

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Навчально-науковий інститут природокористування
Кафедра екології та технологій захисту навколишнього середовища

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеня магістра

студента Полтавця Віталія Ігоровича
(ПІБ)

академічної групи 183М-20-1
(шифр)

спеціальності – 183 «Технології захисту навколишнього середовища»
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою – Технології захисту навколишнього
(офіційна назва)
середовища

на тему Удосконалення технології очищення шахтних вод в умовах шахти
(назва за наказом ректора)
«Павлоградська» Західного Донбасу

| Керівники | Прізвище, ініціали | Оцінка | Підпис |
|------------------------|--------------------|--------|--------|
| кваліфікаційної роботи | Кулікова Д.В. | | |
| розділів: | | | |
| Теоретичний | Кулікова Д.В. | | |
| Дослідницький | Кулікова Д.В. | | |
| Технологічний | Кулікова Д.В. | | |
| Охорона праці | Чеберячко Ю.І. | | |
| Економічний | Павличенко А.В. | | |
| Рецензент | | | |
| Нормоконтролер | Ґрунтова В.Ю. | | |

Дніпро
2022

**Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»**

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувачка кафедри екології та
технологій захисту

навколишнього середовища

_____ Борисовська О.О.

(підпис) (прізвище, ініціали)

« ____ » _____ 20__ року

**ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу ступеня магістра**

студенту Полтавцю Віталію Ігоровичу академічної групи 183М-20-1
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності – 183 «Технології захисту навколишнього середовища»
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою – Технології захисту навколишнього середовища

на тему Удосконалення технології очищення шахтних вод в умовах шахти «Павлоградська» Західного Донбасу,

затверджену наказом ректора НТУ «ДП» від 08.12.2021 р. №1032-с

| Розділ | Зміст | Термін виконання |
|---------------|---|--------------------------|
| Теоретичний | Ознайомитися з діяльністю шахти «Павлоградська» ВСП «ШУ Павлоградське»; надати характеристику шахтних вод та оцінити екологічний стан території, внаслідок скиду забруднених шахтних вод; проаналізувати існуючі способи та технологічні схеми зниження рівня екологічної небезпеки забруднених шахтних вод | 11.10.2021 31.10.2021 |
| Дослідницький | Дослідити основні показники та параметри, що враховуються при проектуванні очисних споруд та обладнання для зниження вмісту завислих речовин у шахтній воді | 01.11.2021 21.11.2021 |
| Технологічний | Розробити та провести моделювання процесу освітлення шахтних вод за вдосконаленою технологією очищення для умов водовідливу діючого вугледобувного підприємства | 22.11.2021 26.12.2021 |
| Охорона праці | Проаналізувати заходи з охорони праці та безпеки при розробці вугільних родовищ підземним способом | 27.12.2021 05.01.2022 |
| Економічний | Виконати економічні розрахунки ефективності впровадження запропонованого технічного рішення з удосконалення технології очищення шахтних вод від завислих речовин | 06.01.2022 16.01.2022 |

Завдання видано

_____ (підпис керівника)

_____ (прізвище, ініціали)

Дата видачі 11.10.2021

Дата подання до екзаменаційної комісії _____

Прийнято до виконання

_____ (підпис студента)

_____ (прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 115 с., 10 рис., 14 табл., 5 додатків, 53 літературних джерел.

Мета роботи: удосконалення технологічної схеми водовідведення на прикладі діючого вугледобувного підприємства Західного Донбасу за рахунок впровадження горизонтального відстійника модернізованої конструкції та встановлення на завершальному етапі очищення швидких відкритих зернистих фільтрів з низхідним рухом потоку рідини.

У вступі обґрунтовано актуальність визначення негативного впливу скиду недостатньо очищених шахтних вод вугледобувних підприємств у прилеглі поверхневі водойми та сформульовані задачі кваліфікаційної роботи.

В теоретичному розділі наведено інформацію щодо діяльності шахти «Павлоградська» ВСП «ШУ Павлоградське». Надано характеристику шахтних вод та оцінку екологічного стану території, внаслідок скиду забрудненої шахтної води. Проаналізовано існуючі способи та технологічні схеми зниження рівня екологічної небезпеки забруднених шахтних вод.

В дослідницькому розділі проаналізовано основні показники та параметри, що враховуються при проектуванні очисних споруд та обладнання для зниження вмісту завислих речовин у шахтній воді.

В технологічному розділі розроблено та проведено моделювання процесу освітлення шахтних вод за вдосконаленою технологією очищення для умов водовідливу діючого вугледобувного підприємства.

У розділі «Охорона праці» проаналізовано заходи з охорони праці та безпеки при розробці вугільних родовищ підземним способом.

В економічному розділі виконано економічні розрахунки ефективності впровадження запропонованого технічного рішення з удосконалення технології очищення шахтних вод від завислих речовин.

У висновках наведено основні результати виконаної роботи.

**ШАХТНІ ВОДИ, ЗАВИСЛІ РЕЧОВИНИ, СТАВКИ-ОСВІТЛЮВАЧІ, ФІЛЬТРИ
З НИЗХІДНИМ ПОТОКОМ РІДИНИ, НОРМАТИВИ ЯКОСТІ ВОДОЙМ**

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| Вступ | 7 |
| Розділ 1 Аналіз рівня екологічної небезпеки скиду забруднених шахтних вод та існуючі засоби її зниження | 9 |
| 1.1 Характеристика виробництва | 9 |
| 1.2 Характеристика шахтних вод | 16 |
| 1.2.1 Припливи шахтних вод | 16 |
| 1.2.2 Фізико-хімічний склад шахтних вод | 18 |
| 1.3 Оцінка екологічного стану території, внаслідок скиду забрудненої шахтної води | 23 |
| 1.4 Аналіз існуючих способів і технологічних схем зниження рівня екологічної небезпеки скиду забруднених шахтних вод | 26 |
| 1.4.1 Способи очищення шахтних вод | 26 |
| 1.4.2 Технологічні схеми очищення шахтних вод | 33 |
| Розділ 2 Дослідження основних показників та параметрів, що враховуються при проектуванні очисних споруд та обладнання для зниження вмісту завислих речовин у шахтній воді | 40 |
| 2.1 Аналіз механізму впливу забрудненої шахтної води на навколишнє середовище на прикладі шахти «Павлоградська» Західного Донбасу | 40 |
| 2.1.1 Характеристика стану поверхневих і підземних вод району дослідження | 40 |
| 2.1.2 Водоспоживання та водовідведення | 43 |
| 2.1.3 Якісно-кількісна характеристика стічних вод шахти «Павлоградська» ВСП «Шахтоуправління Павлоградське» | 47 |
| 2.2 Вимоги, що пред'являються до якості шахтних вод при їхньому використанні та скиді у водойми | 48 |
| 2.2.1 Вимоги, що пред'являються до якості шахтних вод при їхньому використанні | 48 |
| 2.2.2 Вимоги, що пред'являються до якості шахтних вод при скиді у водні об'єкти | 51 |

| | |
|--|----|
| 2.3 Вибір технології очищення шахтних вод та проектування очисних споруд | 54 |
| 3 Розробка та моделювання процесу освітлення шахтних вод за вдосконаленою технологією очищення для умов водовідливу діючого вугледобувного підприємства | 61 |
| 3.1 Обґрунтування технічного рішення щодо підвищення ефективності очищення шахтної води від завислих речовин | 61 |
| 3.2 Методика визначення раціональних параметрів процесу освітлення шахтної води після реалізації запропонованого способу її очищення | 67 |
| 3.3 Результати моделювання процесу освітлення шахтних вод за вдосконаленою технологією очищення для умов водовідливу шахти «Павлоградська» ВСП «Шахтоуправління Павлоградське» | 73 |
| Розділ 4 Охорона праці при розробці вугільних родовищ підземним способом | 82 |
| 4.1 Протиаварійний захист | 82 |
| 4.2 Вимоги, що пред'являються до персоналу шахт | 84 |
| 4.3 Загальні обов'язки працівників шахт | 86 |
| 4.4 Навчання з охорони праці на вугледобувних підприємствах | 90 |
| 5 Розрахунок ефективності впровадження запропонованого технічного рішення з удосконалення технології очищення шахтних вод від завислих речовин | 92 |
| 5.1 Розрахунок капітальних витрат у будівництво основних фондів при впровадженні запропонованої технології водовідведення шахтних вод | 92 |
| 5.2 Розрахунок річних експлуатаційних витрат на обслуговування та утримання основних фондів при впровадженні запропонованої технології водовідведення шахтних вод | 93 |
| 5.3 Розрахунок наведених втрат на впровадження запропонованої технології водовідведення шахтних вод | 97 |
| 5.4 Розрахунок екологічного податку за скид забруднюючих речовин зі стічними водами у водні об'єкти | 97 |

| | |
|--|-----|
| 5.5 Розрахунок екологічного та економічного ефекту від впровадження запропонованої технології водовідведення шахтних вод | 98 |
| Висновки..... | 100 |
| Перелік посилань..... | 102 |
| Додаток А. Матеріали кваліфікаційної роботи допоміжного характеру | 107 |
| Додаток Б. Відгук керівника кваліфікаційної роботи | 112 |
| Додаток В. Зовнішня рецензія | 113 |
| Додаток Г. Довідка про результати перевірки тексту кваліфікаційної роботи магістра на присутність запозичень (плагіату) | 114 |
| Додаток Д. Відгуки керівника розділу з охорони праці та нормоконтрлера | 115 |

ВСТУП

Актуальність теми. Інтенсивна експлуатація мінеральних і сировинних ресурсів призвела до того, що на території розташування гірничодобувних підприємств зазнали істотних змін і трансформації природні ландшафти, ґрунти, поверхневі водойми, підземні води, внаслідок чого нерідко в цих компонентах навколишнього середовища спостерігаються незворотні процеси.

Розробка родовищ корисних копалин пов'язана з безперервним відкачуванням шахтних і кар'єрних вод з їх подальшим скидом у відстійники, ставки-накопичувачі, балки, яри, природні пониження та прилеглі водотоки й водойми. Безпосередній скид шахтних і кар'єрних вод у природні пониження та поверхневі водойми завдає значної шкоди навколишньому середовищу, що суттєво знижує рівень його екологічної безпеки.

Відносно висока забрудненість шахтних вод пояснюється багатьма причинами. По-перше, багато шахт мають недостатні обсяги горизонтальних відстійників і зовсім не мають регулюючих ємностей. По-друге, велику кількість шахтних очисних споруд побудовано з порушенням основних вимог санітарних норм і правил. Через це вони не забезпечують належної якості очищення шахтної води. По-третє, ставки-накопичувачі шахтних вод не завжди ефективно очищують воду від забруднюючих речовин та патогенної мікрофлори, і самі можуть бути фактором ризику вторинного забруднення і поширення збудників інфекції.

В умовах недостатності природних водних об'єктів в гірничодобувних регіонах, населення прилеглих до шахт районів найчастіше використовують ці ставки, як для поливу сільськогосподарських угідь, так і в рекреаційних цілях (відпочинку, купання, риболовлі). Тому зниження рівня забруднення води в них до нормативних значень набуває особливої актуальності.

У зв'язку з вищевикладеним потребує вирішення актуальна науково-практична задача, що полягає в удосконаленні технології очистки шахтних вод як в умовах окремої вугільної шахти, так і вугледобувної галузі в цілому.

Метою роботи є удосконалення технологічної схеми водовідведення на прикладі діючого вугледобувного підприємства Західного Донбасу за рахунок впровадження горизонтального відстійника модернізованої конструкції та встановлення на завершальному етапі очищення швидких відкритих зернистих фільтрів з низхідним рухом потоку рідини.

Для досягнення зазначеної мети були поставлені такі задачі:

1. Ознайомитися з діяльністю шахти «Павлоградська» ВСП «Шахтоуправління Павлоградське» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля». Надати характеристику шахтних вод та оцінити екологічний стан території, внаслідок скиду забрудненої шахтної води. Проаналізувати існуючі способи та технологічні схеми зниження рівня екологічної небезпеки забруднених шахтних вод.

2. Дослідити основні показники та параметри, що враховуються при проектуванні очисних споруд та обладнання для зниження вмісту завислих речовин у шахтній воді.

3. Розробити та провести моделювання процесу освітлення шахтних вод за вдосконаленою технологією очищення для умов водовідливу діючого вугледобувного підприємства.

4. Проаналізувати заходи з охорони праці та безпеки при розробці вугільних родовищ підземним способом.

5. Виконати економічні розрахунки ефективності впровадження запропонованого технічного рішення з удосконалення технології очищення шахтних вод від завислих речовин.

Апробація роботи проводилася на IV Міжнародній науково-технічній конференції «Водопостачання і водовідведення: проектування, будівництво, експлуатація, моніторинг». За результатами доповіді надруковано тези: Полтавець В.І., Кулікова Д.В. Вдосконалення технології очищення шахтних вод на прикладі шахти «Павлоградська» Західного Донбасу // Збірник матеріалів IV Міжнародній науково-технічній конференції «Водопостачання і водовідведення: проектування, будівництво, експлуатація, моніторинг» (Львів, 20-22 жовтня 2021 року). Львів: Національний університет "Львівська політехніка", 2021. С. 38-39. (Додаток А).

1 АНАЛІЗ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ СКИДУ ЗАБРУДНЕНИХ ШАХТНИХ ВОД ТА ІСНУЮЧІ ЗАСОБИ ЇЇ ЗНИЖЕННЯ

1.1 Характеристика виробництва

Шахта «Павлоградська» ВСП «Шахтоуправління Павлоградське» розташована в Західному регіоні Донбасу в Павлоградському районі Дніпропетровської області.

В гірничопромисловому відношенні шахта «Павлоградська» ВСП «Шахтоуправління Павлоградське» підпорядковується ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля».

Найближчі діючі шахти – це шахти «Тернівська» ВСП «Шахтоуправління Павлоградське», шахти «Благодатна» та імені Героїв космосу ВСП «Шахтоуправління імені Героїв космосу» та шахта «Західно-Донбаська» ВСП «Шахтоуправління Тернівське».

Найближчими населеними пунктами є село Вербки, міста Павлоград та Тернівка.

До складу шахти «Павлоградська» ВСП «Шахтоуправління Павлоградське» входить промисловий майданчик шахти, ділянка рекультивації та автомобільні дороги.

Шахта «Павлоградська» займається розробкою і видобутком в Західно-Донбаському регіоні Дніпропетровської області.

Основна корисна копалина – вугілля, за своїми технологічними властивостями придатне для використання на коксуванні у складі шихти, а також в енергетичному напрямку без обмежень.

Виробнича потужність підприємства складає [1]:

| Потужність виробництва, тис. тонн | |
|-----------------------------------|----------|
| проектна | фактична |
| 2350 | 2245,44 |

Видобуток вугілля супроводжується вилученням спільнозалягаючого компоненту – германію. Крім того, в ході видобутку здійснюється вимушене відведення з підземних виробок на поверхню шахтних вод.

Шахтне поле розкрито двома вертикальними центральнo-здвоєними стволами: головним і допоміжним діаметрами 5,5 і 6,0 м, відповідно. Обидва стволи при будівництві були пройдені до горизонту 320 м і збиті між собою. В процесі експлуатації шахти було прийнято рішення про консервацію допоміжного ствола нижче горизонту 235 м і головного ствола нижче горизонту 190 м. В даний час стовбури нижче горизонту 235 м (допоміжний) і горизонту 190 м (головний) засипані просипами вугілля і породи та замулені.

Головний ствол служить для видачі на поверхню вугілля і породи, а також вихідного струменя шахтного повітря. Ствол обладнаний двоскіповим одноканатним вугільним підйомом і односкіповим з противагою одноканатним породним підйомом.

Допоміжний ствол служить для спуску-підйому людей, матеріалів, а також для подачі в шахту свіжого повітря. Ствол обладнаний двома одноклітьовими з противагами підйомами на вагонетку ВГ-3,3.

Приствольні двори шахти розташовані на горизонтах 140 м, 160 м, 190 м і 235 м.

В даний час горизонт 140 м використовується як вентиляційний і для обслуговування вугільного завантажувального пристрою, горизонт 160 м – для обслуговування породного завантаження, горизонт 190 м – для чищення зумпфа головного ствола.

З горизонту 235 м до вугільного завантажувального пристрою на горизонті 140 м і породного завантажувального пристрою на горизонті 160 м пройдені похилі конвеєрні породний і вугільний квершлагги.

Структурно шахта складається з наступних виробничих підрозділів [1]:

- 5 видобувних ділянок;
- 2 прохідницькі ділянки;
- допоміжні служби, що включають в себе:

- ділянка підземного енергозбереження і ремонту електрообладнання;
- ділянка водовідливу та осушування;
- ділянка теплотехніки, водопостачання та водовідведення;
- адміністративно-побутовий комплекс;
- ділянка шахтного транспорту;
- дільниці конвеєрного транспорту;
- дільниця вентиляції та техніки безпеки (ВТБ);
- ділянка з ремонту забійного обладнання (РЗО);
- ділянка ремонтно-відновлюваних робіт;
- техкомплекс;
- ділянка автоматизації, зв'язку та інформаційних технологій;
- ділянка стаціонарного обладнання;
- ділянка підготовки виробництва та матеріальний склад.

Функціонування виробничого комплексу шахти пов'язано з технологічним ланцюгом видобутку мінеральної сировини – кам'яного вугілля.

Основні технологічні процеси на гірничодобувному підприємстві це:

- підготовчі (прохідницькі) роботи;
- очисні (видобувні) роботи.

Підготовчі роботи

Технологічні процеси і операції, що виконуються в підготовчому забої шахти:

- нарощування стрічки конвеєра і кріплення кінцевої секції;
- нарощування канатної дороги;
- доставка та складування матеріалів;
- виїмка гірської маси комбайном;
- зведення постійного кріплення;
- настилання рейкового шляху;
- нарощування вентиляційних труб та протипожежного ставу;
- ведення монтажу лебідки ДКНЛ;
- подовження канатної відкатки;

- заміна вузлів, деталей та двигунів на комбайні.

Очисні роботи

Технологічні процеси і операції, що виконуються на ділянці шахти:

- розвантаження, пересувка і розпір секцій кріплення;
- вирівнювання секцій кріплення;
- ремонт секцій кріплення в лаві;
- звільнення затиснутих секцій кріплення в лаві;
- заміна окремих частин і деталей комбайнів;
- налагодження зубків та шнеків на комбайні;
- налагодження управління вибійним обладнанням;
- встановлення, ремонт та заміна розпірного пристрою;
- виправлення деформованих скребків конвеєрів;
- заміна промбалок та риштаків скребкових конвеєрів в лаві;
- заміна ланцюга на скребковому конвеєрі;
- натяг скребкової ланцюга конвеєра;
- скорочення конвеєрів;
- розштибовка скребкових конвеєрів;
- посилення кріплення лави в місцях вивалів;
- операції по веденню робіт з механізованими кріпленнями до первинної посадки основної покрівлі;
- виїмка гірської маси комбайном;
- викладка багать і установка органного кріплення;
- роботи при проходженні порушення з вивалом порід покрівлі безпосередньо за комбайном;
- вантажні роботи;
- витяг при забійних ніжок (стійок) аркового кріплення;
- підтримка сполучення лави з прилеглими виробками;
- скорочення стрічки конвеєра і кріплення кінцевої секції;
- навішування стрічки, з'єднання стиків.

Після закінчення проходження гірничих виробок і відпрацювання лав відбуває демонтаж встановленого обладнання.

Блок-схема процесу видобутку вугілля наведена на рис. 1.1 [2].

