

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ГІРНИЧО - МЕТАЛУРГІЙНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА ЗБАГАЧЕННЯ КОРИСНИХ КОПАЛИН І ХІМІЇ

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
до випускної магістерської роботи**

зі спеціальності 184 «Гірництво»  
освітньо-професійної програми  
«Збагачення корисних копалин»

Тема роботи: «Удосконалення технології зворотного водопостачання та складування відходів мокрої магнітної сепарації в умовах ПРАТ «ПВНГЗК»

Виконала: магістранта групи ЗКК-23М \_\_\_\_\_ / Вишневський В.В

Керівник випускної роботи \_\_\_\_\_ / Кушнірук Н.В. /

Нормоконтролер \_\_\_\_\_ / Кушнірук Н.В.

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ / Олійник Т.А. /

Кривий Ріг  
2024 рік  
**Криворізький національний університет**

**Факультет:** гірничо – металургійний  
**Кафедра:** збагачення корисних копалин і хімії  
**Освітньо-кваліфікаційний рівень:** магістр  
**Спеціальність:** (184) Гірництво  
**Освітньо професійна**  
**програма:** «Збагачення корисних копалин»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри ЗККіХ

\_\_\_\_\_ Олійник Т.А.  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**ЗАВДАННЯ**  
на магістерську роботу студенту

**Вишневського Віктора Володимировича**

**1. Тема** Удосконалення технології зворотного водопостачання та складування відходів мокрої магнітної сепарації в умовах ПРАТ «ПІВНГЗК»

**Керівник роботи:** Кушнірук Наталя Володимирівна, канд. техн. наук, доцент

Затверджено наказом по КНУ “28” лютого 2024 року № 184 с

**2. Строк подання здобувачем роботи** «05» грудня 2024 р.

**3. Вихідні дані до роботи:** магнетитові кварцити ПРАТ «ПІВНГЗК»

**4. Зміст пояснювальної записки.** 1. Аналіз сучасного стану теорії та практики зворотного водопостачання та складування відходів мокрої магнітної сепарації. 2. Об’єкт та методи дослідження. 3. Визначення доцільності впровадження обладнання для згущення хвостів мокрої магнітної сепарації. 4. Порівняльний аналіз існуючої та запропонованої технології оборотного водопостачання та складування відходів мокрої магнітної сепарації. 5. Безпека праці при збагаченні магнетитових кварцитів. 6. Розрахунок економічного ефекту залежно від запропонованих заходів.

**5. Перелік графічного матеріалу:** презентація, виконана за

допомогою програми Microsoft Office PowerPoint

### **6. Консультанти розділів роботи**

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-4, 6	Кушнірук Н.В. к.т.н., доцент		
5	Швагенр Н.Ю., проф..		

### **7. Календарний план**

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	Аналіз сучасного стану теорії та практики зворотного водопостачання та складування відходів мокрої магнітної сепарації	28.02.2024-15.04.2024
2	Об'єкт та методи дослідження	15.04.2024-1.05.2024
3	Визначення доцільності впровадження обладнання для згущення хвостів мокрої магнітної сепарації	2.05.2024-30.06.2024
4	Порівняльний аналіз існуючої та запропонованої технології оборотного водопостачання та складування відходів мокрої магнітної сепарації	1.09.2024-30.09.2024
5	Безпека праці при збагаченні магнетитових кварцитів	1.10.2024-30.10.2024
6	Розрахунок економічного ефекту залежно від запропонованих заходів	1.11.2024-30.11.2024
7	Підготовка доповіді. Розробка презентації доповіді	1.12.2024
8	Перевірка роботи на академічну доброчесність	06.12.2024
9	Попередній захист роботи	17.12.2024
10	Захист роботи	18.12.2024

**Дата видачі завдання:** 28 лютого 2024 р.

Здобувач \_\_\_\_\_ Вишневський В.В.

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Кушнірук Н.В.

## РЕФЕРАТ

Випускова робота магістра складається з пояснювальної записки та презентації, яка виконана за допомогою програми PowerPoint. Пояснювальна записка містить 67 сторінок

Об'єкт досліджень: принципова схема складування хвостів і зворотного водопостачання.

Предмет досліджень: вплив гранулометричного складу хвостів збагачення залізної руди на технологічні показники процесу згущення.

Мета дослідження – розробка технологічного рішення по згущенню хвостової пульпи в умовах ПРАТ «ПІВНГЗК».

Дослідження процесів оборотного водопостачання та складування відходів мокрої магнітної сепарації проводились в умовах виробництва ПРАТ «ПІВНГЗК».

Оборотне водопостачання відіграє важливу роль у зниженні споживання свіжої води на збагачувальних фабриках, сприяючи зменшенню екологічного навантаження на природні водні ресурси. Повернення освітленої води з хвостосховищ або згущувальних установок дозволяє ефективно використовувати водні ресурси повторно.

Сучасні підходи до складування відходів забезпечують їх безпечно і економічне зберігання. Використання таких технологій, як пошарове укладання та застосування геосинтетичних матеріалів, сприяє підвищенню стійкості хвостових відвалів і запобігає забрудненню довкілля.

Енергозатрати на перекачування згущеного до 60% продукту становлять лише 3,33 млн кВт·год/рік, а витрати флокулянта для згущення досягають 500 тонн на рік. Запропоновані технологічні рішення спрямовані на зменшення споживання води, підвищення ефективності її очищення і повторного використання, а також на скорочення площ, необхідних для зберігання відходів.

Застосування новітнього обладнання для згущення хвостів дозволяє оптимізувати витрати ресурсів і зменшити екологічний вплив. Це сприяє покращенню систем оборотного водопостачання і впровадженню раціонального управління відходами, знижуючи ризики забруднення навколишнього середовища.

Очікувані результати включають значне скорочення витрат на водопостачання, будівництво та експлуатацію хвостосховищ, а також зростання рентабельності виробництва. Економічний ефект від впровадження складе 20 256 68,5 доларів.

*Ключові слова:* ОБОРОТНЕ ВОДОПОСТАЧАННЯ, ЗНЕВОДНЕННЯ ВІДХОДІВ ЗБАГАЧЕННЯ, ХВОСТОСХОВИЩЕ, ГЛИБОКЕ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ, ШЛАМ, КОМБІНОВАНА СИСТЕМА ВОДОПОСТАЧАННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, КОАГУЛЯЦІЯ ТА ФЛОКУЛЯЦІЯ, РАЦІОНАЛЬНЕ ВОДОКОРИСТУВАННЯ, ТЕХНОГЕННЕ НАВАНТАЖЕННЯ.

## ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕОРІЇ І ПРАКТИКИ ЗВОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА СКЛАДУВАННЯ ВІДХОД МОКРОЇ МАГНІТНОЇ СЕПАРАЦІЇ	7
1.1 Технології зворотного водопостачання на збагачувальн фабриках	7
1.2 Технології складування відходів мокрої магнітної сепарації	11
1.3 Схеми укладання відходів і оборотного водопостачання	16
1.4 Обладнання для транспортування відходів мокрої магнітн сепарації та оборотного водопостачання	19
1.5 Загальні відомості про згущення хвостів і складування згущен хвостів	24
1.6 Висновки до розділу	27
РОЗДІЛ 2 ЗГАЛЬНА МЕТОДИКА ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	28
2.1. Загальна мета дослідження	28
2.2. Основні методи дослідження	30
2.3. Висновки до розділу	30
РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗГУЩЕННЯ, ГІДРОТРАНСПОРТУВАННЯ ТА СКЛАДУВАННЯ ХВОСТІВ ЗБАГАЧЕННЯ В УМОВАХ ПРАТ «ПІВНГЗК».	31
3.1 Літературний аналіз	31
3.2 Фізико-хімічні дослідження	32
3.3 Експериментальні дослідження	34
3.4 Математичне моделювання	37
РОЗДІЛ 4 ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ ТА ЗАПРОПОНОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЗВОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА СКЛАДУВАННЯ ВІДХОДІВ МОКРОЇ МАГНІТНОЇ СЕПАРАЦІЇ.	40
4.1 Технологічна схема ПРАТ «ПІВНГЗК»	40
4.2 Нове проектне рішення	49
4.2.1 Обґрунтування доцільності згущення хвостів	51
4.2.2 Розрахунок оптимальних технологічних показників процесу згущення хвостової пульпи та вибір оптимального типорозміру згущувачів	52
РОЗДІЛ 5 БЕЗПЕКА ПРАЦІ ПРИ ЗБАГАЧЕННІ МАГНЕТИТОВИХ КВАРЦИТІВ	55
РОЗДІЛ 6 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ	59
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	65

## ВСТУП

**Актуальність дослідження.** Мокра магнітна сепарація є одним із ключових процесів у гірничозбагачувальній галузі, що дозволяє ефективно отримувати корисні компоненти з руди. Цей процес вимагає великих обсягів технічної води для зберігання, розділення та транспортування матеріалів, внаслідок чого генерується значний об'єм відходів. Відходи, що утворюються при вологій магнітній сепарації, є складними сумішами мінералів і води, які вимагають спеціальних технологій для їх зневоднення та складування. Недостатня ефективність традиційних методів зневоднення, таких як гравітаційне згущення або відстійники, призводить до подальших втрат води та труднощів в утилізації шламів. Існуючі технології водоочищення та багаторазового використання води часто забезпечують недостатню ефективність, що призводить до надмірних витрат води та електроенергії.

Ще однією першочерговою проблемою утилізації відходів вологої магнітної сепарації є значні площі під місце зберігання цих відходів. Застарілі методи складування відходів не відповідають сучасним екологічним нормам і створюють ризики деградації екосистеми.

В умовах зростання вимог до безпеки підприємств та помірною використання ресурсів актуальність теми роботи зростає.

Сучасні підприємства прагнуть зниження виробничих витрат, що робить впровадження економічних систем оборотного водопостачання перспективним напрямком операційних покращень. Збалансований підхід до управління водними ресурсами та відходами може стати обов'язковою конкурентною перевагою для гірничозбагачувальних компаній.

**Мета роботи:** розробка технологічного рішення по згущенню хвостової пульпи в умовах ПРАТ «ПВНГЗК»..

**Об'єкт дослідження:** принципова схема складування хвостів і зворотного водопостачання.

**Предмет дослідження:** вплив гранулометричного складу хвостів збагачення залізної руди на технологічні показники процесу згущення.

**Завдання досліджень:**

- аналіз існуючих технологій згущення хвостової пульпи;
- вивчення речовинної бази, технологічних властивостей магнетитових кварцитів Першотравневого кар'єру;
- дослідження властивостей відходів мокрої магнітної сепарації в умовах ПРАТ «ПВНГЗК»;
- оптимізація системи складування відходів;

- удосконалення системи оборотного водопостачання;
- експериментальне підтвердження;
- екологічна та економічна оцінка;
- рішення розробки;

**Методи дослідження.** Оптимізація методів відбору води із шламів для їх використання згодом у технологічному циклі; вибір обладнання та технологій, забезпечення максимального ступеня зневоднення за мінімальних витрат енергії; Розробка екологічно безпечних методів складування зневоднених відходів, які фіксують ризик забруднення навколишнього середовища та зменшення обсягу рідких відходів, які потребують розміщення; впровадження сучасних технологій очищення води (коагуляція, флотація, мембранні методи) для забезпечення її повторюваності для повторного Мінімізація використання свіжої води за рахунок підвищення частки оборотної води на виробництві Підвищення економічної ефективності: Скорочення витрат на управління Зниження витрат на будівництво та обслуговування хвостосховищ за рахунок зменшення їхньої площі

**Практичне значення роботи.** За результатами досліджень пропонується впровадження розробленої технології у створення надійної інфраструктурно-ощадної бази, щоб дозувати зменшення витрат на водопостачання, підвищити ефективність управління відходами та знизити екологічні вимоги.

# РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕОРІЇ І ПРАКТИКИ ЗВОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА СКЛАДУВАННЯ ВІДХОДІВ МОКРОЇ МАГНІТНОЇ СЕПАРАЦІЇ

## 1.1. Технології зворотного водопостачання на збагачувальних фабриках

Вода є незамінним елементом технологічних процесів збагачення корисних копалин, включаючи мокру магнітну сепарацію, флотацію та промивання руд. При цьому у значних обсягах забрудненої води містяться зважені частинки, дрібнодисперсні шлами, розчинені тверді речовини та залишки хімічних реагентів. Без повторного використання така вода перетворюється на рідкі відходи, що вимагають дорогого очищення [1, 4]. Системи замкнутого водопостачання дозволяють багаторазово використовувати воду у технологічних процесах після її попереднього очищення. Це дозволяє значно скоротити обсяг свіжої води, необхідної для роботи підприємств, що є особливо важливим у регіонах з обмеженими водними ресурсами [7, 9].

Вибір схеми водопостачання збагачувальної фабрики залежить від багатьох факторів, зокрема: розташування та продуктивності джерела води, технології збагачення корисних копалин, якості води та можливості її повторного використання [10]. Головна мета системи водопостачання збагачувальних фабрик – забезпечення стабільної та рівномірної подачі води у необхідній кількості та якості [6].

Оборотне водопостачання передбачає часткове або повне використання очищених стоків, що дозволяє зменшити споживання свіжої води, скоротити кількість стічних вод і знизити екологічне навантаження [2]. Залежно від технологічних особливостей, оборотні системи поділяються за двома критеріями:

Метод очищення води – прості замкнуті системи та системи з глибоким очищенням [11].

Ступінь замкнутості циклу – повністю замкнуті або частково замкнуті системи [14].

Проста замкнута система

У цій системі вода, забруднена твердими частинками, збирається у відстійниках або згущувачах, де тверда фаза осідає під дією гравітації [5]. Освітлена вода накопичується у верхньому шарі відстійника, а осілий шлам відводиться для складування або додаткового зневоднення [8]. Очищена вода знову подається у технологічний процес, що мінімізує використання нової води і кількість відходів [15].



Таблиця 1.1 - Вимоги до якості води, яка використовується в системах оборотного водопостачання збагачувальних фабрик (за даними інституту Механобрчермет)

Показники	Залізні руди			Марганцеві руди	
	Методи збагачення				
	мокра магнітна сепарація	пряма флотація	зворотна флотація	Гравітаційно-магнітне збагачення	флотація
Температура °С, не нижче	+4	+4	+4	+4	+4
Вміст зважених речовин в оборотній воді, міліграм/кг: згущувачів і хвостосховища	не вище 1000	не вище 1000	не вище 1000	не вище 1000	не вище 600
для I стадії подрібнення і класифікації	2500	2500	2500	3000	.
Вміст масел і смоло-подібних продуктів (ефіророзчинних), міліграм/кг	.	50-60	7-8	.	137
Концентрація водневих йонів рН, не вище	8,2	8,5	11	8,2	8,2
Твердість, мг-екв/кг:					
спільна	34	22	10	31	31
карбонатна	3	3	.	.	.
Лужність спільна або сума лугів, мг-екв/кг	.	.	.	3-4	3-4
Мінеральний залишок, міліграм/кг	9285	4500	2400	до 10000	не вище 6000
Ca <sup>2+</sup>	2750	200	180	220	220
Mg <sup>2+</sup>	247	150	12	240	240
Cl	5250	2100	760	1100	1100
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	706,9	800	1600	1950	1950
поверхнево-активних речовин	.	50-60	8-10	25	137
речовин, що заважають повторному використанню води, мг-екв/кг	.	SiO <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> +CO <sub>3</sub>	.	.
Хімічне споживання кисню (ХСК), мг O <sub>2</sub> /кг	.	.	до 10,0	160	200-300

Система складається з відстійників, насосного обладнання, резервуарів і шламопроводів. Така конструкція проста у впровадженні та експлуатації, але має обмеження: вона не видаляє дрібнодисперсні частинки і розчинені домішки, які можуть накопичуватися в циклі та знижувати ефективність процесів [3, 6]. Значна площа, необхідна для відстійників, та потреба у контролі за шламами також створюють додаткові виклики [9].

Хвостосховища є ключовою частиною таких систем. У них збирають воду з шахт, кар'єрів, промислових стоків та очищені побутові води. Їх зазвичай розташовують у природних зниженнях рельєфу (ущелинах, улоговинах) і захищають дамбами [7, 12].

Типи хвостосховищ:

Намивні – поступове нарощування дамби із самого хвостового матеріалу.

Напливні – будівництво дамби одразу до проектної висоти.

Без дамб – використовуються природні бар'єри без додаткових огорожень.

Намивні хвостосховища є найпоширенішими завдяки економічності та можливості їх одночасної експлуатації і нарощування за технологією "картового намиву" [10, 14].

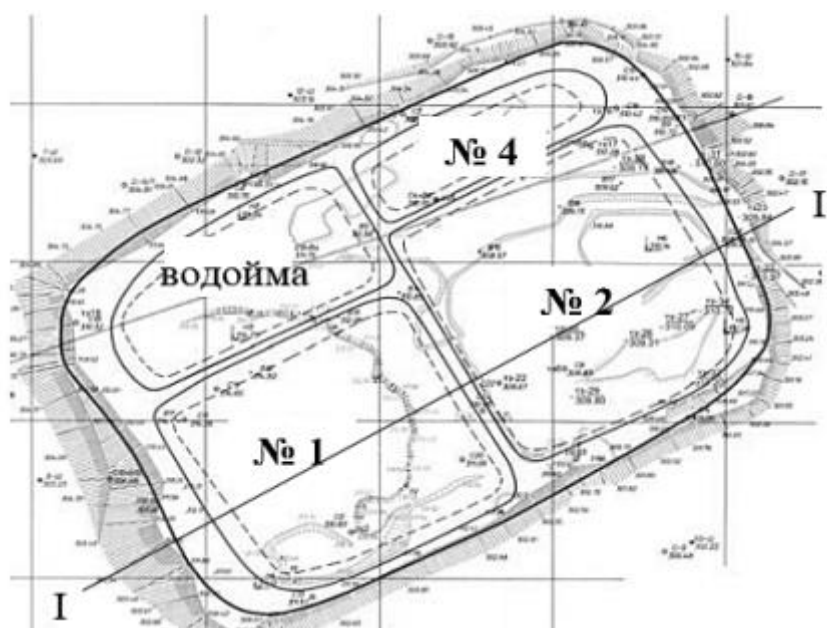


Рисунок 1.1. - Узагальнена будова намывного хвостосховища:

Система з глибоким очищенням оборотної води.

Являє собою складніший і ефективніший варіант системи водопостачання, що використовується на збагачувальних фабриках. Ця система забезпечує високий рівень очищення води, що дозволяє повторно використовувати її навіть у процесах з жорсткими вимогами до якості [5]. Її головна мета — максимально очистити забруднену воду, що надходить із виробничого циклу, і повернути її назад у технологічний процес,

відстежуючи чи мінімізуючи скидання у навколишнє середовище [8, 13]. Це особливо важливо в умовах жорстких екологічних вимог та дефіциту водних ресурсів [15].

Технологічна схема системи глибокої очистки води:

- освітлення води;
- коагуляція та флокуляція;
- флотація;
- фільтрування;
- хімічна обробка.

На етапі освітлення води видаляються великі зважені частинки, такі як пісок та шлам. Забруднена вода прямує у відстійники, де під силою тяжіння важкі частинки осідають на дно, а освітлена вода піднімається нагору. Для ефективнішого осадження іноді застосовують флокулянти, що сприяють укрупненню дрібних частинок [3, 7]. У деяких випадках використовуються гідроциклони, де частинки осідають під відцентровою силою [8].

На етапі коагуляції видаляються дрібнодисперсні домішки, які не осідають у відстійниках. У воду додаються коагулянти, такі як сульфат або хлорне залізо, які руйнують колоїдні структури забруднень, сприяючи їх укрупненню. Потім додаються флокулянти - полімерні речовини, що з'єднують дрібні частинки більші агрегати (флокули). Флокули, що утворилися, осаджуються або легко видаляються на наступному етапі обробки, покращуючи якість води і знижуючи навантаження на основних процесах [6, 12].

Флотація призначена для видалення дрібнодисперсних домішок, масел та забруднень, які важко видалити осадженням. На цьому етапі у воді утворюються дрібні бульбашки повітря, які прикріплюються до забруднювачів, піднімаючи їх на поверхню. Піна, що утворюється на поверхні, насичена забрудненнями, механічно видаляється за допомогою скребків [9].

На етапі фільтрації вода проходить через фільтруючі матеріали для видалення дрібних частинок, що залишилися, і певних забруднень. Найчастіше використовуються піщані фільтри, які затримують зважені домішки, і вугільні фільтри, що затримують органічні речовини та запахи [5, 10]. