

Шифр «БСВ»

Комплексний підхід до екологічно безпечного очищення бурових стічних вод

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	3
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ДОВКІЛЛЯ ВІД БУРОВИХ СТІЧНИХ ВОД.....	5
1.1 Хімічний склад та екологічна небезпека бурових стічних вод .....	5
1.2 Техногенний вплив на компоненти довкілля .....	6
1.3 Літературно–патентний огляд способів очищення відходів .....	9
РОЗДІЛ 2 ОБ’ЄКТ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	12
2.1 Технології очищення бурових стічних вод як об’єкт дослідження.....	12
2.2 Комплексні технології поводження з буровими стічними водами.....	15
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО ПОВОДЖЕННЯ З РІДКИМИ ВІДХОДАМИ БУРІННЯ.....	19
3.1 Застосування електрохімічних методів у схемах очищення відходів.	19
3.2 Удосконалена технологія очищення бурових стічних вод.....	22
3.3 Застосування очищених стічних вод у технічних цілях (система оборотного водоспоживання – замкненого циклу) .....	25
ВИСНОВКИ.....	28
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	29
ДОДАТКИ.....	32

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Одним із найважливіших аспектів проведення бурових робіт є максимальне збереження стану навколишнього природного середовища. Основною проблемою при цьому є утворення значної кількості промислових відходів, а також забезпечення надійного їх зберігання, знешкодження, захоронення або вивезення до місць видалення відходів. Невід'ємними складовими компонентами відходів буріння є бурові стічні води (БСВ), видалена порода, відпрацьований буровий розчин та розчин для випробування.

Встановлено, що майже половину загального обсягу відходів становлять бурові стічні води (48 %), 33 % припадає на відпрацьований буровий розчин, інші 19 % становлять розчин для випробування та видалена порода. Технічне водопостачання бурових площадок в більшості випадків організовується з розташованих поблизу природних водойм або із спеціально пробурених на воду свердловин. При цьому обов'язковою умовою є отримання дозволу на спеціальне водокористування у місцевих природоохоронних службах. Місце розташування бурової площадки та умови території не завжди дозволяють налагодити водопостачання з природних джерел. За таких умов бурова площадка забезпечується привізною водою, що, в свою чергу, вимагає додаткових економічних затрат. Виходячи з вищенаведеного, особливої уваги заслуговує вирішення питання очищення та утилізації БСВ, тобто повернення їх до технологічного процесу, що відповідає вимогам екологічної безпеки.

Над проблемою очистки БСВ працювало ряд науковців, зокрема В.Ю. Шеметов, В.А. Шишов, Й.В. Стрілецький, В.В. Король та інші. Кожна з наукових праць робить вагомий внесок у вирішення питання очищення БСВ, однак ці розробки, з тих чи інших причин, не набули широкого застосування у виробничій практиці.

**Мета роботи** полягає у розробленні комплексного підходу до екологічно безпечного очищення бурових стічних вод.

**Завдання дослідження:**

- здійснити огляд проблеми техногенного навантаження на довкілля від бурових стічних вод;
- проаналізувати екологічність підходів до очищення БСВ;
- розробити комплексний підхід до поводження з рідкими відходами буріння;
- запропонувати технологічну схему очищення БСВ.

**Об'єкт дослідження** – техногенне навантаження на довкілля від бурових стічних вод на території нафтовидобувних об'єктів.

**Предмет дослідження** – підвищення рівня екологічної безпеки нафтовидобувних територій за рахунок розроблення комплексного підходу до очищення та утилізації бурових стічних вод.

**Наукова новизна** отриманих результатів полягає в тому, що удосконалено теоретично-практичні положення щодо підвищення екологічної безпеки нафтовидобувних територій шляхом застосування комплексного підходу до очищення та утилізації бурових стічних вод; вперше запропоновано використовувати коагулянти та флокулянти для очищення бурових стічних вод із промислових відходів інших підприємств.

## РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ДОВКІЛЛЯ ВІД БУРОВИХ СТІЧНИХ ВОД

### 1.1 Хімічний склад та екологічна небезпека бурових стічних вод

Поняттям бурові стічні води (БСВ) об'єднують сукупність рідких відходів, що утворюються під час проведення ряду технологічних операцій:

- часткове скидання відпрацьованого бурового розчину (ВБР);
- охолодження штоків насосів;
- обмивка різьбових з'єднань бурильних труб;
- очистка сіток вібросит;
- миття обладнання і виробничих майданчиків.

Бурові стічні води становлять екологічну загрозу для гідро- і літосфери внаслідок їх здатності дифундувати у середовищах та акумулювати забруднювальні речовини (ЗР).

Хімічний склад та фізико-хімічні властивості БСВ характеризуються відмінністю залежно від виду бурового розчину, що застосовується, глибини та етапу буріння, порід, що залягають тощо. Тому усереднено склад БСВ можна описати такими показниками: рН – 7,5–9,0, завислі речовини – 3,0–5,0 г/дм<sup>3</sup>, нафтопродукти 0,1–0,3 г/дм<sup>3</sup>, ХСК – 1,0–1,75 г/дм<sup>3</sup>, мінералізація – 0,1–1,0 г/дм<sup>3</sup> [1]; водночас автори подають такі дані: рН – 6–10, завислі речовини – 70 г/дм<sup>3</sup>, нафтопродукти 15–20 %, ХСК – 2–4 г/дм<sup>3</sup>, мінералізація – до 10 г/дм<sup>3</sup> [2]; також вказується, що БСВ містять: завислі речовини – 5,0 г/дм<sup>3</sup>, нафтопродукти 0,25 г/дм<sup>3</sup>, ХСК – 1,5 г/дм<sup>3</sup>, мінералізація – до 6,0 г/дм<sup>3</sup>, рН – 8,6 [3].

За зовнішнім виглядом БСВ являють собою суміш коричневого чи темно-коричневого кольору, практично не прозору з легким запахом нафтопродуктів. Загалом БСВ – слабомінералізовані розчини загальною мінералізацією 1,88–4,94 г/л. За даними Bakke et al. [4]; Isehuwa and Onovaes [5] БСВ пов'язані з такими екологічно небезпечними хімічними речовинами, як миш'як, нікель,

мідь, хром, цинк, аліфатичні вуглеводні, поліароматичні вуглеводні (ПАВ), антрацен, флуорантен, нафталін, фенантрен, пірен і радіоактивні матеріали.

Отже, БСВ є багатокомпонентною системою, не всі складники якої є однаково важливими для розроблення ефективного методу очистки. Основними складовими забруднення БСВ є завислі речовини, органічні речовини та нафтопродукти. При розробленні (удосконаленні) технології очищення БСВ потрібно орієнтуватися на максимальні значення забрудненості стічних вод, зокрема: рН – 7,5–8,5, вміст завислих речовини – 9,62 г/л, вміст нафтопродуктів 0,76 г/л, ХСК – 10,24 г/л, мінералізація – 4,94 г/л.

## 1.2 Техногенний вплив на компоненти довкілля

Ступінь впливу нафтогазових родовищ на довкілля визначається техногенними та природними чинниками. Як синтезовану характеристику техногенної дії використовують такий показник, як стадія розробки. Розглядають три стадії розробки нафтогазових родовищ, що характеризуються різними видами впливів на довкілля [6].

На початковій стадії здійснюється промислове освоєння родовища: розбурюються свердловини основного фонду та формується інфраструктура. У районах масового буріння свердловин створюється загроза екологічного стресу, що веде до порушення природної рівноваги, падіння потенціалу біосфери, деградації компонентів навколишнього природного середовища.

На середній стадії розробки родовища підтримується стабільний рівень видобутку. Ступінь забруднення довкілля визначається обсягами видобутку нафти і газу і технологією розробки родовища. На цьому етапі помітне зростання обводненості свердловин та здійснюється перехід від фонтанного способу видобутку на механізований. Заводнення нафтових пластів водою призводить до виникнення значної кількості стічних вод, які забруднюються

буровим розчином і його компонентами, вибуреною породою, хімічними реагентами, нафтою і нафтопродуктами.

