

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 бакалавра

студента Смаглова Никити Віталійовича
(ПІБ)

академічної групи 183-18-1
(шифр)

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

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

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

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
кваліфікаційної роботи	Кулікова Д.В.		
розділів:			
Теоретичного	Кулікова Д.В.		
Технологічного	Кулікова Д.В.		
Охорона праці	Чеберячко Ю.І.		
Рецензент	Петльований М.В.		
Нормоконтролер	Ґрунтова В.Ю.		

Дніпро
2022

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувачка кафедри екології та
технологій захисту
навколишнього середовища
Борисовська О.О.
(підпис) (прізвище, ініціали)
«___» червня 2022 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу ступеня бакалавра

студенту Смаглову Н.В. академічної групи 183-18-1
(прізвище та ініціали) (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 водовідведення шахтних вод в умовах шахти
«Степова» Західного Донбасу, затверджену наказом ректора НТУ «ДП» від
03.05.2022 р. №234-с.

Розділ	Зміст	Термін виконання
Теоретичний	Ознайомитися з діяльністю шахти «Степова» ВСП «Шахтоуправління Першотравенське» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля». Надати характеристику фізико-хімічного складу 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	02.05.2022 19.05.2022
Технологічний	Надати характеристику промислового водопостачання та водовідведення шахти «Степова». Обґрунтувати метод вдосконалення технології водовідведення стічних вод шахти «Степова» на основі реконструкції горизонтального відстійника в тонкошаровий. Розрахувати параметри існуючого горизонтального відстійника стічних вод шахти «Степова», що реконструюється в тонкошаровий, при протиточній схемі видалення осаду	19.05.2022 05.06.2022
Охорона праці	Розробити комплекс заходів щодо охорони праці та безпеки при розробці вугільних родовищ підземним способом	06.06.2022 12.06.2022

Завдання видано

Дата видачі 02.05.2022

Дата подання до екзаменаційної комісії _____

Прийнято до виконання

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 80 с., 11 рис., 4 табл., 5 додатків, 38 літературне джерело.

Мета роботи: удосконалити технологічну схему водовідведення на прикладі діючого вугледобувного підприємства Західного Донбасу (шахта «Степова» ВСП «Шахтоуправління Першотравенське» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля») за рахунок реконструкції існуючого горизонтального відстійника шахтних вод в тонкошаровий.

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

У теоретичному розділі наведено інформацію щодо діяльності шахти «Степова» ВСП «Шахтоуправління Першотравенське» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля». Надано характеристику фізико-хімічного складу шахтних вод та оцінено екологічний стан території, внаслідок скиду забрудненої шахтної води. Проаналізовано існуючі способи та технологічні схеми зниження рівня екологічної небезпеки забруднених шахтних вод.

У технологічному розділі надано характеристику промислового водопостачання та водовідведення шахти «Степова». Обґрунтовано метод вдосконалення технології водовідведення стічних вод шахти «Степова» на основі реконструкції горизонтального відстійника в тонкошаровий. Розраховано параметри існуючого горизонтального відстійника стічних вод шахти «Степова», що реконструюється в тонкошаровий, при протиточній схемі видалення осаду.

У розділі «Охорона праці» надано рекомендації щодо дотримання правил охорони праці та безпеки при розробці вугільних родовищ підземним способом.

У висновках наведені основні результати виконаної роботи.

ШАХТНІ ВОДИ, ЗАВИСЛІ РЕЧОВИНИ, МЕХАНІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ,
ТОНКОШАРОВІ ВІДСТІЙНИКИ, НОРМАТИВИ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ
ВОДОЙМ

ЗМІСТ

Вступ	6
Розділ 1 Аналіз рівня екологічної небезпеки скиду забруднених шахтних вод та існуючі засоби її зниження	8
1.1 Загальні відомості про підприємство	8
1.2 Характеристика фізико-хімічного складу шахтних вод	11
1.3 Оцінка екологічного стану території, внаслідок скиду забрудненої шахтної води	17
1.4 Аналіз існуючих способів і технологічних схем зниження рівня екологічної небезпеки скиду забруднених шахтних вод	20
1.4.1 Способи очищення шахтних вод	20
1.4.2 Технологічні схеми очищення шахтних вод	26
Розділ 2 Удосконалення технології водовідведення стічних вод шахти «Степова» ВСП «Шахтоуправління Першотравенське ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» на основі реконструкції горизонтального відстійника в тонкошаровий	33
2.1 Характеристика промислового водопостачання та водовідведення шахти «Степова» ВСП «Шахтоуправління Першотравенське» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля»	33
2.1.1 Характеристика виробничого водопостачання підприємства	33
2.1.2 Характеристика виробничого водовідведення підприємства	34
2.2 Обґрунтування методу вдосконалення технології водовідведення стічних вод шахти «Степова» на основі реконструкції горизонтального відстійника в тонкошаровий	38
2.3 Методика розрахунку параметрів існуючих горизонтальних відстійників, що реконструюються в тонкошарові, при протиточній схемі видалення осаду	50

2.4 Результати розрахунку параметрів існуючого горизонтального відстійника стічних вод шахти «Степова», що реконструюється в тонкошаровий, при протиточній схемі видалення осаду	54
Розділ 3 Охорона праці при розробці вугільних родовищ підземним способом	58
3.1 Протиаварійний захист шахт	58
3.2 Вимоги, що пред'являються до персоналу шахт	60
3.3 Загальні обов'язки працівників шахт	62
3.4 Навчання з охорони праці на вугледобувних підприємствах	66
Висновки.....	68
Перелік посилань.....	70
Додаток А. Відгук керівника кваліфікаційної роботи	77
Додаток Б. Зовнішня рецензія	78
Додаток В. Довідка про результати перевірки тексту кваліфікаційної роботи бакалавра на присутність запозичень (плагіату)	79
Додаток Г. Відгуки керівника розділу з охорони праці та нормоконтролера.....	80

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 їхнім 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 (шахта «Степова» ВСП «Шахтоуправління Першотравенське» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля») за рахунок реконструкції існуючого горизонтального відстійника шахтних вод в тонкошаровий.

Для досягнення зазначеної мети були поставлені такі задачі:

1. Ознайомитися з діяльністю шахти «Степова» ВСП «Шахтоуправління Першотравенське» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля». Надати характеристику фізико-хімічного складу 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. Надати характеристику промислового водопостачання та водовідведення шахти «Степова». Обґрунтувати метод вдосконалення технології водовідведення стічних вод шахти «Степова» на основі реконструкції горизонтального відстійника в тонкошаровий. Розрахувати параметри існуючого горизонтального відстійника стічних вод шахти «Степова», що реконструюється в тонкошаровий, при протиточній схемі видалення осаду.

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

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

1.1 Загальні відомості про підприємство

Поле діючої шахти «Степова» розташоване в південно-східній частині Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району Донбасу та за адміністративним розподілом входить до складу Петропавлівського району Дніпропетровської області. У промисловому відношенні надра шахти знаходяться у введєнні виробничого структурного підрозділу (ВСП) «Шахтоуправління Першотравенське» приватного акціонерного товариства (ПрАТ) «ДТЕК Павлоградвугілля».

У склад шахти входять основна промисловий майданчик блоку №1 і промисловий майданчик, що будується, блоку №2. Основний промисловий майданчик шахти розташований на північний захід міста Першотравенськ на відстані 3 км, а промисловий майданчик, що будується, блоку №2 розташований на відстані 4 км від промислового майданчика блоку №1.

Шахта «Степова» введена в експлуатацію в 1965 році з проектною потужністю 900 тисяч тонн вугілля на рік, яку вона освоїла в 1972 році. У зв'язку з інтенсивною обробкою пластів c_6 і в 1987 році шахті були передані запаси вугілля шахти «Західно-Донбаська». Таким чином, проектна потужність шахти складає 1250 тисяч тонн на рік. Фактичний видобуток вугілля за 2020 рік складав 1334,4 тисяч тонн [1, 2].

Балансові запаси вугілля на 01.01.2020 рік складають 193,3 млн. тонн.

Якісна характеристика пластів вугілля:

- марка вугілля – технологічна група Гк;
- товщина пластичного шару по пласту c_6 – 9 мм, по пласту – 10 мм;
- вихід летких речовин – 40%;
- питома теплота згоряння – 8300 ккал/кг;
- зольність засміченого прошарками вугілля – 9,6-10,3%;

- збагачуваність вугілля по золі та сірці – середня.

Шахта працює стійко та ритмічно, видобуток вугілля на рівні 1250-1360 тисяч тонн на рік.

Основні показники роботи шахти в 2017-2020 роках наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні показники роботи шахти

Показники	Одиниці виміру	Роки			
		2017	2018	2019	2020
Річний видобуток	тисяч тонн	1340	1317,5	1362,6	1334,4
Число днів роботи шахти	дні	355	341	357	354
Середньодобовий видобуток шахти	тонни	3764	3864	3818	3769
Середньорічна кількість очисних вибоїв	вибій	5,8	4,9	5,3	5,6
Середньодобовий видобуток із очисного вибою	тонни	642	767	710	664
Річний рух лінії діючих очисних вибоїв	м	846	957	941	868
Об'єм проведення гірничих виробок, всього	км	10,3	11,14	11,1	10,5
в тому числі:					
розкривних і підготовчих виробок	км	9,1	9,87	9,46	9,46
з них:					
з розкриття прирізки	км	0,876	1,695	2,481	1,420
Зольність вугілля, що видобувається	%	35,5	35,1	34,4	34,6
Продуктивність праці робочого за видобутком	тонни/місяць	42,7	41,6	43,5	41,5

На ділянці шахтного поля вугільні пласти містять від 7,0 до 11,5 г/тонну промислових запасів германію. Запаси германію становлять 1269,8 тонн. Германій видобувається разом із вугіллям. Виділення германію має вирішуватися в галузях промисловості, які використовують і переробляють вугілля. При використанні вугілля з енергетичною метою частково германій можна виділяти з золи винесення, але промислово цей спосіб не освоєний. При

використанні вугілля на коксування властивості германію виявляються в отримуваній продукції.

У вугіллі також виявлено й інші елементи, але практичного інтересу вони не мають через низький вміст.

Перспективні ресурси вуглеводневих газів у кондиційних вугільних пластах становлять 2100 млн. м³, в некондиційних вугільних пластах і прошарках приблизно 590 млн. м³.

При дегазації вугільних пластів виділяється метано-повітряна суміш у кількості 44,8 м³/хвилину з вмістом СН₄=34,38% при відпрацюванні перших лав і 104,75 м³/хвилину з вмістом СН₄=32,65% при повному розвитку гірничих робіт.

На блоку №2 є цех з виробництва шлакоблоків, де використовуються шлаки котельні шахти.

Шахтна порода від проведення та підтримання гірничих виробок складається, в основному, з аргілітів та алевролітів. Дослідження показали можливість застосування шахтної породи для будівництва автомобільних доріг, гідротехнічних споруд тощо, тобто відвал шахтної породи є джерелом сировини.

Найближчі промислові підприємства – шахта «Ювілейна», а також ліквідована шахта «Першотравнева».

Найближчими населеними пунктами є місто Першотравенськ, селище міського типу Петропавлівка, село Миколаївка.

У межах гірничого відводу шахти розташовані:

- промисловий майданчик блоку №1 з породним відвалом;
- промисловий майданчик блоку №2;
- ділянка підстанції «Світло шахтаря»;
- залізнична магістраль Павлоград-Червоноармійськ, з якою через станцію Миколаївка пов'язані шахти під'їзними шляхами;
- автомобільна дорога Київ-Луганськ-Ізварино, від якої відгалужуються асфальтовані дороги, що їдуть на діючі шахти;

- об'єкти електропостачання;
- об'єкти зв'язку;
- об'єкти водопостачання, каналізації побутових стоків і шахтних вод;
- газопровід високого тиску від газо-регуляторного пункту (ГРП) смт Петропавлівка до ГРП місто Першотравенськ;
- гребля та частина ложа ставка-накопичувача шахтних вод, розташованого в балці Косьмінна.

Площа шахтного поля складає 72,2 км², а площа гірничого відводу 85,3 км².

Розподіл земель у межах гірничого відводу наступний:

- заповідна зона (Петропавлівські лимани) – 1000 га;
- промислові об'єкти – 110 га;
- автомобільні та залізничні дороги – 90 га;
- ставок-накопичувач шахтних вод, розташований в балці Косьмінна – 25 га;
- населені пункти – 200 га;
- рілля та пасовища – 5900 га;
- річка Самара та затоплювана нею заплава (без заповідної зони) – 400 га.

Санітарно-захисна зона від обох блоків шахти до житлової забудови дотримана.

1.2 Характеристика фізико-хімічного складу 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 [3].

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 [4].

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 [5].

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) [6, 7].

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% [8].

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 [9].

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 гама органічних речовин, присутніх у шахтних водах, найбільш специфічними є нафтопродукти та феноли [10].

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 [11].

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 [12].

Крім вище перерахованих основних забруднюючих інгредієнтів, у шахтних водах, так само, як і в природних водах, міститься в певних концентраціях цілий ряд мікроелементів [13]. 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 [14].

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 [6].

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 [15].

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 [6, 10]. 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) [9, 10, 16].

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 [17, 18]; на ефективність роботи фільтрів – склад, висота шарів і крупність зерен фільтрувального завантаження, площа фільтрації одиничного осередку, конструкція розподільчих систем та інші параметри [19].

