Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут інженерної механіки та робототехніки

Кафедра нафтогазових машин та обладнання

Симчич Володимир Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК622.24
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА
(назва роботи)

Вдосконалення елементів обладнання насосно-циркуляційної системи бурової установки
(назва освітньої програми)

133- Галузеве машинобудування
(шифр і назва спеціальності)

Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело:

Здобувач освітнього ступеня **Симчич В.В.**
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник **Лях М.М. к.т.н., професор**
(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

Допущено до захисту
Завідувач кафедри

Проф.._____ Гриджук Я.С.
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Івано-Франківськ – 2026 рік

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

Інститут *Інженерної* механіки та робототехніки
Кафедра *Нафтогазових машин та обладнання*
Спеціальність
ОПП *Інжиніринг і сервісне обслуговування нафтогазових машин та обладнання*

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри_____ ***Я .Т. Федорович***

"__"_____ *2026 р.*

ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ

Студенту *Симчичу Володимиру Володимировичу*

1. Тема роботи: *Вдосконалення елементів обладнання насосно-циркуляційної системи бурової установки*

Затверджена наказом по університету від *16.02.2026р.* № *113/7*

2. Термін здачі студентом закінченої роботи: *16.06.2026р.*

3. Зміст бакалаврської роботи (перелік питань, що їх належить розробити):
Вступ. Огляд циркуляційної системи бурової установки та значення ефективного очищення бурового розчину від шламу. Розділ 1. Технологічний ланцюг очищення бурового розчину: вібросита, гідроциклонні шламовідділювачі (пісковідділювачі та муловідділювачі), центрифуги – принцип дії, конструктивні особливості, технологічні показники. Розділ 2. Огляд конструкцій гідроциклонів (відкриті, роторні, напірні типи) та дослідження матеріалів футерування їх внутрішніх поверхонь, порівняльний аналіз зносостійкості, переваги та недоліки кожного матеріалу. Розділ 3. Розрахунок зносу матеріалів футерування гідроциклону: математична модель ерозійного зносу. Розділ 4. Монтаж, експлуатація та технічне обслуговування обладнання циркуляційної системи: послідовність монтажу вібросит, гідроциклонних шламовідділювачів та центрифуг; режими експлуатації; системи планово-попереджувального ТО; таблиця характерних несправностей і методів їх усунення; вимоги безпеки. Загальні висновки. Перелік використаних джерел.

4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень**):**
- Схема обладнання, циркуляційної системи – 1 арк. ф. А1;
- Класифікація гідроциклонів – 1 арк. ф. А1;
- Складальне креслення гідроциклона –1 арк. ф. А1;
- Робочі креслення деталей – 1 арк. ф. А1
- Графічні залежності, ілюстрації тощо – 2 арк. Формату А1

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання	Примітка
	Пояснювальна записка	*До 15.06.2026 р.*	
1			
2			
3			
4			
5			
6			
	Графічна частина	*До 15.06.2026 р.*	

Студент _____ *Симчич В.В.*
(особистий підпис) (розшифрування підпису)

Керівник роботи _____ *Лях М.М.*
(особистий підпис) (розшифрування підпису)

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота на тему: «Вдосконалення елементів обладнання насосно-циркуляційної системи бурової установки» містить 50 сторінок, 13 рисунків, 2 таблиці, 11 найменувань використаних джерел та графічний матеріал.

Об'єкт дослідження: циркуляційна система бурової установки, зокрема обладнання для механічного очищення бурового розчину від шламу та регулювання вмісту твердої фази.

Мета роботи: аналіз конструктивних особливостей та матеріалів гідроциклонних апаратів циркуляційних систем, а також розроблення практичних рекомендацій щодо їх монтажу, раціональної експлуатації та технічного обслуговування.

У роботі розглянуто повний технологічний ланцюг очищення бурового розчину від шламу: від вібраційних сит грубого очищення до гідроциклонних шламовідділювачів (піско- та муловідділювачів) і центрифуг тонкого очищення. Проаналізовано конструктивні різновиди гідроциклонів: відкриті, напірні та роторні типи – їх переваги та недоліки. Виконано порівняльний аналіз матеріалів футерування внутрішніх поверхонь гідроциклонів: Hexmetal, поточний бетон, керамічна, кам'яна, гумова та поліуретанова футеровки.

Розроблено детальні рекомендації щодо монтажу вібросит, гідроциклонних шламовідділювачів та центрифуг, визначено вимоги до режимів експлуатації та розроблено систему планово-попереджувального технічного обслуговування з таблицею характерних несправностей.

Ключові слова: буровий розчин, циркуляційна система, гідроциклон, шламовідділювач, вібросито, центрифуга, футерування, поліуретан, очищення, монтаж, технічне обслуговування.

ABSTRACT

Bachelor's thesis on the topic: "Improvement of elements of the equipment of the pumping and circulation system of a drilling rig" contains 50 pages, 13 figures, 2 tables, 11 names of used sources and graphic material.

Object of research: the circulation system of a drilling rig, in particular equipment for mechanical cleaning of drilling mud from sludge and regulation of the solid phase content.

Purpose of work: analysis of the design features and materials of hydrocyclone devices of circulation systems, as well as the development of practical recommendations for their installation, rational operation and maintenance.

The work considers the full technological chain of cleaning drilling mud from sludge: from coarse vibrating screens to hydrocyclone sludge separators (sand and silt separators) and fine-cleaning centrifuges. The structural types of hydrocyclones are analyzed: open, pressure and rotary types - their advantages and disadvantages. A comparative analysis of the lining materials of the internal surfaces of hydrocyclones is performed: Hexmetal, flow concrete, ceramic, stone, rubber and polyurethane linings.

Detailed recommendations for the installation of vibrating screens, hydrocyclone sludge separators and centrifuges have been developed, requirements for operating modes have been determined and a system of planned and preventive maintenance with a table of typical malfunctions has been developed.

Keywords: drilling mud, circulation system, hydrocyclone, sludge separator, vibrating screen, centrifuge, lining, polyurethane, cleaning, installation, maintenance.

ЗМІСТ

ВСТУП 8
РОЗДІЛ 1. ОЧИЩЕННЯ БУРОВОГО РОЗЧИНУ ВІД ШЛАМУ У ЦИРКУЛЯЦІЙНІЙ СИСТЕМІ 10
1.1 Очищення бурового розчину від шламу 10
1.1.1 Вібросита 14
1.1.2 Гідроциклонні шламовідділювачі 16
1.1.3 Регулювання вмісту і складу твердої фази 21
Висновки до розділу 1 26
РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ І МАТЕРІАЛІВ ГІДРОЦИКЛОНІВ 27
2.1 Класифікація гідроциклонів 27
2.1.1 Відкриті гідроциклони 28
2.1.2 Роторні гідроциклони 26
2.1.3 Напірні гідроциклони 28
2.2 Дослідження застосовуваних матеріалів 34
2.2.1 Hexmetal 34
2.2.2 Поточний бетон 35
2.2.3 Керамічна футеровка 36
2.2.4 Кам'яне литво 37
2.2.5 Гумова футеровка 38
2.2.6 Поліуретанова футеровка 39
Висновки до розділу 2 41
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ЗНОСУ МАТЕРІАЛІВ ФУТЕРУВАННЯ ГІДРОЦИКЛОНУ 42
3.1 Мета і завдання розрахунку 42
3.2 Вихідні дані 43
3.3 Математична модель ерозійного зносу 44
3.4 Приклад розрахунку для базової фракції d = 100 мкм 46
3.5 Результати розрахунку 47
3.6 Аналіз залежності зносу від фракційного складу 48
3.7 Зведений показник зносостійкості 49

Висновки до розділу 3 50
РОЗДІЛ 4. МОНТАЖ, ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ЦИРКУЛЯЦІЙНОЇ СИСТЕМИ БУРОВОЇ УСТАНОВКИ 51
4.1 Загальні положення щодо монтажу циркуляційної системи 51
4.2 Монтаж вібраційних сит 52
4.3 Монтаж гідроциклонних шламовідділювачів 53
4.4 Монтаж центрифуг 54
4.5 Експлуатація обладнання циркуляційної системи 55
4.5.1 Експлуатація вібросит 55
4.5.2 Експлуатація гідроциклонних шламовідділювачів 56
4.5.3 Експлуатація центрифуг 57
4.6 Технічне обслуговування обладнання циркуляційної системи 58
4.6.1 Технічне обслуговування вібросит 58
4.6.2 Технічне обслуговування гідроциклонних шламовідділювачів 59
4.6.3 Технічне обслуговування центрифуг 60
4.7 Характерні несправності та методи їх усунення 61
4.8 Вимоги безпеки при монтажі та обслуговуванні 62
Висновки до розділу 4 64
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 65
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА 67
ДОДАТКИ 68

ВСТУП

Актуальність теми. Бурова установка є складним технічним комплексом, від надійної та ефективної роботи якого залежить кінцевий результат будівництва свердловини. Одним із ключових елементів бурової установки є циркуляційна система, що забезпечує безперервний рух бурового розчину між насосами, вибоєм свердловини і поверхнею. Ефективна робота системи очищення бурового розчину від шламу є визначальним фактором успішного буріння: накопичення вибуреної породи погіршує реологічні характеристики розчину, підвищує гідравлічні опори та прискорює знос обладнання [1].

Серед апаратів системи очищення особливе місце займають гідроциклонні шламовідділювачі. Вони забезпечують тонке очищення бурового розчину при порівняно невисоких витратах енергії, відрізняються простотою конструкції та відсутністю рухомих частин. Водночас ресурс гідроциклонів безпосередньо залежить від правильного вибору матеріалів конструкції та умов експлуатації [2, 4].

Зв'язок роботи з науковими програмами. Бакалаврська робота виконана відповідно до навчального плану підготовки бакалаврів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» за ОПП «Інжиніринг і сервісне обслуговування нафтогазових машин та обладнання» Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є аналіз конструктивних особливостей та матеріалів гідроциклонних апаратів циркуляційних систем бурових установок, а також розроблення рекомендацій щодо їх монтажу, раціональної експлуатації та технічного обслуговування.

Об'єкт дослідження – циркуляційна система бурової установки.

– розроблення регламентів технічного обслуговування та системи усунення несправностей.

– розроблення рекомендацій щодо монтажу та введення в експлуатацію апаратів циркуляційної системи;

– порівняльний аналіз матеріалів футерування внутрішніх поверхонь гідроциклонних апаратів;

– аналіз конструктивних різновидів гідроциклонів та принципів їх роботи;

– вивчення технологічного ланцюга механічного очищення бурового розчину від шламу;

Предмет дослідження – конструкції, матеріали та режими роботи гідроциклонних шламовідділювачів.

Методи дослідження. У роботі використано методи: аналізу та синтезу науково-технічної літератури; порівняльного аналізу характеристик матеріалів; системного підходу до вирішення інженерних задач; нормативного аналізу вимог до монтажу та обслуговування обладнання.

РОЗДІЛ 1. ОЧИЩЕННЯ БУРОВОГО РОЗЧИНУ ВІД ШЛАМУ

1.1 Очищення бурового розчину від шламу

Збереження стабільних властивостей бурового розчину в процесі буріння є одним з найважливіших завдань технологічного персоналу. Буровий розчин виконує комплекс функцій: виносить вибурену породу на поверхню, охолоджує та змащує долото, підтримує стабільність стінок свердловини, перешкоджає нафтогазоводопроявам. Для виконання цих функцій розчин повинен мати чітко визначені реологічні та фільтраційні характеристики [1].

Потрапляння вибуреної породи в буровий розчин є неминучим у процесі буріння. Розмір і кількість частинок шламу залежать від типу породи, геологічної характеристики розрізу, швидкості проходки та типу бурового долота. Ефективне видалення шламу забезпечує підтримання технологічних властивостей розчину в заданому діапазоні [2].

Технологічний процес очищення бурового розчину реалізується поетапно. На першому етапі застосовуються вібраційні сита, що видаляють частинки розміром 0,45 до 25 мм. Вони встановлюються першими в технологічному ланцюгу і характеризуються найвищою пропускною спроможністю серед усіх очисних апаратів до 60 70 л/с [1, 2].

На другому етапі застосовуються гідроциклонні шламовідділювачі: пісковідділювачі (батареї гідроциклонів діаметром 150 мм і більше) і муловідділювачі (батареї гідроциклонів діаметром 75 100 мм). Пісковідділювачі видаляють частинки понад 60 80 мкм, муловідділювачі понад 25 40 мкм. Пропускна спроможність пісковідділювача повинна становити 125 %, муловідділювача 150 % від максимальної подачі бурового насоса [1].

Третій етап (регулювання вмісту твердої фази) здійснюється за допомогою центрифуг або гідроциклонних глиновідділювачів. Центрифуги дозволяють видаляти тонкодисперсний шлам розміром від 2 до 7 мкм та регенерувати обважнювач. При обробці обважнених розчинів буровий розчин попередньо розбавляють водою у співвідношенні 1:1 до 1:4 для зменшення в'язкості [2].

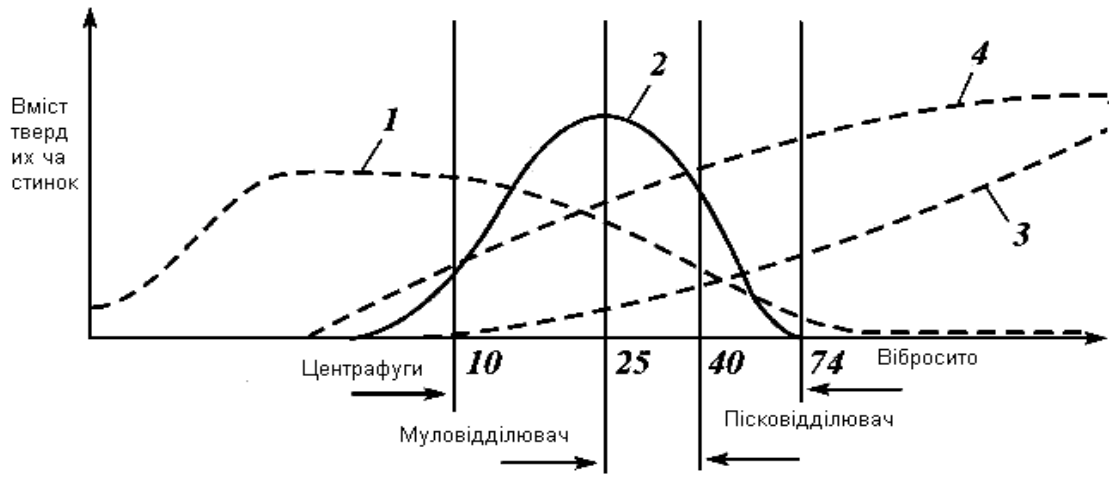
Для очищення бурового розчину від шламу використовують комплекс механічних пристроїв: вібраційні сита, гідроциклонні шламовідділювачі (піско- та муловідділювачі), сепаратори, центрифуги [1].