Кінцева стадія розробки родовища характеризується значним зниженням обсягів видобутку. Простежується прогресуюче обводнення продукції, більша частина свердловин переводиться на механізований спосіб експлуатації. Забруднення навколишнього природного середовища пов'язується з захороненням промислових вод. Джерелами витоків промислових вод та нафтопродуктів, що негативно впливають на довкілля, є численні нагнітальні свердловини, насосні станції, установки для підготовки води, мережі водоводів та інші споруди. Одночасно із забрудненням вод нафтопродуктами, виникає забруднення промисловими розсолами і мікроелементами, вплив яких на навколишнє природне середовище є не менш небезпечним, ніж мінералізованих вод. Шкідливі впливи, які нанесені навколишньому природному середовищу нафтогазовою промисловістю, з економічної точки зору можна розглядати як збиток, визначений у вартісному вираженні (додаток А) [6].

Нафтогазова промисловість використовує воду у великих кількостях, тому постійно здійснюється скид шкідливих речовин у водне середовище. Добова потреба бурової в технічній воді коливається у широких межах від 25–30 м<sup>3</sup> до 100–120 м<sup>3</sup> і залежить як від природно-кліматичних умов і геолого-технічних особливостей провідки свердловин, так і від організації системи водопостачання [7]. При бурінні свердловин, в переважній більшості випадків, застосовується прямоточна система водопостачання, а джерелами водопостачання є відкриті водойми (озера, річки, струмки), артезіанські свердловини і водопровідна мережа. У період експлуатації нафтопромислів виробниче водоспоживання складається із забезпечення водою установок промислової підготовки нафти, котелень, а також цілей заводнення пластів у системі підтримання пластового тиску (Додаток Б, рис. Б.1).

Небезпека забруднення природних вод зумовлена можливістю потрапляння неочищених стічних вод і забруднювачів у водойми. Обсяг БСВ визначається різними факторами, серед яких найбільше значення мають глибина свердловин, тривалість буріння і питома вага витрат часу на ліквідацію ускладнень, аварій. У середньому добові обсяги утворення БСВ можуть становити 20–40 м<sup>3</sup> на одну свердловину. Значний вплив на обсяги БСВ має система водопостачання. Схема водопостачання і водовідведення на період спорудження пошукової свердловини наведена на рисунку В.1 (Додаток В) [8]. Значні потреби у воді технологічно потребують операції промивання свердловин та заводнення нафтових пластів.

Промивання свердловин проводять шляхом циркуляції промивального агенту з метою очищення забою від вибуреної породи. Значна частина використаних реагентів згодом переходить у технологічні відходи буріння (ТВБ). Ступінь екологічності процесу промивання свердловини оцінюють на основі аналізу трьох показників: ресурсоемності, об'єму утворених відходів та небезпеки речовин, що застосовуються. Зниження значень зазначених параметрів свідчить про підвищення рівня екологічної безпеки процесу [9].

Заводнення пластів проводять для підтримання пластового тиску та інтенсифікації процесів видобування нафти. Заводнення є найбільш водосімним процесом, у якому втрачається більше ніж 90 % всієї води, що споживається під час видобування нафти. Характерною рисою технології закачування води в продуктивні пласти є практично безповоротне водоспоживання. Скидання у водойму одиниці об'єму води, забрудненої після технологічних процесів, призводить до вилучення з обігу 40–60 об'ємів чистої води [10]. Підвищена небезпека для НПС від скиду стічних вод, утворених у результаті заводнення, обумовлена такими ЗР, як нафта і нафтопродукти, хімічні реагенти, зокрема кислоти, луки, ПАР і тверді мінерали.



### 1.3 Літературно-патентний огляд способів очищення відходів

Грубодисперсні мінеральні й органічні забруднюючі речовини виділяють зі стічних вод за допомогою механічних методів очищення (проціджування, відстоювання, поділ у полі відцентрових сил на гідроциклонах або в центрифугах). Для відділення дрібнодисперсних забруднюючих частинок широко використовується фільтрування. Основні споруди для відстоювання нафтовмісних стічних вод – нафтоуловлювачі, в яких нафта або нафтопродукти виділяються з води і спливають на поверхню, а значна кількість твердих механічних домішок осідає [11].

Для очищення стічних вод широкого складу найчастіше застосовуються фізико-хімічні методи та механічна очистка з використанням системи гідроциклонів. Фізико-хімічні методи дозволяють видалити зі складу вод тверді та рідкі частинки, мінеральні й органічні речовини. До цих методів відносяться – коагуляція і електрокоагуляція, адсорбція, іонний обмін, екстракція, флотація, ректифікація і т.д. З усіх перерахованих методів найчастіше для очищення бурових стічних вод використовують два перших методи [12].

Метод коагуляції досить ефективний, але при цьому утворюється досить великий об'єм осаду, приблизно 15–20 % від об'єму очищеної води. Крім того, вологість осаду становить 95–98%, що вимагає їх повного осушення [13].

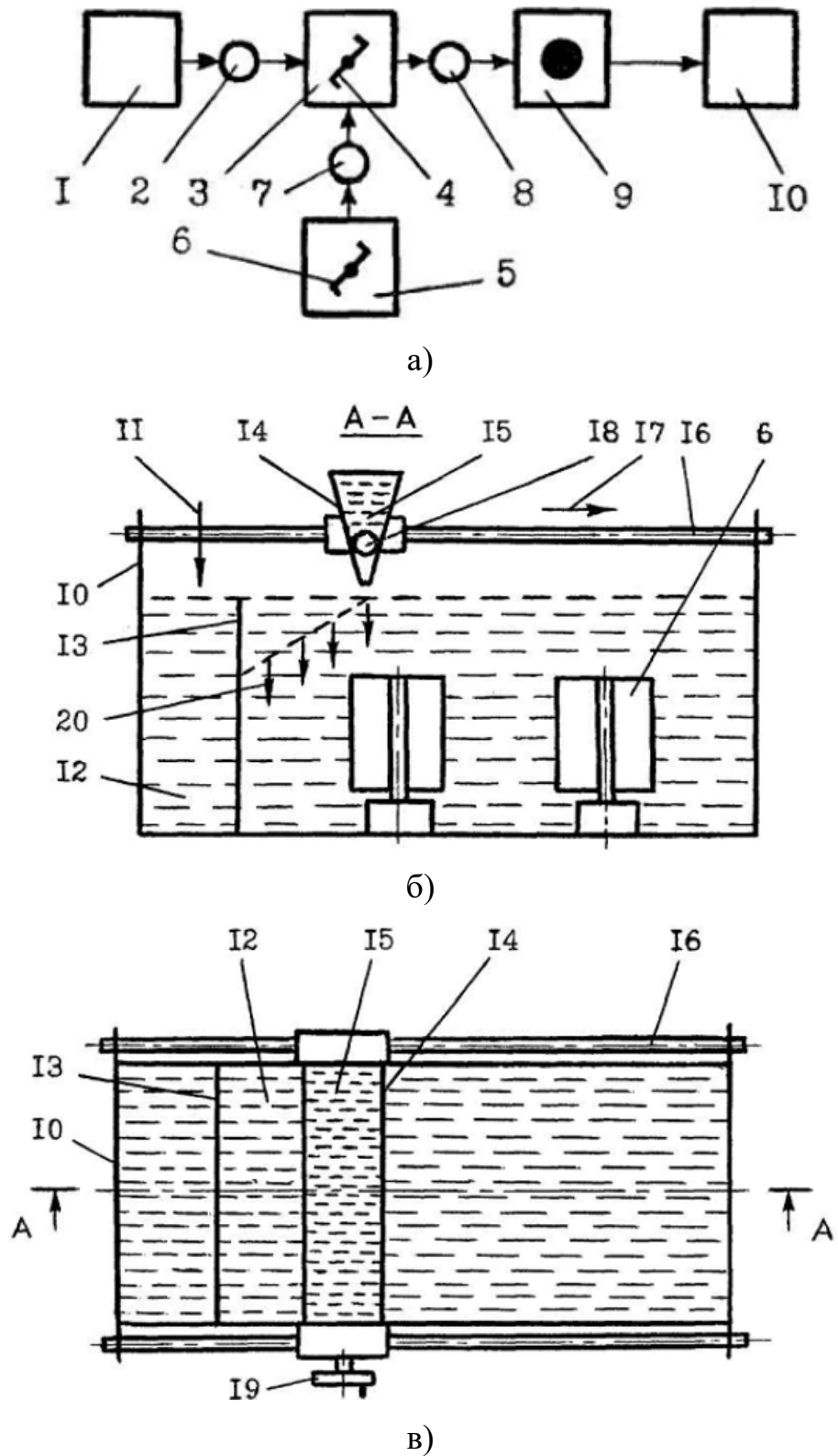
Для очищення БСВ та зневоднення шламу в основному застосовуються стрічкові вакуум-фільтри, рідше пульсуючі, осаджувальні або осаджуючо-фільтруючі центрифуги. Всі ці апарати дозволяють одержувати вологу в межах 28–35 % на вакуум-фільтрах і 25–32 % – на центрифугах [14].