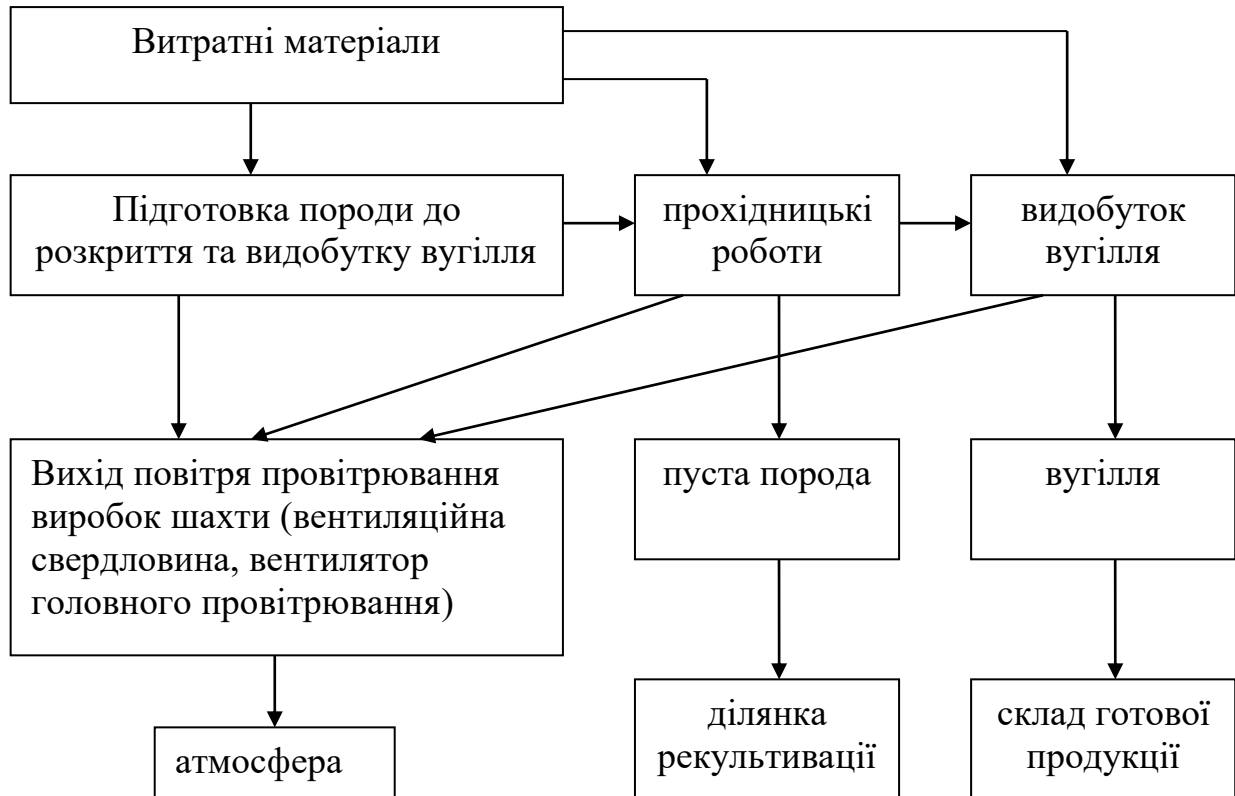


Рис. 1.1 – Блок-схема видобутку вугілля

Основними споживачами продукції шахти «Павлоградська» є центрально-збагачувальні фабрики та теплоелектростанції. Фактично вугілля використовується в якості енергетичної сировини.

Вугілля пластів родовища германієносне. Вміст германію у вугіллі порівняно високий. Найбільшими значеннями германієносності характеризуються прикровельна та припідшовва частина пластів. Накопичення германію у вугіллі, ймовірно, відбувалося в період раннього діагенезу під впливом германієносних розчинів на вуглисту речовину.

Враховуючи відсутність економічної доцільності, а також конкретних споживачів, германій, що вилучається сумісно з вугіллям не відокремлюється і не використовується, а повністю переходить у товарну продукцію.

В межах родовища літологічний склад вміщуючи порід представлений аргілітами, алевролітами та іноді – пісковиками.

Аргіліти на 80-95% складені глинистою речовиною (переважно мінералами групи гідрослюд, у меншій кількості – каолініту та монтморилоніту). Кластичний матеріал (5-20% складу) представлений зернами кварцу, незначною кількістю серициту, зерен польового шпату і лусочок хлориту. Аргіліти – від сірого до темно-сірого кольору в залежності від вмісту вуглистої речовини, горизонтально-хвилясто-шаруваті. Шаруватість обумовлена слюдою, рослинним детритом, вуглистим матеріалом. В більшій кількості випадків глиниста речовина підлягає процесам карбонатизації.

В подошві вугільних пластів аргіліти збагачені обвугленим піритизованим рослинним матеріалом, що складається із залишків коріння рослин і детриту.

Алевроліти представлені породою, що складається з кластичного матеріалу (до 50%), зцементованою сірувато-бурою тонко-лускатою глинистою речовиною (переважно представленою мінералами групи гідрослюд, у меншій кількості – каолінітом і монтморилонітом). Як і в аргілітах, глиниста речовина породи піддана процесам карбонатизації. Кластичний матеріал представлений зернами кварцу розміром від 0,02 мм до 0,1 мм, зустрічаються польові шпати (3-8%), слюди (мусковіт) (до 5%) та інші мінерали.

В алевролітах зустрічається обвуглений, часто піритизований рослинний матеріал, який складається з залишків коріння рослин і детриту та розповсюджений по всій породі або у вигляді невеликих скупчень і малопотужних прошарків, орієнтованих по нашаруванню.

Пісковики складені з кластичного матеріалу (50-80%), зцементованого глинистим, карбонатно-глинистим, кремнисто-глинистим, рідко кременистим цементом. Тип цементу складний: порово-контактний, корозійний, плівковий, місцями базальний.

Структура пісковиків псамітова. Кластичний матеріал представлений, головним чином, зернами кварцу. Також зустрічаються польові шпати (до 10%), слюди (мусковіт, хлорит, біотит) – до 5% та інші матеріали.

Обвуглений рослинний матеріал у пісковиках розповсюджений по всій породі, іноді він утворює невеликі скупчення і тоненькі прошарки, що швидко виклинюються, і розміщені, переважно, по нашаруванню порід.

За даними геологорозвідувальних робіт міцність вуглевміщуючих порід змінюється в межах:

- для аргілітів від 3,3 МПа до 28,5 МПа при середніх значеннях 19,7 МПа;
- для алевролітів від 3,6 МПа до 52,0 МПа при середніх значеннях 24,5 МПа;
- для пісковиків від 8,5 МПа до 98,0 МПа при середніх значеннях 31,2 МПа.

Породи схильні до розмокання, внаслідок чого міцність знижується на 50-60%.

В теперішній час вся порода видається на поверхню. В якості рекомендованих напрямків використання шахтних порід визначені вертикальне планування, відсипка підґрунть у дорожньому будівництві, укосів немагістральних шосейних доріг, засипка вимоїн, вибоїн на ґрунтових дорогах, облаштування тимчасових під'їздів на будівельних майданчиках, підкранові рейки та інше.

Протягом 2018 року обсяг утвореної шахтної породи склав 367,9 тис. тонн, з яких 217,7 тис. тонн було використано для рекультивації порушених земель на ділянках випереджальної рекультивації блока №3 шахти «Західно-Донбаська», а також для рекультивації загороджувальної дамби [1]. Решту породи обсягом 150,2 тис. тонн розміщено на породному відвалі філії «Центральна збагачувальна фабрика Павлоградська» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля».

Згідно з наказом №78/109 Державної служби України з питань праці, Головного управління Держпраці в Дніпропетровській області та ВСП «Шахтоуправління Павлоградське» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» від 10.01.2019 року шахта «Павлоградська» відноситься до III категорії за газом метаном. Середня абсолютна загазованість шахти за метаном складає 14,8 м³/хвилину, відносна – 12,0 м³/тонну. Шахта є небезпечною за вибуховістю вугільного пилу.

Спосіб провітрювання шахти – всмоктуючий, схема провітрювання – центральна. Струмінь свіжого повітря подається по допоміжному стволу, вихідний струмінь повітря виводиться з шахти по головному стволу, відповідно.

Провітрювання виїмкових дільниць здійснюється за прямоочною схемою з виведенням вихідного струменя повітря по підтримуваному за лавою виїмковому конвеєрному штреку.

Пласти безпечні за раптовими викидами і самозайманням вугілля.

1.2 Характеристика шахтних вод

1.2.1 Припливи шахтних вод

Видобуток вугілля як підземним, так і відкритим способом, при існуючих методах ведення гірських робіт не можуть бути виконані, за рідкісними винятками, без відкачування шахтних вод на поверхню. Шахтні води утворюються внаслідок розкриття водоносного горизонту підземними гірничими виробками в процесі ведення очисних і підготовчих робіт та проникнення поверхневих вод у вироблений простір. Водорясність шахт визначається кліматичними та гідрогеологічними умовами родовища, глибиною розробки, схемою розкриття та відпрацювання шахтного поля, системою розробки, способом управління покрівлею та іншими гірничо-геологічними та гірничотехнічними чинниками. Приплив води в шахти в залежності від цих чинників змінюється в дуже широких межах – від 10 до 4000 м³/годину, а коефіцієнт водорясності – від 0,3 до 20 м³/тонну. Однак більшість шахт має припливи води від 200 до 500 м³/годину. Припливи води понад 1000 м³/годину зустрічаються як виняток на окремих шахтах [3].

За абсолютною величиною припливів води вугільні шахти, розрізи, басейни та родовища розподіляються, згідно з відомою класифікацією М.В. Сироватко, на чотири групи: 1 – практично необводнені та слабообводнені (до 100 м³/годину); 2

– помірно обводнені (100-300 м³/годину); 3 – обводнені (300-1000 м³/годину); 4 – дуже обводнені (більше 1000 м³/годину) [4].

До групи практично необводнених і слабообводнених відносяться 10% шахт, до групи помірно обводнених – 35% шахт, до групи обводнених – 45% шахт, до групи дуже обводнених – 10% шахт.

Величина припливів води на більшості шахт не залишається постійною протягом року. Помітне збільшення припливів (до 1,5-2 разів) спостерігається у весняний період, що пов'язане з таненням снігу та в період інтенсивного випадання дощів. Перевищення максимальних припливів над нормальними тим більше, чим менша глибина розробки та тісніше зв'язок підземних водоносних горизонтів з поверхневими водами. Тривалість періоду максимальних припливів невелика і зазвичай не перевищує 30-60 діб на рік.

У формуванні припливів води в шахти виділяють три характерні періоди: період будівництва (розкриття та підготовки шахтного поля до розробки запасів), період експлуатації (розробки родовища, шахтного поля), період закриття або консервації (відпрацювання родовища) [5].

Перший період – будівництво підприємства – включає проходку шахтних стволів, навколоствольного двору, капітальних, підготовчих та нарізних виробок на шахтах, в'їзних та розрізних траншів на розрізах. Припливи води в підземні та відкриті гірські виробітки в цей період, як правило, порівняно невеликі. Починається спрацювання статичних запасів підземних вод та формування депресійної воронки.

Другий період – період експлуатації підприємства – характеризується розвитком гірничих робіт та максимальними припливами води в гірничі виробки. На початку другого періоду продовжується спрацювання статичних запасів підземних вод, розширення контуру депресійної воронки зі зниженням рівня водоносного горизонту до позначки робочого горизонту та набувають чинності динамічні запаси. Після спрацювання статичних запасів припливи води забезпечуються за допомогою динамічних надходжень підземних вод. Величина припливу води залежить від протяжності виробок, розвитку фронту та глибини

гірських робіт, співвідношення статичних та динамічних запасів підземних вод, фільтраційних характеристик водоносних горизонтів. У разі значних динамічних запасів та високих фільтраційних характеристик водоносних горизонтів зі збільшенням протяжності гірських виробок та площі виробленого простору припливи води збільшуються. При відносно обмежених динамічних запасах та невисоких фільтраційних характеристиках водоносних горизонтів припливи води стабілізуються або починають поступово знижуватися.

В третій період – період закриття підприємства – гідрогеологічна обстановка визначається прийнятим варіантом ліквідації (сухим чи мокрим). При сухому способі ліквідації вода з шахти продовжує відкачуватися на денну поверхню або перепускатися по гірничих виробках на сусідню шахту. Гірські виробітки та вироблений простір, як і раніше, виконують функцію дренажного пристрою. В зв'язку з припиненням гірських робіт припливи води, як правило, поступово зменшуються. При мокрому способі ліквідації відкачування шахтних вод припиняється, гірничі виробітки та вироблений простір заповнюються водою до рівня природних позначок підземних вод. При хвилястому рельєфі місцевості шахтні води можуть вилитися через гірські виробітки, що виходять на земну поверхню в знижених ділянках місцевості.

1.2.2 Фізико-хімічний склад шахтних вод

Фізико-хімічний склад шахтних вод дуже різноманітний і формується під впливом природних процесів, що відбуваються в масиві гірських порід, у підземних водоносних горизонтах, внаслідок контакту підземних вод з вугіллям, вміщувальними породами, вугільним і породним пилом, а також під впливом виробничих факторів, обумовлених видобутком та транспортуванням вугілля, проведенням та кріпленням гірничих виробок та перебуванням у шахті людини. Однак, незважаючи на велику кількість факторів, що впливають, визначальна роль належить хімічному складу підземних вод водоносних горизонтів, що беруть

участь в обводненні шахти. Підземні та поверхневі води, що надійшли в гірничі виробки, змінюють свій хімічний склад і зазнають забруднення.

За величиною рН шахтні води умовно поділяються на три категорії: нейтральні (рН=6,5-8,5), кислі (рН<6,5) та лужні (рН>8,5). Основний об'єм шахтних вод відноситься до категорії нейтральних. Кислі шахтні води зустрічаються відносно рідко, в окремих вугільних басейнах. Їхній об'єм, за даними 1997 року, становить 8,8% від загального об'єму шахтних вод. Кислі шахтні води зазвичай мають високий вміст іонів заліза та алюмінію. Частка лужних шахтних вод так само, як і кислих, невелика. Крім того, лужні води, на відміну від кислих, не становлять великої небезпеки для водойм [6].

За ступенем мінералізації шахтні води, як і природні, поділяються на прісні (з мінералізацією до 1 г/дм³), солонуваті (1-25 г/дм³), солоні (25-50 г/дм³) та розсоли (понад 50 г/дм³). Об'єм мінералізованих шахтних вод характеризується такими даними: 1-2 г/дм³ – 9,3%, 2-5 г/дм³ – 6,2%, понад 5 г/дм³ – 0,9% від загального об'єму. Шахтні води з високою мінералізацією, що належать до категорії солоних вод та розсолів, практично відсутні. Переважними іонами є кальцій, магній, натрій, хлориди, сульфати, гідрокарбонати та карбонати [7].

Жорсткість шахтних вод обумовлена присутністю солей кальцію та магнію, визначається, в основному, природою підземних вод водоносних горизонтів, розкритих гірськими виробками, і коливається по вугільних басейнах та родовищах у широкому діапазоні. Високою загальною жорсткістю (понад 7 мг-екв/дм³) характеризуються, зазвичай, шахтні води з підвищеною загальною мінералізацією та частина прісних шахтних вод. Найбільш характерні значення загальної жорсткості перебувають у межах 5-30 мг-екв/дм³ [8].

Розглянуті вище показники фізико-хімічного складу шахтних вод обумовлені, переважно, природою тих підземних чи поверхневих вод, які мають вирішальне значення в формуванні припливів води. На величину цих показників гірничі роботи практично не впливають. Виняток становлять кислі шахтні води, які утворюються внаслідок закислення нейтральних підземних вод у процесі їхнього контакту з вугіллям і породами, що містять значну кількість піритних

включень. Істотна роль у процесах закислення належить також тіоновим бактеріям.

До основних забруднюючих речовин, наявність яких у шахтних водах безпосередньо пов'язано з гірничими роботами (техногенні забруднення), відносяться завислі речовини, органічні сполуки, зокрема нафтопродукти та феноли, бактеріальні домішки. Насичення шахтних вод цими забруднюючими компонентами відбувається в процесі знаходження та їхнього руху по гірничих виробках та виробленому просторі.

Ступінь забруднення завислими речовинами залежить від гідрогеологічних умов шахтного поля, фізико-механічних властивостей вугілля та вміщувальних порід, технології та інтенсивності ведення очисних і підготовчих робіт та інших факторів. Найбільші фракції завислих речовин осідають у підземних водозбірниках. Величина та кількість осілих частинок визначаються розмірами та ємністю підземних водозбірників, ступенем їхнього заповнення осадам та режимом роботи водовідливу. Залежно від цих факторів концентрації завислих речовин у шахтних водах, що відкачуються на поверхню, варіюють по окремих шахтах від 30 до 2000 мг/дм³. Однак на більшості шахт середня концентрація завислих речовин не перевищує 1000 мг/дм³. Відносно меншим ступенем забрудненості характеризуються шахти, що розробляють високометаморфізоване вугілля (антрацити та напівантрацити) [3, 9].

Завислі речовини в шахтних водах представлені переважно частинками вугілля та вміщувальних порід різної крупності. Зазвичай у воді переважають вугільні частинки, рідше – породні. Однак їхнє співвідношення непостійне та може змінюватися зі зміною умов розробки.

З погляду дисперсного складу, завислі речовини є полідисперсною системою. При правильній експлуатації підземних водозбірників та нормальній роботі водовідливу максимальна крупність частинок у шахтних водах, що відкачуються на поверхню, як правило, не перевищує 100 мкм. Переважна більшість завислих речовин (до 70-80%) представлена частинками крупністю менше 50 мкм. Маса

частинок розміром менше 10 мкм також значна і може досягати на окремих шахтах 50-70% [10].

Концентрація завислих речовин у шахтних водах, їхній дисперсний та мінералогічний склад не тільки неоднакові для шахт різних вугільних басейнів та родовищ, але й суттєво змінюються на одній і тій же шахті залежно від об'єму та стану підземних водозбірників, протягом циклу безперервної роботи насосів водовідливу (від моменту їхнього включення до зупинки), доби, сезону року, а також протягом більш тривалого періоду, пов'язаного з відпрацюванням окремих горизонтів і ділянок шахтного поля [11].

Про вміст органічних речовин у шахтних водах прийнято судити за величиною БСК (біологічного споживання кисню) та ХСК (хімічного споживання кисню). БСК відповідає кількості розчиненого кисню, який потрібен для біохімічного окиснення в аеробних умовах легко окислювальних органічних речовин протягом 5 діб (БСК₅), 20 діб (БСК₂₀) або для повного окиснення (БСК_{повн}). Величина БСК₅, що зазвичай визначається в шахтних водах, коливається в широкому діапазоні від 0,3 до 90 мг/дм³ по басейнах, родовищам і підприємствам. ХСК виражається кількістю кисню, що витрачається на повне хімічне окиснення органічних речовин при певній концентрації окислювача, температурі води, величині рН та інших показниках, і тому дещо перевищує величину БСК. З широкої гами органічних речовин, присутніх у шахтних водах, найбільш специфічними є нафтопродукти та феноли [12].

Джерелами появи в шахтних водах нафтопродуктів служать емульсії та присадки, що застосовуються в гідравлічних системах гірських машин, різні сорти мінеральних масел, що використовуються як мастильні матеріали, природні виділення нафти та вуглеводні біогенного походження, що є продуктами життєдіяльності мікроорганізмів. Зміст нафтопродуктів у шахтних водах визначається, в основному, рівнем механізації гірничих робіт, масштабами застосування та ефективністю заходів щодо запобігання втратам нафтопродуктів у шахтах і коливається в широких межах – від 0,1 до 30 мг/дм³. Найбільш характерні концентрації нафтопродуктів порівняно невеликі та становлять 0,2-

1,0 мг/дм³. Нафтопродукти в шахтних водах знаходяться в плівковому, емульгованому та розчиненому стані і частково адсорбуються на вугільних і породних частинках, що містяться в них [13].