Крім цього, за найсприятливіших умов перед очищенням від шламу буровий розчин обробляють спеціальними реагентами – флокулянтами, які підвищують ефективність функціонування очисного обладнання.

У складі циркуляційної системи обладнання повинно встановлюватися у такій технологічній послідовності: свердловина – газовий сепаратор – блок грубого очищення від шламу (вібросита) – дегазатор – блок тонкого очищення від шламу (піско- і муловідділювачі, сепаратор) – блок регулювання вмісту та складу твердої фази (центрифуга, гідроциклонний глиновідділювач).

вмісту і складу твердої фази (центрифуга, гідроциклоний глиновідділювач).

Звичайно в буровому розчині в процесі буріння свердловини присутні тверді частинки різних розмірів (рисунок 1.1).



1 , 2 - дисперсний склад відповідно глинопорошку і баріту; 3, 4 - дисперсний склад шламу відповідно через один і два цикли циркуляції

Рисунок 1.1 - Дисперсний склад бурового розчину і граничні можливості апаратів для очищення розчину від шламу

Розмір частинок бентонітового глинопорошку змінюється від одиниці до десятків мікрометрів, порошкоподібного бариту - від 5-10 до 75 мкм, шламу від 10 мкм до 25 мм. В результаті тривалої дії частинки шламу поступово перетворюються на колоїдні частинки (розміром менше 2 мкм) і виконують вельми помітну роль у формуванні технологічних властивостей бурового розчину.

За ідеальних умов очищення з бурового розчину повинні вилучатися шкідливі механічні домішки розміром понад 1 мкм. Однак технічні можливості існуючих апаратів та об'єктивні технологічні фактори наразі не дають змоги досягти такого рівня. Найкращі світові моделі вібросит (ВС-1, В-21, двосіткове одноярусне сито фірми «Свако», двоярусне вібросито фірми «Бароїд» та ін.) забезпечують видалення з бурового розчину частинок шламу розміром понад 450 мкм. Максимальна ефективність очищення під час використання глинистих розчинів досягає 50 % [1].

Використання гідроциклонного пісковідділювача дає змогу підвищити ступінь очищення бурового розчину до 70–80 %, при цьому видаляються частинки шламу розміром понад 40 мкм. Для більш глибокого очищення застосовують батарею гідроциклонів діаметром не більше 100 мм — муловідділювач. За допомогою цих пристроїв буровий розчин очищають від частинок шламу розміром до 25 мкм, а ступінь очищення зростає до 90 % і більше [1].

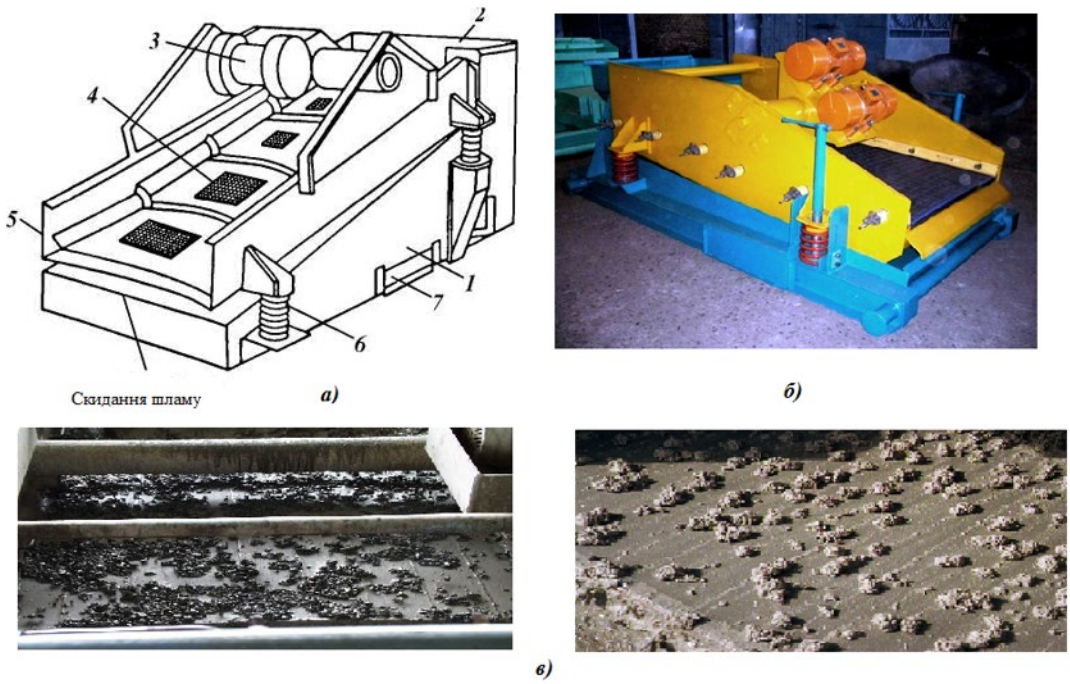
Подальше поглиблення очищення від шламу пов'язане із застосуванням складного обладнання — високопродуктивних центрифуг, тому в більшості випадків воно є економічно недоцільним. Подальше зниження вмісту твердої фази в буровому розчині досягається шляхом розбавлення або механічної обробки невеликої частини циркулюючого бурового розчину, у результаті чого з нього видаляється надлишок тонкодисперсних частинок розміром 10 мкм і менше.

Для обважнених бурових розчинів ступінь очищення обмежується необхідністю збереження у розчині обважнювача.

Тому механічними апаратами з обважнених бурових розчинів практично можна вилучити лише частинки шламу розміром до 74 мкм. Частинки шламу розміром від 5–10 до 75–90 мкм неможливо відокремити від частинок бариту, а оскільки втрати бариту є недопустимими через його високу вартість, подальше підвищення ефективності очищення обважненого розчину зазвичай досягається переведенням частинок шламу у більш тонкодисперсний стан (наприклад, із застосуванням флокулянтів селективної дії). При цьому особливу увагу приділяють регулюванню вмісту та складу твердої фази за допомогою центрифуги або гідроциклонних глиновідділювачів.

1.1.1 Вібросита

Головними чинниками, що визначають глибину очищення і пропускну спроможність вібросита (рисунок 1.2), є розмір осередків сітки і просіваюча поверхня. Основні елементи вібросита наступні: підстава 1, піддон для збору очищеного розчину 7, приймач з розподільником потоку 2, вібруюча рама 5 з сіткою 4, вібратор 3, амортизатори 6. Вібруючі рами розташовують як в горизонтальній, так і в похилій площині, а їх рух може бути поворотно-поступальним по прямій, елліпсоподібним, круговим і комбінованим. [2]



а – схема; б –загальний вигляд; в - очищення бурового розчину від шламу

Рисунок 1.2 - Вібросита

Оптимальним вважається співвідношення довжини до ширини просіювальних пристроїв 2:1, при цьому максимальні розміри сітки не повинні перевищувати таких значень: довжина — 2,6 м, ширина — 1,3 м. Найвища пропускна здатність вібросита досягається у випадку, коли шлам складається переважно з піску, а найнижча — якщо він представлений в'язкими глинами.

Залежно від виду та дисперсного складу шламу пропускна спроможність вібросита може суттєво змінюватися. Ефективність очищення підвищується зі збільшенням часу перебування частинок на поверхні сітки. Досягти цього можна шляхом збільшення довжини сітки, зменшення швидкості потоку, зниження кута нахилу сітки, зміни напряму руху частинок, зменшення амплітуди коливань сітки, а також одночасного використання двох послідовно або паралельно встановлених сіток.

Ефективність функціонування вібросита (пропускна здатність, глибина та ступінь очищення) насамперед визначається типом і технічним станом вібруючої сітки. На сьогодні у вітчизняній практиці буріння для очищення бурового розчину застосовують нержавіючі, а найчастіше — силіконові сітки з розмірами осередків 0,7×2,3; 1×2,3; 1×5; 0,16×0,16; 0,2×0,2; 0,25×0,25; 0,4×0,4; 0,9×0,9; 1,6×1,6; 2×2 і 4×4 мм.

Коливальні рухи сіткам передаються вібраторами, що приводяться в дію двома електродвигунами. Кожна вібруюча рама встановлена на чотирьох пружних амортизаторах і оснащена вібратором з ексцентриковим валом. На її кінцях змонтовано два барабани з храповими механізмами. Між барабанами натягується робоча частина сітки, тоді як запасна, довжина якої у два рази більша, намотується на верхній барабан вібруючої рами. У процесі зношування сітку поступово перемотують на нижній барабан до повного використання по всій довжині.

Вібросито СВ-2 здатне пропускати до 60 л/с бурового розчину за умови використання сітки з розміром осередків 1×5 мм.

Сітки для очищення бурового розчину, як правило, виготовляють у вигляді касет із боковим обрамленням. Така конструкція забезпечує рівномірне

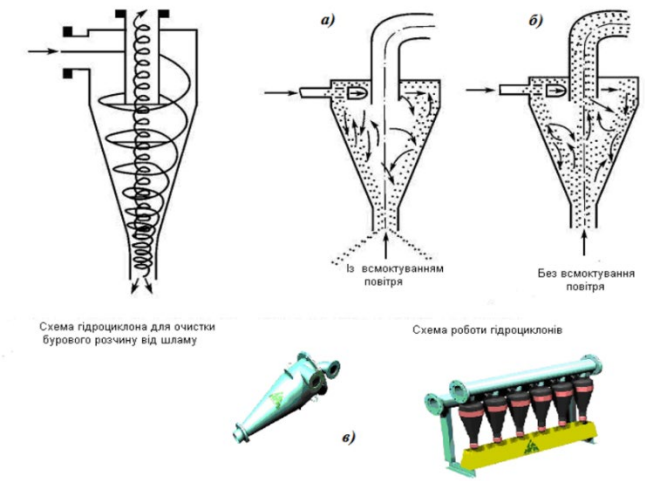
поперечне натягування сітки під час її встановлення на віброситі. Ступінь натягнення сітки є важливим технологічним фактором, що безпосередньо впливає на ефективність роботи вібросита. Зазвичай поперечне натягування кожної сітки здійснюють шістьма болтами. Загальне зусилля натягування при цьому досягає 50 кН на кожну сітку. Сухі сітки зношуються швидше, ніж вологі. Використання надто жорстких опор також прискорює їхній знос. Значну увагу приділяють навіть схемі натягування сітки.

Важливе значення має підтримання сіток у чистому стані.

Оскільки на вібросита припадає основна частка очищення бурового розчину від шламу, саме їм необхідно приділяти найбільшу увагу. Для обважнених бурових розчинів вони є єдиним високоефективним обладнанням. У вітчизняній практиці буріння широко застосовуються одноярусні здвоєні вібросита СВ-2 і СВ-2Б, а також одноярусні двосіткові вібросита ВС-1 та СВ-2В.

1.1.2 Гідроциклонні шламовідділювачі

У бурінні гідроциклони (рисунок 1.3) використовують для відділення грубодисперсного шламу від бурового розчину. Як шламовідділювачі гідроциклони часто можуть конкурувати навіть з віброситами. Так, при видаленні частинок шламу розміром менше 0,5 мм економічна ефективність гідроциклонів і вібросит однакова, якщо обробляється не обважнений буровий розчин. [1]



а, б – схема роботи; в – загальний вигляд

Рисунок 1.3 - Гідроциклони

Із зменшенням розміру частинок шламу ефективність гідроциклонів підвищується, а переваги їх при видаленні шламу з розміром частинок менше 74 мкм стають безперечними.

Гідроциклон є циліндром, сполученим з усіченим перевернеником конусом. Нижня частина конуса закінчується насадкою для зливу пісків, а циліндрова частина обладнується вхідною насадкою, через яку нагнітається буровий розчин, і зливним патрубком, через який відводиться очищений розчин. [2]

Буровий розчин насосом подається через вхідний патрубок у циліндричну частину гідроциклона по дотичній до його внутрішньої поверхні. Завдяки високій швидкості на вході частинки шламу під дією відцентрових сил відкидаються до стінок гідроциклона і переміщуються до пестикової насадки відповідно до закону Стокса. Тонкодисперсні частинки шламу разом із компонентами бурового розчину концентруються у внутрішньому спіралеподібному потоці, що рухається знизу догори. Потрапляючи у зливний патрубок, очищений розчин виводиться з циклона, тоді як шлам (піски) транспортується зовнішнім спадним спіралеподібним потоком до пестикової насадки і видаляється через неї разом із певною кількістю бурового розчину.

Технологічні показники роботи циклона під час розділення суспензії на рідку і тверду фази погіршуються зі зменшенням тиску подаючого насоса, підвищенням в'язкості або густини рідини, що надходить, збільшенням концентрації твердих частинок у суспензії, зменшенням густини твердої фази, зниженням розміру відокремлюваних частинок, значним відхиленням їх форми від сферичної, а також зі зменшенням діаметра отвору пестикової насадки.

Гідроциклонні шламовідділювачі умовно поділяють на піско- та муловідділювачі. Пісковідділювач являє собою батарею гідроциклонів діаметром 150 мм і більше, об'єднаних спільними подавальним і зливним маніфольдами. Муловідділювачами називають аналогічні установки, що складаються з гідроциклонів діаметром 100 мм і менше. Кількість гідроциклонів у батареях піско- та муловідділювачів відрізняється. Ці установки повинні забезпечувати очищення всього циркулюючого бурового розчину за будь-якої

подачі бурових насосів. Пропускна здатність пісковідділювача має становити 125 %, а муловідділювача — 150 % від максимальної продуктивності насоса. Це гарантує обробку всього потоку бурового розчину на гідроциклонних шламовідділювачах.

У вітчизняній практиці широко використовується гідроциклонний шламовідділювач 1ПГК, відомий як пісковідділювач. Він являє собою батарею з чотирьох паралельно працюючих гідроциклонів діаметром 150 мм. Буровий розчин до гідроциклонів подається вертикальним шламовим насосом.

Пісковідділювач 1ПГК забезпечує очищення до 60 л/с бурового розчину та видалення частинок шламу розміром понад 60 мкм при мінімально допустимому тиску близько 0,2 МПа. Загальна маса установки становить 1310 кг [2].

Нині застосовуються більш надійні моделі пісковідділювачів ПГ-50 і ПГ-90, де числове позначення відповідає пропускній здатності в л/с. Вони відрізняються удосконаленою конструкцією та більш довговічними гумовими елементами.

Крім того, у багатьох регіонах використовуються шламовідділювачі з гідроциклонами діаметром 75 і 100 мм — так звані муловідділювачі. Вони являють собою блок із 12–16 гідроциклонів, змонтованих на спільній рамі та оснащених загальним вузлом подачі розчину і піддоном для збору мулу (шламу з розчином). Для подавання бурового розчину використовується вертикальний шламовий насос.

Ефективність розділення суспензії в гідроциклонах зростає зі збільшенням тиску на вході. Проте практичний досвід експлуатації показує, що оптимальний тиск для пісковідділювача становить 0,25 МПа, а для муловідділювача — 0,32 МПа. Такі режими роботи забезпечуються за тиску в нагнітальній лінії насоса 0,4–0,5 МПа.