Відомий спосіб очищення бурових стічних вод (пат. RU 2168468), за яким стічну воду у відстійнику механічно перемішують з хімічним реагентом, який має властивості флокулянту, і витримують до утворення осаду. Обробляють продуктом взаємодії пероксиду водню з вибраними із групи водорозчинних аміно-, боро- або силікатовмісних оксиз'єднань. Повторно перемішують з

хімічним реагентом, який має властивості флокулянту, і витримують до утворення осаду, обробляють на центрифугі. Недоліком цього пристрою для очищення бурових стічних вод є надмірне використання електроенергії.

Відомий спосіб очищення промислових стічних вод (пат. RU 2331455), за яким стічну воду витримують у першому відстійнику до утворення осаду і періодично стимулюють осадотворення впливом акустичних хвиль звукового, ультразвукового діапазонів частот, у додатковому відстійнику – впливом хвиль інфразвукового діапазону частот. Механічно перемішують стічну воду з хімічним реагентом, який має властивості коагулянту або флокулянту, у ємності з лопатевою мішалкою, який вводять поблизу зливу стічної води у другий відстійник. Витримують стічну воду у другому відстійнику до утворення осаду. Недоліками цього способу та пристрою для очищення бурових стічних вод є надмірне використання електроенергії та загроза негативного впливу потужного електромагнітного випромінювання на обслуговуючий персонал.

Відомий спосіб очищення бурових стічних вод і пристрій для його реалізації (пат. UA 106589) [15]. Цей спосіб очищення бурових стічних вод полягає в тому, що стічну воду витримують у першому відстійнику до утворення осаду, механічно перемішують з хімічним реагентом (розчином гідроксиду кальцію), який має властивості коагулянту або флокулянту. Після цього стічну воду витримують у ємності з лопатевою мішалкою до утворення осаду і нагнітають у другий відстійник через фільтраційний пристрій. У другому відстійнику воду освітлюють оцтовою кислотою шляхом зрошування її поверхні та витримують до утворення осаду. На рис. 1.1 зображено схему пристрою для очищення бурових стічних вод [15].



а) – структурна схему пристрою для очищення бурових стічних вод,  
 б) – загальний вид другого відстійника у розрізі,  
 в) – загальний вид другого відстійника вид зверху

Рисунок 1.1 – Схема пристрою для очищення бурових стічних вод

## РОЗДІЛ 2 ОБ'ЄКТ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Технології очищення бурових стічних вод як об'єкт дослідження

Очищення БСВ здійснюється за допомогою стандартного нафтопромислового обладнання або із застосуванням спеціалізованих стаціонарних та пересувних установок. При очищенні використовують 10%-ний розчин коагулянту з густиною 1050 кг/м<sup>3</sup>. Робочий розчин готують безпосередньо на буровій площадці. Після відстоювання освітлену воду аналізують відповідно до СОУ 73.1–41–11.00.01:2005 на вміст нафтопродуктів, мінеральних солей, завислих речовин та визначають показник рН середовища. Параметри очищеної води не повинні перевищувати таких значень: нафтопродукти – 50–100 мг/дм<sup>3</sup>; мінералізація – не більше 4500 мг/дм<sup>3</sup>; рН – 5,5–8,2. У зв'язку з використанням очищених БСВ для господарсько-технологічних потреб, повторного приготування БР об'єм БСВ, який потрібно захоронити в шламових амбарах, зменшується в 2-3 рази і складає 361,725 м<sup>3</sup>. Схема очищення бурових стічних вод методом реагентної коагуляції наведена на рисунку 2.1 [16].

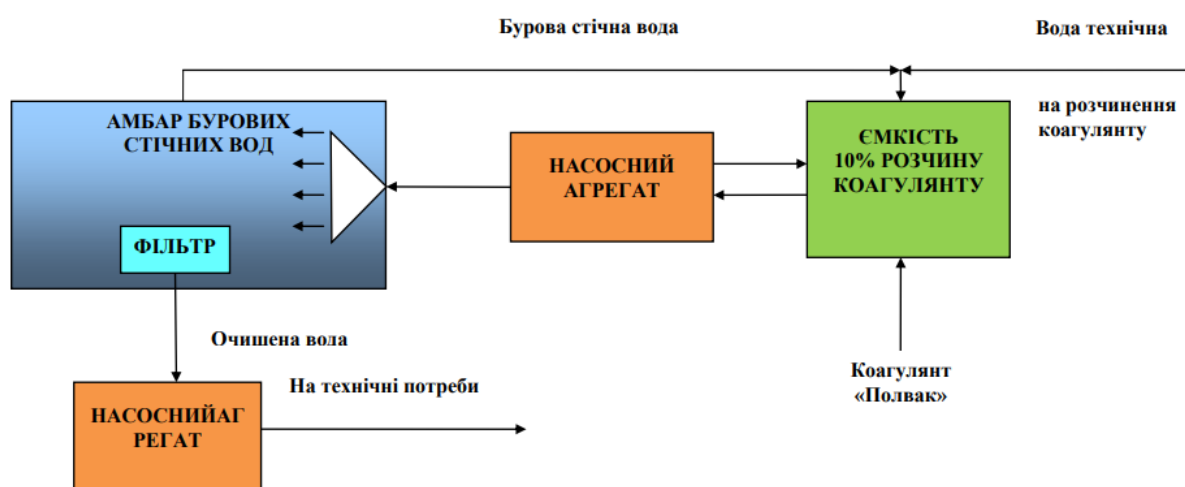


Рисунок 2.1 – Схема очищення бурових стічних вод методом реагентної коагуляції

За невідповідності показників очищення БСВ вищевказаним нормативам її доочищують повторною обробкою коагулянтами і флокулянтами. Для захоронення відходів буріння передбачено будівництво трьох накопичувальних амбарів. Перший – для збирання вибуреної породи, відпрацьованої промивальної рідини. Другий і третій – для відстоювання фільтрату промивальної рідини, збору відпрацьованої технічної води і стічних вод. Після закінчення бурових робіт амбари-накопичувачі, які заповнені до проектною відмітки стічними водами, повинні бути спорожнені і нейтралізовані до меж, які дозволяють їх безпечно ліквідацію на місці виконання бурових робіт. Напіврідкі і тверді відходи нейтралізують і знешкоджують безпосередньо в тих амбарах, в яких їх накопичували. Таким чином, вплив діяльності на водне середовище, з урахуванням та на підставі виконання вище визначених вимог та умов, оцінюється як допустимий [17].

Після критичного аналізу класичної технології очищення стічних вод, варто запропонувати, як третинне доочищення, застосування методу електрокоагуляції. Водоочищення стічних вод буде складатися з таких етапів: механічне очищення, доочищення, обробка осаду. До складу блоку механічного очищення входять решітки, іноді з дробарками, пісковловлювачами, переаератори та первинні відстійники. Решітки призначені для уловлювання крупних включень, які за необхідності подрібнюються в дробарках. У пісковловлювачах завдяки різкому зменшенню швидкості потоку рідини, що очищається, відбувається осадження зважених речовин (видаляється 40–60 % дрібних механічних домішок). У переаераторах відбувається первинне насичення стічних вод киснем шляхом подачі стисненого повітря. Процес змішування стічних вод з бульбашками повітря сприяє видаленню нафтопродуктів та інших домішок, що плавають на поверхні води. Видалення їх відбувається у первинних відстійниках [17].

Оптимальним рішенням утилізації відходів є безамбарний спосіб утилізації відходів, що наведено на рис. 2.2. Він включає розділення відходів на бурову

стічну воду, відпрацьований буровий розчин (ВБР), та буровий шлам (БШ) без прямого їх скидання в амбар.