В якості можливих джерел появи фенолів у шахтних водах розглядаються:

- процеси самозаймання вугілля в пластах та у виробленому просторі, а також процеси його природного окиснення;

- продукти розкладання органічних речовин рослинного та тваринного походження, що надходять у гірничі виробки з поверхневими та ґрунтовими водами;

- мастила, емульсії та інші нафтопродукти, що застосовуються в технології гірничого виробництва;

- феноли, що містяться в атмосферному повітрі та надходять внаслідок розчинення опадами, які випадають спочатку в поверхневі та ґрунтові води, а потім і в шахтні води.

Як правило, феноли в шахтних водах представлені різними сполуками фенольного ряду (фенол, крезол, ксиленол та інші) в різних концентраціях та співвідношеннях, які суттєво відрізняються один від одного ступенем токсичності та, відповідно, величинами встановлених ГДК у воді водних об'єктів. Діючі методики визначення вмісту фенолів у природних та стічних водах засновані на їхньої екстракції розчинником, наприклад, гексаном, і дозволяють встановлювати загальну концентрацію сполук фенольного ряду, що не дає можливості достатньо коректно характеризувати ступінь токсичної дії шахтних вод, обумовленої присутністю фенолів, при скиді у водні об'єкти.

На забруднення шахтних вод органічними речовинами вказує наявність у них амонійного азоту, нітратів і нітритів. Підвищені концентрації перерахованих інгредієнтів свідчать про високе забруднення води органічними речовинами.

Бактеріальна забрудненість шахтних вод обумовлена, головним чином, наявністю умов для життєдіяльності мікроорганізмів та знаходженням людей в гірничих виробках, а ступінь забрудненості характеризується присутністю та кількістю патогенних мікроорганізмів, величинами колі-титру та колі-індексу.

Виконані санітарно-мікробіологічні та бактеріологічні аналізи свідчать про те, що рівень потенційної епідеміологічної небезпеки шахтних вод коливається в широких межах як у часі, так і по різних підприємствах. Найбільш характерні значення колі-титру знаходяться в діапазоні 0,001-4. Виявлено тенденцію зниження ступеня бактеріальної забрудненості зі зменшенням величини рН, починаючи з 7, та збільшенням мінералізації шахтних вод [14].

Крім вище перерахованих основних забруднюючих інгредієнтів, у шахтних водах, так само, як і в природних водах, міститься в певних концентраціях цілий ряд мікроелементів [15]. Усі вони можуть бути поділені на кілька груп: типові катіони (літій, рубідій, цезій, берилій, барій та інші), типові аніони (бром, йод, фтор, бор), важкі метали (мідь, срібло, свинець, нікель, кобальт та інші). В природних водах (як у поверхневих, так і підземних) ці мікроелементи містяться, зазвичай, у малих концентраціях. На відміну від природних, шахтні води містять мікроелементи в підвищених кількостях, що пов'язано з їхньою наявністю в підземних водах вугленосних відкладень та процесами міграції з гірських порід, що посилюються ще й при руйнуванні останніх. Про токсичність мікроелементів свідчить той факт, що вміст більшості з них, у тому числі виявлених у шахтних водах, обмежується у воді водних об'єктів за санітарно-токсикологічним показником шкідливості. До групи найбільш токсичних мікроелементів віднесено важкі метали, що відрізняються високою стійкістю та здатністю до біоаккумуляції, в зв'язку з чим контроль за їхнім вмістом повинен проводитися в у першочерговому порядку.

1.3 Оцінка екологічного стану території, внаслідок скиду забрудненої шахтної води

Шахтні води характеризуються різноманітністю видів впливу на багато компонентів біосфери – гідросферу, літосферу, техносферу, ґрунти, рослинний та тваринний світ. Серед них:

- порушення гідродинамічного та гідрохімічного режиму вод;

- надходження забруднених шахтних вод у поверхневі водні об'єкти;
- інфільтрація забруднених шахтних вод із ставків-накопичувачів;
- заболочування аграрно-освоєних земель та територій;
- обводнення ґрунтів, зниження їхньої родючості та засолення ґрунтів;
- зміна властивостей природного середовища існування рослин і тварин, і, як наслідок, порушення їхнього життєвого циклу;
- підтоплення зон промислової та житлової забудови;
- змішування та рух розмокших масивів гірської породи, та просідання земної поверхні;
- активне перенесення забруднюючих речовин у різні компоненти біосфери;
- погіршення якості води окремих свердловин та колодязів у розміщених поблизу населених пунктах.

В цілому, за комплексом гідрохімічних показників, як шахтні, так і трансформовані під їхнім впливом ґрунтові води, здебільшого викликають солонцюватість різного ступеня та засолення ґрунтового профілю. До того ж, при близькому рівні ґрунтових вод формуються гідрогаломорфні ґрунти болотного або лучного типу ґрунтоутворення. Такі води дуже несприятливі за впливом не тільки на ґрунти, але й на рослини, а використання шахтних вод у сільському господарстві для зрошення та в інших галузях веде до забруднення всіх складових природного середовища, а саме: підвищення кислотності, засолення, зниження врожайності сільськогосподарських культур та деградації ґрунтів.

Відносно висока забрудненість шахтних вод, що скидаються, зокрема в Західному Донбасі, пояснюється багатьма причинами. По-перше, багато шахт мають недостатні об'єми горизонтальних відстійників і зовсім не мають регулюючих ємностей, через що при роботі головних водовідливів в автоматизованому режимі насоса доводиться відкачувати воду, безпосередньо з відстійників, куди потрапляє пульпа від очищення водозбірників, що призводить до надмірного забруднення води, яка накопичується в ньому. В результаті, насоси відкачують у водойми загального користування дуже брудні води. По-друге, велика кількість шахтних очисних споруд побудована з порушенням основних вимог санітарних норм і правил і, природно, не забезпечує належної якості

очищення шахтної води. По-третє, значна частина наявних ставків-освітлювачів замулена, а деякі взагалі розмиті, через що шахтні води в таких ставках майже не освітлюються. Більше того, під час весняних повеней і паводків ставки-освітлювачі самі є загрозою прилеглим територіям через тверді частинки, що накопичилися в них [16].

Поверхневі води досліджуваної території представлені природним водотоком – річкою Самара з притоками, штучними водоймами (ставками) та шахтними накопичувачами стічних вод. Головними джерелами їхнього забруднення є ставки-накопичувачі мінералізованих шахтних вод, що розташовані в балках Косьмінна, Таранове та Свидовок. У ставках, розташованих у балках Косьмінна та Таранове, відсутні протифільтраційні екрани, що сприяє проникненню забруднюючих речовин у незахищені водоносні горизонти. При цьому глибина засолення становить 16-40 м з мінералізацією підземних вод у таких зонах 5,3-7,5 г/дм³ [3].

Не менша шкода водним об'єктам завдається забрудненням шахтних вод твердими завислими вугільними та породними частинками. Незважаючи на те, що всі шахти мають очисні споруди, вміст твердих завислих частинок у шахтній воді залишається досить високим.

Ставки-відстійники шахтних вод не завжди ефективно очищують воду від забруднюючих речовин та патогенної мікрофлори, і самі можуть бути фактором ризику вторинного забруднення та поширення збудників інфекції. Накопичення токсикантів у донних відкладеннях може спричинити вторинну токсичність води (надалі стає можлива зворотна міграція важких металів з донних відкладень у воду). Токсиканти переміщуються, мігрують і накопичуються, а, крім того, перетворюються на більш стійкі форми.

В умовах недостатності природних водних об'єктів у досліджуваному регіоні, населення прилеглих до шахти районів часто використовують ці ставки для поливу сільськогосподарських угідь та в рекреаційних цілях (відпочинку, купання, риболовлі). Тому зниження рівня забруднення води в них до нормативних значень набуває особливої актуальності.

Після освітлення в ставках-накопичувачах шахтні води перекачуються в річку Самару, що протікає через територію Західного Донбасу. Загальний обсяг скинутих до неї шахтних вод у 2020 році становив 16,41 млн. м³, що свідчить про збільшення цього показника на 1,77 млн. м³, порівняно з 2019 роком (14,64 млн. м³). При цьому кількість забруднюючих речовин, що містяться в шахтній воді, в 2020 році становила 132,5 тис. тонн [17].

Поверхневі води річки, трансформовані під впливом шахтних вод у сульфатно-хлоридно-кальцієво-магнієві, відносяться до нейтральних або слаболужних. У контрольних створах річки Самара виявлено наявність таких важких металів як залізо, марганець, мідь, цинк, хром, свинець, нікель, кобальт та кадмій [3, 12]. Більшість із них, разом із органічними сполуками, нафтопродуктами, стають біологічно небезпечними для водних екосистем. Вони можуть гальмувати або повністю припиняти життєві процеси у гідробіонтів, що веде до отруєння гідросфери та знищення риби.

Таким чином, скид забрудненої шахтної води надає масштабний вплив на регіональний природний гідродинамічний режим та гідрохімічний склад підземних та поверхневих водних об'єктів, що робить їх непридатними для господарсько-питного водопостачання та землеробства (зрошення). Складність розв'язання цього екологічного завдання визначається високим екологічним навантаженням на водні ресурси та зростаючим протиріччям між прагненням збільшення виробництва з мінімальними витратами, з одного боку, і необхідністю дотримання вимог екологічної безпеки, з іншого.

1.4 Аналіз існуючих способів і технологічних схем зниження рівня екологічної небезпеки скиду забруднених шахтних вод

1.4.1 Способи очищення шахтних вод

Основними способами очищення шахтних є відстоювання, освітлення в шарі завислого осаду та фільтрування. Відстоювання застосовується як без обробки води реагентами (безреагентне відстоювання), так і з попередньою обробкою

коагулянтами та флокулянтами, фільтрування – переважно з застосуванням реагентів, а освітлення в шарі завислого осаду – тільки з обробкою води реагентами. В якості споруд для реалізації цих способів очищення знайшли практичне застосування горизонтальні (залізобетонні та земляні), вертикальні та тонкошарові відстійники, ставки-відстійники, освітлювачі з завислим шаром осаду, штучні фільтруючі масиви, швидкі напірні та відкриті одношарові та двошарові фільтри, фільтри з висхідним потоком води, що очищується (контактні освітлювачі) [11, 12, 18].

Ефективність роботи всіх типів очисних споруд залежить від великої кількості чинників, які можуть бути поділені на три групи:

- склад і властивості шахтних вод як полідисперсної системи;
- особливості конструктивного виконання, геометричні та гідравлічні параметри споруд і апаратів;
- технічний стан і рівень експлуатації.

До першої групи чинників відносять ступінь мінералізації та хімічний склад води, наявність у воді домішок різних груп і їхнє кількісне співвідношення, що визначають технологічні властивості шахтних вод. Шахтні води різних вугільних басейнів, родовищ і окремих підприємств суттєво відрізняються за показниками технологічних властивостей, що неминуче віддзеркалюється на ефективності роботи споруд.

Споруди одного й того ж типу можуть значно відрізнятися за конструктивним виконанням окремих вузлів і елементів, за лінійними розмірами та іншими конструктивними параметрами, що визначають гідравлічний режим їхньої роботи. Наприклад, на гідравлічний режим і ефективність роботи відстійників значно впливає співвідношення їхньої довжини та висоти, конструкція розподільчих впускних і водозбірних систем, глибина зони осадження [19, 20]; на ефективність роботи фільтрів – склад, висота шарів і крупність зерен фільтрувального завантаження, площа фільтрації одиничного осередку, конструкція розподільчих систем та інші параметри [21].

Добрий технічний стан і високий рівень експлуатації, як показує практика, є необхідною умовою ефективної роботи всіх типів споруд. Відомо, що навіть невеликі порушення рівномірності розподілу води, що очищується, між секціями відстійника або окремими фільтрами, горизонтальності переливних кромок жолобів відстійників і фільтрів, несвоєчасне видалення осаду або неякісне промивання фільтрів, порушення режиму реагентної обробки води можуть призвести до різкого зниження ефективності очистки та якості води, що очищується.

Сукупний вплив усіх трьох груп чинників на процес очищення шахтних вод призводить до того, що фактична ефективність робіт одних і тих же типів споруд на різних шахтах змінюється в широкому діапазоні.

Ефективність роботи горизонтальних відстійників за усередненими показниками змінюється від 54 до 73%, вміст завислих речовин у воді, що очищується, коливається в широких межах і перевищує нормативи, що встановлюються органами державного контролю [22]. Основними (достатньо простими й не дорогими) заходами щодо поліпшення роботи очисних споруд є:

- покращення режиму роботи шахтного водовідливу з метою більш рівномірної подачі шахтних вод на очисні споруди;
- проведення реконструкції відстійників неправильної геометричної форми з метою надання їм більш ефективної прямокутної форми;
- обладнання відстійника пристроями для розосередженого впуску та випуску води;
- збільшення дози реагентів, що застосовуються при очищенні, до оптимальних значень;
- налагодження регулярного періодичного очищення відстійників від осаду, що утворюється.

Дослідницькі роботи та практичний досвід очищення шахтних вод в різних вугільних басейнах свідчать про те, що при оптимальних технологічних параметрах і правильній експлуатації ефективність роботи різних типів очисних споруд має певні межі (табл. 1.1), які обумовлені різним складом і

технологічними властивостями шахтних вод різних підприємств і їхньою зміною в часі.

Таблиця 1.1 – Ефективність основних способів очищення шахтних вод [18]

| Спосіб очищення | Концентрація завислих речовин, мг/дм ³ | |
|---|---|-----------------|
| | у вихідній воді | в очищеній воді |
| 1. Безреагентне відстоювання в горизонтальних відстійниках від 2 до 24 годин | не обмежується | 50-150 |
| 2. Безреагентне відстоювання в ставках-відстійниках від 1 до 10 діб | не обмежується | 30-50 |
| 3. Відстоювання з попередньою обробкою реагентами в горизонтальних (від 2 до 12 годин), вертикальних (від 1 до 3 годин) і тонкошарових (від 0,3 до 1 години) відстійниках | не обмежується | 30-50 |
| 4. Освітлення в шарі завислого осаду від 0,5 до 1,5 годин | не менш 150 | 10-15 |
| 5. Фільтрування на швидких відкритих одношарових фільтрах | до 30 | 2-5 |
| 6. Фільтрування на швидких напірних і відкритих двошарових фільтрах | до 50 | 2-5 |
| 7. Фільтрування на контактних освітлювачах | до 150 | 2-5 |

Найбільше розповсюдження на підприємствах вугільної промисловості отримав спосіб відстоювання [23].

Безреагентне відстоювання тривалістю до 6 годин у горизонтальних секційних відстійниках невеликої ємності на більшості вугільних шахт забезпечує очищення від завислих речовин у середньому до 50-200 мг/дм³, що є недостатнім для скиду у водні об'єкти та подачі на фільтри для доочищення. Осад, який при цьому утворюється, має відносно високу щільність і погано видаляється гідравлічним способом, а спосіб видалення осаду шляхом його гідрозмиву та перекачування шламовими насосами в мулонакопичувачі або на мулові майданчики, який застосовується в більшості випадків на практиці, є нетехнологічним, особливо в зимових умовах, і доволі трудомістким. Тому очищення відстійників від осаду здійснюється звичайно 1 раз на рік у літній період, що призводить до переповнення його осадом і неефективної роботи впродовж тривалого періоду часу.

Безреагентне відстоювання в бетонованих та земляних відстійниках великої ємності, розрахованих на 6-24 години, забезпечує більш високу ефективність. Однак, в багатьох випадках якість води, що очищується, також не задовольняє вимогам, що пред'являються. В цілому, вони, хоча й в меншому ступені, мають ті ж недоліки, що й горизонтальні секційні відстійники. Застосування реагентної обробки води перед горизонтальними відстійниками дозволяє суттєво збільшити ефективність очищення води, але не вирішує інших проблем, що пов'язані з їхньою експлуатацією.

Ставки-відстійники є найбільш ефективними спорудами по безреагентному відстоюванню шахтних вод і дозволяють при оптимальних параметрах знизити вміст завислих речовин до величин, що не перевищують 30-50 мг/дм³. Підвищення ефективності очищення досягається при послідовній роботі 2-3 ставків-відстійників. При невисоких вимогах до якості води, що підлягає скиду у водні об'єкти, та невеликому вмісті тонкодисперсних частинок у вихідній воді ці споруди можуть успішно використовуватися в якості самостійного способу очищення, а в решті випадках – в якості першого ступеня очистки перед фільтруванням. Ставки-відстійники повинні розраховуватися на тривале накопичення осаду впродовж не менше 10 років.

Вертикальні та тонкошарові відстійники розраховуються на роботу, як правило, з попередньою обробкою шахтних вод реагентами та видаленням осаду під гідростатичним тиском без виключення їх з роботи. Із цих двох типів споруд більш компактні, ефективні й зручні в експлуатації тонкошарові відстійники, що забезпечують при цьому максимальне питоме навантаження на поверхню для споруд відстійного типу.

Тонкошарове відстоювання є достатньо ефективним способом очищення шахтних вод, що дозволяє при оптимальних режимах реагентної обробки та технологічних параметрах процесу видаляти основну масу забруднень і підготувати цю воду для подачі на другий ступінь очищення.

Висока ефективність способу тонкошарового відстоювання забезпечується тільки при оптимальних режимах реагентної обробки води, що очищується, та дотриманні оптимальних технологічних параметрів процесу.

При виборі оптимальних режимів реагентної обробки і оптимальних технологічних параметрів процесу та визначенні ефективності тонкошарового відстоювання необхідно враховувати не тільки якість очищення шахтних вод, але й показники технологічних властивостей осаду, що утворюється, які значною мірою визначають витрати та трудомісткість процесів його подальшої обробки.

Відносно більш високий ступінь очищення шахтних вод і кращі показники технологічних властивостей осаду (вміст твердої фази, вологість, щільність, здатність до інтенсивного ущільнення та зневоднення) досягаються при сумісному використанні катіонних флокулянтів (ВПК-402, ВПК-101, ППС та інші) та неіонного флокулянта ПАА (в окремих випадках тільки катіонного флокулянта), ніж при застосуванні коагулянтів (сульфату алюмінію або заліза) в поєднанні з неіоногенними флокулянтами типу ПАА [24].

Освітлення в шарі завислого осаду є достатньо ефективним способом очищення шахтних вод і може здійснюватися в апаратах різного типу. Однак на підприємствах вугільної промисловості переважно застосовують отримали освітлювачі коридорного типу з вертикальним осадоущільнювачем. Робота освітлювачів ґрунтується на явищі контактної коагуляції, яка відбувається при проходженні води, що очищується та піддається реагентній обробці, через шар завислого осаду, який знаходиться в динамічній рівновазі завдяки рівності швидкості висхідного потоку та середньої швидкості осідання скоагульованих частинок. Необхідною умовою ефективного роботи освітлювачів служить збереження сталості витрат і температури води, що очищується. Навіть плавні коливання витрат води не допускаються понад $\pm 15\%$, а температури води – понад ± 1 °С від розрахункових впродовж години. Верхня межа вмісту завислих речовин в шахтних водах, що надходять на очищення, не обмежується, а нижня межа складає 150 мг/дм^3 . Вміст завислих речовин у воді, що очищується, не перевищує $10\text{-}15 \text{ мг/дм}^3$. В зв'язку з цим даний спосіб може застосовуватися як для

одноступінчастого очищення шахтних вод, так і в якості першого ступеня очистки перед фільтруванням.

Фільтрування, на відміну від відстоювання та освітлення в шарі завислого осаду, є методом тонкого (глибокого) очищення води та здійснюється пропусканням води через зернисті або пористі матеріали [25]. Освітлення води при фільтруванні відбувається внаслідок дії двох протилежних процесів: адгезії твердих або скоагульованих частинок до поверхні зерен фільтрувального завантаження й відриву раніше затриманих частинок і їхнього перенесення гідродинамічним потоком рідини в наступні по ходу потоку шари фільтрувального матеріалу. Сили адгезії у водному середовищі визначаються, головним чином, силами міжмолекулярної взаємодії поверхонь зерен завантаження та твердих частинок у рідині, що фільтрується. Сили відштовхування обумовлені розклинювальною дією тонкого шару рідини, що розділяє тверді поверхні, та пояснюються відмінністю його термодинамічного та хімічного потенціалів від потенціалів об'ємної фази. Відрив частинки під дією потоку рідини відбувається тоді, коли сила відриву перевищує силу прилипання (зчеплення) частинки з поверхнею зерен завантаження.