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 [20]. 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. 1.2), які обумовлені різним складом і технологічними властивостями шахтних вод різних підприємств і їхньою зміною в часі.

Таблиця 1.2 – Ефективність основних способів очищення шахтних вод [16]

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 [21].

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 [22].

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 °C 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 [23]. 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 $1\text{-}5 \text{ мкм}$.

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 випливає, 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 [24].

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 [25].

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 [26]:

- 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 [16, 27]:

- 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 [16, 25]. 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, хлорвмісних 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/дм^3) 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 розкривних 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 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВОДОВІДВЕДЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ШАХТИ «СТЕПОВА» ВСП «ШАХТОУПРАВЛІННЯ ПЕРШОТРАВЕНСЬКЕ ПрАТ «ДТЕК ПАВЛОГРАДВУГІЛЛЯ» НА ОСНОВІ РЕКОНСТРУКЦІЇ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ВІДСТІЙНИКА В ТОНКОШАРОВИЙ

2.1 Характеристика промислового водопостачання та водовідведення шахти «Степова» ВСП «Шахтоуправління Першотравенське» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля»

2.1.1 Характеристика виробничого водопостачання підприємства

Джерелом виробничого водопостачання є шахтна вода, очищена від механічних і бактеріологічних забруднень.

Існуюча схема виробничого водопостачання являє собою: до напірного колектора, що відводить шахтні води, підключено трубопровід діаметром 150 мм, по якому вода надходить на фільтри типу КНФ-5, де вона очищується від механічних домішок і під залишковим тиском прямує до ставів виробничо-протипожежного водопостачання, що прокладені в клітковому стволі [1, 2].

Основне споживання на блоці №1 – це комплексне знепилювання та протипожежне водопостачання гірничих виробок, на блоці №2 – комплексне знепилювання та протипожежне водопостачання гірничих виробок, гасіння шлаку в котельні, аспіраційна система технічного комплексу вентиляційного ствола.

Витрати води на комплексне знепилювання гірничих виробок складають:

– на блоці №1: 700 м³/добу – на I пусковому комплексі та 308,9 м³/добу – на II пусковому комплексі;

– на блоці №2: 205,5 м³/добу – на I пусковому комплексі та 622,5 м³/добу – на II пусковому комплексі.

Максимальні витрати води на гасіння пожежі в гірничих виробках складають 130 м³/годину, мінімальні – 50 м³/годину.

2.1.2 Характеристика виробничого водовідведення підприємства

Внаслідок водогосподарської діяльності підприємства утворюються господарсько-побутові та виробничі стічні води, а також здійснюється безперервній водовідлив шахтних вод і їхній скид на рельєф місцевості.

До об'єктів з очищення та скиду шахтних вод належать [1, 2]:

- трубопроводи шахтних вод на промисловому майданчику;
- відстійник шахтних вод з контактним резервуаром;
- насосна станція перекачування шахтних вод;
- колектор, що відводить шахтні води;
- хлораторна;
- ставок-відстійник шахтних вод у балці Косьмінна ємкістю 5,3 млн. м³.

На шахті «Степова» експлуатується багатоступінчаста схема водовідливу. Вона складається з двох головних водовідливних установок (на горизонтах 145 м і 210 м), 4 дільничних (східного та західного вентиляційних штреків горизонту 290 м, у навколоствольних дворах горизонтів 300 м и 400 м) і трьох насосних установок для відкачування води з зумпфів головного та допоміжного стволів блока №1 та ствола, що подає повітря, блока №2.

Сумарний приплив води, що надходить у шахту, (станом на 01.01.2020 рік) складає 1200 м³/годину. Вода відкачується на поверхню головною водовідливною установкою по ставам ДУ-250, ДУ-300, прокладеним у допоміжному стволі, та спеціальним водовідливним свердловинам. Принципова схема водовідливного комплексу шахти «Степова» ВСП «Шахтоуправління Першотравенське» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» наведена на рис. 2.1.

Рис. 2.1 – Принципова схема водовідведення шахти «Степова» ВСП «Шахтоуправління Першотравенське» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля»

Водовідливні установки, у відповідності до вимог «Правил безпеки у вугільних шахтах» – ДНАОП 1.30-1.01-00 (п.7.1.1), мають водозбірники ємкістю:

- головного водовідливу не менше чотирьохгодинного максимального припливу шахтної води без врахування замулення, яке не повинно перевищувати 30% об'єму;

- дільничні на двохгодинний приплив.

Фактична ємкість водозбірників складає:

- водовідливні установки горизонту 145 м – 3870 м³;

- водовідливна установка горизонту 210 м – 1650 м³;

- головна водовідливна установка горизонту 300 м – 4980 м³ (три гілки – дві в роботі, одна – очищується).

Водозбірники, крім функцій забезпечення безпеки від затоплення гірничих виробок, призначені для відстоювання завислих часточок у шахтній воді. Водозбірники періодично очищуються, завислі часточки, що осаджуються, у вагонетках видаються на поверхню і далі автотранспортом відвозяться на відвал породи.

Шахтна вода в гірничих виробках тече по канавкам, в яких також відбувається осадження завислих часточок. Канавки періодично очищуються, зібраний мул у вагонетках видається на поверхню і далі відвозиться на відвал породи.

На поверхні шахтна вода з витратою 1200 м³/годину по водовідливним ставам, прокладеним у допоміжному стволі та у водовідливних свердловинах, надходить у горизонтальний відстійник шахтної води ємкістю 700 м³. Відстійник шахтної води служить для забезпечення 30-хвилинного контакту гіпохлориту натрію з шахтною водою. З відстійника шахтна вода насосами перекачується в ставок-накопичувач, розташований в балці Косьмінна, звідки після освітлення разом із шахтною водою шахт «Ювілейна» та

«Першотравнева», скидається в річку Самара. Скид шахтної води здійснюється по напірному колектору діаметром 600 мм.

Існуючий ставок-накопичувач шахтної води ємкістю 5,3 млн. м³, побудований за проектом інституту «Дніпрогіпрошахта» у 1967 році, було розраховано на акумулювання річного припливу шахтної води в кількості 5,16 млн. м³/рік від Першотравневої групи шахт у складі шахт «Ювілейна», «Першотравнева» і «Степова» зі спорожненням його ємкості на період весняного половіддя протягом 10 діб. У зв'язку з розвитком гірничих робіт, відбувається постійне збільшення припливу шахтної води, прогноз якого складає приблизно 20 млн. м³/рік.

Таким чином, ставок-накопичувач, розташований в балці Косьмінна, в теперішній час через майже трьохкратне перевищення фактичного припливу від Першотравневої групи шахт, у порівнянні з проектним припливом, не забезпечує освітлення шахтної води до санітарних норм перед скидом у річку Самара. У відповідності до розроблених обласною санітарно-епідеміологічною службою зауважень, скид освітлених шахтних вод (спорожнення) зі ставка передбачається в період з вересня по 15 квітня. В інший час повинно відбуватися накопичення шахтної води в ставку.