Основним способом регулювання роботи гідроциклонів у процесі буріння є зміна діаметра отвору для скидання піску або мулу. За високих швидкостей буріння цей отвір повинен бути достатньо великим. Якщо ж його розмір перевищує необхідний для видалення вибуреної породи, ефективність роботи

циклона зменшується, а втрати бурового розчину разом зі шламом збільшуються.

Урівноважений гідроциклон має найкращі робочі характеристики лише тоді, коли скид пісків відбувається у вигляді «парасольки», а не суцільного шнура. Необхідно враховувати, що в сучасних гідроциклонах нижній отвір виконує функцію каналу розвантаження, а не штуцера. За правильної роботи циклона втрати бурового розчину зі шламом становлять лише 1–5 %. Намагання отримати за допомогою гідроциклонів майже сухий шлам призводить до погіршення процесу розділення суспензії, оскільки тонкодисперсні частинки глини, необхідні для збереження властивостей розчину, не потрапляють у висхідний вихор і виносяться разом із пісками.

Основною контрольованою характеристикою роботи гідроциклонів є густина пісків (мулу). Густина нижнього продукту повинна перевищувати густину очищеного бурового розчину на 0,30–0,42 г/см³.

Через підвищену ефективну в'язкість бурових розчинів на вуглеводневій основі (РВО) ефективність роботи гідроциклонного обладнання знижується. Густина згущеного продукту під час очищення необважнених РВО за однакової кількості видаленого піску буде меншою, ніж під час очищення розчинів на водній основі. Наприклад, згущений продукт із вмістом 25 % твердої фази при густині розчину 1,14 г/см³ має густину 1,48 г/см³, тоді як для РВО густиною 1,02 г/см³ густина згущеного продукту становить лише 1,39 г/см³.

Звичайні муловідділювачі не застосовують для очищення обважнених бурових розчинів, оскільки разом із частинками шламу розміром понад 25 мкм вони практично повністю видаляють барит із розмірами частинок понад 16 мкм, а також частково дрібніші його фракції. Під час очищення важких бурових розчинів муловідділювачем близько 95 % вилученого матеріалу становить шлам із великими частинками, але водночас втрачається до 50 % бариту.

Останніми роками для очищення обважнених бурових розчинів використовують так звані сепаратори (рисунок 1.4), які складаються з гідроциклонного муловідділювача 1, встановленого над вібруючим

дрібнокомірчастим ситом 2. Попередньо очищений на віброситі обважнений буровий розчин відцентровим насосом подається до батареї гідроциклонів, де розділяється на обважнену та необважнену частини. Необважнений потік повертається до циркуляційної системи, тоді як обважнена частина через пестикові насадки надходить на дрібнокомірчасте вібросито. Тут частинки шламу, більші за частинки обважнювача, відокремлюються та скидаються у відвал, а решта обважненого бурового розчину проходить крізь сито і після повернення до циркуляційної системи змішується з необважненою частиною розчину [1].

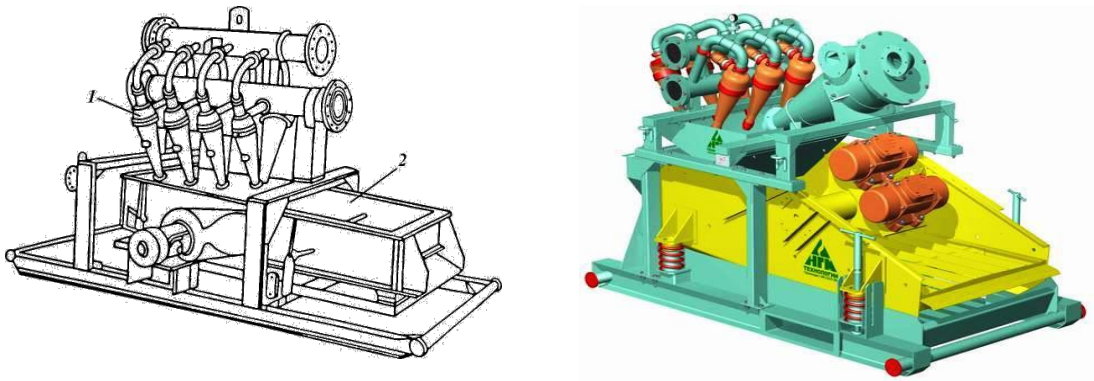


Рисунок 1.4 - Схема та загальний вигляд

У зв'язку з тим, що потік обважненого розчину значно менше потоку не обважнює, можна використовувати в сепараторах мілкоячейні вібруючі сітки і таким чином значно поліпшити очищення обважнених бурових розчинів.

В даний час розроблена технологія очищення бурових розчинів по триступінчатій системі, яка успішно упроваджена у ряді районів країни. Ця технологія передбачає очищення: грубу – на віброситі, тонку – на піско- і муловідділювач. В результаті з бурового розчину віддаляється не менше 60 % вибуреної породи, зокрема частинки розміром до 30 мкм.

1.1.3 Регулювання вмісту і складу твердої фази в буровому розчині

Тверді частинки у буровому розчині, як правило, є необхідними, однак вони суттєво ускладнюють процес буріння свердловин. Їх наявність спричиняє

підвищення в'язкості розчину, збільшення гідравлічних втрат, інтенсивніше зношування деталей гідравлічного обладнання, насамперед бурових насосів, елементів підземного обладнання, бурильних труб і циркуляційної системи, а також призводить до зростання витрат палива та (або) електроенергії.

Якщо в необважненому буровому розчині внаслідок накопичення шламу збирається значна кількість твердої фази, яку важко видалити за допомогою очисного обладнання, такий буровий розчин, як правило, замінюють свіжоприготовленим.

Основну частину вартості обважнених бурових розчинів становить барит, тому навіть тоді, коли концентрація твердих частинок настільки висока, що розчин практично втрачає здатність до прокачування, його намагаються не замінювати, а регулювати в ньому вміст і склад твердої фази.

Якщо не запобігати забрудненню бурового розчину твердими частинками, витрати на його експлуатацію та обслуговування істотно зростатимуть.

Найбільший прогрес у регулюванні вмісту та складу твердої фази бурових розчинів було досягнуто починаючи з 50-х років минулого століття завдяки використанню центрифуг-відстійників. Це обладнання, після суттєвої модернізації, використовується й сьогодні. Основним сучасним пристроєм для виконання цієї технологічної операції є відцентровий сепаратор, який є різновидом центрифуги.

Відцентровий сепаратор для бурових розчинів (рисунок 1.7) являє собою перфорований ротор 2, що обертається всередині корпусу 1. Буровий розчин, надходячи до корпусу 1, потрапляє у відцентрове поле ротора. Потік розчину набуває поступально-обертального руху, внаслідок чого тверда фаза розділяється за масою. Найважчі частинки розчину (барит і крупний шлам) відкидаються до стінок корпусу сепаратора та переміщуються периферійною частиною потоку до зливного отвору 4 корпуса. Рідка фаза бурового розчину разом із тонкодисперсними частинками рухається всередині ротора і виводиться з апарата через порожнистий вал 3 ротора [2].

Після розділення бурового розчину на полегшену фракцію та обважнену пульпу оператор отримує можливість регулювати їх повернення до циркуляційної системи або подачу в запасні ємності, здійснюючи таким чином первинне регулювання вмісту і складу твердої фази. Остаточне доведення бурового розчину до необхідних параметрів виконують шляхом додавання, за потреби, нових порцій компонентів.

Буровий розчин, що надходить через вхідний патрубок 5 до відцентрового сепаратора, зазвичай попередньо розбавляють водою для зменшення в'язкості та покращення умов розділення твердої фази за масою.

За допомогою цього агрегату виконують такі технологічні операції:

- тонке очищення бурового розчину від шламу — для цього сепаратор встановлюють як четвертий ступінь очищення після муловідділювача; частину бурового розчину, очищеного в блоці гідроциклонів, подають до сепаратора, що забезпечує видалення частинок шламу розміром понад 4 мкм;
- регенерацію обважнювача — під час циркуляції або виконання спуско-підіймальних операцій сепаратор вводять у роботу, відбираючи з надлишкової частини розчину обважнену пульпу; її накопичують у запасній ємності та за необхідності повертають у робочий об'єм бурового розчину;
- регулювання вмісту і складу твердої фази — це головне технологічне призначення обладнання.

Сучасна центрифуга у штатному режимі роботи здатна обробляти до 1,5 л/с бурового розчину. У форсованому режимі допускається подача до 2 л/с, при цьому робочий діапазон продуктивності становить 45–75 л/хв [2].

Центрифуга є високоефективним обладнанням для розділення суспензій, проте має й певні недоліки: складну конструкцію та потребу у висококваліфікованому обслуговуючому персоналі. Саме тому її найдоцільніше використовувати протягом обмеженого часу. Значна кількість рухомих деталей, абразивне робоче середовище, високі частоти обертання (1800–2300 об/хв),

сальникові ущільнення і гвинтові насоси потребують ретельного технічного обслуговування та високої культури експлуатації.

Вартість центрифуги приблизно у 10–11 разів перевищує вартість піско- та муловідділювачів.

Під час обробки обважненого бурового розчину перед подачею до центрифуги його необхідно розбавляти водою. В іншому випадку втрати обважнювача будуть значними. Сучасна технологія експлуатації центрифуг передбачає, що після обробки кожних одного-двох об'ємів бурового розчину необхідно додавати один об'єм води. У результаті полегшена частина розчину разом із реагентами підлягає видаленню, а також виникає потреба у створенні спеціальної системи оборотного водопостачання та утилізації або нейтралізації освітленого продукту. Це свідчить про необхідність ретельного аналізу доцільності використання центрифуг у конкретних геолого-технічних умовах буріння свердловин.

У практиці буріння для регулювання вмісту та складу твердої фази широко застосовують шнекові центрифуги (рисунок 1.6).

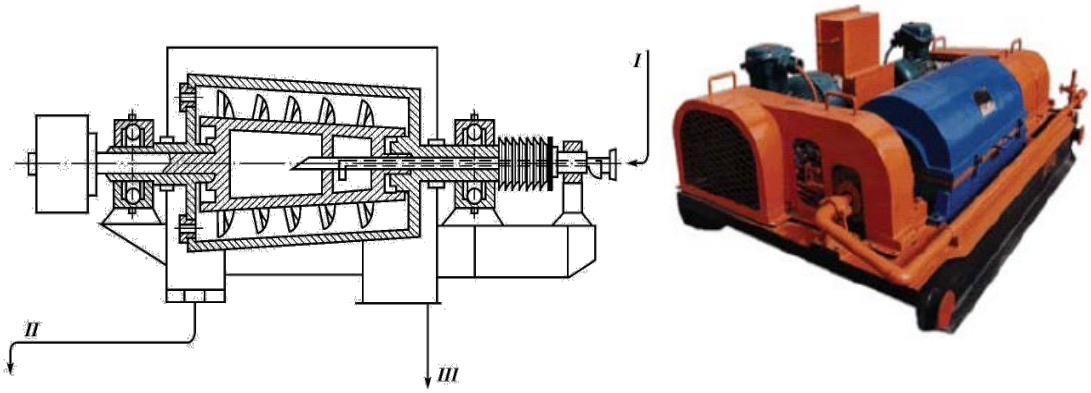


Рисунок 1.6 - Принципова схема та загальний вигляд центрифуги

Шнек обертається з певною швидкістю і транспортує згущуючу пульпу, що накопичується біля стінок корпусу, до розвантажувального пристрою.

Такий тип центрифуги дозволяє майже повністю відділяти від бариту рідку фазу і тому найчастіше використовується для регенерації обважнювача з бурового розчину.

Осаджувальна центрифуга LW450-1000N3

У якості обладнання для очистки бурового розчину використовують і центрифуги. Вони ефективно видаляють тверді частинки з бурового розчину покращують його властивості та забезпечують якісне буріння. Зменшують забруднення родовища та зменшують механічний знос бурового обладнання. Центрифуга з частотою обертів від 27,5 $с^{-1}$ до 36,6 $с^{-1}$ може відділяти тверді частинки розміром від 2 до 7 мкм. [1]

Режим роботи цих центрифуг регулюють подачею розчину на обробку, ступенем його розбавлення водою, частотою обертання ротора.

Проте у зв'язку з високою вартістю і складністю технічного обслуговування центрифугу не завжди доцільно застосовувати. Вигідніше і простіше використовувати гідроциклонні апарати. Суть роботи такого апарату в режимі регенерації обважнювача полягає у тому, що розбавлений водою буровий розчин поступає по тангенціальному введенню в гідроциклон, у відцентровому полі якого відбувається відділення бариту від розчину.

Баритова пульпа повертається в буровий розчин або зливається в спеціальну ємність, а полегшена водоглиниста суміш через верхній злив гідроциклона скидається у відстійник. Вода у відстійнику відділяється від глинистих частинок і може повторно використовуватися для розбавлення нових порцій бурового розчину, що подається на обробку .

Такі апарати, звичайно звані гідроциклонними глиновідділювачем, достатньо ефективні. Вони здатні регенерувати до 80 – 90 % барита при ступені розбавлення бурового розчину, рівної чотирьом. Значне розбавлення розчину водою (співвідношення води: розчин складає 4:1) є головним недоліком гідроциклонних глиновідділювача. Проте вони можуть використовуватися з хорошою економічною ефективністю.

Останніми роками помічається тенденція до використовування для регулювання вмісту і складу твердої фази бурових розчинів спеціальних реагентів – флокулянтів – в поєднанні з відомими і широко вживаними засобами очищення: відстійниками, віброситами і гідроциклонними шламовідділювачами. Принцип дії флокулянтів заснований на тому, що частинки твердої фази під дією цього реагенту агретуються в так звані флокули і перетворюються на порівняно великі за розміром пластівці, які можна видалити за допомогою звичних засобів очищення розчину від шламу.

Флокулянти бувають загальної і селективної дії. Перші флокулюють тверду фазу розчинів незалежно від її природи і дисперсного складу, другі агрегують лише частинки певного розміру.

Технологія триступінчатого очищення (рисунок 1.5) припускає обробку розчину густиною не більш 1,25 г/см3, умовною в'язкістю не більш 45 с. На першому ступені очищення використовуються вібраційні сита СВ-2, СВ-2Б, СВ-2В, ВС-1, на другій – пісковідділювач 1ПГК, ПГ-50, ПГ-90, на третій – муловідділювач ЯРЕМ-45.

Технологія очищення необважненого бурового розчину згідно триступінчатій системі є рядом послідовних операцій, що включають грубе очищення на віброситі і тонке очищення – піско- і муловидділенні – на гідроциклонних шламовідділювачах. Буровий розчин з шламом після виходу з свердловини / піддається на першому ступені грубому очищенню на віброситі 2 і збирається в ємкості 10. Відцентровим насосом 3 розчин подається в батарею гідроциклонів пісковідділювача 4, де з розчину віддаляються частинки піску. Очищений від піску розчин поступає через верхній злив в ємність 9, а пісок скидається в шламову комору. З ємкості 9 відцентровим насосом 5 розчин подається для остаточного очищення в батарею гідроциклонів муловідділювачів 6. Після відділення частинок мула очищений розчин прямує в приймальну ємність 8 бурового насоса 7, а мул скидається в шламову комору.