Освітлення рідини в процесі фільтрування через зернисте завантаження відбувається до тих пір, поки сили адгезії превалюють над силами відриву частинок в загальному об'ємі завантаження. Накопичення осаду в фільтрувальному завантаженні призводить до поступового збільшення сил відриву частинок і зниження ефективності очищення.

Із механізму процесу освітлення випливає, що безреагентне фільтрування не може забезпечити високий та стабільний ефект очищення шахтних вод, що містять переважно агрегативно стійкі частинки розміром 1-5 мкм.

Відмінна особливість способу фільтрування полягає також у його високій чутливості до вмісту завислих речовин у вихідній воді. З підвищенням вихідного вмісту завислих речовин ефективність очищення та тривалість циклу фільтрування різко знижуються, суттєво зростають витрати води на промивання фільтрів. В зв'язку з цим граничне значення концентрації завислих речовин у

вихідній воді обмежено для швидких відкритих одношарових зернистих фільтрів 30 мг/дм^3 , для швидких напірних та відкритих двошарових фільтрів 50 мг/дм^3 та для контактних освітлювачів 150 мг/дм^3 . На всіх досліджуваних фільтрувальних станціях навіть середній вміст завислих речовин у воді, що надходить на очищення, значно перевищував граничні значення (30 та 50 мг/дм^3), що також негативно відображається на ефективності їхньої роботи.

Із механізму процесу фільтрування також впливає, що його ефективність може бути підвищена шляхом впливу на адгезійні властивості поверхні фільтрувального завантаження та завислих речовин, що забезпечується реагентною обробкою води, що надходить на очищення. Здатність коагулянтів і флокулянтів до утворення пластівців, збільшенню їхньої щільності, міцності та сил адгезії дозволяє оптимізувати процес фільтрування та досягати його максимальної ефективності [26].

Таким чином, з врахуванням особливостей способу фільтрування доцільною галуззю його застосування слід вважати одноступінчасте очищення шахтних вод з невеликим вихідним вмістом завислих речовин або другий ступінь очищення після відстоювання та освітлення в шарі завислого осаду.

1.4.2 Технологічні схеми очищення шахтних вод

В даний час визнано доцільним здійснювати очищення шахтних вод на відокремлених очисних спорудах, оскільки, на відміну від стічних вод низки інших виробництв, вони не містять у значних кількостях токсичних та важко усунутих домішок. Спільно з шахтними водами можуть очищатися виробничі стічні води, близькі до них за складом, що не містять у великих концентраціях будь-яких специфічних забруднюючих інгредієнтів.

Відмінність фізико-хімічного складу та технологічних властивостей шахтних вод, з одного боку, та вимог до якості очищеної води, з іншого боку, не дозволяє вибрати одну універсальну технологічну схему, яка у всіх випадках забезпечувала б необхідний ступінь очищення та одночасно була б найбільш економічною. В

загальному випадку технологія очищення нейтральних шахтних вод включає ряд технологічних процесів, представлених на рис. 1.2 [27].

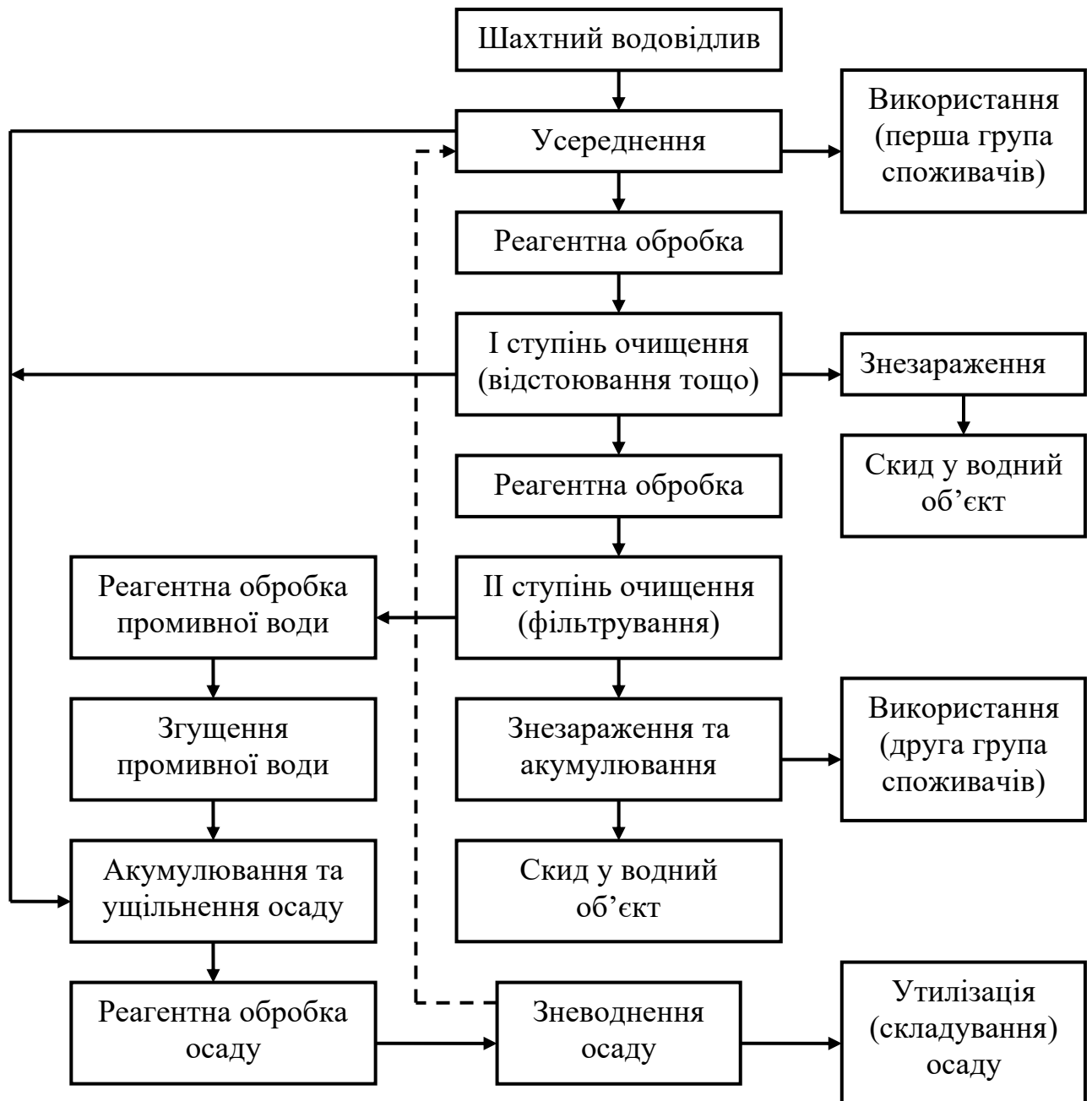


Рис. 1.2 – Структурна схема очищення та використання шахтних вод

В кожному конкретному випадку, залежно від складу та технологічних властивостей шахтних вод, вимог до глибини очищення та особливостей методів і пристроїв, що застосовуються, окремі процеси можуть бути виключені з технології або поєднані з іншими процесами. Крім того, одні й ті ж технологічні процеси можуть здійснюватися з використанням різного за своїм складом

конструктивного виконання споруд та апаратів. Ці обставини зумовлюють велику різноманітність можливих варіантів технологічних схем очищення, що відрізняються за складністю, ефективністю та техніко-економічними показниками.

Для зіставлення їх між собою та техніко-економічної оцінки розроблено загальні вимоги до технології очищення та очисних споруд, що зводяться до наступних [28]:

- технологія очищення повинна передбачати три основні стадії: видалення забруднюючих речовин, знезараження води, обробку (або складування) осаду;
- видалення забруднюючих речовин повинно проводитися в один або два етапи, залежно від їхньої концентрації у вихідній шахтній воді;
- технологія очищення повинна забезпечувати отримання необхідної якості очищеної води при зміні кількісних і якісних характеристик вихідної шахтної води за сезонами року, а також внаслідок розкриття нових горизонтів та освоєння нових ділянок шахтного поля;
- якість очищення шахтних вод має забезпечувати можливість широкого використання очищеної води на виробничі потреби підприємств та задовольняти умовам скиду надлишкового об'єму у водні об'єкти;
- очисні споруди повинні бути надійні в роботі, економічні, прості в будівництві та експлуатації, по можливості компактні та не повинні займати великих площ, придатних для використання в народному господарстві;
- технологічні процеси очищення води та обробки осаду повинні максимально піддаватися механізації, дистанційному управлінню та автоматизації;
- сукупність технологічних схем очищення повинна охоплювати весь можливий діапазон зміни припливів, складу та технологічних властивостей шахтних вод.

Аналіз досвіду експлуатації очисних споруд шахтних вод, заснованих на різних технологічних схемах, дозволив виявити низку істотних недоліків [18, 29]:

- поєднання процесів відстоювання та усереднення води, що очищується, в горизонтальних відстійниках і відстійниках-регуляторах нераціонально в зв'язку з низькою ефективністю обох цих процесів і складністю видалення осаду, що утворюється;

- вертикальні відстійники є недостатньо продуктивними та ефективними спорудами, внаслідок чого вони нерідко не забезпечують зниження концентрації завислих речовин до допустимих норм для подачі води на II ступінь очищення (фільтри);

- горизонтальні відстійники за відповідністю параметрів їхньої роботи технологічним властивостям води, що очищується, є більш ефективними та продуктивними спорудами, ніж вертикальні відстійники, проте їхня експлуатація ускладнюється не технологічністю та високою трудомісткістю процесу видалення осаду та його подальшої обробки (згущення, зневоднення, складування або утилізації);

- використання для зневоднення та складування осаду відкритих споруд (малонакопичувачів, мулових майданчиків) потребує значних вільних площ для їхнього розміщення, яких стає дедалі менше, особливо в районах із розвинутою промисловістю та сільським господарством.

На підставі узагальнення результатів виконаних досліджень, практичного досвіду застосування різних технологічних схем та виявлення їхньої відповідності наведеним вище загальним вимогам обрано шість найбільш сучасних та ефективних технологічних схем [18, 27]. Кожна технологічна схема здатна забезпечити очищення шахтних вод до нормативних вимог і є найбільш економічною в певних, характерних для неї умовах застосування, за певного фізико-хімічного складу та технологічних властивостей шахтних вод (табл. А.1 Додатку А).

У всіх технологічних схемах забезпечується надійне знезараження води за рахунок попереднього очищення від завислих речовин і застосування ефективних реагентів (рідкого хлору, хлоровмісних реагентів, озону) або ультрафіолетового випромінювання.

Технологічна схема з використанням ставків-відстійників може ефективно застосовуватися для очищення шахтних вод, завислі речовини в яких мають хороші седиментаційні властивості, тобто кінетично нестійкі та здатні до коагуляції без введення хімічних реагентів. При цьому загальна концентрація завислих речовин у вихідній воді може бути різною та не істотно впливає на якість очищення. Однак вміст тонкодисперсних частинок, що осідають зі швидкістю менше 0,1 мм/с, не повинен перевищувати 30-50 мг/дм³. Особливість технологічної схеми полягає в тому, що складування осаду поєднується з очищенням води в одній споруді, що зумовлює порівняно низькі капітальні та експлуатаційні витрати. Ця технологія найбільш широко застосовується на підприємствах вугільної промисловості.

Найбільш раціональною сферою застосування технологічної схеми з використанням освітлювачів із завислим шаром осаду є шахтні води, які містять завислі речовини, що характеризуються в природному стані високою кінетичною та агрегативною стійкістю, але мають хорошу здатність до коагуляції під впливом хімічних реагентів. До переваг технологічної схеми відноситься можливість застосування в широкому діапазоні припливів води, високий ступінь очищення незалежно від якості вихідної води та отримання осаду, зручного для транспортування, складування та утилізації. Технологія показала високу ефективність.

Технологічна схема з використанням тонкошарових відстійників може застосовуватися для шахтних вод, які містять завислі речовини, що добре коагулюють при введенні реагентів з утворенням великих і щільних пластівців, що осідають з високою швидкістю. Застосування цієї схеми в зв'язку з компактністю очисних споруд переважно в районах густонаселених, з розвинутою промисловістю та сільським господарством, що не мають вільних площ для розміщення ставків-відстійників.

Основною умовою застосування одноступінчастої технологічної схеми очищення з використанням фільтрів з висхідним потоком води, що очищується, є порівняно низький вихідний вміст завислих речовин (не більше 200 мг/дм³) і

нафтопродуктів (не більше $1,5 \text{ мг/дм}^3$) у вихідній воді та відсутність високих пікових концентрацій цих забруднень, що несприятливо відбиваються на роботі споруд. Очисні споруди за цією схемою також є досить компактними. Застосування реагентів у процесі фільтрування забезпечує ефективне очищення води при менших дозах, ніж за відстоювання, що дозволяє зменшити розміри приміщень та устаткування реагентного господарства.

Технологічна схема очищення шахтних вод з використанням штучних фільтруючих масивів (ШФМ) заснована на фільтруванні води через спеціальні масиви (дамби), які споруджуються з щільних, нерозмокаючих, стійких до хімічного впливу та вивітрювання розкритих порід з дотриманням певної технології їхнього укладання та ущільнення, що забезпечує стійкість всієї споруди з урахуванням дії фільтраційного потоку води, що очищується, при максимальних притоках. У процесі фільтрування відбувається видалення з води завислих речовин та нафтопродуктів, знижується вміст деяких інших забруднень.

Основна перевага технологічної схеми полягає у низьких капітальних та експлуатаційних витратах. Значний обсяг робіт з будівництва споруд виконується за допомогою наявної на розрізі гірської техніки і може бути частково суміщений з виробництвом розкритих робіт та відвалоутворенням. ШФМ можуть розміщуватися у виробленому просторі розрізів, на породних відвалах або за їхніми межами. До недоліків технології відноситься слабка керованість процесом фільтрування через ШФМ та ефективністю очищення стічних вод, а також обмеженість галузі застосування, що зумовлена гірничо-геологічними умовами розробки.

Сутність технологічної схеми очищення шахтних вод на основі промислового культивування макрофітів полягає у використанні природних біологічних процесів, що відбуваються в природі. Очищена вода послідовно проходить три ступені очищення: ставок-відстійник, ботанічний майданчик та біофільтратор. На першому ступені за рахунок седиментації видаляється основна маса завислих речовин, на другому та третьому ступені очищення води відбувається, головним чином, за рахунок комплексу макрофітів, що включає

вищі водні та прибережно-водні рослини, харові та нитчасті зелені водорості. Технологія забезпечує ефективне очищення води від завислих речовин та нафтопродуктів до нормативних вимог для скиду у водні об'єкти господарсько-питного та рибогосподарського призначення. В окремих випадках, при порівняно невисокому ступені забруднення вихідної води та найменш жорстких вимогах до глибини очищення, технологічна схема може застосовуватися в спрощеному варіанті, що передбачає два ступені очищення (ставок-відстійник та ботанічний майданчик, або ботанічний майданчик та біофільтратор). Переваги технології полягають у можливості використання для розміщення очисних споруд систем водовідведення шахтних вод (каналів), заболочених ділянок місцевості та інших непридатних для сільського господарства земель, у простоті будівництва та експлуатації очисних споруд, низьких капітальних та експлуатаційних витратах. Технологія найбільш ефективно може застосовуватися в районах з теплим та помірним кліматом.

Наведені технологічні схеми очищення розрізняються за економічними показниками: питомими капітальними витратами на 1 м^3 річної продуктивності очисних споруд та собівартістю очищення 1 м^3 води. Відносно більш високими питомими показниками характеризуються технологічні схеми 2 і 3 (див. табл. А.1, Додатку А), особливо у варіантах, що передбачають механічне зневоднення осаду. Порівняно нижчими показниками відрізняються технологічні схеми 1 і 4, що передбачають складування осаду у відкритих земляних спорудах без попереднього його зневоднення, а також технологічні схеми 5 і 6. Зі зростанням продуктивності очисних споруд питомі капітальні витрати та собівартість очищення за всіма технологічними схемами суттєво знижуються, а різниця між відповідними показниками має тенденцію до зменшення. У зв'язку з цим більш економічними в будівництві та експлуатації є великі очисні споруди. Однак економічна доцільність будівництва локальних (для однієї шахти) або великих групових (для кількох сусідніх підприємств) очисних споруд внаслідок значних витрат на будівництво трубопроводів та перекачувальних станцій в кожному разі має визначатися техніко-економічним розрахунком.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ ТА ПАРАМЕТРІВ, ЩО ВРАХОВУЮТЬСЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ОЧИСНИХ СПОРУД ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ВМІСТУ ЗАВИСЛИХ РЕЧОВИН У ШАХТНІЙ ВОДІ

2.1 Аналіз механізму впливу забрудненої шахтної води на навколишнє середовище на прикладі шахти «Павлоградська» Західного Донбасу

2.1.1 Характеристика стану поверхневих і підземних вод району дослідження

Поверхневі води. З південного сходу на північний захід шахтне поле перетинає річку Самара, в яку впадає низка балок та ярів, що мають тимчасові водотоки сезонного характеру. У північно-східній частині шахтного поля в річку Самара впадає балка Свидовок, якою проходить скидний колектор ставка-накопичувача шахтних вод.

В результаті виїмки вугільних пластів відбувається просідання земної поверхні. Рекультивация ділянок, що просіли, у заплаві річки Самари виконана шляхом підсипки породи та обнесення їх захисними дамбами. Для захисту від затоплення паводковими водами заплавної площі через усе шахтне поле з південного сходу на північний захід була відсипана дамба з утворенням нового русла річки Самари. В даний час тут розташована Павлоградська водойма для накопичення паводкових вод. Старе русло річки Самари сильно меандрує, по всьому своєму протязі утворює стариці різних розмірів і конфігурацій. Заплава річки заболочена. Долина Самари асиметрична: лівий схил похилий ($5-7^\circ$), правий – крутий. Витрати річки в паводковий період досягають $11,9-30,3 \text{ м}^3/\text{с}$, у межень вони дорівнюють $0,35-0,59 \text{ м}^3/\text{с}$, в середньому становлять $12,6 \text{ м}^3/\text{с}$. Якість вод річки Самари різко змінюється протягом року. Мінералізація річкової води змінюється від $1,5-1,8 \text{ г/дм}^3$ (у паводковий період) до $2,2-5,5 \text{ г/дм}^3$ (у межовий період). Жорсткість відповідно від 92 моль/м^3 до 394 моль/м^3 . За хімічним

складом води змішані, сульфатно-хлоридно-натрієво-кальцієві, слаболужні. До металів води річки Самари середньо-агресивні, а до бетонів із нессульфатостійких марок цементу – сильно агресивні за вмістом сульфатів. У донних відкладеннях річки Самара відзначається перевищення фонових значень ртуті та фтору в 1,8 разів, нікелю – в 1,5 разів, марганцю та миш'яку – в 1,4 рази [1, 3, 17].

Потрапляючи в поверхневі води, забруднюючі речовини включаються в природний кругообіг. За сприятливих умов вони накопичуються в ґрунтах, донних відкладеннях, потім переходять у рослинність, організми тварин, а через них і воду – в людину.

Підземні води. В межах шахтного поля водоносні горизонти приурочені до відкладень четвертинного, неогенового, палеогенового, тріас-юрського та кам'яновугільного віку.