Виробничі стоки від котельні системою самопливних трубопроводів направляються в насосну станцію, звідки перекачуються у відстійник шахтних вод для їхнього сумісного очищення та використання, а надлишок відводиться з шахтними водами в ставок-накопичувач, розташований в балці Косьмінна.

Концентрації забруднюючих речовин, які містяться в шахтних водах, що відкачуються на поверхню вугледобувним підприємством шахта «Степова» ВСП «Шахтоуправління Першотравненське» ДТЕК «Павлоградвугілля» та після виходу з горизонтального відстійника з вказаною ефективністю очищення за існуючою технологією водовідведення наведено в табл. 2.1. Крім того, наведено значення гранично допустимого вмісту забруднюючих речовин, відповідно до Регламенту скиду шахтних вод для балки Косьмінна.

Таблиця 2.1 – Кількісні та якісні показники складу та властивостей стічних вод шахти «Степова» «Шахтоуправління Першотравенське» ДТЕК «Павлоградвугілля» [15]

Виходячи з отриманих в табл. 2.1 результатів, можна зробити висновок, що внаслідок механічного очищення шахтних вод у горизонтальному відстійнику за існуючою технологією водовідведення, концентрація завислих речовин під час скиду освітлених стоків у ставок-накопичувач, розташований в балці Косьмінна, не відповідає величині гранично допустимого вмісту механічних домішок, відповідно до Регламенту скиду шахтних вод для цієї балки, тобто фактичне значення перевищує нормативне в 1,6 разів. Крім того, вміст нафтопродуктів в очищеній воді також не відповідає нормативу. Таким чином, скидати шахтну воду в ставок-накопичувач можливо тільки після додаткового очищення.

2.2 Обґрунтування методу вдосконалення технології водовідведення стічних вод шахти «Степова» на основі реконструкції горизонтального відстійника в тонкошаровий

Можна виділити два основних напрямки в галузі вдосконалення конструкцій відстійників: підвищення стійкості потоку та відстоювання в тонкому шарі. Перший напрямок пов'язаний з вдосконаленням традиційних конструкцій осадкових басейнів, наприклад, облаштування їх пристроями для відведення з поверхні освітленої води, рівномірного скиду осаду, встановленням проміжних дірчастих перегородок. Така модернізація дозволяє незначно (до 1,5 разів) підвищити продуктивність відстійників. Другий напрямок – створення принципово нової конструкції тонкошарових відстійників.

Останнього часу все ширше застосовуються тонкошарові відстійники. Їхня роздільна здатність, особливо при виділенні тонкодисперсних часточок, у

багато разів перевищує роздільну здатність горизонтальних, вертикальних і радіальних відстійників.

Тонкошарові відстійники рекомендовано для механічного очищення виробничих стічних вод, забруднених нафтопродуктами та завислими речовинами, нафтової, вугільної та інших галузей промисловості [27-32].

Процес осадження домішок відбувається в малому за товщиною шарі води всередині тонкошарового модулю з похилими елементами. Така конструкція дозволяє швидше осаджувати завись, а зібрані домішки самопливом сповзають по ухилу в зону утворення пластівців та ущільнення осаду.

Режим руху потоку в похилому елементі ламінарний, а характер розподілення швидкості аналогічний розподіленню швидкості в напірному трубопроводі.

В табл. 2.2 наведено дані щодо ефективності виділення нафтопродуктів у гравітаційному відстійнику, обладнаному похилими пластинами з зазором 100 мм, та порожньому горизонтальному відстійнику.

Таблиця 2.2 – Виділення нафтопродуктів у відстійниках

Досвід застосування тонкошарового відстоювання для розділення суспензій та емульсій виявив високу ефективність цього методу. Виходячи з даних табл. 2.2, переваги тонкошарових відстійників очевидні.

Фактором, що суттєво обмежує ефективність процесу осадження в порожніх відстійниках, є велика висота зони осідання. Для її зменшення в порожніх відстійниках встановлюють горизонтальні або похилі перегородки, пластини, гранули або труби, що підвищують ефективність процесу. В отриманих таким чином тонкошарових відстійниках процес відстоювання відбувається в об'ємі, розділеному на паралельні шари або канали.

Однаковий ефект осадження досягається за рівності співвідношень [33]:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{t_1}{t_2}, \quad (2.1)$$

h_1, h_2 – висота зони осадження; t_1, t_2 – час осадження.

З цієї формули випливає, що при зменшенні висоти осадження в n разів у стільки ж разів скорочується тривалість відстоювання. Таким чином, відстоювання в тонкому шарі дозволяє значно зменшити розміри відстійника при заданій продуктивності або збільшити продуктивність тонкошарового відстійника, порівняно з порожнім, при заданому робочому об'ємі.

У разі розділення сумішей з полідисперсним розподілом частинок застосування тонкошарового відстійника, порівняно з об'ємним відстійником таких самих розмірів при заданій продуктивності, дозволяє виділяти частинки набагато менших розмірів, тобто значно підвищує ефективність розділення (рис. 2.2).

До інших не менш важливих переваг тонкошарових відстійників, у порівнянні з іншими конструкціями сепараційних апаратів, можна віднести простоту конструкції, відсутність приводів і частин, що обертаються, простоту в експлуатації і ремонті.

Застосування тонкошарових відстійників, у порівнянні з порожніми, забезпечує стабільність течії рідини та перешкоджає можливості виникнення щільних та температурних циркуляційних течій. У зв'язку з малими висотами шарів суміші, що розділяється, в тонкошарових відстійниках істотно зменшується несприятливий вплив таких факторів, як наявність градієнтів температури і щільності. Потік у каналах між пластинами, гранулами або в трубах стає ламінарним після невеликої ділянки стабілізації на початку каналу, що сприятливо позначається на інтенсивності процесу відстоювання.

Рис. 2.2 – Залежність ефективності освітлення від довжини та висоти шару (ярусу) тонкошарового блоку (модулю)

Вибір конструкції відстійника залежить від кількості та складу суміші, що розділяється. Для інтенсифікації процесів відстоювання можливе встановлення тонкошарових модулів у відстійники старих конструкцій (рис. 2.3).

Конструкція тонкошарового відстійника – кругла або прямокутна споруда, розділена всередині на окремі шари (яруси) за допомогою похилих паралельних пластин. Відстоювання води відбувається в кожній секції тонкошарового модулю, а похилі пластини служать для видалення зібраного осаду.

Тонкошарові відстійники можуть бути класифіковані за такими ознаками:

- за конструкцією похилих блоків (трубчасті або поличкові), що встановлюються під кутом 45-60°;
- за режимом роботи (циклічної або безперервної дії);
- за нахилом полиць або труб відносно руху стічної води (з поздовжнім прямим, зворотним або комбінованим нахилом та поперечним нахилом).