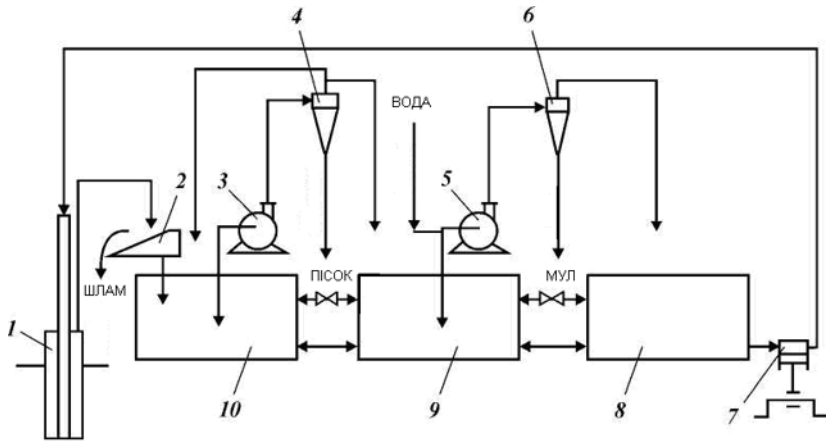


Рисунок 1.5 - Схема триступінчатого очищення необважненого бурового розчину

Особливістю технології є, по-перше, використовування 25 – 35 % очищеного від піску розчину для розбавлення розчину, що поступає в пісковідділювач; по-друге, для підвищення ефективності роботи муловідділювача подача в нього (минувши пісковідділювач) до 10 % бурового розчину; по-третє, розбавлення (при необхідності) розчину, що поступає в муловідділювач, водою до мінімальної в'язкості, регламентованої геолого-технічним нарядом.

Для ефективного очищення бурового розчину від тонкодисперсних частинок вибуреної породи необхідно підібрати оптимальні параметри роботи вібросит (подачу розчину, число сіток, розмір осередків сітки), гідроциклонних шлам про віддільників (подачу розчину, тиск на вході) і підтримувати мінімально можливими в'язкість і густину бурового розчину.

РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ І МАТЕРІАЛІВ ГІДРОЦИКЛОНІВ

2.1 Класифікація гідроциклонів

За призначенням:

освітлювачі – для очищення рідин від твердих частинок;

згущувачі – для згущення суспензій;

класифікатори – для поділу рідких дисперсних матеріалів за розміру, густини або формі включень;

дегазатори – для очищення рідин від розчинених газів;

для поділу емульсій.

За кількістю потоків на виході:

двострумові;

багатострумові.

За формою корпусу:

циліндричні;

конусно-циліндричні.

За взаємним напрямком руху потоків:

прямотокові (односпрямовані);

протиструмові.

За способом передачі середовищі обертання (рисунок 2.1):

напірні;

низконапірні (відкриті);

роторні (турбоциклони).

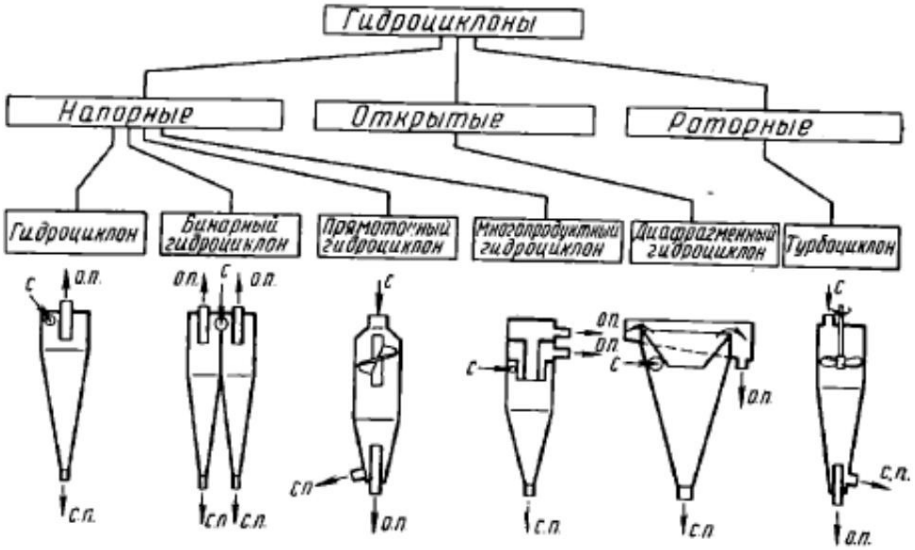


Рисунок 2.1 – Класифікація гідроциклонів за способом передачі середовищі обертання.

2.1.1 Відкриті гідроциклони

Відкриття гідроциклони застосовують для виділення зі стічних вод осідають, переважно важких, і грубодисперсних спливаючих домішок. Можна застосовувати відкриті гідроциклони у комплексі з іншими спорудами для механічного очищення виробничих стічних вод якість першого ступеня. Перед подачею у відкриті стічні води при необхідності можна коагулювати. Істотною перевагою відкритих гідроциклонів е велика питома пропускна здатність [2-20 м3 /(м2.ч)] невеликих втратах напору (зазвичай не більше 0,5 м). [3]

Відкриті гідроциклони відносяться до споруд відстійного типу обертальним рухом потоку в робочій зоні, що забезпечується тангенціальним підведенням води, що освітлюється, до циліндричного корпусу.

Обертання потоку сприяє агломерації зважених частинок та збільшення їх гідравлічної крупності.

Для більш рівномірного розподілу потоку та більш повного використання об'єму гідроциклону число впускних патрубків має бути щонайменше двох. Швидкість впускання води у гідроциклон становить 0,1-0,5 м/с.

Відкриті гідроциклони застосовують такі типи: без внутрішніх пристроїв з діафрагмою, з діафрагмою та циліндричною перегородкою, багатоярусні.

Для всіх типів відкритих гідроциклонів осад з конічної частини видаляють відкачуванням насосами, гідроелеваторами або під гідростатичним тиском води. Для затримання та видалення спливаючих домішок та нафтопродуктів гідроциклони обладнуються напівзанурювальним кільцевим щитом, що встановлюється перед водозливом на відстані не більше 50 мм, та занурювальної лійкою. Ефект очищення у відкритих гідроциклонах визначається в основному питомим гідравлічним наванташенням, яке встановлюють в залешно від характеристики стічних вод необхідного ступеня очищення та від геометричних розмірів гідроциклону. Відкриті гідроциклони без внутрішніх пристроїв (рисунок 2.2, а) рекомендується застосовувати для затримання великої дрібнодисперсних домішок гідравлічною крупністю 5 мм/с та більше.

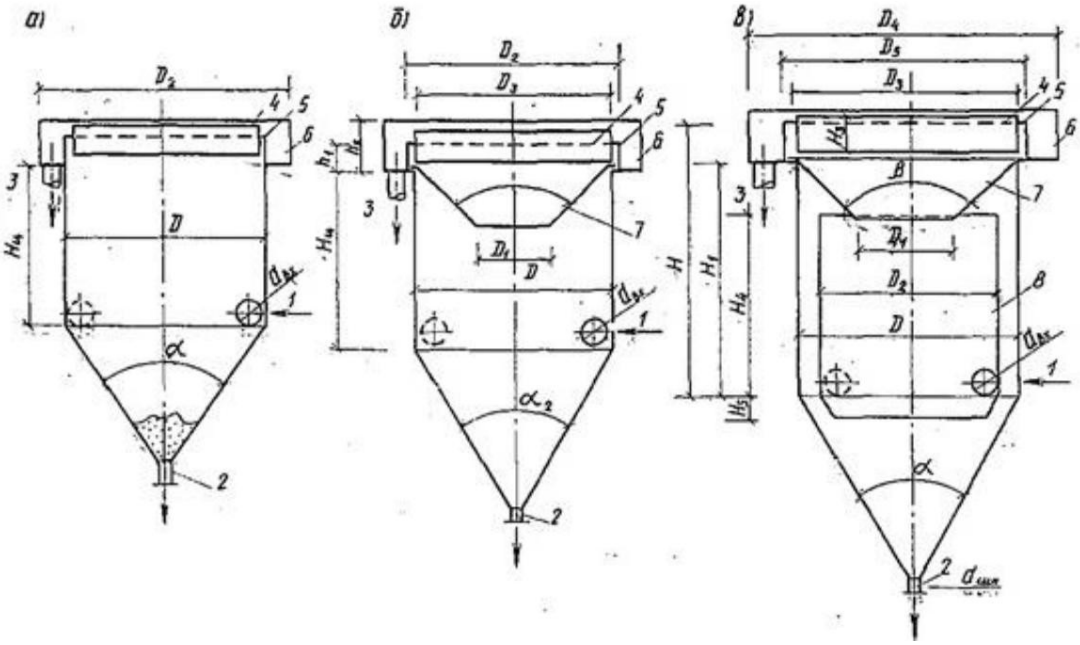


Рисунок 2.2 – Відкриті гідроциклони: а – без внутрішніх пристроїв; б - з конічною діафрагмою; в - з конічною діафрагмою та циліндричною перегородкою; 1 - водоподаюча труба; 2 - шламовідвідна труба; 3 - водовідвідна труба; 4 - напівзанурювальна кільцева стінка; 5 - кільцевий водозлив; 5 - водозбірний кільцевий лоток; 7 - конічна діафрагма; 8 - циліндрична перегородка.

Гідроциклони з конічною діафрагмою (рисунок 2.2, б) призначені для виділення зі стічних вод дрібнодисперсних завислих речовин гідравлічною

крупністю понад 0,2-0,3 мм/с. Їх доцільно застосовувати для обробки відносно невеликих (до 200 м3 /год) кількостей води. При коагуляції стічних вод меші використання циклонів можуть бути розширено. Діаметр апарату рекомендується приймати трохи більше 6 м.

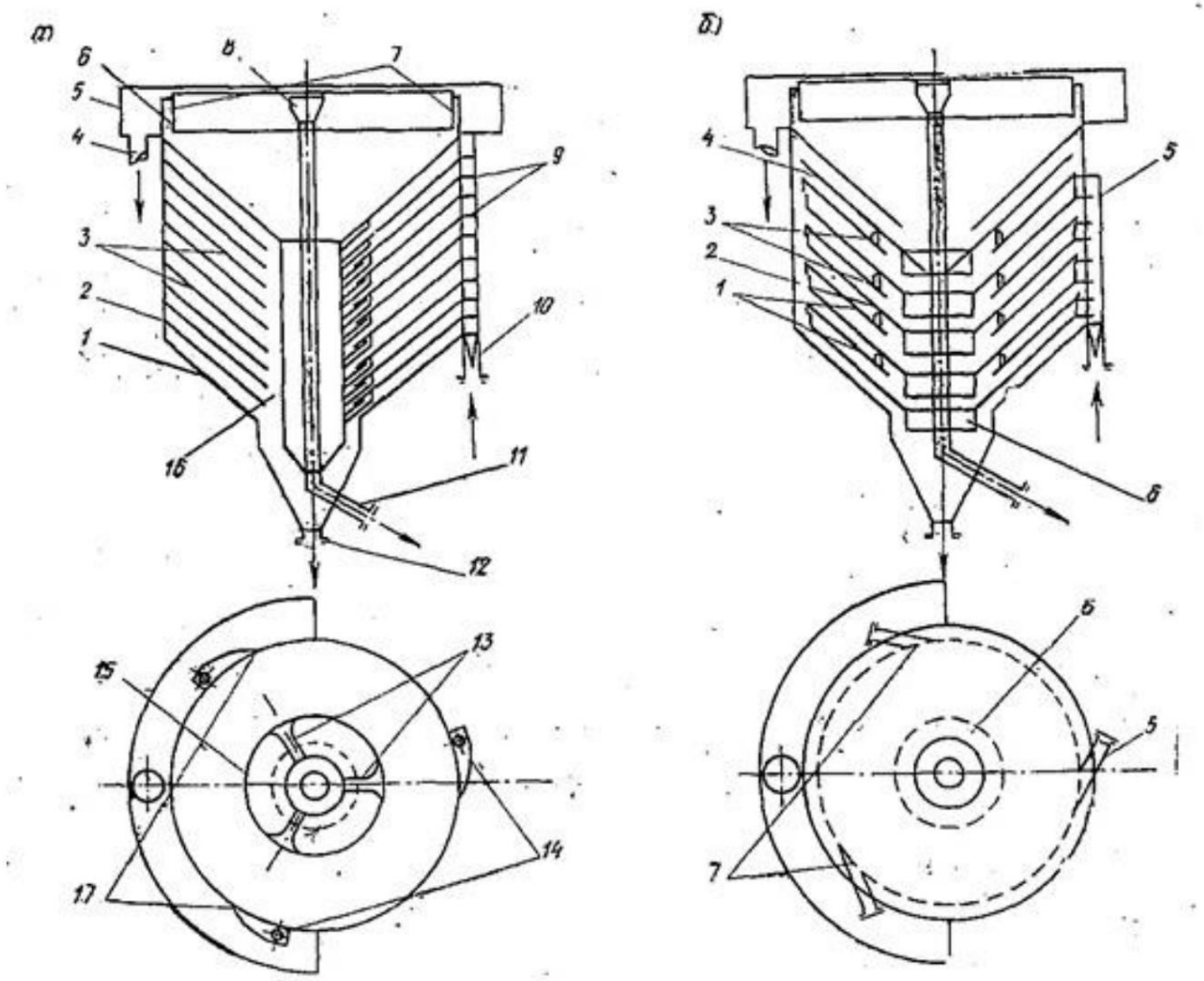


Рисунок 2.3 – багатоярусні відкриті гідроциклони: а - за принципом поличного відстійника; 6 – гідроциклон з периферійним відбором освітленої води.

Для підвищення ефективності конструкція гідроциклонів доповнюється. циліндричною перегородкою (рисунок 2.2, в). Впуск води здійснюється тангенціально у простір, обмежений внутрішнім циліндром. При цьому виникає замкнутий циркуляційний потік, який сприяє

покращення якості очищення. Діаметр гідроциклонів з діафрагмою та циліндричною перегородкою приймається трохи більше 6 м.

Для промислового застосування рекомендуються дві конструкції багатоярусного гідроциклону. Перша (рисунок 2.3, а) виконана за принципом поличного відстійника. У корпус багатоярусного гідроциклону вільно вставлені конічні діафрагми, які поділяють його обсяг на окремі яруси, що працюють незалежно один від одного, натиском через насадку з засувкою. Можна застосовувати інші відомі способи видалення осаду.