Основними природними факторами, що визначають умови захищеності горизонтів ґрунтових вод, перших міжпластових водоносних горизонтів і комплексів є літологічний склад, характер поширення, фільтраційні властивості, потужність слабопроникних порід зони аерації. Рекультивація земель підсипною породою призводить до зміни зони аерації ґрунтових вод. Відсипання шахтної породи заплаву, що просіла, знижує водопровідність алювіального водоносного горизонту, ускладнює розвантаження ґрунтових вод у річку, створюючи умови підпору підземного потоку. Підпору підземних вод також сприяє утворення нового русла Самари, абсолютна відмітка урізу води в якому становить більше 63 м. До заходів щодо запобігання шкідливого впливу осідання земної поверхні відноситься також використання старого русла річки Самара в якості горизонтальної дрени з урізом води 60 м. Зіставлення даних режимних спостережень показує, що на ділянці рекультивації та в напрямку до вододілів відбувається підвищення рівня підземних вод алювіального, олігоцен-міоценового та міжгірського водоносних горизонтів. З початку режимних спостережень у всіх водоносних горизонтах відзначається підвищення рівня води:

- в техногенному та алювіальному водоносних горизонтах на 0,26-1,93 м;
- в міжгірському – на 0,36-2,75 м;

- в бучацькому – на 0,65 м.

Однак під впливом відпрацювання вугільних пластів, що мають вихід під покривні піски бучацької свити, відбувається зниження рівня води в бучацькому водоносному горизонті. Цей горизонт є основним, найбільш витриманим за потужністю та поширенню порово-пластового типу. Величина напору коливається від 17 до 41 м.

На площі шахтного поля, за Південно-Тернівським скидом, водоносний горизонт у відкладеннях тріасу відсутній, а піски бучака залягають на відкладеннях карбону. Водоносний горизонт у відкладеннях кам'яновугільної системи приурочений до пісковиків, вапняків та пластів вугілля, які становлять 25% розкритої товщі. Горизонт пластово-тріщинного типу, високонапірний (висота напору 58-166 м).

За своїм складом у верхній зоні кам'яновугільних відкладень (до 115 м) води сульфатно-хлоридні, іноді хлоридно-сульфатно-кальцієво-натрієві з мінералізацією від 1,2 до 7 г/дм³. Загальна жорсткість змінюється від 96 до 30 моль/м³. Глибше 115 м формуються хлоридно-натрієві води, дуже жорсткі з мінералізацією від 23 до 28,5 г/дм³ [1, 3].

Формування шахтних вод відбувається за рахунок вод кам'яновугільних та палеогенових відкладень. Мінералізація шахтних вод коливається від 3 до 9 г/дм³. Вміст хлоридів варіює від 1 до 10,6 г/дм³, натрію – від 0,47 до 5,5 г/дм³, сульфатів – 0,48-0,98 г/дм³. Загальна жорсткість змінюється від 20 до 81 моль/м³. За ступенем впливу на сталеві конструкції води середньо- та сильно агресивні [1, 3].

Результати спектрального аналізу сухого залишку проб води, відібраних з поверхневого відстійника шахти, показують, що більшість мікроелементів знаходиться в межах допустимих концентрацій, проте є елементи, вміст яких перевищує ГДК: барій (4,35-6,0 мг/дм³), марганець (0,63-4 мг/дм³), нікель (0,14 мг/дм³), стронцій (4,2-100,4 мг/дм³), титан (0,45-3 мг/дм³) та цинк (0,49-1,45 мг/дм³) [1, 3].

2.1.2 Водоспоживання та водовідведення

На основному промисловому майданчику джерелом господарсько-питного та протипожежного водопостачання залишаються Вербський водозабір та водовід Дніпро-Західний Донбас. Розрахункові витрати питної води становлять 687 м³/добу, що не перевищують фактичних значень [1].

Споживачами є робітники, душові установки, пральня, їдальня, котельня.

На промисловому майданчику проекрованої повітроподавальної свердловини джерелом господарсько-питного водопостачання передбачається система водоводу Дніпро-Західний Донбас з підключенням на майданчику водопровідних споруд №5.

Витрати питної води становлять 1 м³/добу [1].

Джерелом централізованого водопостачання селища Соснівка та об'єктів промислового комплексу фермерського господарства «Шахтар» передбачається водовід Дніпро-Західний Донбас із точкою підключення в районі майданчика водопровідних споруд №5 від Тернівської нитки.

Загальні витрати питної води становлять 2100 м³/добу [1].

Забір води на питні потреби з водойм та підземних джерел не здійснюється.

Джерелом технічного водопостачання основного промислового майданчика прийнято шахтну воду, очищену від бактеріологічних та механічних забруднень. Витрати вод становлять 1084,0 м³/добу [1]. Споживачами є: комплексне знепилювання, протипожежне водопостачання гірських виробок, гасіння шлаку в котельні, промислова вентиляція.

Джерелом виробничо-протипожежного водопостачання майданчика повітроподавальної свердловини будуть служити дві проектовані артезіанські свердловини, що розміщуються в районі її промислового майданчика. Дебіт кожної свердловини 10-20 м³/годину [1].

Витрати води на виробничі потреби становлять 96 м³/добу [1].

Вода витрачається на гасіння шлаку в газоповітрянагрівальній установці.

В процесі експлуатації шахти утворюються такі види стоків: побутові, дощові та шахтні.

Побутові стоки в кількості 461,0 м³/добу від основного промислового майданчика по напірному колектору прямують до групової насосної станції перекачування побутових стоків і далі перекачуються на очисні споруди повного біологічного очищення міста Павлоград, де очищуються спільно з міськими стоками [1].

На промисловому майданчику повітроподавальної свердловини побутові стоки від будівлі газоповітрянагрівальної установки направляються у водонепроникний вигріб.

Витрати стоків становлять 1 м³/добу [1].

Вивезення побутових стоків здійснюється періодично асенізаційною машиною на очисні споруди повного біологічного очищення міста Павлоград.

Дощові стоки по спланованій поверхні основного промислового майданчика відводяться в резервуари №1 і 2, ємність яких розрахована на 20-хвилинну акумуляцію найбільш забрудненої частини стоків. З резервуарів дощові стоки перекачуються у відстійники шахтних вод для їхнього спільного очищення та прямують далі з промислового майданчика за схемою відведення шахтних вод.

Дощові стоки по спланованій поверхні промислового майданчика повітроподавальної свердловини відводяться також в резервуар. З резервуару вони перекачуються на локальні очисні споруди, де очищуються до необхідних норм перед скидом у навколишнє середовище разом із дощовими водами прилеглої території.

Шахтні воді, що відкачуються на поверхню, в кількості 5736 м³/добу надходять до горизонтального відстійника, де здійснюється видалення завислих речовин, та знезаражуються рідким хлором. Після цього частина освітлених шахтних вод (850 м³/добу) використовується на виробничі потреби шахти. Споживачами в даному випадку є комплексне знепилювання, протипожежне водопостачання гірничих виробок, гасіння шлаку в котельні промислової вентиляції [1]

Решта шахтних вод (4886 м³/добу) перекачується в ставок-накопичувач, розташований в балці Свидовок, для повного освітлення. Ставок-накопичувач має ємність 5,3 млн. м³ і приймає до себе води Павлоградської групи шахт. Акумуляовані в ставку-накопичувачі шахтні води освітлюються і, після розбавлення поверхневим стоком, в паводок скидаються в річку Самара.

Існуючий ставок-відстійник шахтної води був розрахований на акумулювання річного припливу шахтної води в кількості 5,16 млн. м³/рік від Павлоградської групи шахт (шахти імені Героїв космосу, Благодатна, Павлоградська, Тернівська, Дніпровська, імені Н.І. Сташкова, Самарська) з випорожненням його ємності в період весняної повені протягом 10 діб. У зв'язку з розвитком гірських робіт відбувається постійне збільшення припливу шахтної води, прогноз якого становить близько 20 млн. м³/рік [1].

Балансова схема водовідведення шахти «Павлоградська» ВСП «Шахтоуправління Павлоградське» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» наведена на рис. 2.1.

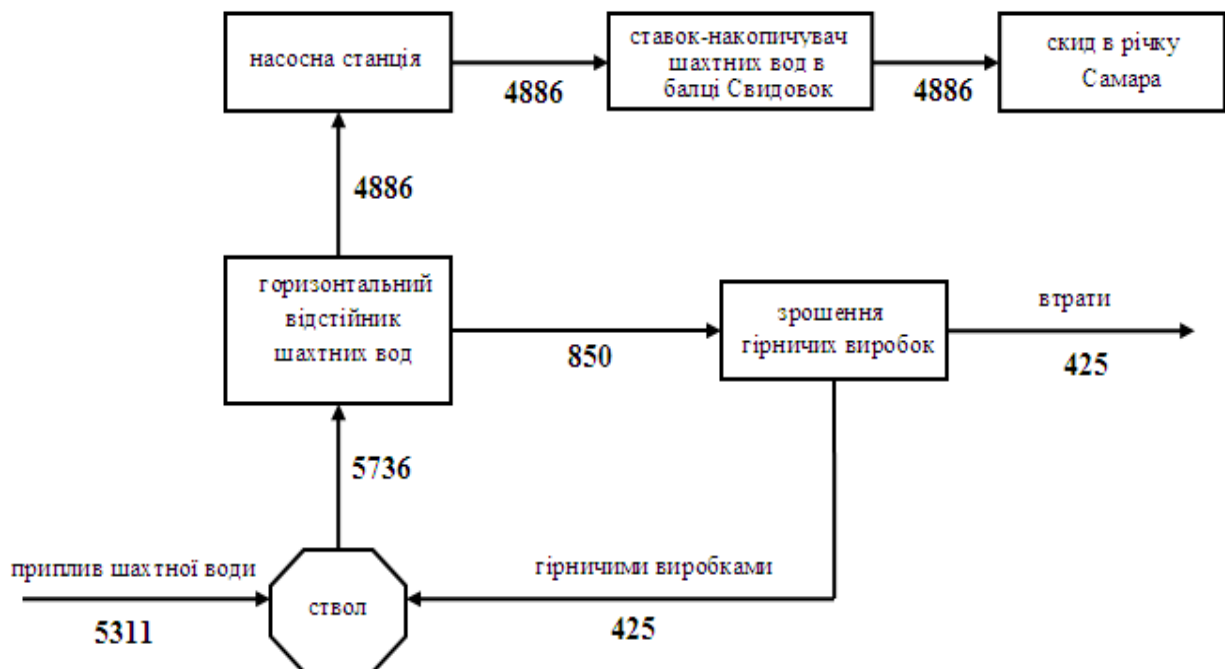


Рис. 2.1 – Балансова схема водовідведення шахти «Павлоградська» ВСП «Шахтоуправління Павлоградське» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» (величини витрат наведено в м³/добу)

Концентрації завислих речовин, які містяться в шахтних водах, що відкачуються на поверхню вугледобувним підприємством шахта «Павлоградська» ВСП «Шахтоуправління Павлоградське» та після механічного очищення з вказаною ефективністю освітлення у відстійних спорудах за існуючою технологією наведено в табл. 2.1. Крім того, наведено значення гранично допустимого вмісту завислих речовин у поверхневих водах річки Самара, яка відноситься до водойм культурно-побутового призначення, в місці скиду очищеної шахтної води.

Таблиця 2.1 – Концентрації завислих речовин в шахтній воді до та після очищення за існуючою технологією з наведеним значенням ефективності освітлення у відстійних спорудах

| Показник | До очищення (вихідна вода) | Після очищення в горизонтальному відстійнику | Після відстоювання в ставку-накопичувачі | Норматив для водойм культурно-побутового призначення [33] |
|---|----------------------------|--|--|---|
| Концентрація завислих речовин, мг/дм ³ | 150 | 56,0 | 21,6 | 10+0,75 |
| Ефективність освітлення шахтної води за вмістом завислих речовин, % | - | 62,7 | 61,4 | - |

Виходячи з отриманих в табл. 2.1 результатів, можна зробити висновок, що внаслідок механічного очищення шахтних вод у відстійних спорудах за існуючою технологією, концентрація завислих речовин під час скиду освітлених стоків у поверхневі води річки Самара не відповідає величині гранично допустимого вмісту механічних домішок для водойм культурно-побутового призначення, тобто фактичне значення перевищує нормативне в 2 рази.

По мірі акумуляції осаду в ставку-накопичувачі, ефективність очищення шахтної води падає, кількість завислих речовин на виході перевищує допустимі

концентрації і використовувати ці води в господарсько-побутових цілях можна тільки після додаткового очищення.

2.1.3 Якісно-кількісна характеристика стічних вод шахти «Павлоградська» ВСП «Шахтоуправління Павлоградське»

Кількісні та якісні показники складу та властивостей кожної категорії стічних вод шахти «Павлоградська» ВСП «Шахтоуправління Павлоградське» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Кількісні та якісні показники складу та властивостей стічних вод шахти «Павлоградська» ВСП «Шахтоуправління Павлоградське» [1]

| Категорія стічних вод | Витрати стічних вод, м ³ /добу | Забруднююча речовина | Концентрація, мг/л | Місце очищення стічних вод |
|-----------------------|---|----------------------|--------------------|---|
| Побутові стоки | 462 | Завислі речовини | 365 | Павлоградські очисні споруди повного біологічного очищення |
| | | БСК | 422 | |
| | | Азот | 45 | |
| | | Фосфати | 19 | |
| | | Хлориди | 51 | |
| | | ПАВ | 14 | |
| Шахтні води | 5311 | Завислі речовини | 100-200 | Ставок-відстійник шахтних вод в балці Свидовок |
| | | Нафтопродукти | 1,1 | |
| | | Натрій, калій | 1350 | |
| | | Кальцій | 350 | |
| | | Залізо загальне | 1-1,6 | |
| | | Нітрати | 0,06-0,1 | |
| | | Азот амонійний | 0,3 | |
| | | Фосфати | 0,08 | |
| | | Магній | 300 | |
| | | Хлориди | 3350 | |
| | | Сульфати | 470 | |
| | | Сухий залишок | 6310 | |
| | | Жорсткість | 32,55 | |
| Дощові стоки | періодично | Завислі речовини | 650/1720 | Відстійник шахтних вод із нафтозбірним пристроєм; локальні очисні споруди |
| | | Нафтопродукти | 20/14 | |
| | | Сухий залишок | 220/600 | |
| | | БСК | 53/53 | |

Примітка: в чисельнику – дані щодо основного промислового майданчика; в знаменнику – дані щодо промислового майданчика повітроподавальної свердловини.

2.2 Вимоги, що пред'являються до якості шахтних вод при їхньому використанні та скиді у водойми

2.2.1 Вимоги, що пред'являються до якості шахтних вод при їхньому використанні

Якщо за своїм походженням та фізико-хімічним складом шахтні води найбільш близькі до природних підземних вод, то з екологічної точки зору вони розглядаються як особливий тип виробничих стічних вод. Їхня особливість полягає в тому, що вони, за винятком невеликої частини технічної води, що використовується для цілей пилоподавлення та змішується потім з шахтними водами, не використовується безпосередньо в технологічному процесі, але заважають проведенню робіт, забруднюються та відкачуються на поверхню. Тому до якості шахтної води при скиді у водні об'єкти пред'являються ті ж екологічні вимоги, що й до інших типів стічних вод.

Відкачувані на поверхню шахтні води можуть бути використані на власні та виробничі потреби шахт і сусідніх із ними підприємств та в сільському господарстві. Можливість та об'єм використання шахтних вод визначаються [18]:

- наявністю споживачів неочищеної та очищеної шахтної води та їх потребою у воді;

- вимогами цих споживачів до якості води, що споживається;

- припливом та фізико-хімічним складом шахтних вод;

- технічною можливістю та вартістю очищення шахтних вод до необхідних кондицій.

Основними споживачами шахтних вод є:

- технологічні процеси на збагачувальних фабриках та установках з мокрим збагаченням вугілля;

- профілактичне замулювання та гідрозакладка виробленого простору шахт;

- профілактика самозаймання та гасіння породних відвалів;

- гідровидобування та гідротранспорт вугілля;

- котельні (отримання пари та гідрозоловидалення);
- стаціонарні компресорні, дегазаційні установки та кондиціонери;
- боротьба з пилом у підземних виробках, на технологічних комплексах поверхні шахт та на збагачувальних фабриках.

Використання шахтних вод на господарсько-питні потреби (в якості питної води) суперечить чинним санітарним правилам через неможливість організації зон санітарного захисту джерела водопостачання.

Питомі витрати води на виробничі потреби у видобутку вугілля підземним способом за укрупненими нормами становлять 0,61; при відкритому способі – 0,15; при мокрому збагаченні – 0,086 м³/тонну. Отже, при середньому коефіцієнті водорясності шахт 6,8 на вугільних підприємствах може бути використана лише невелика частина шахтних вод, що становить у середньому 10-12%. Надлишковий об'єм, якщо він не може бути використаний на сусідніх підприємствах, що залежить від місцевих умов, підлягає скиду у водні об'єкти [18, 27].

Загальні вимоги до води, що призначена для використання на технічні потреби, зводяться до наступних [30]:

- бути нешкідливою здоров'ю обслуговуючого персоналу;
- не мати негативних органолептичних властивостей;
- не викликати корозії обладнання, апаратури, трубопроводів та споруд;
- не давати сольових відкладень та не сприяти розвитку біологічних обростань;
- не знижувати техніко-економічних показників виробничого процесу та не створювати аварійних режимів.

Крім того, кожен споживач висуває до води свої специфічні вимоги. Зіставлення перерахованих вище загальних та специфічних вимог споживачів до якості води з фізико-хімічним складом шахтних вод з урахуванням об'ємів можливого споживання дозволяє стосовно до умов конкретної шахти оцінити доцільність використання шахтних вод з технічної та економічної точок зору.

За величиною граничної концентрації завислих речовин у воді, призначеної для використання, всі основні споживачі (технологічні процеси та апарати)

можуть бути поділені на дві групи. До I групи належать технологічні процеси мокрого збагачення вугілля, профілактичне замулювання та гідрозакладка, профілактика самозаймання та гасіння породних відвалів, гідровидобування, гідротранспорт та котельні (гідрозоловидалення), до II групи – котельні (отримання пари), стаціонарні компресорні та дегазаційні установки, кондиціонери, боротьба з пилом.

Споживачі I групи не висувають високих вимог щодо якості води по концентрації завислих речовин та інших забруднюючих інгредієнтів і можуть використовувати шахтні води без попереднього очищення. Досвід показує, що використання неочищених шахтних вод цими споживачами відповідно до показників сольового складу не призводить до будь-яких небажаних наслідків.

Концентрація завислих речовин у воді, призначеній для споживачів II групи, повинна бути в межах 5-75 мг/л. Високі вимоги пред'являються також до показників жорсткості, рН, вмісту вільного кисню та вільної вуглекислоти (табл. 2.3). Для боротьби з пилом допускається використання шахтних вод за умови їхньої відповідності за бактеріологічними, токсикологічними та радіаційними показниками вимогам до питної води. Виходячи з цього, шахтні води можуть бути використані споживачами II групи, як правило, за умови попереднього очищення.

Питання можливості використання шахтних вод на підприємствах інших галузей промисловості та сільському господарстві вирішується окремо в кожному конкретному випадку за тим самим принципом, що й для вугільних шахт.

Таким чином, всі три характерні типи шахтних вод (нейтральні прісні, нейтральні солонуваті, кислі) при їхньої підготовці до використання на виробничі потреби, залежно від їхнього фізико-хімічного складу та вимог споживачів до якості води, потребують очищення від завислих речовин, нафтопродуктів, збудників захворювань, зниження жорсткості, лужності, окислюваності, а води другого та третього типів, крім того, опріснення або нейтралізації. При їхньому відповідному очищенні потреба шахт, розрізів, збагачувальних фабрик у воді на

виробничі потреби може бути повністю задоволена за рахунок цих вод, а частка шахтних вод, що використовуються в цілому по галузі, збільшиться до 20%.