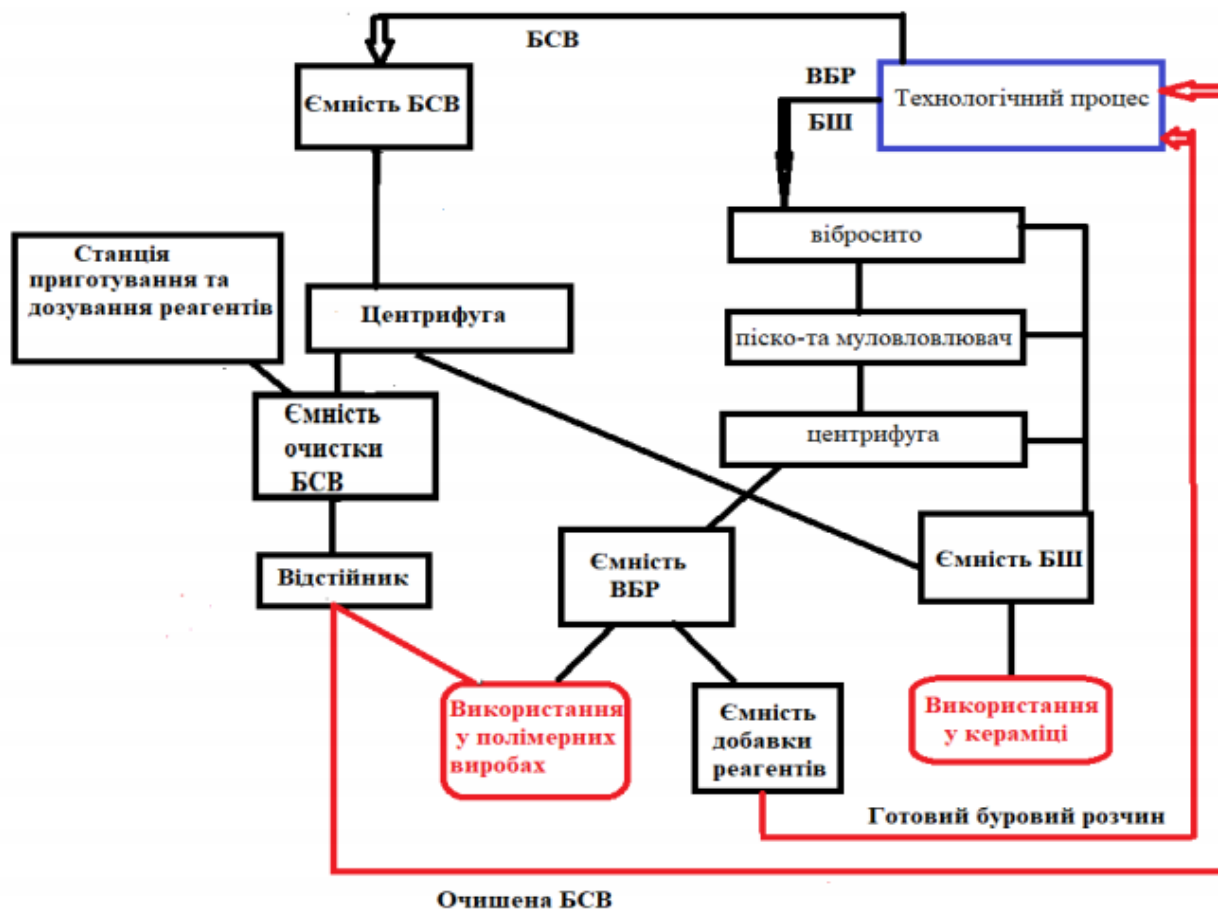


Рисунок 2.2 – Схема поводження з буровими відходами

Розділення здійснюється відразу після закінчення технологічного циклу. Бурова стічна вода після миття обладнання, миття бурової площадки та промивання інструменту при бурінні свердловини надходить у спеціальну ємність. Після накопичення певного об'єму БСВ направляють у центрифугу, де відділяються забруднені частинки вибуреної породи та далі їх направляють у ємність з буровим шламом.

Стічну воду, без великих за розміром частинок шламу, очищують за допомогою коагулянтів та флокулянтів. Згущену фазу, що за допомогою коагулянту та флокулянту осіла на дно резервуара, використовують в якості

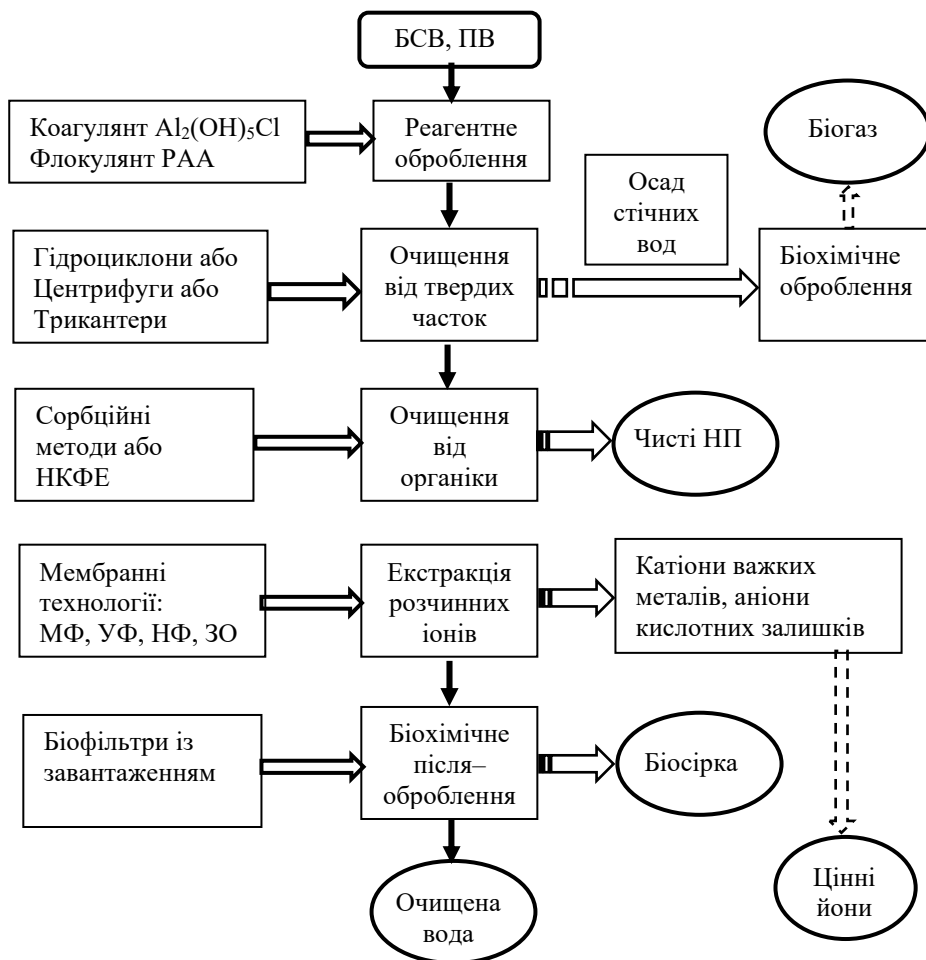
наповнювача у полімерних виробках. Очищену воду, з якої відділили згущену фазу, використовують далі у технологічних процесах. Такий спосіб очистки дозволить витратити значно менше водних ресурсів за рахунок повернення очищеної води у технологічний процес повторно [18].

## 2.2 Комплексні технології поводження з буровими стічними водами

Хімічні речовини БСВ можна розділити на чотири структурні та функціональні групи, такі як механічні домішки, нафтопродукти, катіони важких металів та аніони кислотних залишків. У зв'язку з цим доцільно проводити їх очищення комплексно та поетапно, використовуючи конкретні технології та методи (рис. 2.3) [19].

Спочатку необхідно відокремити тверду фазу, потім вуглеводні та інші органічні речовини, і, нарешті, розчинені речовини екстрагуються з бурових стічних вод. Механічні, хімічні та фізико-хімічні методи поєднуються на початковому і базовому етапах для ефективного здійснення цих процесів. Біохімічний метод застосовується на останній стадії для доочищення бурових стічних вод і для підвищення якості очищених вод до нормативних показників. Більш того, запропонована схема дозволяє не тільки знизити навантаження на навколишнє середовище за рахунок припинення скидання забруднених бурових стічних вод, а й використовувати одержані речовини як товарний продукт.

Чотирьохступенева система очищення ефективно використовується для фазового розділення відходів буріння. Вона включає в себе вібраційні грохоти, сепаратори піску або ситові гідроциклони, силоси і центрифуги, декантери і трикантери. Процес інтенсифікується за рахунок електрокоагуляції, коагуляції реагентів і флокуляції [19].