Оливи та інші легкі речовини через зазор між діафрагмами та корпусом гідроциклону спливають під верхню діафрагму і далі по спеціальним стоякам відводяться на поверхню, обмежену напівзанурювальним кільцевим щитом. Олію з гідроциклону можна видаляти будь-яким із відомих способів; у тому числі через занурену вирву, до якою воно заганяється скребковим механізмом.

Інтенсифікація процесу поділу у багатоярусному гідроциклоні досягається рахунок. зменшення висоти шару обстоювання. Обертальне рух дозволяє повніше використовувати обсяг ярусу та створює умови, сприяють агломерації завислих речовин.

Найбільш доцільно розміщувати багатоярусні гідроциклони на естакаді. В цьому випадку спрощується операція вивантаження осаду та подача очищеної води на наступні споруди.

Корпус гідроциклону та діафрагми зазвичай виконують зі сталі. Великий інтерес представляє можливість виготовлення конічних діафрагм із пластмас.

З'єднання діафрагм у центральній частині телескопічне, що полегшує монтаж та демонтаж апарату. Впуск води, що очищається здійснюється тангенціально через три загальні для всіх ярусів щілини, розташовані через 120 °. Підведення води до них та розподіл її за висотою виробляються у прибудованих - до циклону аванкамер з розподільчими лопатками. Робочий потік рухається в ярусі по спіралі, що сходить, і виходить у центральну частину через три тангенціальні випуски, що перетинають шламовідвідну щілину. Кут нахилу випусків, виконаних у вигляді розтруба, повинен збігатися з кутом

нахилу діафрагми. Осад, що виділився в ярусі, сповзає до центральної частини і через кільцеву шламовідвідну щілину. прямує в конічну частину апарату, звідки він видаляється зазвичай під гідростатичним.

Інша конструкція багатоярусного гідроциклону - гідроциклон з периферійним відбором освітленої води (рисунок 2.3, б) працює наступним чином. Вихідна вода, потрапляючи в аванкамери за допомогою струменаправляючих лопаток, розподіляється рівномірно між ярусами, через тангенціальні впускні патрубки. Осад, виділений у прямоточному ярусі, сповзає до центру, провалюється у шламову шахту та осідає у конічній частині.

Деяка частина води, освітленої в прямоточному ярусі, прямує в вищерозташований протиточний ярус через перепускні стояки. За рахунок цього знижується розмивна дія водного потоку на осад, що сповзає у центральну частину з вищележачого протиточного ярусу, в якому робочий потік рухається від центру до периферії. Біля стінки корпусу гідроциклону вихідний потік, поєднуючись з потоками з нижчележачих ярусів, що піднімається вгору, під верхньою діафрагмою, що перекриває периферійну щілину, повертає до центру та через центральний отвір верхньої діафрагми виходить у верхню частину гідроциклону, де він рухається подібно до руху в першій конструкції багатоярусного гідроциклону

(рисунок 2.3, а). Виділені в конічній частині осад та олія, що накопичилися на поверхні води видаляються з гідроциклону так само, як і в першій конструкції.

2.1.2 Роторні гідроциклони

За принципом дії турбоциклон е комбінацією гідроциклону та центрифуги. Турбоциклон включає корпус, імпелер у вигляді розміщених на втулці лопатей, вхідний та вихідний патрубки. Необхідний для роботи напір створюється не насосом, як у гідроциклонах, а турбінкою, розташованою у циліндричній частині апарату (рисунок 2.4, а). [4]

Рух пульпи; проходить через турбоциклон, змінюється з одного виду на інший, поступальний рух у всмоктувальному патрубку в лопатевому колесі

змінюється на обертальне. При виході з лопатевого колеса пульпа, ударяючись об стінку. Циліндричні частини корпусу, змінює обертальний рух на поступальний. Після цього пульпа, за допомогою обертового циліндричного патрубка з радіальними лопатями, знову набуває обертального руху, що зумовлює наявність роздільного відцентрового поля турбоциклону [5]

При переміщенні пульпи всередині корпусу турбоциклону остання зустрічає вигини, зумовлені конструкцією циліндричного корпусу. Це призводить до виникнення турбулентних потоків, що впливають на ефективність поділу, місцевих гідравлічних опорів, що вимагають додаткової витрати електроенергії та знижують продуктивність турбоциклону. Виключено можливість регулювання процесу класифікації з метою отримання продуктів поділу, що відрізняються за гранулометричним складу та щільності.

Нижній продукт видаляється через нижній відвідний отвір, а верхній продукт – через центральну трубу, що проходить вздовж осі апарату. Діаметр нижнього відвідного отвору можна регулювати стисненим повітрям за допомогою гумового кільця. [4]

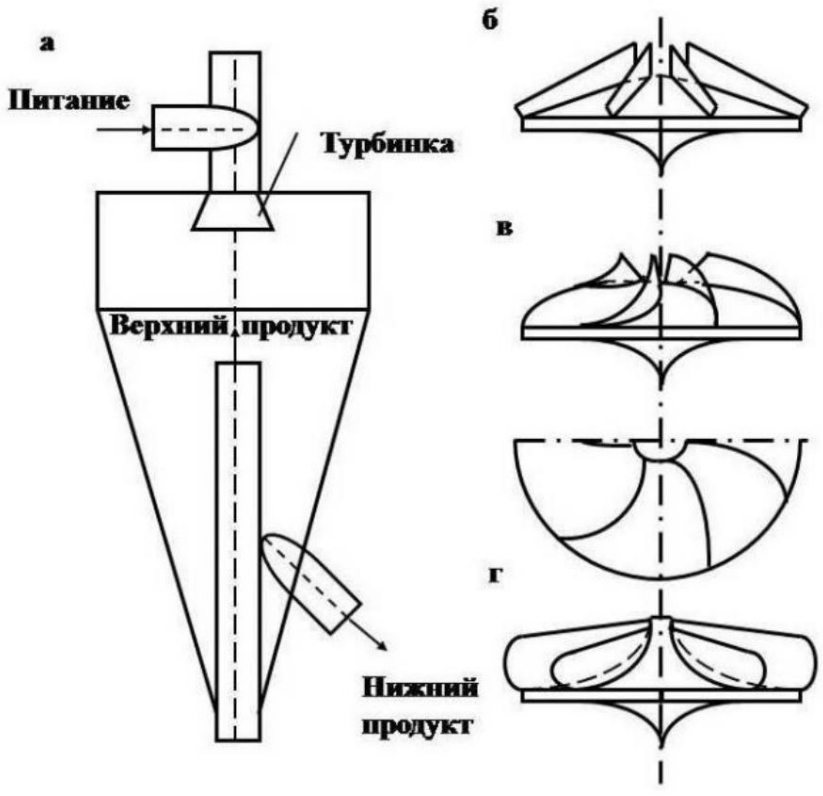


Рисунок 2.4 – Турбогідроциклони

Турбоциклони відрізняються конструкцією турбінки, способом харчування та відбором продуктів поділу (рисунок 2.4, б, в, г).

При конструюванні турбоциклонів передбачалося заміна насоса турбінкою знизить питому витрату електроенергії, проте це припущення не виправдалося.

Турбоциклони не мають технологічних переваг перед конічними гідроциклонами, але більш складні за конструкцією (через наявності обертової з великою швидкістю турбінки та труднощі ущільнення вала) і тому мають обмежене застосування у промисловості.

2.1.3 Напірні гідроциклони

Напірні гідроциклони застосовуються для механічного очищення стічних вод, а також для згущення, збагачення та класифікації осаду, що виділяється зі стічних вод. У напірному гідроциклоні струмінь, рухаючись по гвинтовій спіралі вздовж зовнішньої стінки апарату, що прямує в його конічну частину. Тут основний потік змінює напрямок руху та переміщається до центральної частини апарату. Що виділяється у пристінній зоні осад і найбільш насичена завислими речовинами частина води видаляються із апарата через насадку для шламу. Потік освітленої води в центральній зоні апарату рухається по циліндричній спіралі вгору до зливної насадки. [3]

Залешно від діаметрів зазначених насадок, а також розмірів інших конструктивних елементів гідроциклонів відбувається відповідне поділ освітленої води та шламу. Гідроциклони можуть працювати в вертикальному, похилому чи горизонтальному положенні.

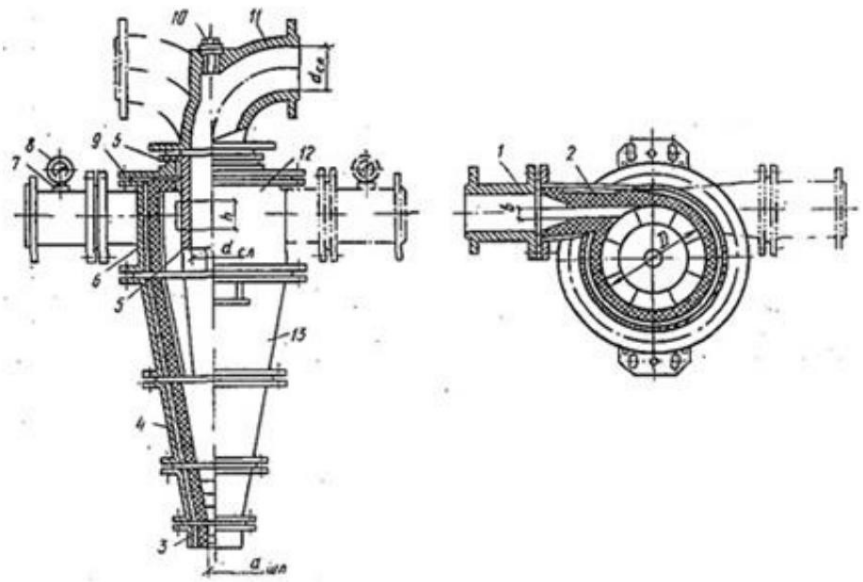


Рисунок 2.5 - Напірний гідроциклон: 1 - патрубок живлення; 2 - знімний, гумовий вкладиш; 3 - шламовий патрубок; 4 - складові елементи конічної частини; 5 - зливний патрубок; 6 - цементна стяжка; 7 - мембранний роздільник; 8 - манометр; 9 - Кришка циліндричної частини; 10 - заглушка отвору для підключення імпульсної лінії системи автоматичного регулювання гідроциклону; 11 - зовнішній зливний патрубок; 12 - циліндрична частина; 13 - конічна частина.

Діаметр застосовуваних гідроциклонів 15-1000 мм. Як свідчить практика, внаслідок впливу абразивних частинок механічних домішок гідроциклони швидко зношуються. Для подовшення терміну служби внутрішню поверхню гідроциклонів футерують, покривають знімними зносостійкими вставками (Рисунок 5). Гідроциклони невеликого діаметру (15-50 мм) відливають з абразивностійких матеріалів (Рисунок 6) - гуми, кераміки, пластмас.

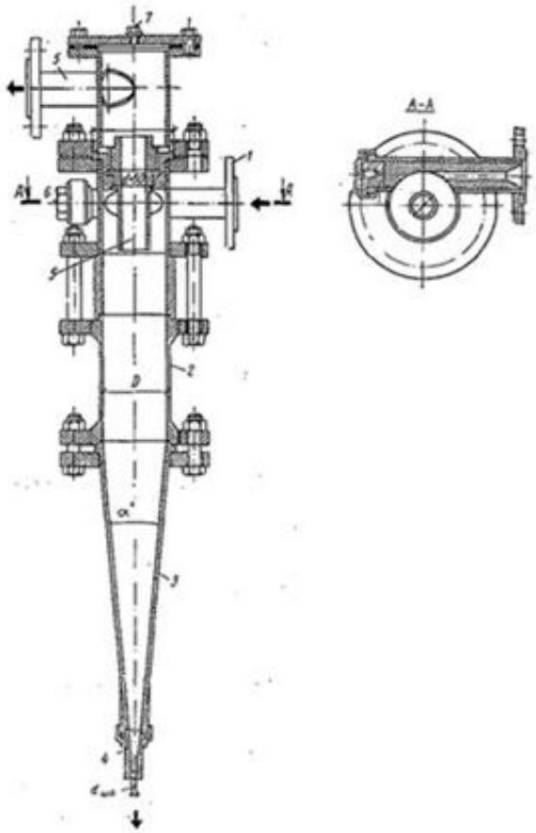


Рисунок 2.6 - Конструкція напірного гідроциклону: 1 - патрубок живлення; 2 - циліндрична частина; 3 - конічна частина; 4 - шламовий патрубок; 5 – зливні патрубки; 6-вісь труби, що подає; 7 - пробка для імпульсної трубки

При необхідності глибокого очищення стічних вод доцільна послідовна робота гідроциклонів різних типорозмірів При цьому апарати першого ступеня призначаються для видалення з води щодо грубих домішок, апарати останнього ступеня - для виділення найбільш дрібних зважених частинок, гідравлічна крупність яких визначається відповідно до необхідного ступеня очищення.

Залешно від витрати оброблюваних вод і типу гідроциклонів можна встановлювати один або кілька паралельно працюючих апаратів, об'єднуються в батареї кругового (Рисунок 2.7) та лінійного типу (Рисунок 2.8), так само використовуються мультигідроциклони (Рисунок 2.9).



Рисунок 2.7 - Круговий батарейний гідроциклон

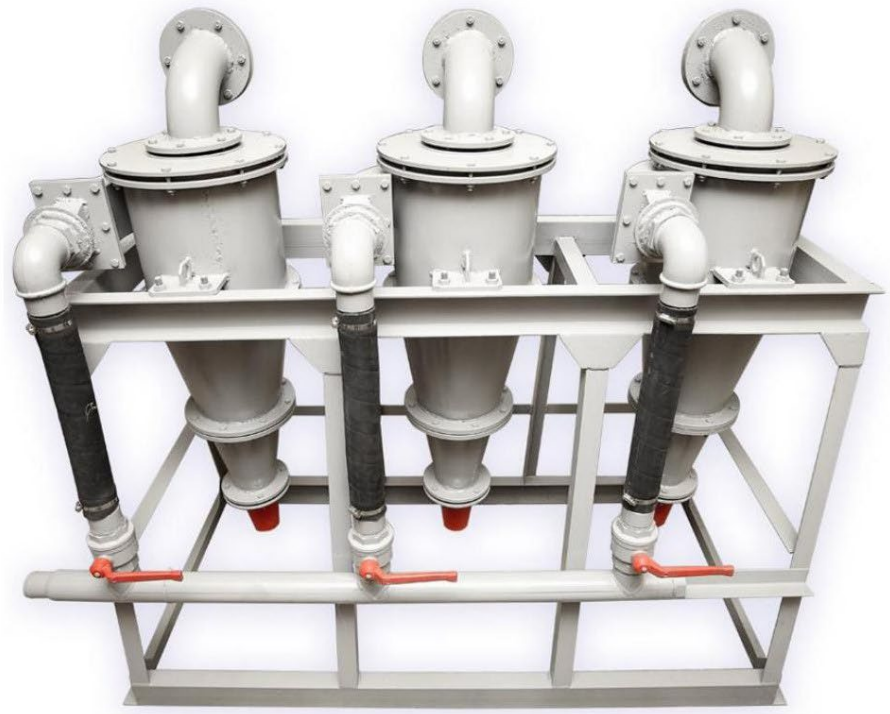


Рисунок 2.8 – Лінійний батарейний гідроциклон

Мультигідроциклон призначений для тонкого освітлення стічних вод від твердих завислих речовин. На блок направляються стічні води, пройшли попереднє освітлення на гідроциклонах більшого діаметра або у відстійниках. Блок освітлення є роз'ємним апаратом, що складається із трьох ізольованих секцій:

секції гідроциклонів;

секції освітленої води;

□шламової секції.