Таблиця 2.3 – Вимоги до якості шахтних вод для виробничих споживачів другої групи [18]

| Нормовані показники якості води | Шахтні стаціонарні та пересувні установки для кондиціювання повітря | Вакуум-насосні установки для дегазації вугільних пластів | Стаціонарні компресори | Стаціонарні турбо-компресори | Парові водогрубні котли продуктивністю до 25 тонн пари/годину | Водогрійні котли продуктивністю до 30 Гкал/год.ину |
|--|---|--|------------------------|------------------------------|---|--|
| Водневий показник рН | 6,5-8,5 | 6,5-8,5 | 6,5-8,5 | 6,5-8,5 | 8,5-10,5 | 7,0-11,0 |
| Вміст завислих речовин, мг/дм ³ | 75 | 40 | 40 | 50 | 5,0 | 5,0 |
| Вміст масел та важких нафтопродуктів, мг/дм ³ , не більш | не нормується | не нормується | не нормується | не нормується | 1,0 | 1,0 |
| Мінералізація загальна, мг/дм ³ , не більш | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | за паспортами обладнання | не нормується |
| Жорсткість загальна, мг-екв/дм ³ , не більш | не нормується | 7,0 | 7,0 | 7,0 | 0,02 | 0,05 |
| Жорсткість карбонатна, мг-екв/дм ³ , не більш | 6,0 | 6,0 | 2,5 | 3,75 | не нормується | 0,7 |
| Вміст сполук заліза в перерахунок на Fe, мг/дм ³ , не більш | не нормується | не нормується | не нормується | не нормується | не нормується | 0,5 |
| Вміст вільного кисню, мг/дм ³ , не більш | не нормується | не нормується | не нормується | не нормується | 0,05 | 0,05 |
| Вільна вуглекислота | не нормується | не нормується | не нормується | не нормується | не нормується | не нормується |

2.2.2 Вимоги, що пред'являються до якості шахтних вод при скиді у водні об'єкти

Критеріями якості або ступеня допустимого забруднення шахтних вод при їхньому скиді у водні об'єкти є встановлені для водних об'єктів величини показників складу та властивостей води, гранично допустимі концентрації (ГДК) та орієнтовні допустимі рівні (ОДР) шкідливих речовин. Умови їхнього скиду регламентуються державними нормативними документами [31-33].

Відповідно до цих документів об'єми та показники якості стічних вод, що підлягають скиду у водні об'єкти, визначаються окремо для кожного конкретного підприємства зі встановленням гранично допустимих скидів (ГДС) речовин та видачею підприємству дозволу на спеціальне водокористування. Об'єми та показники якості стічних вод встановлюються з урахуванням перспективи розвитку підприємства залежно від призначення (виду водокористування), гідрологічної характеристики та санітарного стану водного об'єкта, ступеня можливого змішування та розведення стічних вод водою водного об'єкта на ділянці від місця випуску до найближчого контрольного створу. Скид стічних вод у водні об'єкти не повинен призводити до таких змін показників складу, що регламентуються, та властивостей води водних об'єктів, внаслідок яких їхні значення в контрольному створі виходять за межі встановлених значень.

Всі водні об'єкти за своїм призначенням поділяються на два види [32]:

- 1 – господарсько-питного та комунально-побутового водокористування;
- 2 – рибогосподарського водокористування.

Водні об'єкти першого виду, своєю чергою, поділяються на дві категорії. До першої категорії належать водні об'єкти, призначені для централізованого чи нецентралізованого господарсько-питного водопостачання міст та населених пунктів, а також для водопостачання підприємств харчової промисловості. В другу категорію входять водні об'єкти, призначені для купання, спорту, відпочинку населення, а також водойми, що знаходяться в межах населених пунктів. Гігієнічні вимоги до складу та властивостей води водних об'єктів першої та другої категорій включають такі показники: завислі речовини, плаваючі домішки (речовини), запахи, присмаки, кольоровість, температура, водневий показник (рН), мінеральний склад, розчинений кисень, БСК_{повн}, ХСК, хімічні речовини, збудники хвороб. Крім того, санітарними правилами [32] встановлено ГДК для великої кількості шкідливих речовин, перелік яких постійно поповнюється, за трьома лімітуючими показниками шкідливості: санітарно-токсикологічним, загально-санітарним та органолептичним.

Водні об'єкти рибогосподарського водокористування поділяються на три категорії. До вищої та першої категорії відносяться водні об'єкти, що використовуються для збереження та відтворення цінних видів риб, що мають високу чутливість до вмісту кисню. До другої категорії належать водні об'єкти, що використовуються для всіх інших рибогосподарських цілей. Загальні вимоги до складу та властивостей води водних об'єктів усіх категорій рибогосподарського призначення включають такі ж показники, що й для водних об'єктів першого виду, а також додатковий показник – токсичність води. Для водних об'єктів рибогосподарського призначення правилами [32] також встановлені свої ГДК для шкідливих речовин за п'ятьма лімітуючими показниками шкідливості: токсикологічним, санітарно-токсикологічним, органолептичним, рибогосподарським та загально-санітарним. За наявності в стічних водах кількох шкідливих речовин з однаковим показником шкідливості, що лімітує, розрахунок їх допустимих концентрацій проводиться з урахуванням підсумовуючої дії.

В разі одночасного використання водного об'єкта для різних потреб народного господарства при визначенні умов скидання стічних вод слід виходити з більш жорстких вимог за однойменними показниками якості води водних об'єктів. Найближчі до місця випуску стічних вод пункти господарсько-питного та культурно-побутового водокористування визначаються органами санітарно-епідеміологічної служби з огляду на перспективу використання водного об'єкта. Категорія рибогосподарського використання водного об'єкта визначається органами рибоохорони з урахуванням розвитку рибного господарства в перспективі. Контрольний створ розташовується на водотоках в 1 км вище найближчого пункту господарсько-питного та культурно-побутового водокористування, а на непроточних водоймах та водосховищах – в 1 км в обидва боки від пункту водокористування. Для рибогосподарських водних об'єктів місце розташування контрольного створу визначається в кожному конкретному випадку органами рибоохорони, але не далі, ніж 500 м від місця випуску стічних вод.

Гранично допустимі скиди (ГДС) речовин у водні об'єкти зі стічними водами встановлюються відповідно до методики [34]. ГДС розраховується для завислих речовин, сухого залишку, сульфатів, хлоридів, БСК_{повн}, а також для тих шкідливих речовин, що містяться в стічних водах і на які розроблені ГДК або ОДР. Для показників плаваючі домішки (речовини), розчинений кисень, запахи, присмаки, забарвлення, температура, реакція рН, збудники захворювань, які підпадають під загальні вимоги до складу та властивостей води водних об'єктів, розрахунок ГДС не проводиться.

Перелік показників, за якими необхідне очищення шахтних вод перед скидом у водні об'єкти, визначається в кожному конкретному випадку шляхом аналізу та зіставлення фактичних значень показників їхнього фізико-хімічного складу з нормативами ГДС. Зазвичай, при скиді шахтних вод у водні об'єкти потрібне їхнє очищення від завислих речовин, нафтопродуктів, збудників захворювань. Кислі шахтні води потребують, крім того, нейтралізації, а мінералізовані – опріснення. Спеціальне очищення шахтних вод за іншими показниками, наприклад, органічними речовинами, фенолами, важкими металами, в даний час не проводиться, оскільки вважається, що необхідне поліпшення цих показників досягається в процесі очищення за перерахованими вище основними показниками.

2.3 Вибір технології очищення шахтних вод та проектування очисних споруд

Як показали результати виконаних досліджень, шахтні води істотно відрізняються від природних підземних та поверхневих вод, господарсько-побутових та різних типів виробничих стічних вод великою різноманітністю з точки зору умов формування, величин припливів води, фізико-хімічного складу та технологічних властивостей, а також їхньої зміни у часі в зв'язку з переходом на нові горизонти і ділянки родовища та розвитком гірничих робіт, що зумовлює необхідність виваженого, науково обґрунтованого підходу до вибору технології

очищення з максимальним урахуванням специфіки та умов конкретного підприємства. Вибір технології очищення та проектування очисних споруд повинен здійснюватися на підставі достатнього об'єму вихідних даних, що містять відомості про величину припливів води, склад і технологічні властивості води, що очищується, та осаду, потенційних споживачів очищеної води та їхніх вимог до якості споживаної води, з урахуванням перспективи розвитку підприємства та зміни стану навколишнього середовища в районі його розміщення [35]. При недотриманні цих принципів нерідко виникали випадки, коли після введення очисних споруд в експлуатацію з'ясовувалося, що технологія очищення в цілому або її окремі елементи непрацездатні, не забезпечують проектну ефективність очищення по всьому комплексу забруднюючих інгредієнтів і досягнення чинних нормативних вимог.

Методичний підхід до вибору технології очищення шахтних вод та проектування очисних споруд включає виконання ряду необхідних і послідовних етапів (стадій) [18, 35]:

- збір, аналіз та узагальнення багаторічних даних за гідрогеологічними умовами розроблюваного родовища, величинами припливів води в гірничі виробки, фізико-хімічним складом води, виявлення специфічних забруднюючих інгредієнтів та рівня забруднення, прогноз їхніх змін з урахуванням розвитку підприємства на період, що відповідає терміну служби проєктованих очисних споруд;

- проведення передпроектних досліджень технологічних властивостей шахтних вод та способів їхнього очищення на модельних експериментальних установках на даному підприємстві в повному обсязі за розробленими та затвердженими методиками;

- аналіз отриманих результатів досліджень та підготовка вихідних даних на проектування очисних споруд, включаючи виконання необхідних розрахунків та обґрунтувань;

- вибір конкуруючих варіантів технології, що забезпечує очищення шахтних вод до нормативних вимог, їхня техніко-економічна оцінка та виявлення

оптимального варіанту, вибір та розрахунок основних елементів споруд та пристроїв;

- розробка проекту очисних споруд відповідно до підготовлених вихідних даних;

- будівництво споруд, монтаж обладнання та пристроїв, виконання пусконаладжувальних робіт по всьому комплексу очисних споруд з метою досягнення режимів та заданої ефективності їхньої роботи.

Вихідні дані, необхідні для обґрунтованого вибору технології очищення та розробки технологічної частини проекту очисних споруд, включають [18, 35]:

- приплив шахтних вод та об'єм виробничих стічних вод, що очищуються спільно;

- режим (добовий графік) відкачування шахтних вод та надходження виробничих стічних вод, що підлягають сумісному очищенню;

- фізико-хімічний склад шахтних та виробничих стічних вод;

- перелік можливих споживачів шахтних вод, їхні вимоги до якості води, об'єм та добовий графік споживання;

- вимоги органів державного контролю з охорони водних ресурсів до якості стічних вод, що скидаються у водні об'єкти;

- результати досліджень технологічних властивостей і способів очищення шахтних вод сумісно з виробничими стічними водами та осаду, що утворюється в процесі їхньої очистки.

Для визначення продуктивності очисних споруд необхідно мати відомості про припливи шахтних вод та об'єми виробничих стічних вод за останні 3-5 років та прогноз припливів на період відпрацювання запасів. Прогнозні дані повинні враховувати перспективи їхньої зміни внаслідок розширення підприємства, вдосконалення технології робіт, розкриття нових горизонтів, поліпшення умов та безпеки робіт. Важливе значення має також тривалість сезонних коливань припливів води.

Графік роботи насосної станції головного водовідливу повинен передбачати мінімально можливу тривалість перерв у роботі насосних агрегатів за умов

безпеки та рівномірний розподіл перерв протягом доби, що забезпечує більш постійну концентрацію забруднюючих інгредієнтів і дисперсний склад завислих речовин у шахтних водах, що відкачуються на поверхню, мінімальну ємність усереднювачів, більш рівномірну та стійку роботу очисних споруд. З урахуванням цих вимог на діючих шахтах розглядається можливість покращення графіка роботи насосної станції головного та дільничних водовідливів.

Результати аналізів фізико-хімічного складу шахтних вод збираються, по можливості, за тривалий період, але не менше ніж за 3-5 років. За відсутності таких даних виконання фізико-хімічних аналізів проводиться під час проведення передпроектних технологічних досліджень. При цьому особлива увага звертається на виявлення та визначення концентрації специфічних забруднень техногенного походження. За результатами аналізів встановлюється перелік показників, за якими необхідне очищення води, а також ступінь агресивності її щодо металу, бетону та залізобетону.

Проекти очисних споруд повинні передбачати економічно доцільні об'єми використання неочищених та очищених шахтних вод на виробничі потреби шахти та сусідніх підприємств з метою скорочення витрат питної та свіжої технічної води, зменшення обсягу скиду у водойми та відшкодування частини витрат на очищення води за рахунок економії питної та свіжої технічної води. Перелік споживачів води, обсяги водоспоживання та вимоги до якості води з урахуванням застосовуваної технології та типів обладнання визначаються окремо в кожному конкретному випадку в зв'язці з фізико-хімічним складом води, що очищується.

Вимоги до якості шахтних вод, що скидаються, уточнюються стосовно конкретного водного об'єкта з урахуванням їхнього змішування та розведення водою водного об'єкта, його призначення та санітарного стану.

У зв'язку з тим, що фізико-хімічний склад шахтних вод, концентрація забруднюючих інгредієнтів, мінералогічний та гранулометричний склад завислих речовин змінюються протягом року, виконання технологічних досліджень рекомендується проводити не менше двох разів у найбільш характерні періоди року, тобто в період нормальних припливів (влітку або взимку) та в період

максимальних припливів (навесні або восени). Це дозволить отримати надійніші результати та уникнути помилок при розробці технологічної частини проектів очисних споруд.

При підготовці вихідних даних для проектування очисних споруд на нових шахтах припливи води та її фізико-хімічний склад приймаються за даними гідрогеологічної розвідки родовища та прогнозу їхньої можливої зміни на період відпрацювання шахтного поля. Технологічні дослідження шахтних вод та осаду виконуються на одному з сусідніх підприємств, що працює в аналогічних гірничо-геологічних умовах.

З фізико-хімічним складом шахтних вод тісно пов'язані їхні технологічні властивості. До основних показників технологічних властивостей, що визначають, в кінцевому підсумку, технологію очищення води від завислих речовин і обробки осаду, що при цьому утворюється, відносяться [35]:

- седиментаційні характеристики завислих речовин;
- типи та оптимальні дози реагентів (коагулянту та флокулянту);
- фільтраційні властивості води;
- параметри осаду;
- доза хлору для знезараження.

Седиментаційні характеристики завислих речовин зазвичай виражаються кривими їхнього випадіння в осад при відстоюванні в статичних умовах без обробки і з попередньою обробкою води реагентами.

Характер і швидкість осідання завислих речовин при безреагентному відстоюванні суттєво різняться по шахтах, навіть у межах одного родовища. На деяких з них, особливо при невеликих початкових концентраціях, процес осідання відбувається досить рівномірно в часі, на інших шахтах, особливо при великих початкових концентраціях, осідання завислих речовин інтенсивно протікає в перший період часу (від 0,5 до 3 годин), а потім сповільнюється. На окремих шахтах завислі речовини представлені кінетично стійкими тонкодисперсними частинками, які практично не випадають в осад протягом тривалого часу. Середня

швидкість осідання, що забезпечує зниження концентрації завислих речовин до певної заданої величини, широко варіює для води різних шахт.

Обробка води реагентами зазвичай дозволяє прискорити процес осідання завислих речовин у кілька разів. Однак ефективність різних реагентів на одній і тій же шахті та одного і того ж реагенту на різних шахтах помітно відрізняється.

В деяких випадках позитивний результат досягається лише спільним застосуванням коагулянту та флокулянту. Оптимальні дози реагентів змінюються в межах 20-150 мг/л для коагулянтів (сірчаноокислого алюмінію, хлорного заліза та інших) та 0,2-2 мг/л для флокулянтів (поліакриламід, поліетиленамін та інших). Застосування флокулянту в поєднанні з коагулянтом дозволяє знизити дозу коагулянту на 20-50%

До основних фільтраційних характеристик шахтних вод відносяться швидкість фільтрування, тривалість фільтроциклу, тип та доза реагенту в умовах контактної коагуляції. Оптимальні значення цих показників забезпечують на вибраному типі фільтра, що характеризується певною висотою та крупністю фільтруючого завантаження, отримання води необхідної якості при певній початковій концентрації завислих речовин. Дослідженнями встановлено, що показники фільтраційних характеристик шахтних вод залежать від багатьох факторів та змінюються в широких межах.

Осад шахтних вод утворюється, в основному, при їхньому відстоюванні або освітленні в шарі завислого осаду, при згущенні промивної води фільтрів і являє собою тонкодисперсну, високозольну суспензію, що погано фільтрується, з вмістом твердої фази від 1 до 50 г/л. Дисперсний та мінералогічний склад осаду відповідає дисперсному та мінералогічному складу завислих речовин, що містяться в шахтних водах та видаляються з них у процесі очищення.

До основних показників технологічних властивостей осаду відносяться динаміка ущільнення, щільність, вологість, зольність, питомий опір фільтруванню [18, 35]. Величини цих показників залежать від великої кількості факторів, у тому числі способу утворення (при відстоюванні або освітленні в шарі завислого осаду шахтних вод, при відстоюванні промивної води фільтрів), типу та

доза реагенту, що застосовується при цьому, вихідного вмісту, дисперсного та мінералогічного складу твердої фази в осаді. З цієї причини діапазон коливання чисельних значень показників досить широкий.

Процес інтенсивного ущільнення осаду в залежності від впливу перерахованих вище факторів триває від кількох годин до 10 діб, а іноді й більше, а потім суттєво уповільнюється.

Щільність осаду наприкінці періоду інтенсивного ущільнення становить від 1090 до 1260 кг/м³, вологість від 50 до 95%. Кращою здатністю до ущільнення, більш високою щільністю та низькою вологістю після закінчення періоду інтенсивного ущільнення характеризується осад, отриманий при відстоюванні без застосування реагентів, ніж при відстоюванні з реагентною обробкою.

Щільність твердої фази осаду залежить, в основному, від мінералогічного складу завислих речовин у вихідній шахтній воді та становить від 1400 до 2400 кг/м³, а зольність – від 22 до 90%. Питомий опір осаду фільтруванню варіює в широких межах – від $1 \cdot 10^{10}$ до $300 \cdot 10^{10}$ см/р. Тип та оптимальна доза реагентів залежать не тільки від складу та властивостей осаду, але й від методу зневоднення. При зневодненні методом центрифугування хороші результати дає застосування ПАА, при зневодненні методом фільтрування – вапно.

Доза хлору для знезараження шахтних вод переважно визначається їхнім фізико-хімічним складом, ступенем очищення від завислих речовин перед знезараженням, характером та вмістом органічних речовин. Залежно від цих факторів, вона може змінюватися від 2 до 10 мг/л.

Показники технологічних властивостей шахтних вод та осаду визначаються шляхом виконання технологічних досліджень із використанням відомих методик [36, 37].

3 РОЗРОБКА ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОСВІТЛЕННЯ ШАХТНИХ ВОД ЗА ВДОСКОНАЛЕНОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ ОЧИЩЕННЯ ДЛЯ УМОВ ВОДОВІДЛИВУ ДІЮЧОГО ВУГЛЕДОБУВНОГО ПІДПРИЄМСТВА

3.1 Обґрунтування технічного рішення щодо підвищення ефективності очищення шахтної води від завислих речовин

Оригінальна конструкція проточного горизонтального відстійника [38] відноситься до технічних рішень очищення промислових стічних вод різноманітного походження, забруднених механічними домішками полідисперсного складу, методом гравітаційного відстоювання. Ця очисна споруда може бути використана в різних галузях промисловості, в тому числі вугільній, для очищення стічної води від нерозчинних твердих речовин, переважно однорідного хімічного складу з питомою щільністю, що перевищує густину води.

