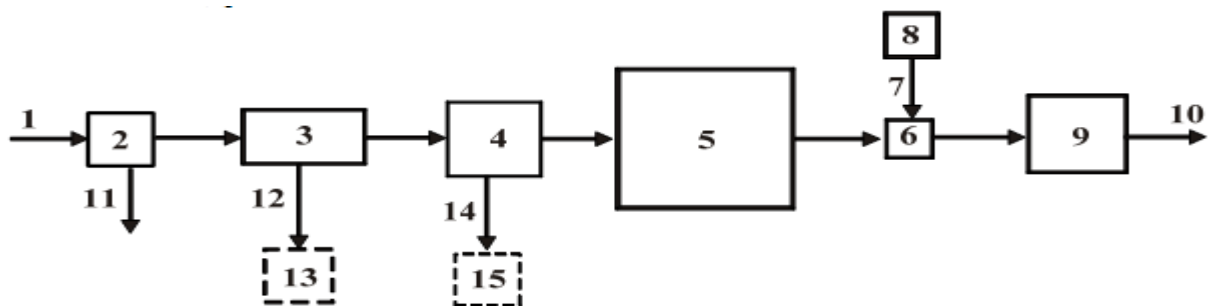


Рис.3.2 – Технологічна схема біологічного очищення стічних вод
у природних умовах

1 – подача стічної рідини; 2 – ґрати; 3 – пісковловлювач; 4 – відстійник; 5 – поля фільтрації
або біоставки; 6 – змішувач; 7 – хлорна вода; 8 – хлораторна; 9 – контактний резервуар;
10 – спуск очищеної води у водоймище; 11 – крупні відходи; 12 – піщана пульпа; 13 – піскові
майданчики; 14 – осад, затриманий і оброблений (стабілізований); 15 – мулові майданчики

3.2 Способи повторного використання очищених шахтних вод

Перша (основна) технологічна схема ДОНВугілля (рис. 3.3) [32] передбачає очищення шахтної води високої каламутності з метою її подальшого використання для потреб комплексного знепилування. До складу очисних споруд входять пісковловлювач; резервуар мулу, до якого після піскоуловлювача відводяться грубодисперсні домішки; регулююча ємкість для

рівномірного живлення установки при періодичній роботі насосів головного водовідливу; камери утворення пластівців, обладнані електролізерами і з'єднані з тонкошаровими похилими відстійниками; проміжна емкість, звідки вода подається в резервуар чистої води, потім прямує споживачам. Промивні води і шлами подають насосами на центрифугу. Фугат центрифуги повертається у процес, а згущений продукт прямує у вагонетках у відвал. Установка забезпечена повітродувками для розчинення коагулянту і при необхідності – взмучування осаду.

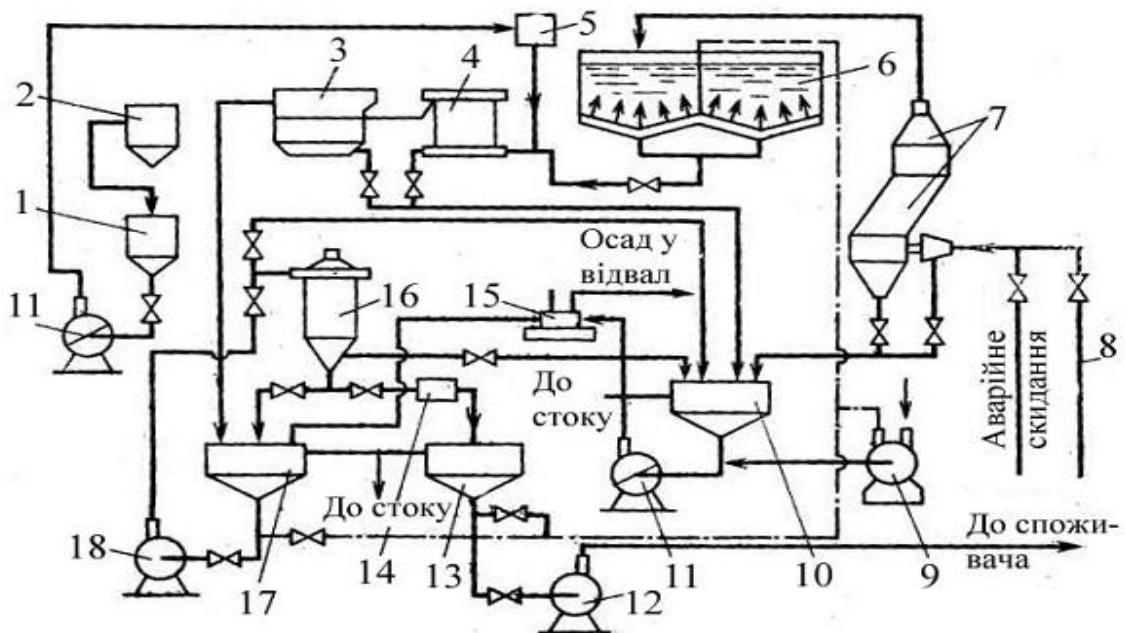


Рисунок 3.3 - Технологічна схема очищення шахтних вод [32]

- 1, 2 – розчинення та витратний баки; 3 – тонкошаровий відстійник; 4 – камера утворення пластівців; 5 – дозатор; 6 – регулюючі резервуари; 7 – піскоуловлювач; 8 – подача шахтної води; 9 – повітродувка; 10 – резервуар-відстійник обороту промивної води; 11 – насос; 12 – насос подачі чистої води споживачу; 13 – проміжний резервуар; 14 – бактерицидна установка; 15 – центрифуга; 16 – напірний прояснювальний фільтр; 17 – проміжний резервуар; 18 – насос подачі води на фільтр

Для очистки шахтних вод з метою їх повторного використання авторами обрана технологічна схема, яка наведена на рис. 3.4 [47]. Для рівномірної роботи очисних споруд припускаємо на початку схеми резервуари-

усереднювачі 1, з яких вода на очищення подається насосами 2 в рівномірному режимі. В усереднювачі не повинні випадати грубі суспензії (щоб уникнути його замулювання), тому частина води, що відкачується, спрямовується на взмучування осадів.

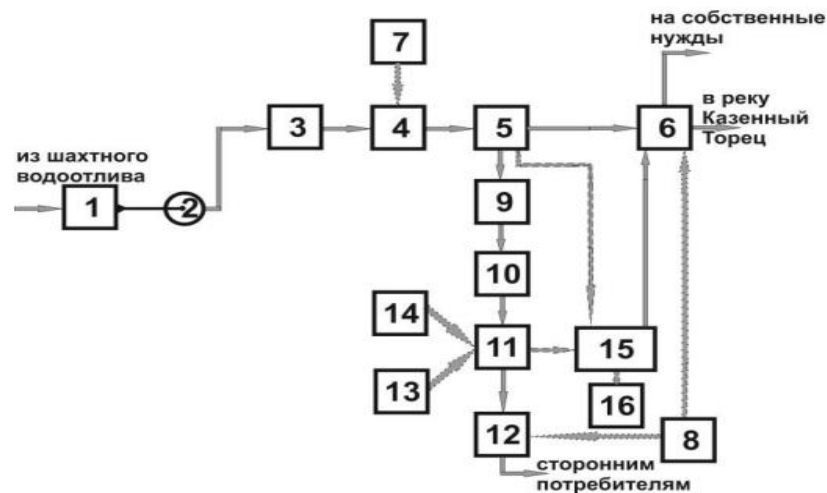


Рисунок 3.4 - Схема очищення шахтних вод для повторного використання [47]

1 - усереднювач; 2 - насос; 3 - відкритий гідроциклон; 4 - шайбовий вузол; 5 - тонкошаровий відстійник; 6, 9 - резервуар проясненої води; 7 - бак флокулянта; 8 - хлорне господарство; 10 - водонагрівачі; 11 - прояснювач ОТІ; 12 - резервуар частково пом'якшеної води; 13 - вапняне господарство; 14 - содове господарство; 15 - осадодушільнювач; 16 – шламонакопичувач

Економічна ефективність впровадження цього технологічного рішення [48] з модернізації водного господарства шахти складає при собівартості очищених шахтних вод $2,14 \text{ грн/м}^3$; прибуток від продажу води – 3,4 млн. грн тис/рік. В результаті реалізації запропонованої схеми очищення буде отримано екологічний ефект, який полягає в зниженні скидання забруднюючих речовин в водні об'єкти. Зокрема використання запропонованої схеми очищення шахтних вод із застосуванням тонкошарових відстійників, гідроциклонів і прояснювачі ОТІ дозволить зменшити скид зважених речовин у водні об'єкти (р. Казенний Торець) на 14,3 т/рік.

3.3 Особливості очищення шахтних вод під час скиду до природних водних екосистем

Як було наведено раніше, для переважної кількості вугледобувних підприємств типовою технологічною схемою, згідно якої передбачається очистка шахтних вод, є схема рис. 3.5. Враховуючи, те, що шахтна вода характеризується високою мінералізацією, очистка води в відповідності до технологічної схеми (рис.3.4) не забезпечує необхідного зниження мінералізації, тим самим створює передумови до зростання останньої в поверхневих об'єктах водокористування. Тому шахтну воду необхідно демінералізувати [48,49]. Перспективними методами знесолення шахтної води є електродіаліз, дистиляція, зворотній осмос. Реалізація очистки шахтних вод електрохімічним методом є перспективним напрямом в вирішенні питань з інтенсифікації очистки води [33,34,38,44] (рис. 3.6).