а) горизонтальний; б) вертикальний; в) радіальний;

1 – подача стічних вод; 2 – тонкошаровий блок; 3 – відведення освітленої води

Рис. 2.3 – Схеми реконструкції існуючих відстійників з тонкошаровими блоками

Трубчасті секції мають прямокутний (квадратний), шестикутний або круглий поперечний перетин. Можуть працювати з більш високими швидкостями, порівняно з поличковими. Монтуються з окремих труб або блоків, що виготовляються індустриально.

Поличкові секції мають перетин у вигляді прямокутника, в якого висота дорівнює ширині. Вони монтуються з плоских або волокнистих пластин, зручні в експлуатації і менш матеріаломісткі, ніж трубчасті.

Тонкошарові відстійники циклічної дії характеризуються невеликим нахилом блоків. Осад, що накопичується в них, видаляється промиванням зворотним струмом освітленої води та іншими способами.

Відстійники безперервної дії відрізняються значним нахилом блоків, що забезпечує постійне видалення забруднень, які виділяються, в зону накопичення, у зв'язку з чим не потрібне їхнє часте промивання.

У відстійниках із поздовжнім нахилом блоків вода рухається: зверху вниз – при прямому нахилі, знизу вгору – при зворотному нахилі (рис. 2.4) та поперемінно – при комбінованому розташуванні блоків. З поперечним нахилом блоків вода рухається горизонтально, а самі блоки нахилені в площині, перпендикулярній до напрямку руху стічної води.

Вибір типу тонкошарового відстійника визначається, в першу чергу, характером забруднень, які містяться у воді, що очищується.

Відстійники циклічної дії (зі зворотним нахилом блоків) доцільно застосовувати при освітленні стічної води від грубодисперсних домішок, концентрація та гідравлічний розмір яких мають невеликі значення.

Відстійники безперервної дії з прямим нахилом блоків ефективні при очищенні стічних вод, забруднених переважно спливаючими домішками (наприклад, нафтою та нафтопродуктами) та порівняно невеликою кількістю важких осідаючих частинок (наприклад, піску). Навпаки, відстійники зі зворотним нахилом блоків (безперервної дії) доцільно застосовувати для очищення стічних вод, у забрудненні яких переважають осідаючі речовини.

Відстійники з комбінованим і поперечним нахилом блоків є універсальними і придатні для виділення як спливаючих, так і осідаючих домішок.

Практично трубчасті та поличкові відстійники за показником ефективності мало відрізняються один від одного. Близькі й технологічні показники відстійників з комбінованим та поперечним нахилом секцій. Тому та чи інша конструкція для конкретних умов застосовується виходячи з техніко-економічного розрахунку.

- а) напрям руху стічних вод зверху вниз б) напрям руху стічних вод знизу
вгору

Рис. 2.4 – Схеми тонкошарових відстійників із поздовжнім нахилом блоків

Найчастіше застосовуваними на практиці конструктивними схемами тонкошарових відстійників є відстійники з перехресним і прямоточно-протиточним рухом фаз. Застосування останньої схеми найбільш виправдано у випадках, коли дисперсна фаза, що виділяється, має схильність накопичуватися на поверхні сепараційних пластин. У цьому випадку рух потоку суцільної фази в напрямку ухилу пластин сприяє сповзанню або спливанню виділеної дисперсної фази в зону її накопичення. У тих випадках, коли дисперсна фаза не схильна до налипання або адгезії на поверхні пластин, застосування перехресної схеми руху фаз є більш раціональним. При цьому істотно полегшується сепарація фаз за рахунок виключення повторного контакту фаз на виході з сепараційної зони, що має місце при прямоточно-протиточній схемі руху фаз.

Основний недолік конструкцій блоків перехресної схеми полягає у перевитраті матеріалу пластин, оскільки для уникнення прогину пластин у блоці, з метою збереження їхньої паралельності та кута сповзання осаду, вони приймаються набагато більшою товщиною, ніж це потрібно за технологією процесу.

Тонкошарові модулі ефективно затримують і осаджують грубодисперсні та тонкодисперсні домішки. Вони являють собою одиничні пластини, зібрані особливим чином, які формують паралельні площини для осадження (рис. 2.5).

Рис. 2.5 – Схема тонкошарового модулю, що складається з одиничних пластин

Таке виконання модулю збільшує площу осадження в 6-15 разів і дозволяє використовувати суттєво менші об'єми ємностей, тим самим знижувати капітальні витрати на їхнє будівництво.

Застосування різних конструкцій тонкошарових модулів дає можливість оптимізувати процес очищення води та застосовувати їх в ємностях з різною геометрією.

Важливою перевагою тонкошарових модулів є можливість адаптації до будь-яких форм резервуарів. Це дозволяє повністю заповнювати модулями поперечний перетин ємності, щільно примикаючи до її стінок і обминаючи всілякі несучі колони та конструкції.

Тонкошарові модулі дозволяють значно зменшити площі відстійників та інвестиції. Вони складаються з окремих профілів, які надходять у розібраному вигляді, а потім збираються на об'єкті в готові модулі. Це дозволяє економити на транспортних витратах, у порівнянні з перевезенням готових модулів.

Тонкошарові модулі можуть складатися з модулів різної висоти, нахилу та форми (в тому числі радіальної), а також можуть бути укладені в металеві рами і швидко замінитися.

Чим менше товщина шару стічної води, тим нижче питоме навантаження на площу відстоювання. В цьому випадку скорочується ефект, коли частинки, що рухаються, захоплюють за собою потік рідини, і гідродинамічні характеристики потоку рідини стабілізуються.

Кут нахилу пластин тонкошарового модулю великою мірою впливає на ефективність очищення стічних вод у відстійнику. Оптимальна величина в межах 45-60°. При меншому куті нахилу яруси засмічуються, і виникає необхідність їхнього частого промивання. При більшому куті нахилу пластин осад занадто швидко сповзає, що може викликати небажані ефекти.

Тонкошарові елементи (модулі) за геометрією поперечного перетину можна розділити на пластинчасті та трубчасті. Останні мають круглу, квадратну, шестикутну та ромбоподібну форми.

Для виготовлення тонкошарових елементів використовують скло, оцинковане залізо, поліетиленову плівку, поліетиленові профільовані листи, поліпропілен, вініпласт, поліхлорвініловий та полістирольний пластик, армовану поліхлорвінілову плівку та інші матеріали.

Рекомендована швидкість потоку рідини в тонкошарових елементах приймається за умови ламінарної течії середовища між пластинами відстійника від 1 до 10 мм/с. Відстань між пластинами в тонкошаровому пластинчастому

відстійнику складає від 20 до 150÷200 мм. Оптимальна величина цієї відстані залежить від концентрації дисперсної фази та її властивостей. Розмір цього параметра впливає на розрахункову довжину тонкошарового елемента.