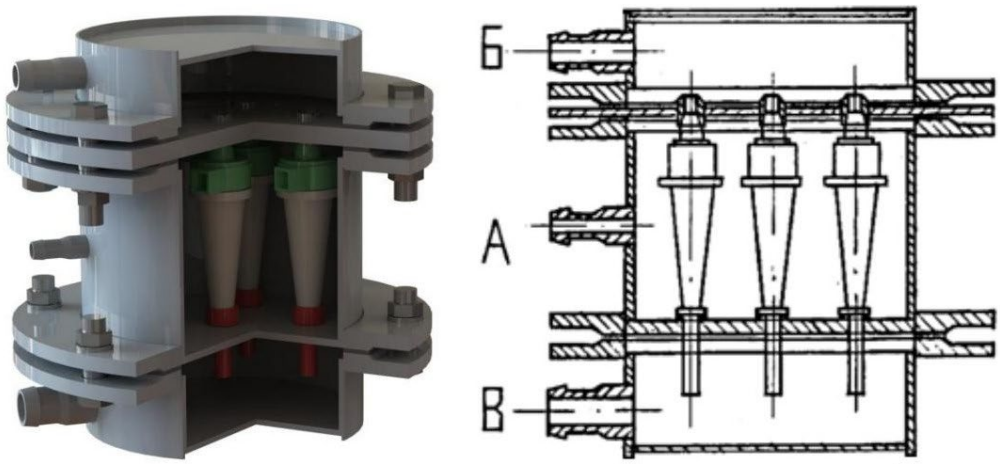


Рисунок 2.9 - Мультигідроциклон: А-подача стоку; Б - відведення стоку; В – відведення шламу.

Усередині корпусу мультигідроциклону кріпляться мінігідроциклони, кількість яких залежить від їх марки. Стічна вода подається під напором у секцію гідроциклонів і далі тангенціально вводиться в отвори в них корпусах, внаслідок чого набуває обертального руху. Освітлена вода з усіх гідроциклонів збирається в секції освітленої води, зважені речовини – у шламовій секції, з яких відводяться через відповідні патрубки. Робоча втрата напору в мультигідроциклонах становить 1 - 2 кг/ см2 .

Для гідроциклонів діаметром 50 – 200 мм випускаються системи з єдиною ємністю для збирання осаду, що значно прискорює його розвантаження.

У тих випадках, коли основним продуктом є тверда фаза (осад) використовується механічним пристроєм вивантаження осаду шнекового типу.

Переваги напірних гідроциклонів:

Компактність у поєднанні з високою питомою продуктивністю;

Висока ефективність та надійність у різноманітних експлуатаційних умовах (вибухо-пожежонебезпечні, агресивні, абразивні середовища);

Широкий інтервал робочих температур та тисків;

Простота конструкцій, зручність експлуатації.

2.2 Дослідження застосовуваних матеріалів

У нафтогазовій галузі гідроциклони використовуються для очищення нафти, пластової води та бурового розчину від абразиву, для дегазації, для зневоднення та переробки нафти.

При виготовленні гідроциклону для певного функціоналу необхідно враховувати фізико-хімічні властивості робочого середовища та параметри робочого процесу. Гідроциклони можуть бути виготовлені з металу (головним чином сталь), зносостійкої гуми, кераміки або пластмас (такі як поліуретан, поліпропілен чи інші типи). Металеві або керамічні гідроциклони використовуються для ситуацій, що вимагають більшої сили або тривалості з погляду високої температури чи тиску. Коли є виникнення великої кількості тертя (того, що відбувається з частинками піску), поліуретан виступає краще, ніш метали чи кераміка. Футерований метал використовується у випадках об'єднаного тертя та високого тиску

Футерування ш необхідно підбирати під фізико-хімічні властивості робочого середовища. Розглянемо деякі з них.

2.2.1 Hexmetal

На деяких внутрішніх стінках сепаратора циклонного типу використовуваного при каталітичному крекінгу, утворена шестикутна сітчаста конструкція, утворена осередками, внутрішні розміри яких можуть змінюватися в діапазоні від 4 см до 6 см при товщині, що становить приблизно від 1,5 см до 3,0 см, приєднується за допомогою багатоточкової зварювання до стіни, що підлягае захисту таким чином, щоб футерувати всю внутрішню стінку циклонного сепаратора типу. [6]

Таким чином, цю сітчасту конструкцію закріплюють на стінці при за допомогою сукупності зварних точок. Після цього осередки заповнюються композитним матеріалом, зазвичай бетоном, вручну та загладжуються за допомогою будівельної лопатки.

Застосовується дане футерування при високих температурах у робочому процесі.

З описаним вище типом захисного футерування пов'язані численні недоліки, серед яких можна згадати:

Труднощі при встановленні конструкції Hexmetal на металеву стінку, пов'язані з необхідністю реалізації численних зварних з'єднань;

Проблеми ручного введення бетону в кожну з осередків, виконаних у конструкції Hexmetal.

Поширюється це футерування на ринку фірмою Causeway.

2.2.2 Поточний бетон

Поточний бетон е як приклад бетон марки ACTCHEM 85 Trueflow, що розповсюджується на ринку фірмою Dramicon. Даний бетон дає результати, з точки зору механічної стійкості, відповідно до нормативного документа ASTM 704/A 704M-06, втричі перевищують результати для інших марок бетону, які зазвичай використовуються для протиерозійного футерування. [6]

Товщина протиерозійного футерування, тобто відстань, розділяє дві паралельні одна одній поверхні форми, змінюється в діапазоні від 10 мм до 100 мм, і перевашно в діапазоні від 10 мм до 50 мм.

На відміну від використання конструкції Hexmetal®, де існують розриви безперервності між різними осередками, заповненими композитним матеріалом, причому ці розриви безперервності пов'язані з товщиною металу, що утворює конструкцію Hexmetal®, протиерозійна футерування згідно з пропонованим винаходом розташовується в внаслідок лиття у вигляді суцільного шару без будь-яких розривів безперервності. Внаслідок цього та завдяки використанню технології лиття, поверхня бетону, що піддається впливу твердих частинок, е єдиною і переважно гладкою.

2.2.3 Керамічна футеровка

Алюбітова (керамічна) футеровка виробляється у вигляді цегли та плитки різних розмірів та форм. Керамічна футерувальна цегла призначений в основному для обкладання внутрішньої поверхні млинів, циклонів, галтовок, печей, а такош іншого обладнання, яке піддається зносу.[7]

Алюбітова (керамічна) футерувальна цегла виготовляється з глинозему. Вміст оксиду алюмінію в алюбітовій продукції не менше 92%, твердість за шкалою Мооса – 9 (для порівняння, твердість алмазу – 10), що дозволяє використовувати в роботі алюбіт з багатьма високоабразивними матеріалами.

Застосування технічної кераміки Alotec та Marshalit як футерування внутрішніх стінок дозволяє збільшити термін служби циклонів до 50 і вище в порівнянні з нефутерованими.

Дане футерування не може застосовуватися для обладнання маленьких габаритів.

2.2.4 Кам'яне литво

Відома футерування гідроциклону, виконана з пластин кам'яного. лиття. [8]

Таке футерування, володіючи прийнятною зносостійкістю, має ряд недоліків: високу вартість через велику витрату енергії на плавку і на технологію розливання за високого відсотка шлюбу; підвищені експлуатаційні витрати на заміну та встановлення футерування, що набирається з окремих плиток; гідродинамічні втрати через нерівність поверхні футеровки, що тягнуть за собою підвищену витрату енергії та погіршення якості поділу пульпи через турбулентність потоків.

Фізико-механічні властивості кам'яного лиття представлені у таблиці 2.1. [9]

Таблиця 2.1 - Фізико-механічні властивості кам'яного лиття

Показник	Зносостійка кам'яне лиття	Термостійке кам'яне лиття	Сірий чавун
Об'ємна маса, кг/м3	2900-3000	2800-2900	7200
Водопоглинання, %	0,13	0,70	-
Межа міцності при стисканні, МПа 250-500 Межа міцності		100-260	500
при згинанні, МПа 30-50 Ударна в'язкість, кДж/м2		10-30	280
	1,25	1,06	3
Модуль пружності, Мпа 100630 Теплопровідність, Вт/(м-		43700	120000
0С), при 200С 1,52 Питома теплоємність, кДж/(кг-	0С)	1,07	51
при 200С	0,77	0,67	0,46
Коефіцієнт стирання, кг/м2	1,0	1,4	-

Як правило, нижня частина циклону найбільш схильна до зносу, особливо це стосується піскової насадки. У деяких випадках доцільно виготовити її за допомогою кам'яного лиття.

2.2.5 Гумова футеровка

Гумова футерування виготовляється з еластомірних матеріалів підвищеної зносостійкості, що дозволяє: досягти практично ідеальної геометрії проточної частини, збільшити ефективність класифікації та знизити величину граничного зерна поділу, знизити витрати при експлуатації.

Еластичні футеровки зазвичай мають більш високий термін служби, ніж кам'яне лиття чи корундування. Очевидно, це пояснюється податливістю шару гуми, що контактує з пульпою. Звідси втрати на турбулентність менші, ніш за кам'яного лиття. [8]

Таким чином, відоме еластичне футерування через місцеве абразивного зносу (спіралеподібні виїмки) має знижений термін служби. Крім того, нерівномірний знос посилює турбулентність, погіршення якості поділу частинок пульпи на класи крупності та одночасно підвищує енергоемність процесу класифікації.

2.2.6 Поліуретанова футеровка

Футерування поліуретаном (або поліуретанова футеровка) запобігає готові вироби від псування та стирання поверхні при багаторазовому застосування. [10]

Поліуретан має високу стійкість до впливу різних агресивних факторів:

комбінованому впливу тертя та корозійних середовищ;

підвищеною стійкістю до динамічних навантажень;

стійкістю до впливу технічних олив, ширів, ряду кислот та розчинників;

властивостями, що демпфують вібрацію та ударні навантаження;

висока міцність на розрив і опір розповсюдженню надрізів;

підвищений опір зносу;

зниження шумових навантажень;

стійкість до впливу вологи, озону, олив, УФ-променів.

РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ЗНОСУ МАТЕРІАЛІВ ФУТЕРУВАННЯ ГІДРОЦИКЛОНУ

3.1 Мета і завдання розрахунку

Метою даного розділу є кількісна оцінка швидкості ерозійного зносу п'яти матеріалів футерування гідроциклону при однакових гідродинамічних умовах роботи та шести значеннях допустимої фракції твердої фази бурового розчину (40, 60, 80, 100, 150, 200 мкм).

Гідроциклон зазнає постійного абразивного впливу зважених частинок шламу. Зносостійкість матеріалу футерування безпосередньо визначає ресурс апарату між плановими замінами і, відповідно, витрати на обслуговування. Порівняльний розрахунок дозволяє об'єктивно обґрунтувати вибір матеріалу для конкретних умов буріння [1, 8].

Завдання розрахунку:

– встановити математичну модель ерозійного зносу для гідроциклонних апаратів;

– визначити вихідні дані та умови роботи гідроциклону;

– розрахувати швидкість зносу кожного матеріалу при шести фракціях твердої фази;

– визначити прогнозований ресурс при стандартних товщинах футерування;

– виконати порівняльний аналіз і сформулювати рекомендації.

3.2 Вихідні дані

Розрахунок виконується для напірного гідроциклону діаметром D = 150 мм у складі пісковідділювача бурової установки. Умови роботи прийнято однаковими для всіх матеріалів (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку зносу футерування гідроциклону

Параметр	Позначення	Значення	Одиниця
Діаметр гідроциклону	D	150	мм
Швидкість рідини на вході	v_0	12,0	м/с
Швидкість у конічній частині	v	20,8	м/с
Кут між потоком і стінкою конуса	α	20	градус
Концентрація твердої фази	C	50	кг/м³
Густина частинок шламу	ρ_p	2 650	кг/м³
Динамічна в’язкість розчину	μ	0,02	Па·с
Розміри часток (досліджувані фракції)	d	40; 60; 80; 100; 150; 200	мкм

3.3 Математична модель ерозійного зносу

Для розрахунку зносу у гідроциклоні використовується модифікована модель Хатчингса-Фінні (Hutchings, 1992; Finnie, 1960), яка враховує залежності від механічних властивостей матеріалу, кінематики частинок та характеристик абразиву [8, 10, 11].

Лінійна швидкість зносу:

$$dh/dt = K_m \cdot C \cdot v^n \cdot (d/d_0)^\beta \cdot f(\alpha) \quad (3.1)$$

де **dh/dt** – лінійна швидкість зносу, мм/год; $\mathbf{K_m}$ – коефіцієнт зносостійкості матеріалу; **C** – концентрація твердої фази, кг/м³; **v** – швидкість потоку, м/с; **n** – показник степеня від швидкості (пластичні матеріали: 2,0–2,4; крихкі: 2,3–2,5); **d** – діаметр частинки, мкм; $\mathbf{d_0}$ = 100 мкм – базовий діаметр; **β** – показник степеня від розміру (0,50–0,55); **f(α)** – функція кута атаки.

Функція кута атаки для пластичних матеріалів (сталь, гума, поліуретан) – механізм різання та деформації, максимум зносу при α ≈ 30°:

$$f(\alpha) = \sin(2\alpha) - 3\cdot\sin^2(\alpha), \quad (3.2)$$

для крихких матеріалів (кераміка, кам'яне лиття) – механізм сколювання, максимум при α ≈ 90°:

$$f(\alpha) = \sin^2(\alpha). \quad (3.3)$$

Значення кутових функцій при α = 20°:

$$f_пласт(20°) = \sin(40°) - 3\cdot\sin^2(20°) = 0{,}643 - 3\cdot 0{,}117 = 0{,}292, \quad (3.4)$$

$$f_крихк(20°) = \sin^2(20°) = 0{,}117. \quad (3.5)$$

Швидкість потоку в конічній частині гідроциклону (зона максимального зносу) визначається з рівняння нерозривності:

$$v = v_0 \cdot \sqrt{(D_вх / D_кон)} = 12{,}0 \cdot \sqrt{(150/50)} = 12{,}0 \cdot 1{,}732 = 20{,}8\ м/с, \quad (3.6)$$

де v_0 = 12,0 м/с – швидкість на вході; D_вх = 150 мм; D_кон = 50 мм.