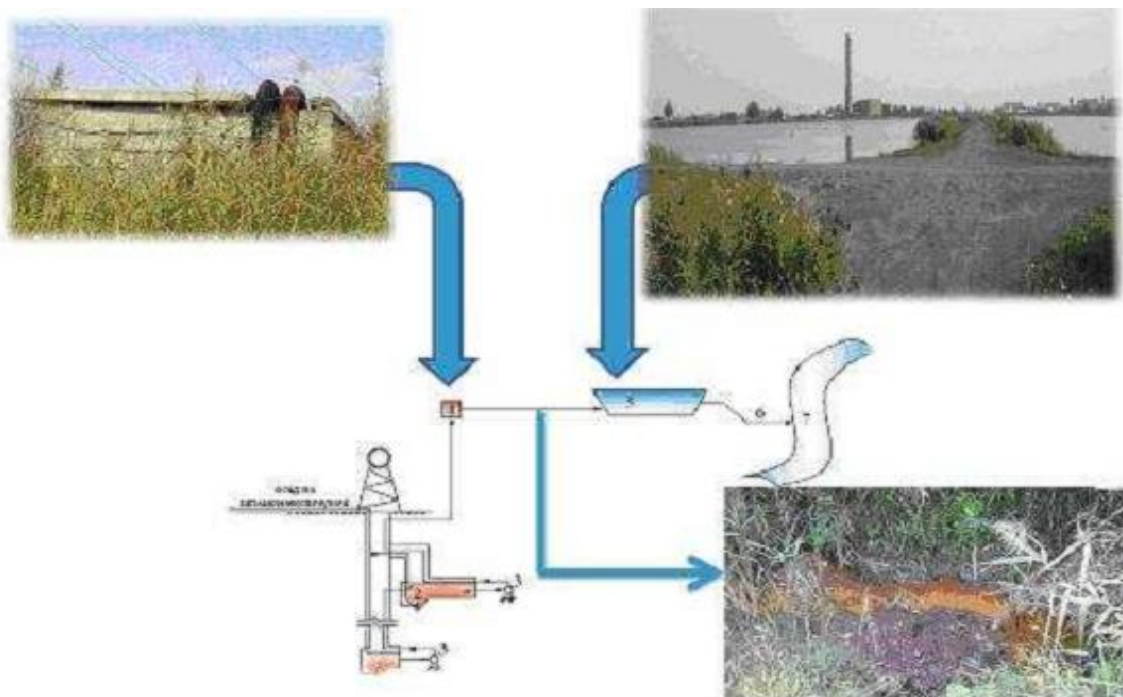


Рисунок 3.5 - Типова технологічна схема очищення шахтних вод

- 1 - шахтний зумпф; 2 - резервуар-накопичувач; 3 - насосна станція головного водовідливу;
4 - приймальна камера; 5 - ставки доочищення; 6 - скид очищеної шахтної води; 7 - водний об'єкт

На шахті одного з найбільших гірничодобувних підприємств доцільно використовувати схему, де стічна вода проходить всі ступені фізико-хімічного методу очищення, наприклад схема Enviochem®[49]. Технологічна схема реалізована в 2 лінії, продуктивність кожної 200 м³/год. Стічна вода надходить в реактор коагуляції, потім гідрофобізації і, нарешті, флокуляції. Далі стічна вода подається на флотаційну установку, де флокули за допомогою повітря піднімаються на поверхню води. Для подальшого вивезення шлам піддається зневодненню в камерному фільтр-пресі. Очищена вода після фільтрації подається через дискові фільтри, далі перед скиданням у річку вона знезаражується із застосуванням ультрафіолету.

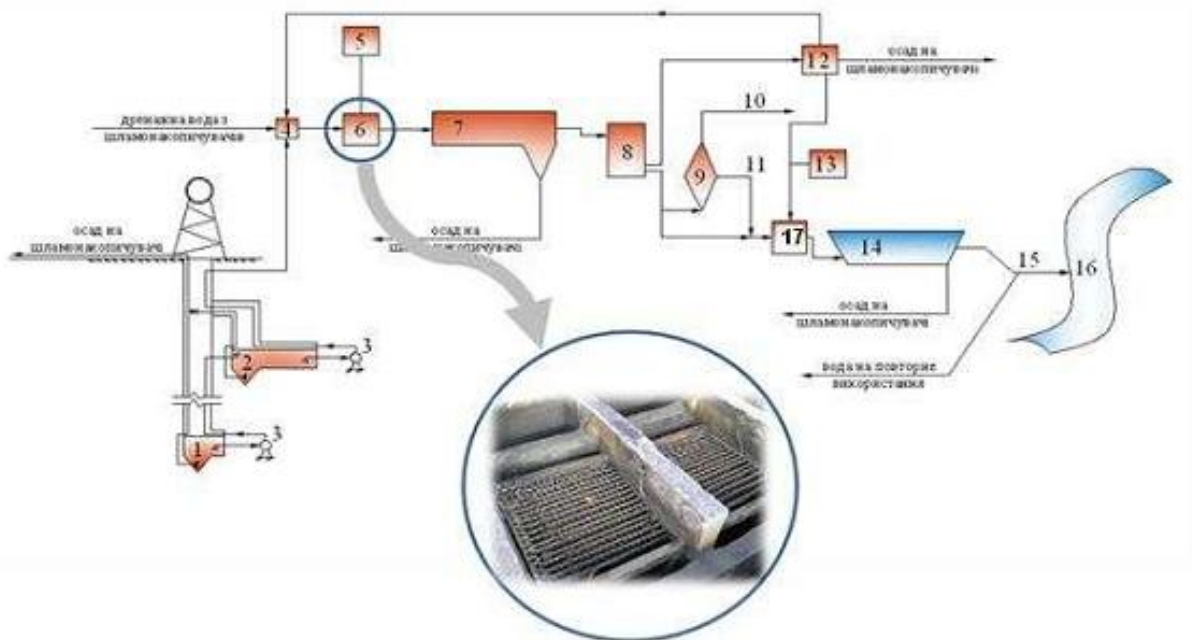


Рисунок 3.6 - Комплексна технологічна схема очищення шахтних вод [49].

1 - шахтний зумпф; 2 - резервуар-накопичувач; 3 - насосна станція головного водовідливу;
 4 - приймальна камера; 5 - випрямляч; 6 – вузол очистки води електрохімічним методом;
 7 - відстійник; 8 - вільтр; 9 - установки зниження мінералізації; 10 - розсіл; 11 - трубопровід демінералізованої води; 12 - споруди повторного використання води; 13 – вузол приготування та подачі знезаражуючого агента; 14 - ставки доочищення; 15 - скид очищеної шахтної води; 16 - водний об'єкт; 17- змішувач

Враховуючи високу мінералізацію шахтної води (1,6 – 6,2 г/дм³), в системах водовідведення вугледобувних підприємств ефективним є

застосування технології фізико-хімічного очищення шахтних вод в апаратах-електрореакторах перед водоочисними спорудами, в яких відбуваються процеси розділення фаз (відстійники, фільтри, флотатори, ставки-прояснювачі). Автором [50] приведено результати виробничих досліджень на експериментальному комплексі очисних споруд вуглевидобувної шахти Ростовська (рис. 3.7).

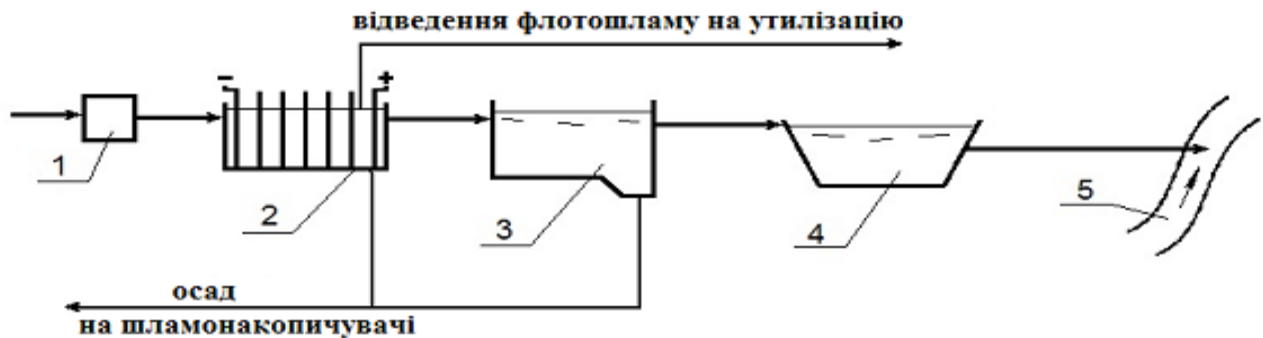


Рисунок 3.7 - Технологічна схема очищення шахтних вод експериментального комплексу [50]

1 – приймальна камера; 2 – апарат-електрореактор з біполярними електродами; 3 – відстійник; 4 – ставок-прояснювач; 5 – водний об'єкт

В останні 10-15 років в Східному Донбасі були побудовані або реконструйовані очисні споруди ряду шахт, але при збереженні технологічних підходів, орієнтованих на колишні показники складу шахтних вод і витрати. В основному ці технології включають:

- аерацію;
- відстоювання або електроліз;
- додаткову аерацію;
- відстоювання та пруди біодемініралізації.

В результаті аналізу технології та показників очищення вод очисних споруд шахт ім. Кірова, Глибока, Південна встановлено [22,28], що ні в одному випадку не досягаються проектні (нормативні) показники. Окиснення двовалентного і видалення тривалентного заліза у вигляді шламу здійснюється, в кращому випадку, в ставках, а в основному в водоймах – приймачах шахтних

вод. При цьому не зазначено діяльності біоценозу ставків внаслідок пригнічення його залізом. При збереженні ємнісних резервуарів на існуючих очисних спорудах шахтних вод одним з технологічно і енергетично доцільних інженерних рішень може бути реконструкція систем аерації з застосуванням мембранних аераторів і повторним використанням гідроксидного шламу, що містить також до 10% магнетиту, що має, як відомо, каталітичні властивості, що сприяють окисненню іонів двоцвалентного заліза [28]. На п'яти досліджених [22] очисних спорудах шахтних вод Східного Донбасу, де були змонтовані фільтри з плаваючим завантаженням, через 3 -4 місяці експлуатації вони були переобладнані в додаткові відстійники. Фільтри доочищення шахтних вод з піщаним завантаженням експлуатуються в відмінному від технологічного регламенту режимі: завантаження набуває забарвлення, характерне для гідроксидів тривалентного заліза, швидкість фільтрування через 8-10 год знижується з 7...8 м/год до 2...2,5 м/год. Після тривалого водоповітряного промивання (15...20 хв) фільтруюча здатність відновлюється до 5...6 м/год.