Конструкція запропонованого горизонтального відстійника (рис. 3.1) відрізняється від існуючих відстійних споруд тим, що її корпус виконано у вигляді жолоба, який поступово звужується в напрямку від місця подачі забруднених шахтних вод до зливного отвору, звідки відводиться освітлена вода. При цьому глибина запропонованого відстійника поступово збільшується.

Всередині жолоба послідовно встановлено поперечні вертикальні перфоровані перегородки з перетином, що відповідає змінному перетину корпусу відстійника. Головним призначенням перегородок є вирівнювання горизонтальної швидкості руху потоку шахтної води, що подається на освітлення, за глибиною при поступовому її сповільненні за довжиною відстійника. В цьому випадку покращуються гідравлічні характеристики роботи відстійної споруди за рахунок встановлення ламінарного режиму течії освітлюваної води. Це, в свою чергу, прискорює процес випадіння частинок зависі на дно відстійної споруди, внаслідок чого підвищується показник ефективності освітлення шахтної води. Крім цього,

наявність перегородок виключає руйнування шару осаду, що сповзає по похилому днищу корпусу відстійника, внаслідок чого практично виключається виникнення «ефекту повторного каламучення» в придонному шарі осаду.

Рис. 3.1 – Схема конструкції запропонованого горизонтального відстійника

Оскільки корпус встановлений на опорі з нахилом днища під кутом α до горизонтальної площини (рис. 3.1, а) у бік зливного отвору, забезпечується сповзання осаду, що випадає в процесі освітлення, на дно в найглибшу частину відстійника. Звідти мул, що утворився, може періодично зливатися через отвір у днищі без зупинки роботи відстійника. При цьому саме днище корпусу є жолобом, перетин якого має вигляд рівнобедреного трикутника, основою якого служить нижня кромка прямокутної перегородки. Таким чином, між дном і перегородкою утворюється зазор трикутної форми з кутом нахилу граней до горизонтальної площини, що сприяє безперешкодному сповзанню осілого шламу переважно по осі днища.

Запропонована конструкція проточного горизонтального відстійника працює наступним чином:

Вихідний потік води по трубопроводу (2) подають у струмино-розподільчий лоток (3), що має прямокутну форму. Через отвори (4) на дні струмино-розподільчого лотка потік рівномірно розподіляється по всій ширині неглибокої початкової частини пристрою. При цьому швидкість води, що освітлюється, знижується. Для рівномірного розподілу потоку води, що очищується, ліквідації «застійних» зон, збільшення коефіцієнта об'ємного використання відстійника та поліпшення процесу освітлення по всьому змінному перетину корпусу (1) стаціонарно встановлюються поперечні вертикальні перфоровані перегородки (9). Перфорація виконана у вигляді отворів, рівномірно розподілених по всьому перетину перегородок. При цьому потік рідини переміщується через систему згаданих перегородок, поперечна площа та прямокутна форма яких відповідає

перетину корпусу відстійника, до протилежного випускного торця очисної споруди. Площа перетинів кожної наступної перегородки в загальному випадку може бути однаковою, але на практиці її бажано поступово підвищувати, що забезпечується підбором кутів звуження жолоба β (рис. 3.1). Поступове збільшення площі перегородок забезпечить зниження швидкості потоку в міру його просування жолобом і підвищить інтенсивність осідання більш дрібних частинок зависі.

Осад, що випадає, сповзає по нахиленому днищу в напрямку руху води, збирається в нижній частині днища корпусу, надходить до приймального бункера для накопичення та ущільнення осаду (7) і через отвір (11) шлам відводиться по трубопроводу (8) без зупинки роботи очисної споруди. Верхній шар освітленої води через зливний отвір (10) надходить до водозбірного лотка (5), що розташований на задній торцевій стінці відстійника, та відводиться по трубопроводу (6).

Виконання зливного отвору (10) у вигляді щілини та облаштування водозбірного лотка (5) по всій ширині задньої торцевої стінки відстійника дозволяє отримати стабільний рівень води в ньому, рівномірне витікання найчистішого верхнього шару освітленої води, що мало впливає на гідравлічний режим роботи відстійника. Водозбірний лоток має достатню ємність, що є важливим для підтримки робочого горизонту води у відстійнику.

Оскільки найбільша кількість осаду, що випадає, накопичується в передній частині відстійної споруди, нахил дна традиційних горизонтальних відстійників виконують у бік впуску води. Дослідження, наведені в роботі [39], показали, що зменшення глибини відстійника до виходу тягне за собою скорочення необхідного часу для випадіння завислих часточок.

В запропонованій конструкції горизонтального відстійника, по мірі проходження стічної води, глибина відстійної споруди, починаючи від впускного струмино-розподільчого лотка, поступово зростає, досягаючи свого максимального значення у протилежній (задній) торцевій стінці, де продовжують осідати найбільш дрібні часточки, оскільки більш крупні встигають осісти на дно

вже в неглибокій частині (до першої перегородки) відстійника. При цьому у заднього випускного торця відстійника, де глибина жолобу максимальна, навіть дрібні частинки, продовжуючи осідати, опиняться на достатньо більшій глибині відносно поверхневого шару освітленої води, що зливається, не порушуючи процес осідання, тобто практично не відбувається взаємодії освітленої води, що зливається, з осадом. Крім того, виконання днища корпусу відстійника в формі рівнобедреного трикутника забезпечує вільне сповзання осаду в трикутному просвіті, що утворюється, між днищем і перегородкою до шлакоприймального отвору, мало впливаючи на «живий» перетин відстійної споруди.

Для поліпшення гідродинамічних умов роботи відстійника (збільшення коефіцієнта об'ємного використання та ефективності його роботи) конструкції елементів впуску та випуску стічної води повинні забезпечити її рівномірний розподіл за шириною та глибиною потоку [40]. Інерція маси води, що надходить у відстійну споруду зі значною швидкістю, різко знижує ефект роботи тієї частини відстійника, яка знаходиться поблизу впуску. Внаслідок високих швидкостей руху води, осідання завислих частинок тут ускладнюється (за винятком крупних фракцій із високою щільністю речовини). Це потребує облаштування системи раціонального впуску. Причому незатоплені впускні конструкції забезпечують кращі гідравлічні умови за часом освітлення води у відстійнику та швидкості протікання, порівняно з затопленими. Тому рекомендується подача стічної води у відстійник з використанням струмино-розподільчого лотка. В ньому кінематична енергія вхідних струменів гаситься досить ефективно, внаслідок чого на вході в робочу зону відстійника (в початкову секцію) здійснюється рівномірний розподіл води по всьому поперечному перетину.

Збір освітленої води на виході з відстійника необхідно здійснювати таким чином, щоб швидкість надходження води до переливної кромки випускного щілинного отвору була меншою, ніж швидкість підсмоктування частинок осаду у верхній освітлений шар рідини. В запропонованому відстійнику збір освітленої води рекомендується здійснювати у водозливну кишеню, розташовану на задньому торці відстійної споруди, зовні корпусу, поблизу вільної поверхні

поток рідини (рис. 3.1). Така конструкція водозливного пристрою забезпечує мінімальну дію зливу на траєкторії руху твердих частинок, що продовжують осідати в останній секції відстійника, навіть у разі невеликих розмірів, що, зрештою, дозволяє випускати з відстійника максимально освітлену воду. До того ж, вода, що надходить у відстійник і зливається з нього, повинна переливатися рівним шаром по всій довжині зливних ребер кишень, для чого лотки, що приймають стічну воду і відводять очищену, встановлюються строго горизонтально, а рівень зливного ребра повинен бути трохи нижче рівня ребра кишені, що забезпечує надходження води у відстійник. Різниця висот зливних кишень встановлюється з урахуванням продуктивності відстійника.

Поліпшення умови процесу відстоювання залежить, за наявності в потоці вільної поверхні, досягається шляхом створення стабільної гідродинамічної структури потоку, тобто за рахунок зниження інтенсивності високомутних придонних течій та ліквідації великомасштабних завихрень у верхній частині потоку. Це досягається встановленням проміжних вертикальних перфорованих перегородок по всьому перетину відстійника, які поділяють потік рідини, що очищується, на безліч окремих шарів (струменів) малої висоти.

Вказані перегородки, встановлюються в потоці рівномірно за всією довжиною жолоба запропонованого відстійника. Вони сприяють гасінню енергії донних і поверхневих течій, вирівнюванню швидкостей за всім перетином споруди, а також ведуть до збільшення коефіцієнта його об'ємного використання та підвищення інтенсивності осідання частинок залежить, що знаходяться в стічній воді. Їхнє головне завдання – не затримання домішок, а вирівнювання горизонтальної швидкості руху освітлюваної води за глибиною з поступовим її зниженням за довжиною відстійника. Це суттєвим чином покращує гідравлічний режим роботи споруди, а, відповідно, підвищує ефективність очищення (освітлення) стічної води. Внаслідок встановлення у відстійнику проміжних перфорованих перегородок, його будівельний об'єм використовується достатньо повно, і тому фактична тривалість відстоювання стічної води та швидкість потоку наближаються до розрахункових значень.

В роботі [41] виконано порівняльний аналіз впливу кількості перегородок на гідравлічний режим течії освітлюваної води й осідання частинок зависі в запропонованому горизонтальному відстійнику. На підставі отриманих результатів зроблено висновок про доцільність встановлення у відстійній споруді запропонованої конструкції чотирьох або п'яти перегородок. Саме така кількість перегородок забезпечить найбільшу ефективність очищення шахтної води від завислих речовин. При розміщенні більш п'яти перегородок очікувана ефективність освітлення води починає знижуватися, тому встановлювати таку кількість перегородок не є доцільним. Оскільки відстань між перегородками у відстійній споруді повинна бути не більшою, ніж її ширина, то встановлювати три перегородки також небажано. Перегородки в місцях впуску забруднених і випуску освітлених шахтних вод, тобто першу й останню, рекомендовано встановлювати на відстані 4 м від торцевих стінок відстійної споруди. Наступні перегородки можна розташовувати на рівній відстані одна від одної.

Таким чином, запропонована форма відстійника, разом з перфорованими перегородками, незатопленим струмино-розподільчим і водозливним лотками забезпечує ефективне гасіння турбулентних завихрень на вході до відстійної споруди, вирівнювання потоку рідини в неї, надає йому односпрямованого ламінарного характеру та злив верхнього шару освітленої води при її мінімальній взаємодії з осадам. У підсумку, це забезпечує більш ефективне осідання механічних домішок.

3.2 Методика визначення раціональних параметрів процесу освітлення шахтної води після реалізації запропонованого способу її очищення

Методика визначення раціональних параметрів процесу освітлення забрудненої шахтної води після реалізації запропонованого способу її очищення в удосконаленому горизонтальному відстійнику у вигляді алгоритму наведена на рис. 3.2.

Значення кінцевої висоти відстійника H_K та початкової ширини корпусу B_0 в метрах обираються з конструктивних міркувань з урахуванням об'єму води, що надходить на очищення, продуктивності відстійника, ступеня звуження жолоба в плані (визначається кутом β) та території, що відводиться для розміщення відстійника на шахті. Для розміщення відстійника доцільно обрати місце з похилим рельєфом, наприклад, схил балки.

Рис. 3.2 – Алгоритм визначення раціональних параметрів процесу освітлення забрудненої шахтної води в запропонованому горизонтальному відстійнику

1. Кут нахилу днища корпусу до горизонтальної площини α приймається в залежності від обраної висоти H_K і допустимої довжини L з урахуванням можливості вільного сповзання мулистого осаду по похилому дну відстійника, що має профіль трикутного жолоба, і становить $25-30^\circ$. Рекомендоване значення кута α дозволить мінімізувати довжину відстійника, внаслідок чого скоротиться тривалість перебування в ньому води, та забезпечить краще сповзання осаду, який буде осідати у відстійній споруді, до отвору II (рис. 3.1, а).

Кут звуження відстійної споруди β приймається в діапазоні $83-85^\circ$ на основі досліджень, проведених на макеті [42], з урахуванням забезпечення поступового збільшення площі поперечного перетину відстійника, необхідного для зниження поздовжньої швидкості течії в ньому. Рекомендовані значення кутів β забезпечать найкращі умови осідання завислих речовин у запропонованій відстійній споруді.

Величина витрат води, що очищується (Q , м³/с) встановлюється за даними, що містяться в формі державної статистичної звітності 2-ТП (водгосп), яка щорічно заповнюється на кожному підприємстві.

На ефективність освітлення забруднених шахтних вод також суттєво впливає форма отворів та тип їхнього розташування один відносно одного в перегородках. В роботі [43] визначено найбільш раціональні геометричні параметри перфорованої області перегородок, встановлених в запропонованій відстійній

споруди, що забезпечують отримання максимального значення ефективності очищення шахтної води від частинок зависі. Так, рекомендується встановлювати вертикальні поперечні перегородки з отворами квадратної, прямокутної або шестигранної форми. При цьому тип їхнього розташування один відносно одного може бути:

- при квадратній перфорації – з прямими рядами за квадратом, зі зміщеними або з діагонально-зміщеними рядами;
- при прямокутній перфорації – з прямими або зі зміщеними рядами;
- при шестигранній перфорації – зі зміщеними рядами.

Обрання рекомендованих форм отворів та типів їхнього розташування один відносно одного дозволить отримати максимальне значення коефіцієнта пропускної здатності перфорованої області перегородки (k), величина якого складе 0,826, а відповідно й підвищити ефективність освітлення забруднених завислими речовинами шахтних вод.

Розмір отворів – довжина сторони (w) для квадратних, шестигранних отворів або ширина (a) для прямокутних отворів може варіюватися в діапазоні від 1 до 10 см. При цьому довжина (b) для прямокутних отворів коливається в діапазоні від 0,1 до $(a-0,1)$ см. Поправочний коефіцієнт, що дозволяє визначати відстань між центрами отворів (K_p) може варіюватися в діапазоні від 1,1 до 1,3.

2. За вибраним значенням довжини відстійника – L , визначається його найбільша глибина – H_K за формулою:

$$\cdot \quad (3.1)$$

За значеннями B_0 і β визначається кінцева ширина B_K відстійника зі співвідношення:

$$\cdot \quad (3.2)$$

3. До конструктивних параметрів запропонованого відстійника вдосконаленої конструкції відносять висоту (загальну та робочу), ширину та довжину очисної споруди в місцях розташування перфорованих перегородок та кінцевої торцевої стінки.

Загальна висота i -тої перегородки (h_i^o , м) вдосконаленого відстійника визначається за формулою:

$$(3.3)$$

L_i – відстань від місця подачі забрудненої шахтної води у відстійник до i -тої перегородки, м.

Робоча висота i -тої перегородки (h_i^p , м) визначається без врахування висоти борта відстійника, яка відповідно до рекомендацій [44] становить 0,3 м, тобто $h_i^p = h_i^o - 0,3$.

Ширина i -тої перегородки (b_i , м) вдосконаленого відстійника визначається за формулою:

$$(3.4)$$

L_i – довжина від i -тої перегородки до задньої торцевої стінки відстійника, м.

Робоча площа (S_i^p , м²) i -тої перегородки вдосконаленого відстійника визначається за формулою:

$$(3.5)$$

4. Основним вихідним показником для визначення очікуваних технологічних параметрів запропонованого горизонтального відстійника, що розраховуються для умов водовідливу шахти «Павлоградська» ВСП «Шахтоуправління Павлоградське», є швидкість осідання частинок зависі (гідравлічна крупність), для видалення яких і призначена відстійна споруда.

Швидкість осідання завислих частинок, що містяться в забруднених шахтних водах, визначають за даними їхнього седиментаційного аналізу [37, 45].

Визначення часу осідання частинок зависі проводять експериментально, шляхом відстоювання забруднених шахтних вод в статичних умовах. Для цього шахтну воду, що містить завислі речовини в кількості 150 мг/дм³, наливають у вісім лабораторних мірних циліндрів висотою $h=0,54$ м. Після додавання розчину коагулянту (сульфату алюмінію) в кількості 35-40 мг/дм³ воду перемішують і через певні проміжки часу (15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 і 120 хвилин) із циліндрів

відбирають проби води, в яких визначають залишкову концентрацію завислих речовин.

Результати експерименту представляють у вигляді графічної та аналітичної залежності кількості частинок зависі, що випадають на дно, від тривалості процесу відстоювання – $P=f(t)$ при встановленій висоті лабораторних циліндрів.

5. Оскільки висота лабораторних циліндрів (h) значно відрізняється від дійсної глибини відстоювання (H_i), для приведення отриманих результатів експерименту до натурних умов проводиться перерахунок за формулою:

$$, \quad (3.6)$$

де h – висота лабораторних циліндрів, що дорівнює 0,54 м; H_i – змінна глибина реального відстійника, що відповідає робочим висотам перегородок, встановлених у певних місцях споруди, та кінцевої торцевої стінки, м; t і T_i – тривалість процесу відстоювання в лабораторних циліндрах і у відстійнику змінної глибини, відповідно, секунди; n – показник, що характеризує здатність частинок зависі до агрегації при відстоюванні в стані спокою (для шахтної води попередньо обробленої розчином сульфату алюмінію $n=0,25$ [12]).

Звідки тривалість відстоювання шахтної води попередньо обробленої розчином сульфату алюмінію в запропонованому відстійнику при досягненні однакової ефективності її освітлення та змінній висоті рівня води, визначається за формулою:

$$(3.7)$$

Далі визначаються швидкості осідання частинок зависі, тобто їхня гідравлічна крупність, при яких забезпечується задана ефективність освітлення шахтної води попередньо обробленої розчином сульфату алюмінію, за формулою:

$$(3.8)$$

Результати розрахунків представляють у вигляді графічних та аналітичних залежностей кількості частинок зависі, що випадають на дно, від швидкості осідання завислих речовин (їхньої гідравлічної крупності) – $P = f(U_i)$ в запропонованому відстійнику при різній висоті шару води, тобто на різній глибині.

6. Для визначення очікуваної ефективності освітлення шахтної води попередньо обробленої розчином сульфату алюмінію необхідно знайти відстані l , на яких частинки завсі певної гідравлічної крупності випадуть на дно запропонованого горизонтального відстійника за формулою:

$$(3.9)$$

Отримані результати представляють у вигляді графічних залежностей зміни глибини осідання h_i (м) частинок завсі певної гідравлічної крупності від відстаней (l), на яких вони випадуть в осад на дно – $h_i=f(l)$ при заданій ефективності очищення (P), з врахуванням конструкційних параметрів запропонованого відстійника.

7. За отриманими вище залежностями визначається глибина осідання (h_{os} , м) частинок завсі певної гідравлічної крупності в місці зливу освітленої рідини у задній торцевій стінки запропонованого відстійника при заданій величині ефективності очищення (освітлення) P і довжині відстійника L . Результати представляють у вигляді графічної та аналітичної залежності глибини осідання частинок певної гідравлічної крупності від величини ефективності очищення (освітлення) води – $h_{os}=f(P)$ при заданій довжині L запропонованого відстійника.

Залежність $h_{os}=f(P)$ дозволяє визначити прогнозовану ефективність очищення стічної води, що містить завислі речовини, та відповідну їй глибину осідання частинок завсі певної гідравлічної крупності.

3.3 Результати моделювання процесу освітлення шахтних вод за вдосконаленою технологією очищення для умов водовідливу шахти «Павлоградська» ВСП «Шахтоуправління Павлоградське»

Для забезпечення умов екологічної безпеки в місцях скиду недостатньо очищених шахтних вод у поверхневі водойми запропоновано вдосконалити технологію їхньої очистки за рахунок впровадження горизонтального відстійника модернізованої конструкції та встановлення на завершальному етапі очищення

швидких відкритих зернистих фільтрів з низхідним рухом потоку рідини, схема якої наведена на рис. 3.3.

Кут нахилу днища запропонованого відстійника до горизонтальної площини прийма Таким чином, виходячи з прийнятих значень кутів, при початковій ширині відстійної споруди $B_0=10$ м, її кінцева ширина, розрахована за формулою (3.2), буде складати $B_k=6$ м. При цьому при довжині відстійника $L=18$ м, його глибина в місці скиду освітлених шахтних вод, розрахована за формулою (3.1), буде дорівнювати $H=10,4$ м.