Для трубчастих відстійників діаметр труб становить від 25 до 100 мм. Відношення довжини до діаметра труби приймають рівним 10÷20 при куті нахилу не більше 40°. Оптимальний кут нахилу тонкошарових елементів залежно від виду та концентрації домішок знаходиться, як правило, в інтервалі 45÷60°.

Цікавою є конструкція тонкошарового відстійника (рис. 2.6), в якому тонкий шар створюється гофрованими листами, розташованими вертикально.

Рис. 2.6 – Блок пластин тонкошарового відстійника з гофрованими листами

Процес відстоювання відбувається в розширеному об'ємі між сусідніми гофрами. Осад, що випадає на похилій частині гофри, сповзає в щілину між листами. В цю ж щілину потрапляють частинки, що осіли в цьому об'ємі й не потрапили на стінку гофри. У щілині створюються умови обмеженого осадження, що сприяють агрегації частинок осаду, який виділився. Потрапляючи в нижній розширений об'єм між гофрованими листами, процес осадження часточок пришвидшиться.

Недоліком такої конструкції, крім схильності до забруднення, є можливість повторного перемішування фаз у вузьких зазорах між пластинами.

Інтерес представляє складна конструкція трубчастого блоку, де в труби вставлена закручена гвинтом смуга (рис. 2.7), яка створює шар відстоювання, що дорівнює кроку гвинта. Крім того, слід вважати, що при гвинтовому русі потоку будуть створюватися умови, що підвищують ефективність агрегації. Проте, слід зазначити складність конструкції для рекомендації щодо її реалізації.

Рис. 2.7 – Трубчастий блок із елементами закрутки потоку

Попередній аналіз показав, що тонкошарові відстійники характеризуються підвищеною матеріаломісткістю, і основний вплив на вартість блоків надає витрати матеріалів на виготовлення тонкошарових елементів, що визначається в основному їх товщиною. У зв'язку з цим більш економічними, в порівнянні з поличковими конструкціями з листових матеріалів (поліетилену, вініпласту, склопластику, азбестоцементу тощо), є комірчасті конструкції блоків за умови їхнього виконання з тонких матеріалів. Аналіз властивостей придатних для виготовлення тонкошарових блоків полімерів дозволив зробити висновок, що за фізико-хімічними показниками, хімічною та бактеріологічною стійкістю, довговічності найбільш підходять м'які полімерні плівки, зокрема, найдешевша і найпоширеніша з них – поліетиленова плівка.

Дослідження показали, що досить міцна та надійна конструкція тонкошарового блоку може бути виготовлена із плівки завтовшки не менше 150-200 мм (рис. 2.8).

1 – тонкошаровий блок із поліетиленової плівки; 2 – стрижні для розтягування сотоблока

Рис. 2.8 – Тонкошаровий сотоблок із поліетиленової плівки

Таким чином, багаторічні випробування роботи зазначених вище тонкошарових споруд підтвердили високу ефективність методу осадження суспензії в шарах невеликої висоти (вилучення завислих речовин у середньому складає до 80-90%, нафтопродуктів – до 70-80%, що значно перевищує ефективність очистки стічних вод у горизонтальному відстійнику, яка складає 10-60%). Одночасно збільшується площа осадження та знижується питоме навантаження на неї за завислими речовинами, забезпечуючи, тим самим, більш ефективне освітлення рідини та використання об'єму відстійника, продуктивність якого збільшується пропорційно площі осадження.

Були також підтверджені міцність, надійність та довговічність розробленої конструкції блоків, простота їх монтажу та експлуатації. Обладнання відстійних споруд тонкошаровими блоками дозволяє в 1,5-2 рази підвищити їхню продуктивність, покращити якість освітлення води, забезпечити більш стабільну роботу споруд за умов зміни якості вихідної води.

2.3 Методика розрахунку параметрів існуючих горизонтальних відстійників, що реконструюються в тонкошарові, при протиточній схемі видалення осаду

В літературі маються повідомлення стосовно розрахунку тонкошарових відстійників [28, 31, 32, 34, 35]. Рекомендований перелік розрахункових параметрів включає площу відстоювання, кут нахилу та довжину пластин. При цьому додаються наступні припущення:

- розподіл швидкості в міжпластинчастому просторі повинен бути рівномірним;
- в потоці має місце вільне осідання завислих частинок;
- навантаження на відстійник пропорційне кількості каналів, утворених похилими пластинами.

Відстань між пластинами, їхня ширина, номінальний режим течії рідини, оптимальні концентрації зависі не розраховуються.

Відповідно до вказівок Шведського державного відомства охорони природи питоме навантаження на поличкові відстійники приймається: 0,4-0,5 м³/годину – при протиточній та 0,6-0,7 – при прямоточній схемі руху води й осаду [32].

Розрахунок параметрів існуючих горизонтальних відстійників, що реконструюються в тонкошарові, при протиточній схемі видалення осаду здійснюється за схемою, наведеною на рис. 2.9.

1. Приймається ширина тонкошарового блоку, що дорівнює ширині секції горизонтального відстійника. Значення обирається за допомогою табл. А.2

Додатка А з урахуванням розрахункової пропускної здатності типового горизонтального відстійника ($\text{м}^3/\text{годину}$).

2. Приймається висота ярусу тонкошарового відстійника (глибина відстійної частини), відповідно до рекомендованого діапазону значень з врахуванням залежності ефективності освітлення шахтної води від довжини та висоти шару (ярусу) тонкошарового блоку (модулю), наведеної на рис. 2.2.

Рис. 2.9 – Розрахункова схема тонкошарового відстійника з протиточною схемою видалення осаду

3. За необхідності підвищення ефективності відстоювання промислових стічних вод визначається гідравлічна крупність завислих частинок, що відповідає ефективності освітлення в тонкошарових відстійниках, орієнтовно прийнята за допомогою рис. 2.2.

4. Приймається кут нахилу пластин до горизонтальної площини α , значення якого знаходяться в діапазоні. Більші значення кута нахилу приймаються для вод, що не оброблюються реагентами.

5. Приймається швидкість робочого потоку, значення якої знаходяться в діапазоні.

6. Приймається коефіцієнт використання об'єму, значення якого знаходяться в діапазоні.

7. Довжина ярусу тонкошарового блоку (модулю) визначається за формулою:

$$(2.2)$$

Отримане значення округляється до десятих долів цілого числа.

8. Довжина зони тонкошарового відстоювання визначається за формулою:

$$(2.3)$$

N – кількість відділень у типовій компоновці горизонтального відстійника, штуки.

Отримане значення округляється до десятих долів цілого числа.