БСВ – бурові стічні води, ПВ – пластова вода, ПАА – поліакриламід, НКФЕ – надкритична флюїдна екстракція, МФ – мікрофільтрація, УФ – ультрафільтрація, НФ – нанофільтрація, ЗО – зворотний осмос

Рисунок 2.3 – Принципова схема очищення бурових стічних

Метод відстоювання використовують для видалення з БСВ нерозчинених домішок, які здатні осідати на дно або спливати на поверхню. Швидкість осідання (спливання) нерозчинених домішок (гідралічна крупність часток) є основною величиною для розрахунку відстійних споруд. Основним параметром, що використовують при розрахунку відстійників, є швидкість осадження часток (гідралічна крупність). Здатність до агломерації залежить від концентрації, форми, розміру й щільності зважених часток, а також від співвідношення часток різного діаметра й в'язкості середовища.



При виборі типу й конструкції відстійників для виробничих стічних вод необхідно враховувати їх хімічні й фізичні властивості, а також вплив на склад стічних вод технологічних умов виробництва й місцевих факторів. До числа основних показників відноситься: температура стічних вод, що надходять на очистку; концентрація зважених речовин й їхні фізичні властивості; крупність часток й їхня щільність, ступінь агломерації зважених часток, швидкість осадження або спливання часток (гідравлічна крупність); вологість осаду безпосередньо після його випадання; кінетика процесу ущільнення осаду; щільність сухого залишку [20].

Для очищення стічних вод найбільш широке застосування мають апарати та споруди, що працюють за принципом фільтрації стічних вод. Ефективність очищення стічних вод на таких установках різна і в середньому вона складає 75–85%. Є різні типи процесу фільтрування стічних вод і встановлено, що швидкість фільтрування, висота фільтруючої перегородки і час фільтрації через фільтруючу перегородку фільтра до проскакування завислих і розчинних шкідливих компонентів є важливими параметрами процесу фільтрування.

Як фільтруючий матеріал використовують кварцовий пісок, активоване вугілля, цеоліт (клинотилоліт) та інші природні (модерніт, спалені породи) і штучні (піностирол, дроблений керамзит, антрацит та ін.) матеріали. Відомі конструкції фільтрів з стаціонарним шаром адсорбента мають серйозний недолік – нерівномірний розподіл потоку газу чи рідини через завантаження фільтруючого матеріалу, швидке заповнення міжзернистого простору, недостатнє відмивання фільтруючого завантаження та труднощі з перезавантаженням у випадку зношення чи втрати сорбційної здатності [21].

У деяких випадках для більш ефективного очищення водної поверхні до сорбентів додають поліакриламід, а який забезпечить відокремлення емульсії. Для доочищення стічних вод найчастіше використовують фільтри з перегородкою, який складається з ємності, що розділена перегородкою, на яку завантажуються фільтруючий матеріал. Відомі установки очищення, які містять

ємкості вхідної води, озонаторні агрегати, ежекційні змішувачі, адсорбційні фільтри очищення, контактні колони, резервуари очищеної води та насоси і технологічні трубопроводи. Такі установки є складними в експлуатації та надзвичайно енергомісткими [22].

Таким чином, ефективна очистка БСВ повинна орієнтуватися на максимально жорсткі показники забруднення БСВ, у протилежному випадку це може призвести до неефективності використання розроблених технологій очищення на окремих бурових площадках та при виконанні технологічних операцій. При розробленні (удосконаленні) технології очищення бурових стічних вод слід орієнтуватися на максимальні значення забрудненості стічних вод: рН, вміст завислих речовини, вміст нафтопродуктів, ХСК та мінералізація.

## РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО ПОВОДЖЕННЯ З РІДКИМИ ВІДХОДАМИ БУРІННЯ

### 3.1 Застосування електрохімічних методів у схемах очищення відходів

Серед існуючих багаточисленних методів очищення стічних вод від іонів важких металів – реагентних, іонообмінних, сорбційних, біохімічних, електрохімічних – найбільш поширеним на вітчизняних підприємствах є реагентний метод [23].

Навіть дотепер для нейтралізації стоків використовується традиційний спосіб із застосуванням розчинів вапна. Використання цього методу призводить до утворення значної кількості шламів, що містять здебільшого гідроксиди та карбонати важких металів, а також велику кількість солей кальцію.

Але навіть за дотримання оптимальних технологічних параметрів у шлами вдається перевести не більше 70–75 % іонів металів (індекс Кортє яких становить 135 балів). Ситуація погіршується за наявності у воді, яка очищається, комплексоутворювальних речовин, наприклад солей амонію. Відбувається часткове вимивання іонів кольорових металів, що раніше були осаджені в шламах, та перехід їх у природні води [1].

Електроосадження металів зі стічних вод вирішує низку важливих завдань, зокрема, техноекономічну (за рахунок повернення металів у виробництво) та екологічну. Проте використання електрохімічних методів стикається з рядом обмежень. На швидкість очищення стічних вод у електрохімічній обробці впливають фізико-хімічні, електричні та гідродинамічні фактори: сольовий склад стічних вод, температура, склад електроліту, що додається, швидкість руху води в міжелектродному просторі, щільність струму [24].

Збільшення швидкості електродних процесів, як правило, пов'язано з підвищенням щільності струму, а це, в свою чергу, призводить до нерівномірності розподілу потенціалу на електроді. Усунення цих недоліків

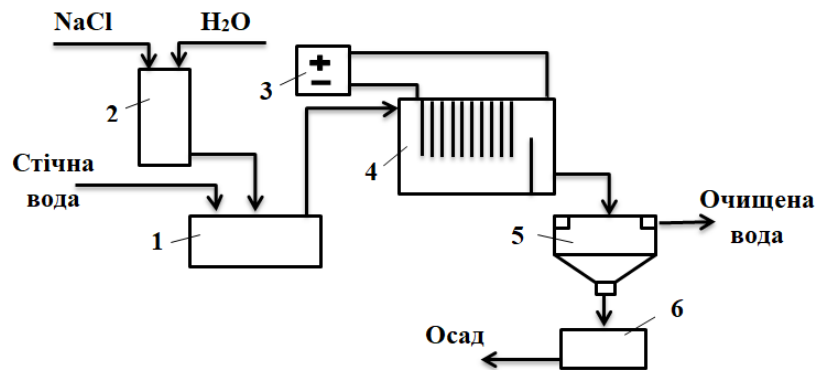
може бути досягнуто за рахунок збільшення граничної густини струму, тобто зниження дифузійних обмежень. Для вирішення цієї проблеми використання різних матеріалів та конструкцій для виготовлення електродів. Значний інтерес становлять титано–діоксидно–марганцеві аноди (ТДМА) [24].

ТДМА – це титанова основа з нанесеним на її поверхню електрохімічно активним корозійностійким шаром діоксиду марганцю. Цей електрод стійкий практично в усіх середовищах, є дешевим та доступним, легко регенерується.

Електрокоагуляцію використовують у системах очищення стічних вод, забруднених тонкодисперсними й колоїдними домішками. Очищення здійснюють від різних емульсій, масел, жирів, нафтопродуктів, сполук хрому й інших важких металів. Ефективність очищення становить: від нафтопродуктів і масел становить 54–68 %, від жирів – 92–99 %. Електрокоагуляційні установки мають продуктивність 50 м<sup>3</sup>/год.

Метод електрокоагуляції не вимагає дефіцитних реагентів і має ряд переваг, таких як універсальність, відсутність додаткового сольового забруднення води в процесі очищення, невеликі розміри установок, компактність установок і простота керування, відсутність потреби в реагентах, повна відсутність або спрощення реагентного господарства, простота обслуговування устаткування, слабка чутливість до змін умов проведення процесу, одержання шламу з кращим структурно–механічними властивостями.

Електрокоагуляцію застосовують переважно для очищення нейтральних і слабколужних стічних вод. Застосування електрохімічних методів доцільно за відносно високої електропровідності стічних вод, обумовленої наявністю в них неорганічних кислот, лугів або солей. У разі низьких концентрацій солей до стічних вод додають електроліти (зазвичай NaCl), що підвищують електропровідність стічних вод, у результаті чого знижуються питомі витрати електроенергії на їх обробку (рис. 3.1).



1 – усереднювач; 2 – ємність для приготування розчину; 3 – джерело постійного струму; 4 – електрокоагулятор; 5 – відстійник; 6 – апарат для зневоднення осаду

Рисунок 3.1 – Схема електрокоагуляційної установки

Цей метод очищення стічних вод, заснований на електролізі з використанням металевих анодів, що піддаються електролітичному розчиненню. У результаті розчинення анодів вода збагачується відповідними йонами, що утворюють потім у нейтральному або слабколужному середовищі гідроксид алюмінію або гідроксид заліза. Стримуючим фактором застосування електрокоагуляції є підвищена витрата електроенергії, листового заліза й алюмінію. Тому необхідність використання цього методу в кожному конкретному випадку повинна бути економічно обґрунтована.

На ефективність електрокоагуляції впливають: матеріал електродів, відстань між ними, швидкість руху води між електродами, температура й склад води, напруга й щільність струму. Електрокоагуляцію рекомендується проводити у нейтральному або слабколужному середовищі за таких умов: щільність струму не більше за  $10 \text{ А/м}^2$ , відстань між електродами – не більше ніж 20 мм, швидкість руху води не менше ніж 0,5 м/с. Як аноди використовують графіт, магнетит, свинець і його сполуки, кремнієві сплави й ін. Катоди виготовляють із графіту, молібдену, сплаву вольфраму із залізом або нікелем, нержавіючої сталі й ряду інших речовин.

Узагальнюючи вищесказане, можна зробити висновок, що електрохімічні методи, які запропоновано включати до блоку інтенсифікації процесу очищення стічної води, виключають використання дефіцитних реагентів та зумовлюють покращенню показників якості води після очищення. Такий підхід у сукупності дозволяє знизити техногенне навантаження на навколишнє середовище від споруд очищення стічних вод, зокрема на поверхневі водні об'єкти, виключаючи можливість скиду недостатньо очищених стічних вод згідно з вимогами екологічної безпеки [25].

### 3.2 Удосконалена технологія очищення бурових стічних вод

Нами розроблено спосіб розділення бурових нафтовмісних відходів на окремі фази методом центрифугування з попередньою коагуляцією та флокуляцією. Важливою є послідовність введення реагентів – на підставі експериментальних досліджень встановлено, що спочатку в ємність з рідкими буровими відходами потрібно додати хлоридну кислоту з концентрацією 9–10 % для створення середовища з необхідним робочим значенням рН розчину, а потім – флокулянт поліакриламід (ПАА) з концентрацією 0,1–0,2 % за основною речовиною і коагулянт сульфат алюмінію  $Al_2(SO_4)_3$  з концентрацією 30 %. Коагулянт використовують для прискорення процесу осадження зважених часток, а флокулянт – для покращення процесу хімічного осадження поліакриламід, який сприяє збільшенню розмірів пластівців при коагуляції.

Експериментально було встановлено, що використання 10 % та 20 %–го розчину коагулянту недостатньо для повного осадження домішок, так як утворюється в'язка маса, пастоподібний осад. У разі застосування 30 %–го розчину спостерігається чітке розділення рідкої та твердої фаз, а утворений осад є пластівцями з рихлою структурою. Подальше збільшення концентрації коагулянту до 40 % і 50 % призводить до поглинання та зв'язування осадом

води, що ускладнює її відділення. Тому найбільш ефективним є 30%–ий розчин коагулянту [19]. Залежність ефективності осідання часток від дози коагулянту і дози флокулянту відображена на рис. 3.2.

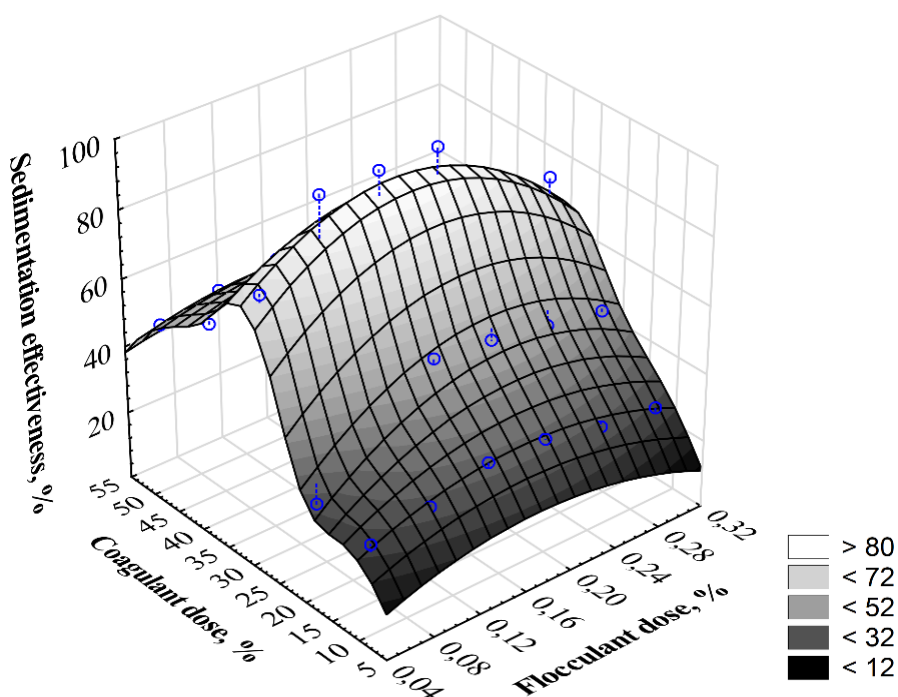


Рисунок 3.2 – Залежність ефективності седиментації від дози коагулянту і дози флокулянту

У цьому випадку осад містить мінімальну кількість води і полегшується процес відділення твердої фази від рідкої у центрифугі, за допомогою якої можливо досягти максимального ефекту розділення. Після підготовки шлам з реагентами подається до центрифуги, куди надходить вода. Температура води та розчину БСВ регулюється блоком регулювання температури. Експериментально було встановлено, що оптимальною робочою температурою є 24 °С.

Схема експериментальної установки очищення БСВ наведена на рис. 3.3.

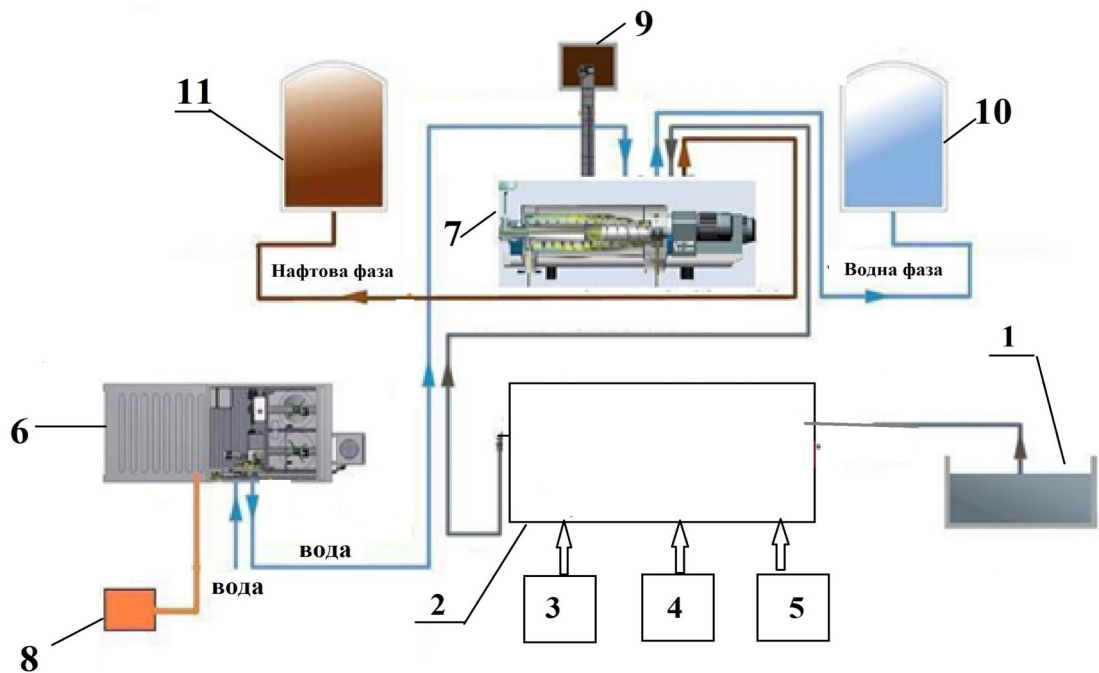


Рисунок 3.3 – Схема експериментальної установки очищення БСВ

БСВ подають з ємності 1 збору БСВ до ємності 2 підготовки БСВ. Для створення середовища з робочим значенням рН використовують 9–10 % розчин хлоридної кислоти, який подають із ємності 3 до ємності 2 підготовки БСВ. Потім у ємність 2 подають розчини коагулянта та флокулянта з ємності 4 з рідким коагулянтом і ємності 5 з рідким флокулянтом. Розчини коагулянту та флокулянту готують в окремо, в ємностях, виготовлених з органічного скла. Для прискорення процесу осадження зважених часток як коагулянт використовують 30 % розчин алюміній сульфату, який отримують шляхом перероблення відходів видобутку та збагачення вугілля, що містять не менше 30–40 % алюміній оксиду  $Al_2O_3$ , а вилуговування алюмінію у формі сульфатів проводять за рахунок додавання розчину сульфатної кислоти з концентрацією 20 %. Для покращення процесу хімічного осадження як флокулянт використовують розчин поліакріламід (ПАА) з концентрацією 0,1–0,2 % за основною речовиною. Після підготовки шлам з реагентами з ємності 2 та воду з контейнеру 6 управління подають до центрифуги вертикальної шнекової ОВШ–



950 7, яка виконує одночасне розділення двох незмішуваних рідин з різною щільністю і однієї твердої фази за умови, що тверда фаза – найважча фаза. Тверду фазу подають з центрифуги до ємності 9 твердої фази. Воду збирають у резервуарі 10 для водної фази. Її можна використовувати для приготування наступної порції розчину. Нафтову фазу подають в спеціальний резервуар 11 для зберігання нафтової фази. У подальшому її можливо використовувати у нафтопереробній промисловості для одержання палива або як додаток до паливних сумішей.

Наші подальші дослідження будуть пов'язані із заміною коагуляції на електрокоагуляцію то пошук нових сучасних флокулянтів, зокрема заміна ПАА на хітозан.

### 3.3 Застосування очищених стічних вод у технічних цілях (система оборотного водоспоживання – замкненого циклу)

Для скорочення витрат технічної води в процесі споруджування свердловини на буровій передбачена система зворотнього водозабезпечення. Для цього у системі обов'язково передбачено двохконтурне водопостачання. Перший контур (закритий) забезпечує точки споживання чистої води, а другий забезпечує водою після системи очищення. Аналіз хімічного складу БСВ указує на можливість використання їх у системі оборотного водопостачання бурової за умови очищення БСВ до рівня, що відповідає вимогам, які висуваються до якості вод оборотного водопостачання [26].

Реалізація розробленого нами способу забезпечує повторне використання освітленої та очищеної води у технологічному процесі, зокрема під час приготування бурового розчину, нафтової фази для одержання палива або як додатку до паливних сумішей, утилізацію механічної фракції з одержанням будівельних конструкцій, тим самим знижує техногенне навантаження на довкілля під час буріння нафтових свердловин.

Вертикальний осушувач, до складу якого входить високошвидкісна вертикальна центрифуга, яка забезпечує максимальну сепарацію рідини і твердої фази у великих обсягах, використовується для повернення бурового розчину з бурових шламів у системі з утилізації бурових шламів. ОВШ–950 забезпечує максимізацію переробки бурових розчинів, і мінімізацію відходів буріння з метою економії витрат для операторів. Вертикальний осушувач використовується для бурових розчинів як на вуглеводній, так і на водній основі. При цьому, існують суттєві переваги ОВШ:

1) для бурового шламу на вуглеводній основі вміст органіки може бути зменшено до 3–5 %;

2) для бурового шламу на водній основі вміст вологи знижується до рівня нижче 50 % зазвичай, що полегшує його транспортування;

3) повернення бурових розчинів для повторного використання задовольняє вимогам раціонального природокористування та є економічно ефективним підходом за рахунок економії коштів на закупівлю сировинних матеріалів для приготування бурових розчинів, оскільки дорогі промивні рідини можуть відновлюватися з шламу, як і весь буровий розчин, втрачений через відмову вібросит;

4) зменшення кількості бурових відходів, що є економічно виправданим з точки зору подальшої утилізації.

Ефективність роботи осушувача визначали за показником ступеня осушення твердої фази, яку одержують на виході із центрифуги.

На підставі проведених досліджень щодо визначення ефективності роботи осушувача вертикального ОВШ–950 встановлено, що обладнання забезпечує ступінь осушення бурового шламу залежно від типу бурового розчину, що використовувався, на рівні від 51 % до 81 % для ІЕР Witer II та глиняно-полімерної основи відповідно. Це обумовлюється хімічними та фізичними властивостями глиняно-полімерної основи шламу, а також водовіддачею. Варто зазначити, що ступінь осушення шламу залежить від режиму роботи

центрифуги, а саме швидкості обертів та швидкості подачі бурового шламу. Одержані у результаті проведеного дослідження дані відповідають не найбільш осушуючим режимам роботи ОВШ–950. Виходячи з цього, у разі налаштування центрифуги на найбільш осушуючий режим роботи можна одержати більш осушену шламову масу і більш високу концентрацію обважнюючих частин у рідкій фазі розчину.

Також потрібно відмітити, що буровий шлам з вуглеводневого розчину з високим вмістом обважнюючих часток, а саме барит, істотно ускладнює процес осушення бурового шламу, та вимагає увімкнення усіх систем внутрішнього очищення центрифуги.

Для оцінки якості очищення води згідно із затвердженими в Україні методиками проводять аналіз на катіонний та аніонний склад та визначення водневого показника – вода з лужною та кислою реакцією не допускається для використання як технічна.

## ВИСНОВКИ

У роботі було проведено огляд проблеми техногенного навантаження на довкілля від бурових стічних вод та способів поводження з цими відходами. Встановлено, що очищена бурова стічна вода може знову повернутися у технологічний цикл та використовуватись повторно, що є насамперед невід'ємною частиною збереження природних ресурсів.

У зв'язку з хімічним складом БСВ визначено доцільним проводити їх очищення комплексно та поетапно, використовуючи конкретні технології та методи. Запропоновано комплексний підхід до вирішення проблеми шляхом застосування механічних, фізичних, фізико-хімічних та біологічних способів очищення БСВ в єдиній технологічній схемі.

Розроблено спосіб розділення бурових нафтовмісних відходів на окремі фази методом центрифугування з попередньою коагуляцією та флокуляцією. Як флокулянт застосовували поліакриламід з концентрацією 0,1–0,2 % за основною речовиною, а як коагулянт – сульфат алюмінію. Експериментально встановлено, що у разі застосування 30 %-го розчину коагулянту спостерігається чітке розділення рідкої та твердої фаз, а утворений осад є пластівцями з рихлою структурою.

На підставі проведених досліджень щодо визначення ефективності роботи осушувача вертикального ОВШ–950 встановлено, що обладнання забезпечує ступінь осушення бурового шламу на рівні від 51 % до 81 % для ІЕР Witer II та глиняно–полімерної основи відповідно. Реалізація розробленого нами способу забезпечує повторне використання освітленої та очищеної води у технологічному процесі, зокрема під час приготування бурового розчину.

Подальші дослідження будуть пов'язані із заміною коагуляції на електрокоагуляцію то пошук нових флокулянтів, зокрема заміна ПАА на хітозан.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Пукіш А.В., Семчук Я.М. Дослідження хімічного складу та фізико-хімічних властивостей бурових стічних вод. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2007. № 1(22). С. 141–144.
2. Депутат Б.Ю. Підвищення екологічної безпеки нафтових родовищ на кінцевій стадії розробки: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец.21.06.01 «Екологічна безпека» / Депутат Богдан Юліанович; Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу. Івано-Франківськ, 2007. 20 с.
3. Dariusz Knez, Jerzy Fijai, Lucyna Czekaj. Trends in the Drilling Waste Management. *Acta Montanistica Slovaca*. 2006. Vol. 11. P. 80–83.
4. Bakke T., Klungsøyr J., Sanni S. Environmental impacts of produced water and drilling waste discharges from the Norwegian offshore petroleum industry. *Marine environmental research*. 2013. Vol. 92. P. 154–169.
5. Isehunwa S., Onovae S. Evaluation of Produced Water Discharge in the Niger–Delta. *Journal of Engineering & Applied Sciences*. 2011. Vol. 6 (8). P. 66–71.
6. Борисюк Н.В, Левчак К.С, Распутна Т.А. Техногенний вплив на навколишнє природне середовище свердловинних технологій. Тези XII Всеукраїнської наукової on–line конференції студентів, магістрів та аспірантів з міжнародною участю «Сучасні проблеми екології». 2017. 2 с.
7. Правила розробки нафтових і газових родовищ. Затверджено Наказом Міністерства екології та природних ресурсів України 15 березня 2017 року № 118.
8. Звіт з оцінки впливу на довкілля спорудження пошукової свердловини № 48 Сахалінського НГКР. Полтава, 2018. 149 с.
9. Балаба В. И. Экологическая безопасность технологического процесса промывки скважин. *Бурение и нефть*. 2004. №3. С. 36–38.

10. Курганський В. М., Тішаєв І. В. До питання забруднення оточуючого середовища в процесі буріння нафтових та газових свердловин. Вісник Київського національного університету ім. Т. Шевченка. Геологія. 2006. Вип. 38–39. С. 7–9.

11. Рябых В.В., Солопова В.А. Повышение эффективности методов и способов механической очистки воды от органических загрязнений. *Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире*. 2014. № 8. Т. 1. С. 91–92.

12. Балаба В.І. Обеспечение экологической безопасности строительства скважины на море. Бурение и нефть. 2004. №1. С. 18–21.

13. Ланина Т.Д., Селиванова Е.С., Коржаков В.В. Применение коагулянтов из отходов титанового производства для очистки буровых сточных вод. *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море*. 2013. № 11. С. 19–23.

14. Шкоп А.О. Закономірності процесів розділення шламів вод з полідисперсною твердою фазою в осаджувальних центрифугах: дисертація ... канд. техн. наук, спец.: 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології; наук. керівник М.А. Цейтлін. Суми: СумДУ, 2017. 136 с.

15. Пат. 106589 Україна, МПК (2014.01) E21B 21/06 (2006.01), C02F 9/00, B01D 21/24 (2006.01), B01D 21/00, C02F 1/54 (2006.01). Спосіб очищення бурових стічних вод і пристрій для його реалізації / Вітрик В.Г., Горобець М.Г., Сушко О.В.; заявник та патентовласник Товариство з обмеженою відповідальністю "Науковотехнічне підприємство "Бурова Техніка". – № а 2011 01552; заявл. 11.02.2011; опубл. 25.09.2014, бюл. № 18. – 7 с.

16. Звіт з оцінки впливу на довкілля спорудження пошукової свердловини № 48 Сахалінського НГКР. Полтава, 2018. 149 с.

17. Рикусова Н. І. Сучасні методи переробки та утилізації відходів буріння нафтогазових свердловин. *Екологічні науки : науково-практичний журнал*. 2018. №1(20), Том 2. С. 130–135.

18. Shestopalov O., Rykusova N., Hetta O. та ін. Revealing patterns in the aggregation and deposition kinetics of the solid phase in drilling wastewater. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2019. С. 50–58.
19. Pliatsuk L. D., Ablieieva I. Yu. System approach to oil production wastewater treatment. Water supply and wastewater disposal: Collective monograph. Lublin: Lublin University of Technology. 2018, P. 242–250.
20. Король В.В., Позднышев Г.Н., Манырин В.Н. Утилизация отходов бурения скважин. *Экология и промышленность России*. 2005. № 1. С. 40–42.
21. Piszcz K., Luczak J., Hupka J. Mobility of shale drill cuttings constituents. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*. 2014. P. 50.
22. Onwukwe S., Nwakaudu M. Drilling wastes generation and management approach. *International Journal of Environmental Science and Development*. 2012. Vol. 3. P. 252.
23. Шишов В.А., Шеметов В.Ю. Особенности очистки повторно используемых буровых сточных вод. *Нефт. хоз-во*. 1985. № 8. С. 64–66.
24. Шеметов В.Ю. Очистка буровых сточных вод электрокоагуляцией. Москва : ВНИИОЭНГ, 1989. 36 с.
25. Чорна Ю.В., Аблєєва І.Ю. Науково–методичні підходи до реконструкції очисних споруд з додаванням блоку інтенсифікації очищення. *VI Міжнародна науково–практична конференція здобувачів вищої освіти, аспірантів та молодих учених «Галузеві проблеми екологічної безпеки», присвячена 90–річчю Харківського національного автомобільно–дорожнього університету : збірка матеріалів (Харків, 23 жовтня 2020 р.)*. Харків : ХНАДУ, 2020. С. 249–252.
26. Охрана природы. Гидросфера. Очистка сточных вод в морской нефтегазодобыче. Основные требования к качеству очистки : ОСТ 51.01–03–84. [Введ. 01–07–1985]. М.: Издательство стандартов, 1985. 9 с.

## ДОДАТКИ

### Додаток А

#### Структура збитків довкіллю





## Додаток Б

## Вплив на водне середовище нафтовидобувних територій



Рисунок Б.1 – Характеристика потреб водопостачання та водовідведення під час будівництва та експлуатації свердловин

Додаток В  
Водопостачання та водовідведення нафтовидобувних територій

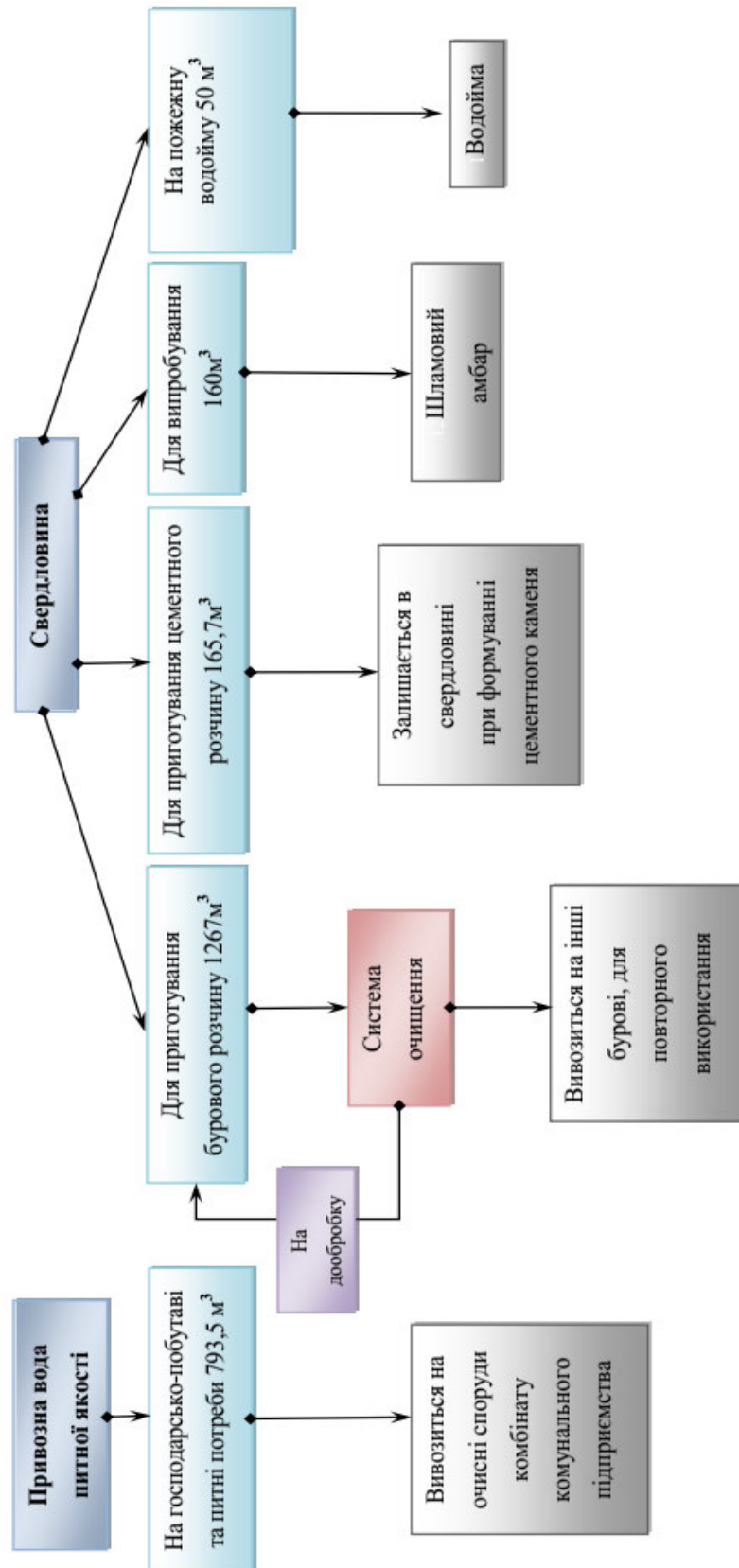


Рисунок В.1 – Схема водопостачання і водовідведення