Для вирішення проблем комплексного очищення шахтних вод від зважених речовин та мінеральних солей з метою скиду води в природні водойми доцільно використовувати так звану модульну очистку. Провідними спеціалістами ЗАО «ГОРМАШЕКСПОРТ» рекомендована схема очистки шахтних вод з шести модулів [56]: попереднього очищення; фізико-хімічної обробки; прояснення води і ущільнення осаду; зневоднення осаду; фінішної очистки; знезараження.

На рис. 3.8 наведено принципову схему комплексного процесу очищення шахтних вод. Ця схема передбачає видалення зважених речовин методом мікрофільтрації, пом'якшення води електрохімічними методами, знезалізнення води, демінералізацію води методом зворотного осмосу, дезодорацію та бактерицидне знезараження води та електроосмотичне концентрування розсолів. При застосуванні цієї схеми можна отримувати воду як для власних потреб шахти на технологічні потреби так і частину води питної якості; а також

отримати товарні продукти такі як хлорид і гідроксид натрію, хлорид і гідроксид кальцію та хлорид магнію [52,53]

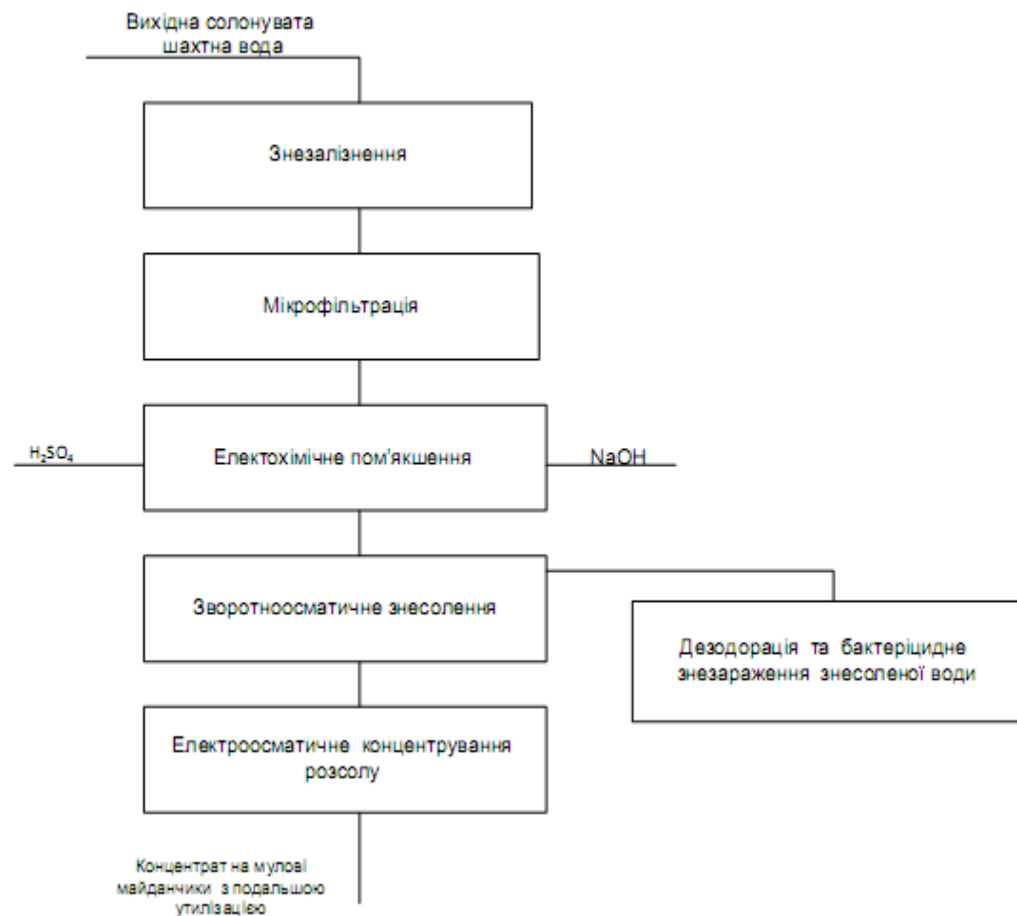


Рисунок 3.8 - Принципова схема комплексного процесу очищення шахтних вод [52]

Як видно з даних, наведених у цьому розділі, комплексна переробка високо мінералізованих шахтних вод можлива лише за умов утилізації розсолів, що утворюються при знесоленні. Ця проблема актуальна вже майже 20 років, тому що досі не знайдено уніфікованих екологічно та економічно доцільних методів. При утилізації розсолів шахтних, рудничних та інших стічних вод виникають такі труднощі: низькі концентрації солей вимагають додаткового концентрування; наявність органічних домішок викликає необхідність їх попереднього відділення перед опрісненням; коливання складу розсолу в зв'язку з непостійністю складу стічних мінералізованих вод.

Концентрування вод здійснюють у випарних апаратах різних конструкцій, апаратах заглибленого горіння, а також в установках, що виморожують.

Концентрування з одночасною кристалізацією солей проводять в апаратах з псевдозрідженим шаром і розпилувальних сушарках. Для кристалізації солей широко використовують випарні, вакуум-випарні, охолоджувальні кристалізатори [19]. Процес поділу мінеральних речовин і води можна проводити в дві стадії -концентрування вихідного розчину і виділення з нього сухого залишку: Якщо здійснюється тільки одна стадія концентрований розчин спрямовується на захоронення. Шахтні води можна очищувати минаючи стадію концентрування безпосередньо на видалення з них сухих речовин найчастіше в сушарці, що розпилує або в апаратах з киплячим шаром.

Дистиляційні методи опріснення є найбільш розробленими, але в той же час найменш економічними. Економічність дистиляційних установок істотно підвищується при комбінуванні їх з теплоенергетичними агрегатами, що виробляють електроенергію, при утилізації тепла вторинних енергоресурсів для знешкодження стічних вод і використання отриманих сухих продуктів і концентратів в промисловості. Застосування знижених температур при обробці мінералізованих вод та інших рідких відходів в даний час привертає увагу багатьох дослідників [3,19,49]. Цей метод дозволяє при відносно невеликих витратах отримувати прісну воду і осаджувати чисті солі, тобто практично вирішувати завдання комплексної переробки промислових мінералізованих вод. На принципі виморожування заснована робота установки «Крісталлекс», створеної американською фірмою «Aquasystem» на основі проведених п'ятирічних науково-дослідних і проектно-конструкторських робіт. Крім вилучення 95 % води застосування цієї установки передбачає можливість вилучення цінних мінеральних речовин. Однією з переваг в порівнянні з існуючими випарниками є невисокі енергетичні витрати і висока ступінь знесолення води. Загальне споживання електроенергії становить 50...60 кВт-год на 3,78 м³ очищеної води.

Комбінування трьох методів: зворотного осмосу, іонного обміну і виморожування для очищення стічних вод, що містять мінеральні солі, дозволило виділити солі у вигляді рапи або твердих осадів, які доцільно використовувати в інших галузях промисловості. Авторами [54] розроблено дослідно-промислову установку «Комплекс-100», призначену для комплексної переробки високо мінералізованої води однієї з вугільних шахт Донбасу в прісну воду і товарні солепродукти. Ця установка складається з трьох основних вузлів: опріснення, отримання харчової солі, концентрування залишкових розсолів. Схемою установки передбачено три стадії випарювання.

Авторами [49] для видалення надлишкових солей з шахтних вод запропоновано технологічну схему, що складається з фільтра, завантаженого модифікованим цеолітом, карбоксильним катіонітом і опріснюючого модуля. У процесі регенерації карбоксильного катіоніту, виходить регенераційний розчин, з якого видаляється продукт - карбонат магнію. Для цього через дану колону пропускають розчин наступного складу: Na_2CO_3 3,14 г-екв/л і NaHCO_3 0,59 г-екв/л. Фільтрат, є пересиченим розчином карбонату магнію, після регенерації витримують 1 год, протягом якої відбувається кристалізація малорозчинного з'єднання $\text{MgCO}_3 \times 3\text{H}_2\text{O}$ з розміром кристалів 0,3...1 мм. Природні цеоліти (алюмосилікати) є одними з найбільш перспективних сорбційних матеріалів для очищення техногенних мінералізованих розчинів в силу своїх унікальних фільтраційних і іонообмінних властивостей, а також малої вартості і великої кількості.

Авторами [55] розроблено технологію комплексної переробки шахтних вод з отриманням прісної води і мінеральних речовин. Ця технологія передбачає демінералізацію солонуватих вод з солемістом до 5 г/л. За запропонованою технологією разом з отриманням 95 % опрісненої води отримують карбонат кальцію, гідроксид магнію, сульфат натрію і хлорид натрію (у вигляді розсолу з концентрацією 300 г л або у вигляді сухої солі), гіпохлорит натрію з вмістом до 100 г/л активного хлору. Виділені з води

мінеральні речовини є товарними продуктами, придатними для використання в народному господарстві.

Основним профілактичним заходом для старих шахт Донбасу з розвиненою мережею гірничих виробок є запобігання забруднення при змішуванні в головних водовідливних ємностях великих обсягів умовно чистих вод з погашених виробок з малими обсягами забруднених вод з діючих вибоїв і утворення, тим самим, сприятливих технічних і економічних умов для очищення малих обсягів забруднених вод в підземних гірських виробках [57]. Технологічна схема зниження забрудненості шахтних вод в підземних умовах наведена на рис. 3.9.

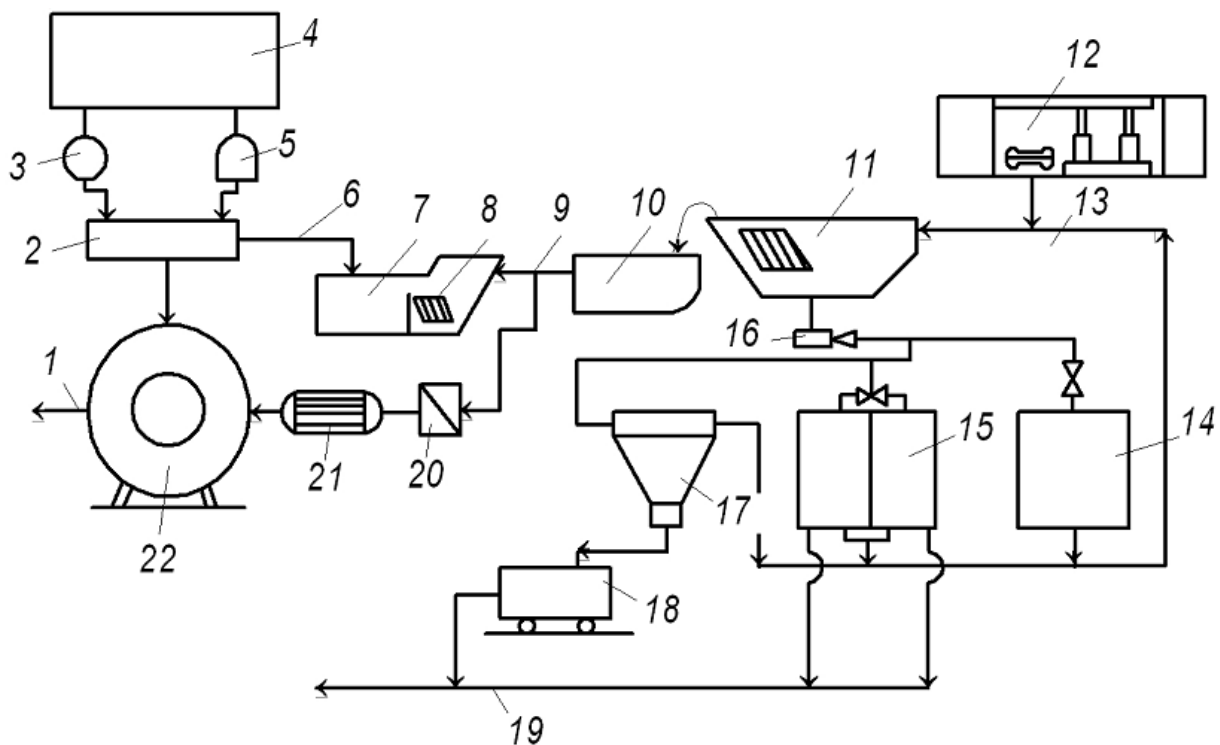


Рисунок 3.9 - Технологічна схема зменшення забрудненості шахтних вод в підземних умовах [57]

Відповідно до рис 3.9, селективний відбір умовно чистих вод проводиться з виробок простору відпрацьованих горизонтів шахти (4) в водонакопичувач (2) через свердловину (3) або погашене вироблення (5). З водонакопичувача (2) по трубопроводу (6) умовно чисті води надходять в центральний (головний) водозбірник шахти (7). Подача води в залежність від перепаду висот між

свердловиною (3) (або погашеною виробкою (5)) і водозбірником (7) може здійснюватися під дією власної маси або в напірному режимі. При напірному режимі насосні установки для відкачування умовно чистих вод з водонакопичувачів повинні працювати в безперервному автоматичному режимі (на приплив). Ємність водонакопичувачів при цьому повинна бути мінімальною і розраховуватися з умов номінальної подачі насосної установки і запобігання вільному переливу води через перемичку. У разі використання частини умовно чистих вод на підземні технологічні потреби шахти (1) використовуваний обсяг піддається знезараженню на бактеріологічному вузлі (22). Малі обсяги забруднених шахтних вод очищають в підземних умовах, перш за все, в межах діючих горизонтів з допомогою водоочисних комплексів, які працюють на принципі гравітаційного осадження ВЗВ. До складу водоочисних комплексів входять відповідно до рис 3.9 попередній відстійник (11) (рекомендується варіант відстійника з використанням похилих модулів), водозбірник (10) і гідромеханізована установка (16) для очищення відстійника від шламу. Їх доцільно споруджувати компактно, поділяя лише водозливом. Через водоочисний комплекс пропускаєть весь потік забрудненої води горизонту. Він надходить з очисних або підготовчих вибоїв (12) по водовідливним канавкам (13). Відвод проясненої шахтної води з водоочисних комплексів здійснюється в напрямку центрального (головного) водозбірника шахти (7) по трубопроводу (9). У разі використання частини прояснених вод на підземні технологічні потреби шахти 1 проводиться їх доочищення за допомогою вузла реагентної обробки води (20) і фільтрів (21), а також знезараження на бактеріологічному вузлі (22). У міру накопичення осаду в попередньому відстійнику (11) його чистять за допомогою гідромеханізованої установки (16), в якості якої можуть використовуватися гідроелеватори, ерліфти, шламові насоси, шламові конвеєри. Шлам можна розвантажувати в відпрацьований простір (14) чинного або відпрацьованого горизонту з метою безповоротного поховання або в вугільно-порідний технологічний ланцюжок шахти (19). Шлам спочатку треба зневодити. Це може здійснюватися за допомогою шламонакопичувачів (15),

куди шлам розвантажується і знаходиться деякий час, а потім подається в ланцюжок або за допомогою системи, в яку входять гідроциклони, згущувачі (17) і вагони з сітчастим днищем (бортами) (18), де шлам остаточно зневоднюється, а потім подається в ланцюжок (19). Частково прояснена вода з виробленого простору, шламонакопичувачів або згущувачів спрямовується на водоочисну станцію по водовідливним канавкам (13) у відстійник (11) [57].

Аналіз конструктивних рішень і технологічних схем, а також регламенту роботи, підземних і наземних очисних споруд, що застосовуються на шахтах дозволяє зробити висновок, що останнім притаманні такі недоліки [58]:

- складність технологічних схем і конструктивних рішень;
- необхідність використання в процесах очищення у великих кількостях дефіцитних і дорогих хімічних реагентів;
- висока вартість очисних споруд (від 6 % до 15 % вартості основних фондів);
- недостатня адаптація очисних споруд змінює умови надходження шахтних вод на очистку, зокрема, на зміну величини витрати (притоку) і кількісно-якісного складу домішок води;
- відсутність простих і надійних рішень з очищення ємностей і апаратів від залишкових продуктів очищення вод (у вигляді осадів, фільтратів тощо), регенерації наповнювачів апаратів (фільтруючого завантаження, сорбентів), а також зі складування залишкових продуктів і їх утилізації;
- відторгнення значних земельних площ під очисні спорудження.

Ці недоліки призводять до негативних наслідків:

- невідповідності проектної ефективності очисних споруд реальній (як правило, реальна ефективність значно нижче проектної);
- обмеження застосування в повному обсязі технологічних схем і споруд для очищення вод від зважених речовин (прояснення часто обмежується лише однією стадією за допомогою горизонтальних відстійників);
- майже не використовуються споруди для демінералізації шахтних вод;

- обмеження повторного застосування очищених шахтних вод на потреби підприємства;
- недоочищені шахтні води накопичуються в ставках – накопичувачах, а потім скидаються або в водні об'єкти, або на рельєф місцевості, що призводить до забруднення як поверхневих так і підземних водойм.

4 ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ ВІД МІНЕРАЛІЗОВАНИХ ШАХТНИХ ВОД ПАВЛОГРАДСЬКОГО БАСЕЙНУ

4.1 Аналіз екологічного впливу шахтних вод модельного підприємства

ПАТ «А» найбільше підприємство України, яке видобуває вугілля. Підприємство проводить видобуток вугілля (енергетичного та того, що коксується,) на території Павлоградсько-Петропавлівського вугленосного району Західного Донбасу. На підприємствах гірничодобувного комплексу України при видобутку вугілля закритим способом спостерігається значний водоприплив в шахтні виробки – в середньому 100...300 м³/год, а в окремих випадках - 1000 м³/год. Значна кількість неочищеної шахтної води лише від однієї шахти призводить до надходження у водні об'єкти щороку в середньому понад 26 тон заліза, 1300 тон сульфатів, 876 тон хлоридів, 175 тон завислих речовин. Наразі відкритою прикладною проблемою є попередження та максимальне зниження негативного впливу скиду неочищених шахтних вод у водні об'єкти. Надходження у водойми шахтної води з мінералізацією 1,6...6 г/дм³ призводить до необхідності коригування технології водопідготовки як для питного, так і технічного водопостачання об'єктів, які розташовані нижче від місця скидання шахтних вод. З метою попередження забруднення поверхневих водойм шахтну воду піддають обробці на очисних спорудах систем водовідведення вугледобувних підприємств

Зараз в Центральній частині вугільного родовища експлуатується 6 шахт (Тернівська, Павлоградська, Благодатна, ім. Героїв Космосу, Західно-Донбаська, Самарська) сумарний водовідлив яких складає 32...82 тис. м³/рік. У східній частині родовища працює 4 шахти (Ювілейна, Степова, Дніпровська, ім.Сташкова) їх водовідлив складає 82,01 тис. м³/рік. Скид шахтних вод в пруди-накопичувачі, які збудовані в балках Микуліна, Свідовок, Таранова,

Косьмінна призводить до інфільтрації вод, що акумулюються у водоносні горизонти. Кожного року в пруди-накопичувачі скидають до 24.4 млн.м³ шахтних вод при сумарному об'ємі прудів 9 млн.м³.

Середньорічні значення фізико– хімічних показників якості шахтної води вугільних підприємств ПАТ «А» наведено в табл. 4.1 ; а склад шахтної води для чотирьох основних шахт наведено в табл. 4.2. Як видно з даних, наведених в таблицях 4.1 та 4.2 склад шахтних вод для різних шахт значно відрізняється в основному за показниками жорсткості , сухого залишку, наявності хлоридів і сульфатів. Однак по діючій схемі ці шахтні води змішуються і скидаються у балки Косьмінна або Микулина, Свідовок, Таранова а з них у річку Самару (див.рис. 4.1), призводячи до значних екологічних негараздів.

Для більшості вищезазначених шахт шахтні води практично не використовуються. При цьому тільки на одній шахті Благодатна обсяг шахтних вод складає до 1700000 м³/рік. Для систем питного водопостачання на шахтах використовують підземні води Вербського водозабору (або інших) від ПРУВОКС (витрати становлять приблизно 300...700 тис. м³/рік на одну шахту). Підземна вода із власних свердловин розташованих на території промислових майданчиків шахт використовується для технологічних потреб (пилопригнічення, проведення підготовчих робіт; вантажно- розвантажувальні роботи; витрати води складають 18...250 м³/год.

Таким чином розробка комплексних методів очистки шахтних вод з метою використання їх для технічних потреб шахти, а в майбутньому для задоволення потреб у господарчо- побутовій і питній воді - є актуальною і найважливішою проблемою сьогодення.

Таблиця 4.1 - Середньорічні значення фізико-хімічних показників якості шахтної води вугільних підприємств ПАТ «А» і води р. Самара на території промислової зони Західного Донбасу.

Система каналізації	Забруднююча речовина	Концентрація забруднюючих речовин*, мг/л	Кількість забруднюючих речовин, що надходять на ОС, кг/добу	Концентрація забруднюючих речовин після очищення, мг / л	Кількість забруднюючих речовин після очищення**, кг/добу
Шахтні води	Зважені речовини	50	96	27,5	52,8
	Нафтопродукти	0,3	0,58	0,1	0,19
	Натрій, калій	10800	20736	10800	20736
	Кальцій	2000	3840	2000	3840
	Магній	900	1728	900	1728
	Хлориди	2270	4358,4	2270	4358,4
	Сульфати	500	960	500	960
	Гідрокарбонати	100	192	100	192
	Мінералізація	34000	54128	37000	71040
*Метод очищення стічних вод і склад споруд - бактеріологічний і механічний, хлораторна, нафтозбірні пристрій, відстійник шахтних вод					
**Місце скиду очищених стічних вод - груповий ставок на б.Свидівок, ефект прояснення після ставку перед скидом в р. Самару 56 мг/л					

Таблиця 4.2 – Склад шахтних вод різних шахт, що входять до складу ПАТ «А»

Перелік фізико-хімічних показників	Результати аналізу шахтної води			
	ш.Павлоградська	ш. ім.Героїв Космосу	ш. Західно-Донбаська	ш. Благодатна
1 Зважені речовини, мг / дм ³	98,80	445,00	308,20	75,1
2 Показник рН, од.рН	8,55	7,36	8,09	7,75
3 Хлор вільний, мг / дм ³	-	-	-	-
4 Жорсткість загальна, мг-екв / дм ³	36,40	161,79	116,28	45
5 Лужність загальна, мг-екв / дм ³	4,8	1,8	2,5	
6 Окиснюваність перманганатна, мг / дм	-	-	-	-
7 Сухий залишок, мг / дм ³	6703,50	43807,00	28497,00	14136,5
8 Кальцій, мг / дм ³	368,81	1621,15	1175,33	430,62
9 Магній, мг / дм ³	218,87	2983,69	700,88	285,89
10 Залізо загальне, мг / дм ³	1,2	0,97	0,4	0,89
11 Хлориди, мг / дм ³	2642,97	22314,94	15351,41	8022,7
12 Сульфати, мг / дм ³	576,36	441,88	365,03	577,17
13 Нафтопродукти, мг / дм ³	0,75	0,65	0,63	0,8

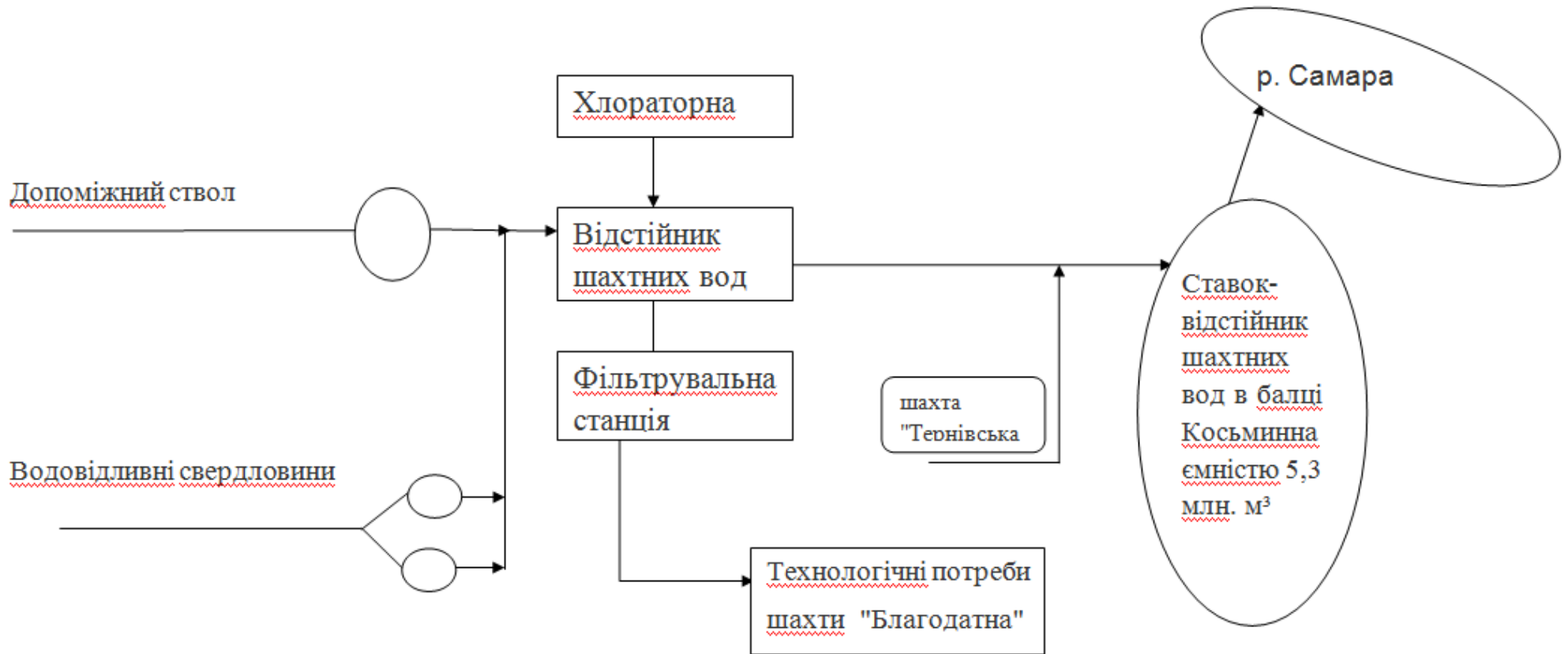


Рисунок 4.1 - Схема водовідливного комплексу шахти «Благодат» ПАТ «А»

4.2 Дослідження реагентного очищення шахтних вод з метою їх подальшого технологічного використання

В останні 10 років велика увага прикута до потенційної можливості застосуванням очищених мінералізованих шахтних вод у різноманітних господарсько-побутових або технологічних цілях. Такий підхід є екологічно виправданим, так як потенційно вирішує декілька проблем як екологічної безпеки, так і раціонального використання вод:

- зниження рівня техногенного навантаження на водні екосистеми через зменшення скиду високомінералізованих шахтних вод;
- вирішення проблеми нестачі водних ресурсів в Україні та у вуглевидобувних регіонах зокрема.

Склад шахтних вод обумовлений їх генезисом та походженням. Ці води загалом характеризується через великий вміст сульфат-іону, хлорид-іону та солей жорсткості, які складно піддіються вилученню. У таблиці 4.3 наведено середній склад шахтних вод характерний для Павлоградського регіону.

Таблиця 4.3 – Фізико-хімічний склад шахтних вод

Показник	Кількість, мг/дм ³
Завислі речовини	5–26000
Жорсткість загальна	3–90
Кальцій	15–1700
Магній	5–500
Натрій + калій	15–4000
Залізо	0–1200
Алюміній	0–500
Хлориди	1–6000
Сульфати	2–7500

На даний час опублікована значна кількість робіт [9-14, 19-25], присвячених очищенню води від сульфатів. Оскільки такі методи, як іонний обмін, зворотній осмос, дистиляція призводять до утворення високомінералізованих концентратів, що значною мірою не вирішує, а ускладнює проблему, то найбільш доцільно застосовувати реагентні методи.

На сьогодні найбільш перспективними серед реагентних методів є способи, що ґрунтуються на видаленні сульфатів у вигляді гідроксосульфоалюмінатів кальцію, при обробці води вапном і гідроксидами алюмінію. Для очищення води від сульфатів можна використовувати вапно, аморфний свіжевисаджений гідроксид алюмінію, гідроксохлорид алюмінію, алюмінат натрію в різних композиціях.

Використання натрію алюмінату в якості коагулянта для десульфатизації призводить до збільшення лужності вихідної води та вторинної мінералізації (в основному через створення натрієм гідроксоалюмінатом вільного луґу). Недоліком застосування цього алюмінієвого коагулянту є збільшення витрати ключових реагентів до 70 % (у випадку зменшення концентрації сульфатів), які вносяться з коагулянтом.

При проведенні експериментальних досліджень були використані спеціальні модельні розчини – які близькі до типових шахтних вод за своїм складом та властивостями. Модельні розчини підібрані з урахуванням складу та властивостей шахтної води з ш. Благодатна ПАТ «А». Склад вихідних модельних розчинів наведено в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Склад вихідних модельних розчинів

Показник	Природна вода	Модельний розчин 1	Модельний розчин 2
Жорсткість, мг-екв/дм ³	8,00	20	21,5
Концентрація Ca ²⁺ , мг-екв/дм ³	3,00	6,5	1,8
Лужність мг-екв/дм ³	7,50	6,5	19,0
Мінералізація г/дм ³	1,12	1,8	1,6
Концентрація SO ₄ ²⁻ , г/дм ³ (мг-екв/дм ³)	0,46 (9,58)	2,50 (52,00)	1,40 (29,0)

Показники жорсткості та лужності визначали за стандартними методиками (МВ ВДЕІ України). Вміст сульфат-іону визначали комбінованим фотометричним методом.

Результати із застосування металічного алюмінію при обробці води вапном показані в табл. 4.5 та 4.6. Відомо, що вапно та гідроксид алюмінію утворюють нерозчинні сполуки з сульфатом кальцію при рН приблизно 12. Процес відбувається в дві стадії. На першій стадії модельний розчин обробляється вапном і металічним алюмінієм. Друга стадія полягає у доведенні рН до нейтрального шляхом подачі вуглекислого газу до розчину. Ефективність очистки води від сульфатів була достатньо високою та залежала від співвідношення реагентів.

Таблиця 4.5 – Комбінований вплив вапна та металічних форм алюмінію на ефективність десульфатизації та пом'якшення проб модельних шахтних вод (при спеціальному прогріванню проб до 60 °С)

№ п/п	Доза СаО, мг-екв/дм ³	Доза металічного алюмінію мг/дм ³ по Al ₂ O ₃	SO ₄ ²⁻		Ж, мг-екв/дм ³	Лужність, мг-екв/дм ³ (ОН ⁻ ; загальна)
			мг-екв/дм ³	мг/дм ³		
1	104,0	3777,8	22,9	1100	0,7	0,0; 50,0
2	114,4	3777,8	17,1	820	0,8	0,0; 30,0
3	124,8	3777,8	16,0	770	0,8	0,0; 29,0
4	156,0	3777,8	13,1	630	0,9	0,0; 26,5

Таблиця 4.6 – Комбінований вплив вапна та металічних форм алюмінію на ефективність десульфатизації та пом'якшення проб модельних шахтних вод (нормальні умови навколишнього середовища)

№ п/п	Доза СаО, мг-екв/дм ³	Доза металічного алюмінію мг/дм ³ по Al ₂ O ₃	SO ₄ ²⁻		Ж, мг-екв/дм ³	Лужність, мг-екв/дм ³ (ОН ⁻ ; загальна)
			мг-екв/дм ³	мг/дм ³		
1	104,0	3777,8	18,3	880	0,6	0,0; 33,0
2	114,4	3777,8	10,0	480	0,7	0,0; 28,5
3	124,8	3777,8	5,7	275	0,9	0,0; 31,5
4	156,0	3777,8	4,2	200	1,0	0,0; 33,5

Таким чином, ефективність очищення шахтних вод від сульфат-іонів встановлена на високому рівні та залежить від питомого співвідношення різних реагентів (та інколи параметрів модельного розвину). Як видно з табл. 4.5 та 4.6 ефективність демінералізації збільшується з збільшенням дози вапна. При цьому доза алюмінію залишається сталою для усіх модельних розчинів. Лібші результати демонструє постійне перемішування розчину за нормальних умов навколишнього середовища.

Використання алюмінієвої фольги не дає виконати внесення до модульних розчинів хлоридів. Це є буземовною перевагою перед типовими алюмінієвими коагулянтами. Подальші дослідження встановили, що оптимальна ефективність десульфатизації у модельних розчинах досягається на рівні 29,0 мг-екв/дм³ сульфатів. Результати (для модульних розчинів з

використанням металічних форм алюмінію комбінованим вапном наведені на рис. 4.2.

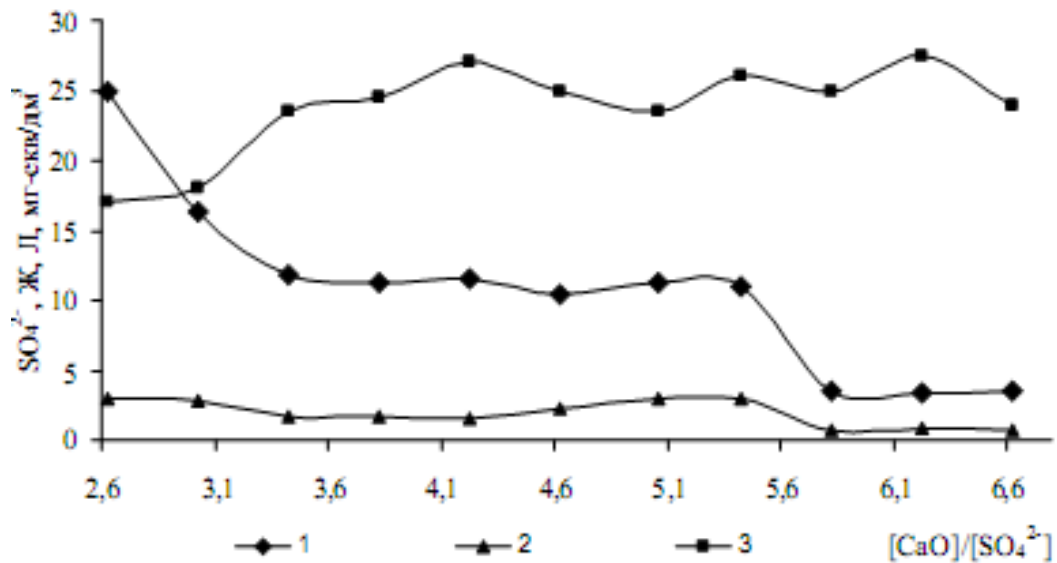


Рисунок 4.2 – Залежність концентрації сульфат-іону у очищеній воді (1), значення жорсткості (2) та показника лужності (3) від питомої витрати $[CaO]/[SO_4^{2-}]$ за умови сталої концентрації алюмінію на рівні 520 мг/дм³

Як видно з рис 4.2, ефективність вилучення сульфатів при сталій дозі металічного алюмінію загалом підвищується - на це впливає витрата вапна. У цьому випадку залишкова концентрація сульфат-іону зменшується у майже 10 разів.

Ступінь вилучення сульфатів (з використанням великих доз вапна складає 88 %, при цьому вода пом'якшується на 96 %. Слід відмітити, що у цих процесах можифікацію жорсткості води слід проводити з насиченням розчину CO_2 . Без використання вуглекислого газу жорсткість води перевищує значення 7,5...25,0 мг-екв/дм³. У випадку продувки вуглекислим газом – зменшується до 0,7. Соріш за все це обумовлено високим залишковим вмістом катрію карбонату та застосуванням натрію сульфату під час виготовлення модельного розчину . У реальних умовах вміст іонів натрію незначний.

Відповідно, застосування вапна спільно з металевим алюмінієм збільшує ефективність демінералізації. Це дозволить в окремих випадках очистити шахтну воду від сполук сульфатів-іонів навіть при високих значеннях жорсткості (на рівні 0,7–2 мг-екв/дм³).

4.3 Рекомендації щодо вдосконалення очистки шахтних вод ПАТ «А» з метою захисту довкілля від забруднення

Одним з найпростіших технологічних рішень щодо зменшення впливу шахтних вод ш. Благодатна на навколишнє природне середовище - є модернізація діючого горизонтального відстійника. Рекомендовано встановлення в корпус відстійника тонкошарового модуля, який без зміни габаритних розмірів відстійника дозволить збільшити його продуктивність на 50 % та зменшити вміст зважених речовин в скидних шахтних водах з 36 мг/л до 18.5 мг/л. При цьому також було б доцільно перед скидом в балку Свідовок організувати блок біоінженерних очисних споруд (БІС) аналогічний до існуючого у балці Косьмінна.

Для очистки шахтних вод з метою їх повторного використання нами рекомендована технологічна схема, яка наведена на рис. 3.4 (див. розділ 3). Для рівномірної роботи очисних споруд припускаємо на початку схеми резервуари-усереднювачі 1, з яких вода на очищення подається насосами 2 в рівномірному режимі. В усереднювачі не повинні випадати грубі суспензії (щоб уникнути його замулювання), тому частина води, що відкачується, спрямовується на взмучування осадів. Для цього по довжині усереднювача на дні викладаються дірчасті труби, в які підводиться вода від насосів. У цих спорудах відбувається також усереднення якості шахтної води, що відкачується на поверхню (зокрема вміст завислих речовин) - яка може змінюватися протягом зміни, доби. Оскільки 10 % зважених речовин представлені грубодисперсними вугільними частинками з розміром більше 1 мм, для їх видалення передбачено відкриті гідроциклони. Економічна ефективність

впровадження цих технологічних рішень [48] з модернізації водного господарства шахти складає більше 1; собівартість очищених шахтних вод складає 2,14 грн/м³; прибуток від продажу води – 3,4 млн. грн тис/рік. В результаті реалізації запропонованої схеми очищення буде отримано екологічний ефект, який полягає в зниженні скидання забруднюючих речовин в водні об'єкти. Зокрема використання запропонованої схеми очищення шахтних вод із застосуванням тонкошарових відстійників, гідроциклонів і прояснювачів ОПІ дозволить зменшити скид зважених речовин у річку Самара на 101,62 т/рік.

Для одержання води питної якості з шахтних вод шахти Благодатна мною рекомендовано застосувати технологічну схему наведену на рис. 4.3. В цій схемі разом з традиційними реагентними методами концентрування солей з розчинів застосовують сучасні мембранні і сорбційні методи. Рекомендовано застосування зворотно осмотичної установки продуктивністю 15м³/год, що забезпечить потреби шахти у воді питної якості. Крім того застосування цієї технологічної схеми дозволить використовувати очищену шахтну воду для потреб паросилового господарства шахти (витрата води 500м³/доба). Наведена схема є практично безвідходною, максимальна продуктивність застосованого обладнання складає 500м³/год [53].

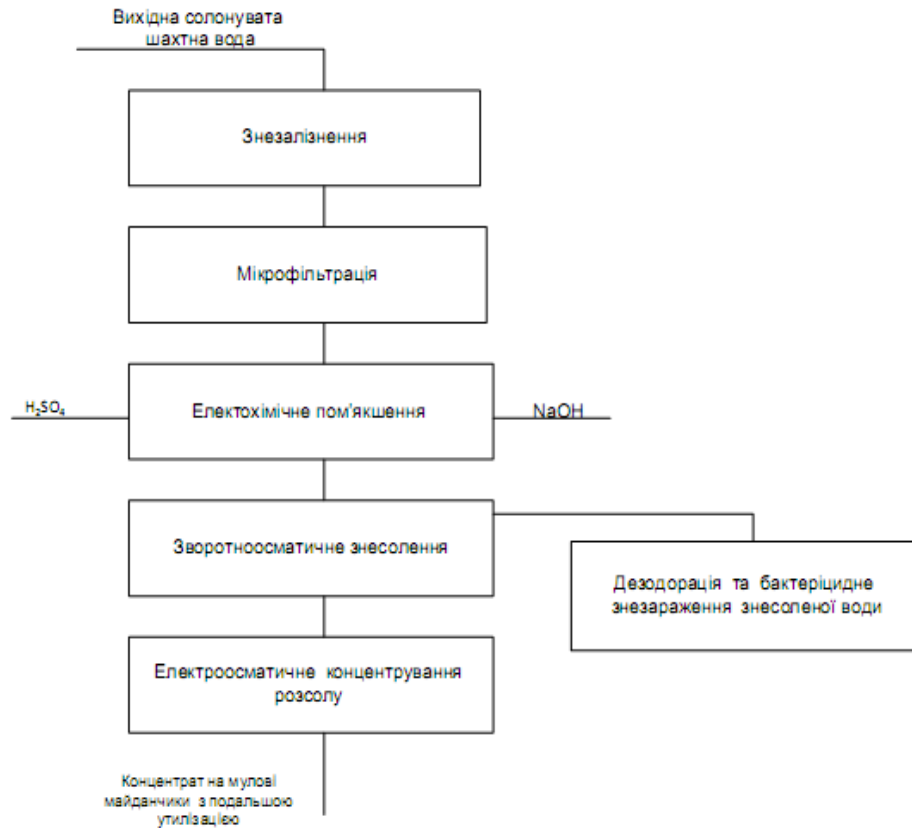


Рисунок 4.3 – Схема очистки шахтної води шахти Благодат для потреб питного водопостачання.

4.4 Визначення ефективності запропонованих технологічних схем очищення шахтних вод

Чистий економічний ефект природоохоронних заходів визначається з метою техніко-економічного обґрунтування вибору найкращих варіантів, які різняться між собою за впливом на навколишнє середовище, а також за впливом на виробничі результати галузей та суб'єктів господарської діяльності, як тих, що здійснюють ці заходи, так і суміжних з ними. Визначення чистого економічного ефекту природоохоронних заходів ґрунтується на порівнянні витрат на їх здійснення з досягнутим завдяки цим заходам економічним результатом [55]. Економічний результат природоохоронних заходів (P) найчастіше визначається за величиною економічних збитків ($U_{пр}$), яких завдяки цим заходам вдалося уникнути, та величиною додаткового доходу (

ΔD) від повторного використання знешкоджених речовин або іншої продукції у випадку, коли природоохоронні заходи мають багатоцільову спрямованість, тобто: $P = Y_{\text{пр}} + \Delta D$

Річні витрати на здійснення природоохоронних заходів визначаються за формулою:

$$Z = C + E_n \cdot K$$

де C - експлуатаційні витрати;

E_n - коефіцієнт приведення одноразових вкладень до одного року;

K - одноразові (капітальні) вкладення.

У цьому випадку економічний ефект складе:

$$E_n = Y_{\text{пр}} - Z,$$

якщо $\Delta D = 0$.

Визначемо економічну ефективність вдосконалення технологічної схеми очистки шахтних вод ш. Благодатна шляхом реконструкції діючого горизонтального відстійника в тонкошаровий.

Як було наведено в п. 4.2 при здійсненні реконструкції концентрація зважених речовин, що скидаються в б. Свідовок зменшується з 36 мг/л до 18,5 мг/л . Обсяг скиду 1.7 млн. м³/рік. Тобто маса затриманих речовин складе:

$$M = m \cdot Q = 17,5 \times 1700000 \times 10^{-6} = 29,75 \text{ т.}$$

Ставка податку за скид зважених речовин з стічними водами складає 37,09 грн/т. Таким чином запобіжний збиток за зваженими речовинами становить:

$$Y_{\text{пр}} = M \times H = 370,9 \times 29,75 = 110\,343 \text{ грн.}$$

Капітальні витрати на встановлення тонкошарового модулю в діючий горизонтальний відстійник становлять 2 200 000 грн.

Нормативний коефіцієнт приведення капітальних витрат до одного року складає $E_n = 0,15$. Експлуатаційні витрати не збільшуються порівняно з діючою

технологічною схемою. Тому приймаємо $C = 0$. Річні витрати на здійснення природоохоронних заходів складуть :

$$Z = 0 + 2200000 \times 0,15 = 330\ 000 \text{ грн.}$$

Економічна ефективність рекомендованої технології буде дорівнювати:

$$E_{\text{п}} = Y_{\text{пр}} - Z = 110\ 343 - 330\ 000 = -219\ 657 \text{ грн.}$$

Оскільки результат виявився від'ємним, таке будівництво не є рентабельним. Розрахуємо за який період проведена реконструкція окупиться :

$$T = Z / Y_{\text{пр}} = 330000 / 1103,43 = 2,99 \text{ р.}$$

Отже проведена реконструкція може окупитися за 3 роки.

ВИСНОВКИ

У ході виконання магістерської роботи було проведено оцінку якості шахтних вод, що скидаються у водні басени Придніпровського регіону. Встановлено, що зараз в Центральній частині вугільного родовища експлуатується 6 шахт (Тернівська, Павлоградська, Благодатна, ім. Героїв Космосу, Західно-Донбаська, Самарська) сумарний водовідлив яких складає до 32...82 тис. м³/рік. У східній частині родовища працює 4 шахти (Ювілейна, Степова, Дніпровська, ім.Сташкова) їх водовідлив складає до 82,01 тис. м³/рік.

Скид шахтних вод в пруди-накопичувачі, які збудовані в балках Микуліна, Свідовок, Таранова, Косьмінна призводить до інфільтрації вод, що акумулюються у водоносні горизонти. Всього в пруди-накопичувачі щодо року скидається до 24,4 млн.м³ шахтних вод при сумарному об'ємі прудів 9 млн.м³. При цьому кількість неочищеної шахтної води лише від однієї шахти призводить до надходження у водні об'єкти щороку в середньому до 26 тон заліза, 1300 тон сульфатів, 876 тон хлоридів, 175 тон завислих речовин.

Проведено узагальнення досвіду застосування сучасних методів і комплексних технологічних схем очищення шахтних вод.

Визначено методологію та етапність при виборі технології очистки шахтних вод.

Розроблено пропозицій щодо застосування комплексних схем очищення шахтних вод ПАТ «А» з метою одержання води для технологічних та побутових потреб підприємств. Рекомендовано для зменшення скиду зважених речовин з шахтними водами в балку Свідовок встановлення в корпус діючого відстійника тонкошарового модуля, який без зміни габаритних розмірів відстійника дозволить збільшити його продуктивність на 50 % та зменшити вміст зважених речовин в скидних шахтних водах з 36 мг/л до 18.5 мг/л. При цьому також було б доцільно перед скидом в балку Свідовок організувати

блок біоінженерних очисних споруд аналогічний до існуючого у балці Космінна.

Для отримання технічної води для пилепригнічення та інших власних потреб шахти мною рекомендовано застосування технологічної схеми з гідроциклонами, тонкошаровими відстійниками і прояснювачами ОТІ.

Для одержання води питної якості нами рекомендовано застосування комплексної технологічної схеми з зворотньоосматичним модулем.

У роботі було розглянуто важливу проблему поводження з високомінералізованими шахтними водами. У 3 та 4 розділах наведені основні способи їх очищення від сульфатів. Проведено аналіз результатів експерименту використання вапна або металічного алюмінію для цілей де мінералізації шахтних вод. Встановлено, що при використанні металічного алюмінію та вапна досить суттєво зменшується концентрація сульфат-іонів при тому, що інші параметри залишаються у межах допустимих норм.

Результати експериментальних та теоретичних досліджень можуть бути використані широким колом спеціалістів у галузі водопостачання та водовідведення, екологічної безпеки, раціонального природокористування.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Державна цільова економічна програма реформування вугільної промисловості на 2015-2020 роки. Затверджено ПКМ України 07.05.2015р. за №141.
2. Долина, Л.Ф. Сточные воды предприятий горной промышленности и методы их очистки. – Днепропетровск: ДНУЗТ, 2000 – 42 с.
3. Монгайт, И.Л. Очистка шахтных вод / И.Л. Монгайт, К.Д. Текиниди, Г.И. Николадзе - М.: Недра, 1978. - 174 с.
4. Назарова, Л.Н. Гидрохимическая характеристика и условия формирования шахтных вод восточного Донбасса: Автореф. дисс... канд. хим. наук: 081 / Гидрохимический ин-т. - Новочеркасск, 1969. - 28 с.
5. Матлак, Е.С. Использование шахтных вод в техническом, хозяйственно-бытовом водоснабжении - новый подход к решению проблемы дефицита водных ресурсов Донбасса [электронный ресурс] / Е.С. Матлак, В.Ю. Романова // Режим доступа-<http://www.nich.dgtu.donetsk.ua/>.
6. Охотник К.К. Екологічна оптимізація систем скидання шахтних вод до річкової мережі (на прикладі басейну р. Самари): Автореф. дис. к.т.н.: 21.06.01 / Держ. еколог, ін.-т. - К., 2008. - 20 с
7. Резников, Ю.Н. Использование шахтных вод Донбасса для технического и хозяйственно-питьевого водоснабжения / Ю. Н. Резников, Е. Н. Миронов // Вода і водоочисні технології. 2007. №1. - С. 27-32.
8. Алекин, О.А. Основы гидрохимии. -Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 208 с.
9. Кульский, Л.А. Теоретические основы и технология кондиционирования воды. - К.: Наук, думка, 1980. - 564 с.
10. Резников, Ю.Н. Шахтные и карьерные воды. Кондиционирование, использование, обессоливание и комплексная переработка / Ю.Н. Резников, В.Г. Львов, В.В. Кульченко. - Донецк: Каштан, 2003. -242 с.

11. Абузьяров, И.Н. Состояние водных ресурсов Донецкой области // Вода і водоочисні технології. - 1998. №2 (5). - С. 48-50.
12. Алипов, А.Н. Водообеспечение населения, промышленности и сельского хозяйства Донбасса/ А.Н. Алипов, Д.Д. Мягкий, Э.В. Янковская // Вода і водоочисні технології. - 2007. №4. - С. 17-22.
13. Павленко, В.В. Водні ресурси Донеччини // Аква-Україна - 2006: Матер, наук.-практ.конф VI Міжнар. водного форуму (19-21 вересня 2006 р.). - К., 2006. - С. 85-88.
14. Бычин, Н.А. Исследование электролитических методов очистки шахтных вод (на примере Донецкого угольного бассейна): Автореф. дис. к.т.н.: 05.17.01 / Ин-т коллоидной химии и химии воды. - К., 1973. - 24 с.
15. Казенне підприємство «Південукргеологія» [електронний ресурс] // Режим доступу -<http://who-is-who.com.Ua/bookmaket/pek2008/6/119.html>.
16. Довідка про стан виконання водного законодавства на підприємствах вугільної промисловості Донецької області (станом на 17.05.2016).
- 17.Справочник по свойствам, методам анализа и очистки воды / Л.А. Кульский, И.Т. Гороновский, А.М. Кагановский , М.А. Шевченко: В 2-х ч. – К: Наук. думка, 1980. - 1120 с.
18. Повх, В.Н. Высшие водные растения как фактор биологической очистки шахтных сточных вод: Автореф. дисс... к.б.н.: 03.00.16 / ДОТКЗГУ. - Днепропетровск, 1986. - 14 с.
19. Пилипенко, А.Т. Комплексная переработка шахтных вод / А.Т. Пилипенко, И.Т. Гроновский, В.Д. Гребенюк и др. - К.: Техніка, 1985. - 184 с.
20. Евграшкина, Г.П. Закономерности изменения гидрогеологических условий в зоне влияния прудов-накопителей сбросных шахтных вод в Западном Донбассе / Г.П. Евграшкина, Н.Н. Харитонов // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. - 2007 р. №1. - С. 16-20.
21. Михальська Є.В., Чудаєва Г.В. Моніторинг вмісту ртуті у шахтних водах міста Доненька [електронний ресурс] // Режим доступу <http://masters.donntu.edu.ua/2005/fgtu/chuchelok/diss/index.htm>.

22. Соболева, И.М. Шахтные воды северо-восточной части Донбасса, их очистка и использование в народном хозяйстве: Автореф. дисс. д.т.н. / КИСИ. - К., 1966. - 36 с.

23. Кривощек, В.И. Тонкослойная гидросепарация минеральных зерен [Текст] // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2000. Вип. 8(49). – С. 86-90.

24. Кривощек, В.И. Предпосылки эффективной работы гидроциклона [Текст] // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 1999. Вип. 5(46). – С. 72-77.

25. Кривощек, В.И. К обоснованию структуры потока для послыной перечистки в полупротивоточном гидросепараторе [Текст] // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2011. Вип. 47(88). – С. 83-105.

26. Кривощек, В.И. Результаты асимметричного гидроциклонирования угольного шлама [Текст] // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2010. Вип. 40(81). – С. 80-87.

27. Кривощек, В.И. К определению гидродинамических параметров приосевого потока жидкости при гидроциклонировании шахтных вод [Текст] / В.И. Кривощек, В.И. Самуся, И.Ю. Хиврич // Наук. Вісник НГУ. – 2004. №7. – С. 45-48.

28. Крючков, А.И. Утилизация технической воды подземных горных предприятий / А.И. Крючков, Н.И. Сергиенко, Н.И. Жукова // Геотехнологія, екологія та промислова безпека - 2009, №1. - С 541-546.

29. Зубков, Р.М. Энергетические проблемы деминерализации шахтных вод / Р.М. Зубков, Г.В. Аверин // Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів. 36. доп. I Міжнар. наук. конф. аспір. та студ. - Донецьк: ДонНТУ, ДонНУ, 2002. Т.1. - С 90-91.

30. Аверин, Г.В. О новых направлениях в техническом решении проблемы деминерализации соленых вод вымораживанием / Г.В. Аверин, Е.С. Матлак, Л.Г. Голубева // Проблемы экологии. - 1999. №2. - С. 63-68.

31. Слесаренко, Н.В. Дистилляционные опреснительные установки. - М.: Энергия, 1980. - 243 с.
32. Конспект лекцій з дисципліни «Спецкурс за тематикою магістерської роботи» (для студентів 5 курсу денної форми навчання спеціальності 8.092601 – «Водопостачання і водовідведення») / Авт: К.Б.Сорокіна. – Харків: ХНАМГ, 2008. – 143 с.
33. Ветошкин, А. Г. Технология защиты окружающей среды (теоретические основы) : учебное пособие [Текст] /А. Г. Ветошкин, К. Р. Таранцева ; [под ред. д. техн. наук, проф., акад. МАНЭБ и АТП РФ А. Г. Ветошкина. –Пенза: изд -во Пенз. технол. ин-та, 2004. – 312 с.
34. Духнин, С.С Электрохимия мембран и обратный осмос / С.С. Духнин, М.П. Сидорова, А.Э. Ярошук - Л.: Химия, 1991. - 188 с.
35. Прокопов, В.О. Гігієнічна оцінка новітньої технології підготовки питної води з поверхневої водойми / В.О. Прокопов, Н.В. Чирська, В.М. Шевцов, В.С. Лисюк // Гігієна населених місць. - К., 2007. Вип. 50. - С 44-49.
36. Кабаков, А.С Альтернативные источники питьевой воды - подземные воды шахт / А.С. Кабаков, А.С. Язев // Вода і водоочисні технологи - 2007. №2 (22). - С.13-21.
37. СОУ 10.1.00174125.005-2004. Використання шахтних вод для господарсько-питного водопостачання. Методичні вказівки. - К.: Мінпаливенерго України, 2005. - 31 с.
38. Фейзиев, Г.К. Высокоэффективные методы умягчения, опреснения и обессоливания воды – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 187 с.
39. Горова, А.І. Біотехнології в екології: навч. посібник / А.І. Горова, С.М. Лисицька, А.В. Павличенко, Т.В. Скворцова. – Д.: Національний гірничий університет, 2012. – 184 с.
40. Захарченко, М.А. Внедрение элементов управляемости в природные процессы самоочистки шахтных вод / М.А. Захарченко, М.В. Бабаев, О. Улицкий // Коммунальное хозяйство городов. – К.: Техника, ХГАКХ, вып.27, 2001. - С.137-141.

41. Запольский, А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води - К.:Вища школа, 2005 – 612 с.
42. Запольский, А.К. Фізико- хімічні основи очищення стічних вод. - К.: Лібра, 2000. - 486с.
43. Гребенюк, В.Д. Электродиализ. - М.: Химия,1980 – 180 с.
44. Кульский, Л.А., Опреснение воды - К.: Наукова думка, 1980. - 96с.
45. ДСан ПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної призначені для споживання людиною» - К.: 2010. – 43 с.
46. Кагановський, А.М. Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении / А.М. Кагановський, А. Г. Клименко, Т.М.Левченко - М.: Химия. 1983 – 286 с.
47. Проектування очисних споруд шахтних вод: навчальний посібник / Костенко В.К., Омельченко М.П., Бордюгов Л.Г., Коваленко Л.І., Зав'ялова О.Л., Колеснікова В.В. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2013. – 61 с.
48. Поводження з шахтними водами: навч. посіб. для вищ. навч. закл./ В.К. Костенко, А.Г. Мнухін, М.П.Омельченко, Матлак Є.С., Зав'ялова О.Л., Колеснікова В.В. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2013. – 212 с.
49. Гребенкин, С.С. Физико-химические основы технологии деминерализации шахтных вод.– Донецк: ВИК,2008. – 287 с.
50. Россінський, В. М. Технологія фізико-хімічного очищення шахтних вод вугледобувних підприємств: Автореф. дисс к.т.н.. 05.17.21 / КПІ - Київ, 2013. – 23 с.
51. Хамизов, Р.Х Переработка природных и техногенных вод с использованием модифицированных цеолитов / Р.Х Хамизов., Э.Г. Новицкий, Л.И. Миронова // Техника машиностроения. – М., 1996. №4. – С.112-118.
52. Шалов В.М, Агапов А.Е., Каплунов Ю.В., Новитный А.М. Научно-технические разработки по охране водных ресурсов и очистке сточных вод в угольной промышленности. Обзор.- М.: 2003 – 116 с.

53. К вопросу использования шахтных вод в качестве источника водоснабжения в углепромышленных районах / Гусев Н.Н. - Вып. Научных трудов МГГУ, 2007. - С.42-56.

54. Опытнo-промышленная установка комплексной переработки соленых шахтных вод на дистиллят и солепродукты // Чернозубова Г.А., Филлипова Г.В.// Вопросы атомной техники – 1977, Вып.210. – С. 23-29.

55. Слесаренко, В.Н. Дистиляционные опреснительные установки. - М.: Энергия. 1980 – 248 с.

56. Каталог компании ГОРМАШЭКСПОРТ. Режим доступа: <http://gmexp.ru/>.

57. Матлак, Е.С. О нетрадиционном подходе к решению проблемы снижения загрязненности шахтных вод взвешенными веществами на основе концепции устойчивого эколого-экономического развития [Текст] / Е.С. Матлак, А.Ю. Явруян, В.М. Моргунов и др. // Известия Донецкого горного института. – 2003. №2. – С. 23-28.

58. Мельник, Л. Г. Економіка природокористування і еколого-економічні проблеми // Механізм регулювання економіки / Л. Г. Мельник, І. Б. Дегтярьова.– К: Наук. думка, 2012. – 245 с.

59. Сабадаш, В. В. Урегулирование экологических конфликтов: экономико-организационные предпосылки «зеленой» экономики // Механізм регулювання економіки / В. В. Сабадаш, С. Н. Бобылёв, Л. Г. Мельник.– К: Наук. думка, 2012. – 236 с.