Коефіцієнти зносостійкості K_m для кожного матеріалу встановлено методом калібрування за зведеними даними експериментальних досліджень гідроциклонів [2, 8, 10]. Калібрувальна умова: для сталі 09Г2С при d = 100 мкм, v = 20,8 м/с, C = 50 кг/м³ лінійна швидкість зносу дорівнює 0,200 мм/год.

Параметри матеріалів наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Параметри матеріалів для розрахунку зносу

Матеріал	Тип руйнування	K_m	H, МПа	ρ, кг/м³	n	β	δ, мм
Сталь 09Г2С	Пластичний	0,0330	1 600	7 850	2,40	0,50	**6**
Гума (НК)	Пластичний	0,0008	55	1 200	2,00	0,50	**12**
Поліуретан	Пластичний	0,0005	80	1 250	2,00	0,50	**12**
Кераміка Al_2O_3	Крихкий	0,0012	16 000	3 900	2,50	0,55	**10**
Кам’яне лиття	Крихкий	0,0025	6 000	2 800	2,30	0,52	**10**

3.4 Приклад розрахунку для базової фракції d = 100 мкм

Підставляємо значення у формулу (3.1) для кожного матеріалу при d = 100 мкм, v = 20,8 м/с, C = 50 кг/м³, α = 20°.

Сталь 09Г2С (пластичний, n = 2,40, β = 0,50, f(α) = 0,292):

$$dh/dt = 0{,}0330 \cdot 50 \cdot 20{,}8^{2{,}40} \cdot (100/100)^{0{,}50} \cdot 0{,}292 = 0{,}200\ мм/год. \quad (3.7)$$

Гума (НК) (пластичний, n = 2,00, β = 0,50):

$$dh/dt = 0{,}0008 \cdot 50 \cdot 20{,}8^{2{,}00} \cdot 1{,}000 \cdot 0{,}292 = 0{,}048\ мм/год. \quad (3.8)$$

Поліуретан (пластичний, n = 2,00, β = 0,50):

$$dh/dt = 0{,}0005 \cdot 50 \cdot 20{,}8^{2{,}00} \cdot 1{,}000 \cdot 0{,}292 = 0{,}022 \text{ мм/год.} \quad (3.9)$$

Відносний знос поліуретану: 0,022 / 0,200 = 0,110 → поліуретан зношується у 9,1 рази повільніше сталі.

Кераміка Al_2O_3 (крихкий, n = 2,50, β = 0,55, f(α) = 0,117):

$$dh/dt = 0{,}0012 \cdot 50 \cdot 20{,}8^{2{,}50} \cdot 1{,}000 \cdot 0{,}117 = 0{,}000420 \text{ мм/год.} \quad (3.10)$$

Відносний знос кераміки: 0,000420 / 0,200 = 0,0021 → кераміка Al_2O_3 у 476 разів стійкіша за сталь.

Кам'яне лиття (крихкий, n = 2,30, β = 0,52):

$$dh/dt = 0{,}0025 \cdot 50 \cdot 20{,}8^{2{,}30} \cdot 1{,}000 \cdot 0{,}117 = 0{,}001650 \text{ мм/год.} \quad (3.11)$$

Залежність швидкості зносу від розміру фракції для пластичних матеріалів (β = 0,50):

$$dh/dt(d) = dh/dt_0 \cdot \sqrt{(d/100)} = W_0 \cdot (d/d_0)^{0{,}5}, \quad (3.12)$$

наприклад, для сталі 09Г2С при d = 200 мкм: dh/dt = 0,200 · √2 = 0,200 · 1,414 = 0,2828 мм/год.

3.5 Результати розрахунку

Розрахунок виконано для шести фракцій d = 40, 60, 80, 100, 150 та 200 мкм. Фракції відповідають допустимим розмірам частинок на виході з різних ступенів очищення: вібросита (100–200 мкм), пісковідділювача (60–80 мкм), муловідділювача (40–60 мкм). Результати зведено в таблицях 3.3–3.5.

Таблиця 3.3 – Швидкість лінійного зносу dh/dt [мм/год] при різних фракціях твердої фази

Матеріал	40 мкм	60 мкм	80 мкм	100 мкм	150 мкм	200 мкм
Сталь 09Г2С	0.1265	0.1549	0.1789	0.2000	0.2449	0.2828
Гума (НК)	0.0304	0.0372	0.0429	0.0480	0.0588	0.0679
Поліуретан	0.0139	0.0170	0.0197	0.0220	0.0269	0.0311
Кераміка Al_2O_3	2.537e-4	3.171e-4	3.715e-4	4.200e-4	5.249e-4	6.149e-4
Кам'яне лиття	0.001025	0.001265	0.001469	0.001650	0.002037	0.002366

Таблиця 3.4 – Прогнозований ресурс роботи [год] при стандартній товщині футерування

Матеріал	δ, мм	40 мкм	60 мкм	80 мкм	100 мкм	150 мкм	200 мкм
Сталь 09Г2С	**6**	47.4	38.7	33.5	30.0	24.5	21.2
Гума (НК)	**12**	395.3	322.7	279.5	250.0	204.1	176.8
Поліуретан	**12**	862.4	704.2	609.8	545.5	445.4	385.7
Кераміка Al_2O_3	**10**	39 411	31 533	26 919	23 810	19 050	16 262
Кам’яне лиття	**10**	9760	7905	6806	6061	4908	4226

Примітка: δ – стандартна товщина футерування; ресурс = δ / (dh/dt).

Таблиця 3.5 – Відносний знос матеріалів (Сталь 09Г2С = 1,000)

Матеріал	40 мкм	60 мкм	80 мкм	100 мкм	150 мкм	200 мкм	Середнє	Кратність
Сталь 09Г2С	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	**1.0**×
Гума (НК)	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	**4.2**×
Поліуретан	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	**9.1**×
Кераміка Al_2O_3	0.0020	0.0020	0.0021	0.0021	0.0021	0.0022	0.0021	**478.2**×
Кам’яне лиття	0.0081	0.0082	0.0082	0.0082	0.0083	0.0084	0.0082	**121.4**×

3.6 Аналіз залежності зносу від фракційного складу

З таблиці 3.3 видно, що швидкість зносу всіх матеріалів зростає зі збільшенням фракції за степеневим законом відповідно до формули (3.12). Для пластичних матеріалів (β = 0,50) при подвоєнні діаметра частинки від 100 до 200 мкм знос зростає у $\sqrt{2} \approx 1{,}41$ рази:

$$dh/dt_Cm(200) / dh/dt_Cm(100) = 0{,}2828 / 0{,}2000 = 1{,}414 \approx \sqrt{2}. \quad (3.13)$$

Для крихких матеріалів залежність від розміру частинки дещо сильніша (β = 0,52–0,55), оскільки великі частинки ефективніше ініціюють сколювання:

$$dh/dt_Кер(200) / dh/dt_Кер(100) = 0{,}000615 / 0{,}000420 = 1{,}464 \approx 2^{\circ}{}'^{55}. \quad (3.14)$$

Перехід від дрібної фракції (d = 40 мкм) до грубої (d = 200 мкм) скорочує ресурс: кераміки Al_2O_3 – у 2,42 рази (39 411 → 16 262 год); поліуретану – у 2,24 рази (862 → 386 год); сталі – у 2,24 рази (47 → 21 год). Таким чином, підвищення вимог до ступеня очищення розчину (менша допустима фракція) суттєво збільшує ресурс усіх матеріалів.

Для пісковідділювача (фракція 60–80 мкм) ресурс поліуретанового футерування становить 610–704 год (≈25–29 діб), тоді як ресурс сталевого – лише 34–39 год (~1,5 доби). Перевага поліуретану – у 18 разів. Для муловідділювача (фракція 40 мкм) поліуретан забезпечує ресурс 862 год (≈36 діб), що відповідає одному міжремонтному циклу бурової установки.

3.7 Зведений показник зносостійкості

Для об'єктивного порівняння матеріалів введено зведений показник зносостійкості $К_г$, що враховує як ресурс, так і відносну вартість матеріалу:

$$К_г = (Т_ресурс / Т_сталі) \cdot (ціна_сталі / ціна_матеріалу). \quad (3.15)$$

Відносні вартості матеріалів (сталь = 1,0): гума (НК) – 3,0; поліуретан – 4,5; кам'яне лиття – 5,5; кераміка Al_2O_3 – 8,0.

Результати зведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Зведений показник зносостійкості $К_г$ матеріалів футерування (d = 100 мкм)

Матеріал	Ресурс, год (d=100 мкм)	Відн. ресурс	Відн. вартість	$К_г$	Рекомендація
Сталь 09Г2С	30	1,0	1,0	**1,0**	Базовий варіант
Гума (НК)	250	8,3	3,0	**2,8**	Помірна ефективність
Поліуретан	545	18,2	4,5	**4,0**	Оптимально для буріння
Кераміка Al_2O_3	23 810	793,7	8,0	**99,2**	Для агресивних умов
Кам’яне лиття	6 061	202,0	5,5	**36,7**	Великогаб. апарати

Висновки до розділу 4

1. Розрахунок підтвердив, що швидкість ерозійного зносу футерування гідроциклону зростає зі збільшенням фракції твердої фази за степеневим законом $W \sim d^{\beta}$ ($\beta = 0{,}50–0{,}55$). При зміні фракції від 40 до 200 мкм швидкість зносу зростає у 1,41–1,46 рази залежно від матеріалу.
2. Найбільша швидкість зносу при d = 100 мкм встановлена для сталі 09Г2С – 0,200 мм/год (ресурс 30 год при товщині 6 мм). Зносостійкість матеріалів у порядку зростання: гума (НК) – у 4,2 рази краще за сталь; поліуретан – у 9,1 рази; кам'яне лиття – у 121 раз; кераміка Al_2O_3 – у 476 разів.
3. За прогнозованим ресурсом при стандартній товщині лідирує кераміка Al_2O_3 (23 810 год при d = 100 мкм). Проте для умов буріння нафтогазових свердловин оптимальним є поліуретан: ресурс 545 год – у 18 разів більше сталі при значно нижчій вартості порівняно з керамікою.
4. Зведений показник $K_г$ підтверджує оптимальність поліуретанового футерування для гідроциклонів бурових установок ($K_г = 4{,}0$). Кераміка ($K_г = 99{,}2$) та кам'яне лиття ($K_г = 36{,}7$) доцільні при особливо абразивних умовах або у великогабаритних апаратах, де тривалий ресурс окупає вищу вартість матеріалу.
5. Для пісковідділювача (фракція 60–80 мкм) рекомендується поліуретанове футерування – ресурс 610–704 год (~25 діб). Для муловідділювача (фракція 25–40 мкм) поліуретан забезпечує ресурс до 862 год (~36 діб), що відповідає одному міжремонтному циклу бурової установки. При необхідності тривалих безремонтних кампаній доцільна кераміка або комбіновані конструкції з поліуретановими вставками у зонах максимального зносу.

РОЗДІЛ 4. МОНТАЖ, ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ЦИРКУЛЯЦІЙНОЇ СИСТЕМИ БУРОВОЇ УСТАНОВКИ

4.1 Загальні положення щодо монтажу циркуляційної системи

Циркуляційна система бурової установки є одним з найбільш відповідальних комплексів обладнання, від надійної та безперебійної роботи якого безпосередньо залежить ефективність буріння свердловини. До складу циркуляційної системи входять: ємності для бурового розчину, бурові насоси, обладнання для очищення розчину від шламу та газу (вібросита, піско- та муловідділювачі, дегазатори, центрифуги), жолоби та трубопроводи [1].

Монтаж циркуляційної системи виконується відповідно до проекту на спорудження свердловини, монтажних креслень та технічних умов на монтаж і введення в експлуатацію обладнання. Перед початком монтажних робіт необхідно перевірити комплектність поставленого обладнання, наявність супровідної технічної документації (паспортів, інструкцій з експлуатації), а також виконати вхідний контроль якості [2].

Розміщення обладнання циркуляційної системи на буровому майданчику повинно забезпечувати: зручний доступ обслуговуючого персоналу до кожного вузла; можливість демонтажу і заміни окремих агрегатів без зупинки суміжного обладнання; дотримання вимог промислової безпеки та охорони праці [3].

4.2 Монтаж вібраційних сит

Вібраційні сита є першим ступенем очищення бурового розчину від шламу і встановлюються безпосередньо під виходом жолоба зі свердловини. Монтаж вібросит виконується в такій послідовності [2]:

1) підготовка фундаменту (основи) – вибрівнювання майданчика, перевірка горизонтальності за рівнем з точністю не гірше 2 мм/м;

2) установка рами (підстави) та кріплення її анкерними болтами до основи;

3) монтаж корпусу вібросита на раму, перевірка горизонтальності просіюючої поверхні;

4) підключення приводних електродвигунів, перевірка ізоляції обмоток мегомметром (не менше 1 МОм);

5) установка сіток та їх рівномірна натяжка відповідно до вимог заводської інструкції;

6) підключення трубопроводів відводу очищеного розчину та відводу шламу;

7) пробний запуск без навантаження та перевірка балансування вібраторів.

При монтажі слід звернути увагу на рівномірність натяжки сіток. Нерівномірне натяжіння призводить до передчасного зносу сітки та зниження ефективності очищення. Після монтажу перевіряють роботу амортизаторів – вони повинні рівномірно стискатися під навантаженням і забезпечувати амплітуду коливань в діапазоні, зазначеному в паспорті (зазвичай 3–6 мм) [2].

4.3 Монтаж гідроциклонних шламовідділювачів

Піско- та муловідділювачі монтуються після вібросит у технологічному ланцюгу очищення. Конструктивно вони являють собою батарею гідроциклонів, змонтованих на єдиній рамі з загальним колектором підведення і відведення розчину [4].

Порядок монтажу гідроциклонного шламовідділювача:

1) підготовка та нівелювання площадки для встановлення рами – ухил не більше 2 мм/м;

2) установка рами на опори з перевіркою вертикальності корпусів гідроциклонів;

3) монтаж підвідного колектора та з'єднання з нагнітальним трубопроводом шламового насоса;

4) підключення зливного (верхнього) колектора до наступної ємності-відстійника;

5) підключення шламових (нижніх) насадок до збірника шламу;

6) монтаж шламового насоса з перевіркою центрування відносно двигуна (биття муфти – не більше 0,1 мм);

7) підключення контрольно-вимірювальних приладів (манометр на вході, витратомір).

8) гідравлічне випробування системи тиском, що перевищує робочий у 1,25 рази, протягом 30 хвилин.

Особливу увагу при монтажі слід приділяти герметичності різьбових та фланцевих з'єднань. Всі фланцеві з'єднання ущільнюють паронітовими або гумовими прокладками [4].

4.4 Монтаж центрифуг

Центрифуги є найбільш складним та відповідальним обладнанням системи очищення бурового розчину. Висока швидкість обертання ротора (1800–2300 об/хв) висуває підвищені вимоги до точності монтажу та якості балансування [2].