***Рис. 3.3 – Удосконалена технологічна схема водовідведення шахти
«Павлоградська» ВСП «Шахтоуправління Павлоградське»
(величини витрат наведено в м³/добу)***

Визначені за формулами (3.3)-(3.5), геометричні параметри запропонованого відстійника модифікованої конструкції в місцях розташування вертикальних перфорованих поперечних перегородок та торцевої стінки, що необхідні для подальших розрахунків, наведено в табл. 3.1.

Результати експерименту з визначення кількості завислих речовин P (%), що випадають на дно лабораторних циліндрів, залежно від тривалості процесу відстоювання t (секунди) шахтної води попередньо обробленої розчином сульфату алюмінію, представлені на рис. 3.4.

Результати розрахунку величин T_i та відповідна цьому часу кількість частинок зависі (P), що випали на дно запропонованого горизонтального відстійника, наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.1 – Геометричні параметри запропонованого відстійника

***Рис. 3.4 – Залежність ефективності освітлення шахтної води
попередньо обробленої розчином сульфату алюмінію від тривалості процесу
відстоювання в лабораторних циліндрах висотою $h=0,54$ м***

Таблиця 3.2 – Залежність ефективності освітлення від тривалості процесу відстроювання шахтної води попередньо обробленої розчином сульфату алюмінію на різних глибинах запропонованого горизонтального відстійника

Розраховані значення U_0 , що характеризують режим осідання частинок зависі, тобто освітлення шахтної води попередньо обробленої розчином сульфату алюмінію в запропонованому горизонтальному відстійнику натуральних розмірів, наведені в табл. 3.3.

На підставі отриманих експериментальних даних встановлено, що величини гідравлічної крупності частинок зависі (U_0 , мм/с) та ефективність освітлення (P , %) шахтної води попередньо обробленої розчином сульфату алюмінію, при заданій глибині запропонованого відстійника, яка відповідає певній висоті перегородки та торцевої стінки, описуються експоненціальними залежностями, що після апроксимації даних мають наступний вигляд:

- на глибині відстійника $H_1=1,4$ м, що відповідає висоті I перегородки:
- на глибині відстійника $H_2=3,2$ м, що відповідає висоті II перегородки:
- на глибині відстійника $H_3=4,9$ м, що відповідає висоті III перегородки:
- на глибині відстійника $H_4=6,6$ м, що відповідає висоті IV перегородки:
- при глибині відстійника $H_5=8,4$ м, що відповідає висоті V перегородки:
- при глибині відстійника $H_K=10,1$ м, що відповідає кінцевій торцевій стінки:

Таблиця 3.3 – Залежність ефективності освітлення від швидкості осідання частинок зависі (гідравлічної крупності), що містяться в шахтній воді попередньо обробленої розчином сульфату алюмінію на різних глибинах запропонованого горизонтального відстійника

Отримані залежності дозволяють визначати гідравлічну крупність завислих речовин, яка відповідає певній процентній кількості частинок зависі, що осідають на дно запропонованого горизонтального відстійника змінної глибини протягом певного заданого проміжку часу при попередній обробці шахтної води розчином сульфату алюмінію.

Виходячи з фактичної кількості забруднених шахтних вод, що відкачуються на поверхню шахтою «Павлоградська» ВСП «Шахтоуправління Павлоградське» (рис. 3.3), удосконалена технологічна схема очистки передбачає встановлення двох горизонтальних відстійників модернізованої конструкції. Таким чином, витрати шахтної води, що надходить на очищення, в розрахунку на одну запроповану відстійну споруду, становлять $Q=2868 \text{ м}^3/\text{добу}$ ($0,0332 \text{ м}^3/\text{с}$).

Результати розрахунків величин l представлено у вигляді графічних залежностей глибини осідання частинок зависі певної гідравлічної крупності від відстані, на якій вони зможуть випасти на дно запропонованого відстійника, при заданому значенні ефективності освітлення шахтної води попередньо обробленої розчином сульфату алюмінію (рис. 3.5).

Рис. 3.5 – Залежності глибини осідання частинок зависі певної гідравлічної крупності від відстані, на якій вони зможуть випасти на дно запропонованого відстійника, при заданій величині ефективності освітлення шахтної води попередньо обробленої розчином сульфату алюмінію

За допомогою цих графіків можна визначити глибину (h_{os} , м) осідання частинок зависі певної гідравлічної крупності в місці випуску освітленої води (кінцева торцева стінка запропонованого відстійника). Зазначені глибини при заданому значенні ефективності освітлення (P , %) шахтної води попередньо обробленої розчином сульфату алюмінію, при прийнятій довжині відстійника ($L=18$ м) представлені в табл. 3.4 і на рис. 3.6.

За допомогою цієї залежності можна визначити значення очікуваної ефективності освітлення шахтної води попередньо обробленої розчином сульфату алюмінію, а потім, за раніше отриманими залежностями, й гідравлічну крупність частинок зависі, які зможуть осісти на дно у кінцевій торцевій стінці запропонованого відстійника, висота якої складає $H_K=10,1$ м.

Таблиця 3.4 – Глибина осідання частинок зависі певної гідравлічної крупності при заданому значенні ефективності освітлення шахтної води попередньо обробленої розчином сульфату алюмінію

Рис. 3.6 – Залежність глибини осідання частинок зависі певної гідравлічної крупності від величини ефективності освітлення шахтної води попередньо обробленої розчином сульфату алюмінію, при заданій довжині запропонованого відстійника

Значення очікуваних технологічних показників запропонованого горизонтального відстійника, що розраховуються для умов водовідливу шахти «Павлоградська» ВСП «Шахтоуправління Павлоградське», наведено в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Значення очікуваних технологічних показників запропонованого горизонтального відстійника для умов водовідливу шахти «Павлоградська» ВСП «Шахтоуправління Павлоградське»

На завершальному етапі попередньо освітлені шахтні води надходять на доочищення в швидкі відкриті зернисті фільтри з низхідним рухом потоку рідини (рис. 3.7). Фільтри являють собою резервуари прямокутної форми, виконані з залізобетону, нижня частина яких заповнена завантаженням. Завантаження фільтру складає кварцовий пісок (крупністю до 2 мм і товщиною шару 1,2-1,3 м) з підтримуючим шаром із гравію (з крупністю зерен 2-10 мм і висотою шару 0,5-0,7 м) [46].

Рис. 3.7 – Схема швидкого відкритого зернистого фільтра з низхідним потоком рідини

Концентрації завислих речовин, які містяться в шахтних водах, що відкачуються на поверхню вугледобувним підприємством шахта «Павлоградська» ВСП «Шахтоуправління Павлоградське», та після механічного очищення з вказаною ефективністю освітлення у запропонованих відстійних спорудах за вдосконаленою технологією наведено в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Концентрації завислих речовин в шахтній воді до та після очищення за вдосконаленою технологією з наведеним значенням ефективності освітлення у запропонованих відстійних спорудах

Виходячи з даних табл. 3.6 можна зробити висновок, що загальна ефективність освітлення шахтних вод, що відкачуються на поверхню шахтою «Павлоградська» ВСП «Шахтоуправління Павлоградське», після очистки в горизонтальному відстійнику модернізованої конструкції та доочищення в швидких відкритих зернистих фільтрів з низхідним потоком рідини буде складати 94-95% від вихідної концентрації завислих речовин. При цьому кінцева концентрація механічних домішок після очищення за запропонованою вдосконаленою технологією не перевищує гранично допустимого нормативу, який пред'являється до водойм культурно-побутового призначення за вмістом завислих речовин.

ВИСНОВКИ

В роботі вирішена актуальна практична задача, що полягає в удосконаленні технологічної схеми водовідведення на прикладі діючого вугледобувного підприємства Західного Донбасу за рахунок впровадження горизонтального відстійника модернізованої конструкції та встановлення на завершальному етапі очищення швидких відкритих зернистих фільтрів з низхідним рухом потоку рідини.

Впровадження запропонованої технології знижує вміст завислих речовин у воді до нормативних показників якості поверхневих водойм. Це дозволить використовувати її на виробничі потреби вугледобувного підприємства та власні потреби очисних споруд. Крім того, надлишок доочищеної води може скидатися до прилеглих поверхневих водойм, не перевищуючи відповідних нормативів їхньої якості.

Отримані результати наведені нижче.

В результаті проведеного аналізу виявлено, що шахтна вода забруднюється на всіх стадіях технологічного процесу виробництва. Фізико-хімічний склад і властивості шахтної води дуже різноманітні, істотно змінюються за вугільними басейнами, родовищами й районами, та формуються під впливом багатьох чинників.

Постійний перехід гірських робіт на більш глибокі горизонти призводить до збільшення обсягів і забрудненості різними речовинами вод, що попутно забираються. Шахтна вода відрізняється більшою розмаїтістю хімічного складу, в більшості випадків непридатна для питного водопостачання і має властивості, що виключають її використання в технічних цілях або скид у водойми без попередньої обробки.

За допомогою існуючих на вугледобувних підприємствах технологій очищення шахтних вод можна затримати тільки крупні завислі домішки, внаслідок чого в прилегли водні об'єкти надходять недостатньо очищені шахтні води, що не відповідають нормативним показникам якості поверхневих водойм.

Встановлено, що внаслідок механічного очищення шахтних вод, які відкачуються на поверхню шахтою «Павлоградська» ВСП «Шахтоуправління Павлоградське», за існуючою технологією, концентрація завислих речовин під час скиду освітлених стоків у поверхневі води річки Самара не відповідає величині гранично допустимого вмісту механічних домішок для водойм культурно-побутового призначення, тобто фактичне значення перевищує нормативне в 2 рази.

Удосконалено існуючу технологічну схему водовідведення шахтних вод на основі впровадження горизонтального відстійника модернізованої конструкції. Також запропоновано на завершальному етапі очищення попередньо освітленої шахтної води встановити швидкі відкриті фільтри з низхідним рухом потоку рідини.

Проведено моделювання процесу освітлення шахтних вод за вдосконаленою технологією очищення для умов водовідливу діючого вугледобувного підприємства. Встановлено, що загальна ефективність освітлення шахтних вод, що відкачуються на поверхню шахтою «Павлоградська» ВСП «Шахтоуправління Павлоградське», після очистки в горизонтальному відстійнику модернізованої конструкції та доочищення в швидких відкритих зернистих фільтрів з низхідним рухом потоку рідини буде складати 94-95% від вихідної концентрації завислих речовин. При цьому кінцева концентрація механічних домішок після очищення за запропонованою технологією не перевищує гранично допустимого нормативу, який пред'являється до водойм культурно-побутового призначення за вмістом завислих речовин.

Надано рекомендації щодо дотримання правил охорони праці та техніки безпеки при розробці вугільних родовищ підземним способом.

Виконано економічні розрахунки ефективності впровадження запропонованого технічного рішення з удосконалення технології очищення шахтних вод від завислих речовин.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Вскрытие и подготовка пластов С₄ и С₁ за Южно-Терновским сбросом по шахте «Павлоградская» ГХК «Павлоградуголь». [Рабочий проект]. Т. 1. Пояснительная записка. Кн. 3. «Охрана окружающей природной среды». Днепропетровск: Днепрогипрошахт, 1998. 121 с.
2. Кузьміч О.К. Основи гірничої справи: Навчальний посібник. Стаханов: Горный факультет УИПА, 2004. 116 с.
3. Пономаренко П.И., Моссур П.М., Гринцова Е.А. Шахтные воды Донбасса, их охрана и использование. Дн-вск: Наука и образование, 1998. 50 с.
4. Сыроватко М.В. Гидрогеология и инженерная геология при освоении угольных месторождений. Москва: Госгортехиздат, 1960. 500 с.
5. Комплексная переработка шахтных вод /А.Т. Пилипенко, И.Т. Гороновский, В.Д. Гребенюк и др. К.: Техніка, 1985. 183 с.
6. Николин В.И., Матлак Е.С. Охрана окружающей среды в горной промышленности. К.-Донецк: Вища школа. Головное изд-во, 1987. 192 с.
7. Меркулов В.А. Охрана природы на угольных шахтах. М.: Недра, 1981. 184 с.
8. Трофимович Е.М., Гурвич С.М. Охрана водных объектов при добыче и обогащении руд и углей. М.: Недра, 1985. 192 с.
9. Долина Л.Ф. Сточные воды предприятий горной промышленности и методы их очистки: справочное пособие. Дн-вск: Молодежная экологическая лига Приднепровья, 2000. 43 с.
10. Текиниди К.Д. Влияние вещественного состава взвеси на эффект осветления шахтных вод // Очистка и использование шахтных вод: научн. труды. М., 1976. Вып. XXII. С. 15-22.
11. Горшков В.А. Очистка и использование сточных вод предприятий угольной промышленности. М.: Недра, 1981. 269 с.
12. Монгайт И.Л., Текиниди К.Д., Николадзе Г.И. Очистка шахтных вод. М.: Недра, 1978. 173 с.

13. Селезнев С.Н., Симонов В.В., Маслюк А.И. Очистка шахтных вод. Донецк: Донбасс, 1975. 110 с.
14. Мухин В.В., Бакун Г.В., Амирбеков А.Д. Гигиеническая оценка микробного загрязнения и обеззараживания сточных шахтных вод Донецкой области. Актуальные проблемы транспортной медицины. 2008. №4 (14). С. 65-72.
15. Кононенко Н.И., Ощепкова А.П., Немковский Б.Б. О макро- и микрокомпонентном составе шахтных и подземных вод Восточного Донбасса. В кн.: Охрана окружающей природной среды в угольной промышленности. М.: ИГД им. А.А. Сочинского, 1977. С. 108-111.
16. Евграшкина Г.П., Харитонов Н.Н. Закономерности изменения гидрогеологических условий в зоне влияния прудов-накопителей сбросных шахтных вод в Западном Донбассе. Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. 2007. №1. С. 16-20.
17. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Дніпропетровській області за 2020 рік. Дніпро, 2021. 300 с.
18. Харионовский А.А. Комплексная очистка шахтных и карьерных вод от техногенных загрязнений. Шахты: Изд-во ЮРО АГН, 2000. 238 с.
19. Береза А.И., Канонов А.Ф., Смирнов Г.М. Влияние условий впуска и выпуска воды на гидравлический режим модели отстойника. // Сборник трудов кафедры гидравлики. 1965. Вып. 24. С. 56-61.
20. Харионовский А.А., Золотухин И.А. Оценка способов повышения работы горизонтальных отстойников. // В кн. «Охрана окружающей природной среды». М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1978. С. 14-20.
21. Орлов В.О., Шевчук Б.И. Интенсификация работы водоочистных сооружений. К.: Будівельник, 1989. 126 с.
22. Кастальский А.А., Минц Д.М. Удаление взвешенных веществ осаждением. М.: Высшая школа, 1962. 140 с.
23. Витренко Л.М., Сергиенко С.Ф. Очистка шахтных вод от грубодисперсных примесей. Научные труды ВНИИОСуголь «Очистка и использование шахтных вод». Вып. XVI. 1973. С. 29-36.

24. Бабенков Е.Д. Очистка воды коагулянтами. М.: Наука, 1977. 356 с.

25. Лукиных Н.А., Липман Б.Л., Криштул В.П. Методы доочистки сточных вод. М.: Стройиздат, 1978. 156 с.

26. Малышев А.В. Применение синтетических флокулянтов при фильтровании шахтных вод. Сборник научных трудов. Пермь, 1990. С. 110-121.

27. Технологические схемы очистки от взвешенных веществ и обеззараживание шахтных вод: каталог. Пермь: ВНИИОСуголь, 1986. 69 с.

28. Харионовский А.А., Комков Д.И., Малышев А.В. Принципы выбора технологических схем очистки шахтных вод от взвешенных веществ. Сборник научных трудов «Очистка и использование шахтных вод». Вып. XXII. Москва: ИГД им. А.А. Скочинского, 1976. С. 9-15.

29. Коверга А.В., Арутюнова И.Ю., Малышев Б.В. Повышение эффективности процесса осветления воды // Водоснабжение и санитарная техника. 2009. №10. Ч. 1. С. 43-48.

30. Требования к качеству шахтных и карьерных вод, используемых для технических и хозяйственно-бытовых нужд предприятий угольной промышленности. ВНИИОСуголь. Пермь, 1986. 12 с.

31. Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами. Постанова Кабінету Міністрів України від 25.03.1999. №465. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/465-99-%D0%BF#Text>.

32. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнений: СанПиН 4630-88. Москва: Минздрав СССР, 1988. 174 с.

33. Державні санітарні норми та правила «Допустимі дози, концентрації, кількості та рівні вмісту пестицидів у сільськогосподарській сировині, харчових продуктах, повітрі робочої зони, атмосферному повітрі, воді водоймищ, ґрунті» (ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000-2001). Постанова Головного державного санітарного лікаря України від 20.09.2001. №137. 376 с.

34. Методичні рекомендації з розроблення нормативів гранично допустимого скидання забруднюючих речовин у водні об'єкти із зворотними

водами. Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 05.03.2021. №173.

35. Методические указания по подготовке исходных данных для проектирования очистных сооружений шахтных вод / А.А. Харионовский [и др.]. М.: ВНИИОСуголь, 1979. 42 с.

36. Руководство по химическому и технологическому анализу воды. Москва: Стройиздат, 1973. 263 с.

37. Харионовский А.А., Золотухин И.А. Методика определения кинетики оседания взвеси в шахтных водах // Водоснабжение и санитарная техника. 1979. №12. С. 13-14.

38. Патент UA №98382 України, МПК (2006) B01D 21/02. Пристрій для очистки скидів від завислих речовин /Колесник В.Є., Кулікова Д.В.; заявл. 08.10.2010; опубл. 10.05.2012; Бюл. № 9.

39. Пискунов П.И. Горизонтальные водопроводные отстойники. М.: Госстройиздат, 1953. 80 с.

40. Береза А.И., Канонов А.Ф., Смирнов Г.М. Влияние условий впуска и выпуска воды на гидравлический режим модели отстойника // Сборник трудов кафедры гидравлики. 1965. Вып. 24. С. 56-61.

41. Kolesnyk, V.Ye., Kulikova, D.V. (2013). Justification of quantity perforated partitions and intervals their placement in improved sedimentation tank of mine water. Naukovyi visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, no 4, pp. 92-98.

42. Колесник В.Е., Кулікова Д.В.Обоснование геометрических параметров усовершенствованного горизонтального отстойника для условий водоотлива действующей шахты. // Збірник наукових праць НГУ. 2012. №39. С. 229-239.

43. Kolesnyk, V.Ye., Kulikova, D.V., Pavlychenko, A.V. (2016). Substantiation of rational parameters of perforated area of partitions in an improved mine water settling basin. Naukovyi visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, no 6, pp. 120-127.

44. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. К.: Мінрегіонбуд України, 2013. 291 с.

45. Скирдов И.В. Кинетика отстаивания взвешенных веществ сточных вод. Водоснабжение и санитарная техника. 1993. №6. С. 4-7.
46. Гудков А.Г. Механическая очистка сточных вод: учебное пособие. Вологда: ВоГТУ, 2003. 152 с.
47. ДСТУ 7239:2011 Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація.
48. Правила безопасности в угольных шахтах (ПБ 05-618-03). Серия 05. Выпуск 11. М.: Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2004. 296 с.
49. Охрана труда при разработке угольных месторождений подземным способом. Женева: Международное бюро труда, 2008. 288 с.
50. Инструкция по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. М.: Стройиздат, 1979. 65 с.
51. ДБН Д.2.2-6-99. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. К.: Держбуд України, 2000. 70 с. (Державні будівельні норми України).
52. ДБН Д.2.2-9-99. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. К.: Держбуд України, 2000. 77 с. (Державні будівельні норми України).
53. Податковий кодекс України. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2755-17/print1386573937652215>