9. Висота тонкошарового блока визначається за формулою:

(2.4)

Отримане значення округляється до десятих долів цілого числа.

10. Кількість ярусів в тонкошаровому блоці (модулі) визначається за формулою:

(2.5)

11. Тривалість відстоювання стічних вод у тонкошаровому відстійнику визначається за формулою:

(2.6)

Отримане значення округляється до максимально цілого числа.

12. Добова маса осаду, що затримується в тонкошарових відстійниках, визначається за формулою:

(2.7)

Q – добові витрати стічних вод, що надходять до тонкошарового відстійника, які визначаються за формулою:

(2.8)

$C_{завись}$ – початковий вміст завислих речовин у стічній воді, мг/л;

K_3 – коефіцієнт запасу;

E – ефективність освітлення води в тонкошаровому відстійнику, орієнтовно прийнята за допомогою рис. 2.2.

13. Об'єм осаду, що затримується в тонкошаровому відстійнику за добу, визначається за формулою:

(2.9)

$\rho_{ос}$ – щільність сирого осаду;

$X_{ос}$ – вологість осаду.

14. Об'єм осаду, що затримується в одному відділенні тонкошарового відстійника за добу, визначається за формулою:

(2.10)

15. Діаметр трубопроводу для видалення осаду з тонкошарового відстійника визначається за формулою:

(2.11)

v_{oc} – швидкість руху осаду в трубопроводі;

q_{oc}^I – витрати осаду з одного відділення тонкошарового відстійника, що визначаються за формулою:

(2.12)

n_{oc} – кількість вивантажень осаду за добу. Період роботи відстійника між вивантаженнями осаду повинен складати: при видаленні осаду під гідростатичним тиском – не більше 48 годин, при видаленні осаду механічним способом – не більше 8 годин;

t_{oc} – тривалість вивантаження осаду.

Отримане значення округляється до стандартного розміру діаметра.

16. Концентрація забруднюючих речовин у воді після її очищення в тонкошарових відстійниках визначається за формулами:

– за вмістом завислих речовин:

(2.13)

– за вмістом нафтопродуктів:

(2.14)

$E_{завис}$, $E_{нафта}$ – ефективність очищення стічних вод у тонкошарових відстійниках за вмістом завислих речовин і нафтопродуктів, %.

2.4 Результати розрахунку параметрів існуючого горизонтального відстійника стічних вод шахти «Степова», що реконструюється в тонкошаровий, при протиточній схемі видалення осаду

Вихідні дані:

1. Витрати стічних вод, що відкачуються на поверхню шахтою «Степова», складають 1200 м³/годину.

2. Початковий вміст завислих речовин у стічній воді, що відкачується на поверхню шахтою «Степова», становить 104 мг/л.

3. Початковий вміст нафтопродуктів у стічній воді, що відкачується на поверхню шахтою «Степова», становить 0,9 мг/л.

4. Оскільки витрати шахтних вод, що відкачуються на поверхню шахтою «Степова», складають приблизно 1200 м³/годину, для подальшого розрахунку за табл. А.2 Додатка А обираємо типовий первинний горизонтальний відстійник з розрахунковою пропускною здатністю 1160 м³/годину. При цьому приймаємо його наступні параметри:

- ширина 6 м;
- довжина 24 м;
- глибина зони відстоювання – 3,15 м;
- кількість відділень у типовій компоновці – 4.

5. Відповідно до рекомендованого діапазону значень з врахуванням залежності ефективності освітлення шахтної води від довжини та висоти шару (ярусу) тонкошарового блоку (модулю), наведеної на рис. 2.2, приймаємо висоту ярусу тонкошарового відстійника (глибину відстійної частини) 100 мм, що відповідає ефективності очищення шахтних вод від завислих речовин 90%.

6. Оскільки стічні води, що відкачуються на поверхню шахтою «Степова», не оброблюються реагентами, приймаємо кут нахилу пластин до горизонтальної площини тонкошарового відстійника 60°.

7. Приймаємо швидкість робочого потоку шахтної води, що надходить на освітлення в тонкошаровий відстійник 8 мм/с.

8. Приймаємо коефіцієнт використання об'єму тонкошарового відстійника 0,7.

9. Оскільки в запропонованому тонкошаровому відстійнику необхідно підвищити ефективність відстоювання шахтної води, визначаємо гідравлічну крупність завислих частинок, що відповідає ефективності освітлення в тонкошарових відстійниках, орієнтовно прийнятої за допомогою рис. 2.2. За даними [очистка шахтних вод] величину гідравлічної крупності, що відповідає ефективності очищення шахтних вод, яка дорівнює (див. п.5 розрахунку), приймаємо 0,05 мм/с.

10. Кількість вивантажень осаду з одного відділення тонкошарового відстійника за добу при його видаленні механічним способом приймаємо 2.

11. Тривалість вивантаження осаду з одного відділення тонкошарового відстійника приймаємо 0,5 годин.

Розрахунок:

Довжина ярусу тонкошарового блоку визначається за формулою (2.2):

м.

Довжина зони тонкошарового відстоювання визначається за формулою (2.3):

м.

Висота тонкошарового блоку визначається за формулою (2.4):

м.

Кількість ярусів в тонкошаровому блоці визначається за формулою (2.5):

штук.

Тривалість відстоювання стічних вод у тонкошаровому відстійнику визначається за формулою (2.6):

хвилин.

Добові витрати стічних вод, що надходять до тонкошарового відстійника, які визначаються за формулою (2.8):

м³/добу.

Добова маса осаду, що затримується в тонкошарових відстійниках, визначається за формулою (2.7):

тонни/добу.

Об'єм осаду, що затримується в тонкошаровому відстійнику за добу, визначається за формулою (2.9):

м³.

Об'єм осаду, що затримується в одному відділенні тонкошарового відстійника за добу, визначається за формулою (2.10):

м³.

Витрати осаду з одного відділення тонкошарового відстійника визначаються за формулою (2.12):

$\text{м}^3/\text{с}$.

Діаметр трубопроводу для видалення осаду з тонкошарового відстійника визначається за формулою (2.11):

м .

Отримане значення діаметра трубопроводу для видалення осаду з тонкошарового відстійника округляємо до стандартного розміру діаметра.

Концентрація завислих речовин у воді після її очищення в тонкошарових відстійниках визначається за формулою (2.13):

мг/л .

Концентрація нафтопродуктів у воді після її очищення в тонкошарових відстійниках визначається за формулою (2.14):

мг/л .

Таким чином, запропонована технологія водовідведення стічних вод шахти «Степова» ВСП «Шахтоуправління Першотравенське ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» на основі реконструкції горизонтального відстійника в тонкошаровий дозволяє досягти необхідних значень ефективності очищення за вмістом завислих речовин і нафтопродуктів, оскільки величини вищеперерахованих гідрохімічних показників не перевищують допустимих норм, відповідно до Регламенту скиду в ставок-накопичувач, розташований в балці Косьмінна.

ВИСНОВКИ

У роботі вирішена актуальна практична задача, що полягає в удосконаленні технології водовідведення на прикладі діючого вугледобувного підприємства Західного Донбасу (шахта «Степова» ВСП «Шахтоуправління Першотравенське» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля») за рахунок реконструкції існуючого горизонтального відстійника шахтних вод в тонкошаровий..

Впровадження запропонованої технології водовідведення шахтних вод дозволяє досягти необхідних значень ефективності очищення за вмістом завислих речовин і нафтопродуктів, оскільки величини вищеперерахованих гідрохімічних показників не перевищують допустимих норм, відповідно до Регламенту скиду в ставок-накопичувач, розташований в балці Косьмінна.

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 прилеглі водні об'єкти надходять недостатньо очищені шахтні води, що не відповідають нормативним показникам якості поверхневих водойм.

Встановлено, що внаслідок механічного очищення шахтних вод у горизонтальному відстійнику за існуючою технологією водовідведення,

концентрація завислих речовин під час скиду освітлених стоків у ставок-накопичувач, розташований в балці Косьмінна, не відповідає величині гранично допустимого вмісту механічних домішок, відповідно до Регламенту скиду шахтних вод для цієї балки, тобто фактичне значення перевищує нормативне в 1,6 разів. Крім того, вміст нафтопродуктів в очищеній воді також не відповідає нормативу. Таким чином, скидати шахтну воду в ставок-накопичувач можливо тільки після додаткового очищення.

Удосконалено існуючу технологічну схему водовідведення шахтних вод на основі реконструкції горизонтального відстійника в тонкошаровий.

Багаторічні випробування роботи зазначених тонкошарових споруд підтвердили високу ефективність методу осадження суспензії в шарах невеликої висоти (вилучення завислих речовин у середньому складає до 80-90%, нафтопродуктів – до 70-80%, що значно перевищує ефективність очистки стічних вод у горизонтальному відстійнику, яка складає 10-60%). Одночасно збільшується площа осадження та знижується питоме навантаження на неї за завислими речовинами, забезпечуючи, тим самим, більш ефективне освітлення рідини та використання об'єму відстійника, продуктивність якого збільшується пропорційно площі осадження.

Розраховано основні параметри існуючого горизонтального відстійника стічних вод шахти «Степова», що реконструюється в тонкошаровий, при протиточній схемі видалення осаду.

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

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Вскрытие и подготовка пластов C_6 и C_6^1 в уклонном поле в связи с прирезкой запасов угля участка поля шахты «Западно-Донбасская» №11/13 по шахте «Степная» ПХК «Павлоградуголь». [Проект]. Т. 1. Кн. 2. «Охрана окружающей природной среды». Дн-ск: Днепрогипрошахт, 2003. 170 с.
2. Вскрытие и подготовка пластов C_6 и C_6^1 в уклонном поле в связи с прирезкой запасов угля участка поля шахты «Западно-Донбасская» №11/13 по шахте «Степная» ПХК «Павлоградуголь». [Проект]. Т. 1. Кн. 3. «Оценка воздействия на окружающую среду». Дн-ск: Днепрогипрошахт, 2003. 245 с.
3. Николин В.И., Матлак Е.С. Охрана окружающей среды в горной промышленности. К.-Донецк: Вища школа. Головное изд-во, 1987. 192 с.
4. Меркулов В.А. Охрана природы на угольных шахтах. М.: Недра, 1981. 184 с.
5. Трофимович Е.М., Гурвич С.М. Охрана водных объектов при добыче и обогащении руд и углей. М.: Недра, 1985. 192 с.
6. Пономаренко П.И., Моссур П.М., Гринцова Е.А. Шахтные воды Донбасса, их охрана и использование. Дн-вск: Наука и образование, 1998. 50 с.
7. Долина Л.Ф. Сточные воды предприятий горной промышленности и методы их очистки: справочное пособие. Дн-вск: Молодежная экологическая лига Приднепровья, 2000. 43 с.
8. 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.
9. Горшков В.А. Очистка и использование сточных вод предприятий угольной промышленности. М.: Недра, 1981. 269 с.
10. Монгайт И.Л., Текиниди К.Д., Николадзе Г.И. Очистка шахтных вод. М.: Недра, 1978. 173 с.
11. Селезнев С.Н., Симонов В.В., Маслюк А.И. Очистка шахтных вод. Донецк: Донбасс, 1975. 110 с.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

15. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Дніпропетровській області за 2020 рік. Дніпро, 2021. 300 с.

16. Харионовский А.А. Комплексная очистка шахтных и карьерных вод от техногенных загрязнений. Шахты: Изд-во ЮРО АГН, 2000. 238 с.

17. 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.

18. 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.

19. Орлов В.О., Шевчук Б.И. Интенсификация работы водоочистных сооружений. К.: Будівельник, 1989. 126 с.

20. Кастальский А.А., Минц Д.М. Удаление взвешенных веществ осаждением. М.: Высшая школа, 1962. 140 с.

21. 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.

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

23. Лукиных Н.А., Липман Б.Л., Криштул В.П. Методы доочистки сточных вод. М.: Стройиздат, 1978. 156 с.
24. Малышев А.В. Применение синтетических флокулянтов при фильтровании шахтных вод. Сборник научных трудов. Пермь, 1990. С. 110-121.
25. Технологические схемы очистки от взвешенных веществ и обеззараживание шахтных вод: каталог. Пермь: ВНИИОСуголь, 1986. 69 с.
26. 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.
27. 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.
28. Демура М.В. Проектирование тонкослойных отстойников. Киев.: Будівельник, 1981. 51 с.
29. Шпаковский Э.П. Отстаивание сточных вод в тонком слое. В кн.: Очистка и использование природных и сточных вод. Минск, 1973. С. 83-92.
30. Яковлев С.В., Калицун В.И. Механическая очистка сточных вод. М.: Стройиздат, 1972. 199 с.
31. Гудков А.Г. Механическая очистка сточных вод: учебное пособие. Вологда: ВоГТУ, 2003. 152 с.
32. Лаптев А.Г., Фарахов М.И. Гидромеханические процессы в нефтехимии и энергетике: Пособие к расчету аппаратов. Казань: Изд-во Казанск. гос. ун-та, 2008. 729 с.
33. Когановский А.М. Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении. М.: Химия, 1983. 288 с.
34. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. К.: Мінрегіон України, 2013. 223 с.

35. Проектирование сооружений для очистки сточных вод (Справочное пособие к СНиП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения»). М.: Стройиздат, 1990. 192 с.

36. ДСТУ 7239:2011 Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація.

37. 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.

38. Охрана труда при разработке угольных месторождений подземным способом. Женева: Международное бюро труда, 2008. 288 с.