Монтаж центрифуги виконується в такій послідовності:

1) підготовка та перевірка фундаменту (бетонної плити) – ухил допускається не більше 0,5 мм/м;

2) установка центрифуги на фундамент та попереднє кріплення анкерними болтами;

3) центрування вала барабана: радіальне биття вала не повинне перевищувати 0,05 мм;

4) центрування електродвигуна відносно барабана або перевірка натяжки пасів;

5) остаточне затягування анкерних болтів і повторна перевірка центрування;

6) підключення трубопроводів подачі розчину та відведення продуктів сепарації;

7) підключення системи подачі мастила до підшипникових вузлів;

8) пробний запуск без навантаження з контролем вібрації, температури підшипників та рівня шуму.

Допустима вібрація корпусу центрифуги при пробному пуску не повинна перевищувати 4 мм/с. Температура підшипників не повинна перевищувати 70 °С при температурі навколишнього середовища 20 °С [2].

4.5 Експлуатація обладнання циркуляційної системи

Ефективна експлуатація обладнання циркуляційної системи передбачає суворе дотримання регламентів та технічних умов. Правильно підібраний режим роботи кожного апарату є запорукою високої якості очищення бурового розчину та тривалого ресурсу обладнання [1].

4.5.1 Експлуатація вібросит

Перед початком роботи оператор зобов'язаний: перевірити стан сіток (відсутність розривів, рівномірність натяжки), перевірити надійність кріплення вібраторів, упевнитися у відсутності сторонніх предметів на ситі, перевірити рівень мастила у вібраторах [2].

В процесі роботи необхідно контролювати:

– рівномірність розподілу потоку бурового розчину по ширині сітки;

– стан сіток – при їх забиванні або розривах негайно зупинити вібросито для заміни;

– ступінь вологості шламу, що скидається;

– температуру підшипників вібраторів – не вище 60 °С;

– рівень шуму та вібрації – при різкому збільшенні шуму зупинити установку.

4.5.2 Експлуатація гідроциклонних шламовідділювачів

Технологічний режим роботи гідроциклонного шламовідділювача визначається тиском на вході в батарею гідроциклонів: для пісковідділювача – 0,25 МПа, для муловідділювача – 0,32 МПа. Тиск підтримується регулюванням подачі шламового насоса [4].

Основний показник правильності роботи гідроциклону – характер виходу пісків. При нормальній роботі піски виходять у вигляді парасольки, розкритої на кут 10–20°. Вихід у вигляді шнура свідчить про надмірне навантаження або занадто малий отвір насадки. Суцільний зворотний злив – ознака засмічення або надмірно малого діаметру насадки [4].

Необхідно регулярно перевіряти густину нижнього продукту. Вона повинна перевищувати густину очищеного розчину на 0,30–0,42 г/см³. Якщо різниця менша – необхідно зменшити діаметр піскового отвору або підвищити тиск. Якщо більша – збільшити діаметр отвору.

4.5.3 Експлуатація центрифуг

Продуктивність центрифуги регулюється зміною частоти подачі живильного насоса. При збільшенні подачі зростає пропускна спроможність, однак знижується ефективність розділення через менший час перебування частинок у полі відцентрових сил. Оптимальний режим підбирається дослідним шляхом за результатами контролю густини продуктів сепарації [2].

Ступінь розбавлення бурового розчину перед подачею до центрифуги визначається його в'язкістю: при умовній в'язкості понад 35 с за ВГ-1 рекомендується розбавлення 1:1 до 1:2; при в'язкості 25 35 с співвідношення 1:0,5 до 1:1. Надмірне розбавлення знижує густину полегшеного продукту і ускладнює подальше відновлення властивостей розчину [2].

Перед кожним пуском центрифуги необхідно: перевірити рівень мастила в підшипниках, упевнитись у відсутності сторонніх предметів у корпусі, перевірити правильність підключення трубопроводів. Пуск виконується на холостому ходу з поступовим (не менше 3 хвилин) виходом на робочу частоту обертання [2].

Подача бурового розчину на обробку здійснюється лише після виходу центрифуги на стаціонарний режим. Для поліпшення умов розділення рекомендується попередньо розбавляти буровий розчин водою у співвідношенні 1:1–1:4 залежно від його в'язкості та густини [2].

При роботі забороняється: перевищувати допустиму подачу (більше 1,5–2,0 л/с); залишати центрифугу без нагляду; допускати нагрів підшипників понад 70 °С; продовжувати роботу при підвищеній вібрації.

4.6 Технічне обслуговування обладнання циркуляційної системи

Система технічного обслуговування (ТО) обладнання циркуляційної системи передбачає проведення планово-попереджувальних заходів з метою підтримання обладнання у справному стані. Відповідно до ДСТУ 2860-94 система ТО включає: щозмінне ТО, щотижневе ТО, місячне ТО та сезонне ТО [5].

4.6.1 Технічне обслуговування вібросит

Щозмінне технічне обслуговування вібросита включає [2]:

– зовнішній огляд та очищення від шламу і бруду;

– перевірку стану та натяжки сіток, при необхідності – заміна;

– перевірку рівня мастила у вібраторах;

– перевірку стану амортизаторів;

– перевірку кріплення всіх болтових з'єднань.

Щотижневе ТО додатково передбачає: мащення підшипників вібраторів відповідно до карти мащення, перевірку стану приводних ремнів, перевірку заземлення та стану електрокабелів. Місячне ТО включає: повне розбирання та промивку вібраторів, заміну мастила, перевірку та при необхідності заміну підшипників. Норма наробку на відмову вібраторів складає не менше 2000 годин [2].

4.6.2 Технічне обслуговування гідроциклонних шламовідділювачів

Щозмінне ТО гідроциклонного шламовідділювача включає:

– промивку гідроциклонів чистою водою після закінчення роботи;

– перевірку стану піскових насадок та їх заміну при зносі більше 10 % від номінального діаметру;

– перевірку стану ущільнень фланцевих з'єднань;

– перевірку роботи шламового насоса.

Термін служби гумових елементів гідроциклонів (піскових насадок) при роботі з необважненим буровим розчином складає 200–500 годин, для обважнених розчинів – 100–200 годин. При використанні поліуретанових елементів цей показник збільшується у 4–9 разів [6].

4.6.3 Технічне обслуговування центрифуг

Щозмінне ТО центрифуги включає:

– зовнішній огляд, перевірку стану ущільнень та відсутності витоків;

– перевірку рівня та стану мастила в підшипниках;

– контроль температури підшипників після 30 хвилин роботи;

– контроль вібрації корпусу (допустима не більше 4 мм/с);

– промивку внутрішніх поверхонь чистою водою після закінчення роботи.

Місячне ТО передбачає: повне розбирання та дефектацію шнека та барабана, перевірку зазорів в підшипниках, заміну зношених накладок на шнеці (критерій – знос понад 50 % початкової товщини). Центрифуги з кожним плановим ТО підлягають динамічному балансуванню ротора, що забезпечує мінімальну вібрацію та тривалий ресурс підшипників [2].

4.7 Характерні несправності та методи їх усунення

Знання характерних несправностей обладнання циркуляційної системи дозволяє своєчасно виявляти відхилення в роботі і вживати заходи до їх усунення. У таблиці 4.1 наведені найбільш поширені несправності та методи їх усунення [1, 2].

Таблиця 4.1 – Характерні несправності обладнання циркуляційної системи та методи їх усунення

Несправність	**Можлива причина**	**Метод усунення**
Вібросито: недостатня ефективність очищення	Занадто крупна сітка або її забивання	Замінити сітку; промивати сітки водою
Вібросито: розрив сітки	Нерівномірна натяжка; абразивний вплив	Рівномірно натягнути або замінити сітку
Вібросито: підвищений шум і вібрація	Дисбаланс вібратора; знос підшипників	Перевірити балансування; замінити підшипники
Гідроциклон: злив пісків шнуром	Завелика концентрація твердої фази; замала насадка	Замінити насадку на більшу; розбавити розчин
Гідроциклон: надмірні втрати розчину	Надто велика піскова насадка	Замінити насадку на меншу
Гідроциклон: знижений тиск на вході	Знос крильчатки насоса; витоки на трубопроводі	Замінити крильчатку; усунути витоки
Центрифуга: підвищена вібрація	Дисбаланс ротора через нерівномірне відкладення	Зупинити, промити ротор, відновити баланс
Центрифуга: перегрів підшипників	Нестача мастила; знос підшипників	Долити мастило; замінити підшипники
Центрифуга: знижена ефективність поділу	Занадто висока в'язкість розчину; низька частота обертання	Розбавити розчин перед подачею; перевірити привід

Правильна діагностика несправностей обладнання вимагає від оператора розуміння фізичних процесів, що відбуваються в апаратах. Зміна характеру виходу шламу з піскового патрубка гідроциклону є одним з найінформативніших оперативних показників стану апарату. Вихід у вигляді сухого шламу свідчить про те, що отвір насадки замалий або подача завелика; вихід у вигляді водяного струменя свідчить про засмічення або надмірний знос насадки.

Для своєчасного виявлення несправностей рекомендується вести журнал технічного стану, в якому щозмінно фіксуються: тиск на вході в батарею гідроциклонів; витрата шламового насоса; характер виходу пісків; час роботи насадок; температура підшипників. Аналіз динаміки показників дозволяє виявити тенденції погіршення стану обладнання до настання аварійної ситуації [5].

Особливої уваги потребує контроль стану футерування гідроциклонів. Рекомендується щотижнево перевіряти внутрішні поверхні і насадки

гідроциклонів за допомогою спеціальних калібрів. Збільшення діаметра насадки більш ніж на 10 % від номінального є підставою для заміни [6]. При роботі з обважненим розчином частота контролю збільшується до щоденної.

4.8 Вимоги безпеки при монтажі та обслуговуванні

При виконанні монтажних та ремонтних робіт на обладнанні циркуляційної системи необхідно дотримуватися вимог Правил безпеки у нафтогазовій промисловості України [3, 5]:

– до самостійного обслуговування допускаються особи, що пройшли навчання, стажування та перевірку знань з безпечних методів праці;

– перед початком ремонтних робіт обладнання вимикають від електромережі, встановлюють плакат «Не вмикати – працюють люди»;

– при роботі з буровим розчином, що містить токсичні компоненти, обов'язкове застосування ЗІЗ (протигаз, захисний костюм, окуляри);

– при монтажі важкого обладнання використовують засоби механізації відповідної вантажопідйомності;

– перебування під піднятим вантажем категорично забороняється.

Планові огляди та ревізії обладнання циркуляційної системи виконуються у суворій відповідності до затвердженого графіку планово-попереджувальних ремонтів. Проведення будь-яких ремонтних робіт фіксується в журналі ТО з підписом відповідального виконавця [5].

Висновки до розділу 3

У розділі розглянуто питання монтажу, експлуатації та технічного обслуговування основних апаратів циркуляційної системи бурової установки: вібраційних сит, гідроциклонних шламовідділювачів та центрифуг.

Встановлено, що ефективна робота циркуляційної системи забезпечується точним дотриманням регламентів монтажу, правильним підбором технологічних режимів та своєчасним проведенням планово-попереджувального технічного обслуговування.

Найбільш відповідальним з точки зору монтажу є встановлення центрифуг, що вимагає ретельного центрування та балансування роторних частин. Найбільш трудомістким з точки зору поточного обслуговування є обслуговування вібросит – через швидке зношування просіюючих сіток в абразивному середовищі бурового шламу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті виконання бакалаврської роботи досягнуто поставлену мету – проведено комплексний аналіз циркуляційної системи бурової установки з детальним вивченням конструкцій і принципів роботи гідроциклонних шламовідділювачів та розроблено рекомендації щодо їх монтажу, технічного обслуговування та безпечної експлуатації.

1. Розглянуто технологічний ланцюг очищення бурового розчину від шламу: вібраційні сита (грубе очищення, понад 450 мкм), гідроциклонні піско- та муловідділювачі (тонке очищення, 25–150 мкм) та центрифуги (до 4 мкм). Показано, що правильне підключення апаратів у технологічній послідовності забезпечує ступінь очищення до 90 %.

2. Систематизовано класифікацію гідроциклонів: за конструкцією (відкриті, напірні, роторні), за кількістю вихідних потоків, за формою корпусу. Для буріння нафтогазових свердловин найбільш ефективними є напірні гідроциклони діаметром 75–150 мм.

3. Виконано порівняльний аналіз матеріалів футерування. Встановлено, що поліуретанова футеровка в 4–9 разів перевищує ресурс сталевих деталей і є оптимальним вибором для апаратів середнього та малого типорозміру. Для великогабаритних апаратів та підвищених температур доцільна керамічна (алюбітова) футеровка з Al_2O_3 понад 92 %.

4. Розроблено послідовність монтажу основних апаратів: вібросит (7 етапів), гідроциклонних шламовідділювачів (8 етапів) і центрифуг (8 етапів). Визначено ключові допуски та вимоги до точності монтажу.

5. Визначено раціональні режими експлуатації: нормальний вихід пісків – «парасолька» 10–20°; перевищення густини нижнього продукту над очищеним – 0,30–0,42 г/см³; вібрація корпусу центрифуги – не більше 4 мм/с.

6. Розроблено систему ТО з щозмінним, тижневим та місячним регламентами. Складено таблицю характерних несправностей (10 позицій) з причинами і методами усунення.

7. Сформульовано вимоги безпеки при монтажі та обслуговуванні відповідно до чинних Правил безпеки у нафтогазовій промисловості України.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Федорович Я. Т. Машини та обладнання для видобутку нафти і газу : навчальний посібник. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2015. 344 с.

2. Баграмов Р. А. Буровые машины и комплексы : учебник для вузов. Москва : Недра, 1988. 501 с.

3. Правила безпеки у нафтогазовій промисловості України : затв. наказом Мінпраці від 25.03.2015 р. № 148. Офіційний вісник України. 2015. № 32. С. 105–142.

4. Середа Н. Г., Соловьев Е. М. Бурение нефтяных и газовых скважин : учебник. Москва : Недра, 1988. 360 с.

5. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. [Чинний від 1996-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 1994. 92 с.

6. Hexmetal – Protective Lining System. Causeway Technology Ltd. URL: https://www.causewaytech.co.uk/hexmetal (дата звернення: 10.03.2025).

7. Алюбітова (керамічна) футерування. Матеріали та застосування. URL: https://www.alotec.com/ceramic-lining (дата звернення: 10.03.2025).

8. Соколов В. И. Современные промышленные центрифуги. Москва : Машиностроение, 1967. 372 с.

9. Петров В. А. та ін. Кам'яне лиття: фізико-механічні властивості та застосування : довідник. Київ : Техніка, 2000. 215 с.

10. Поліуретанові футеровки для гідроциклонів : каталог продукції. URL: https://ntcrti.ru/polyurethane-lining (дата звернення: 12.03.2025).

11. Шибер Л. А., Іванов П. М. Динаміка зносу насадок гідроциклонів в умовах класифікації гідроксиду алюмінію. Збагачення корисних копалин. 2018. Вип. 71. С. 112–119.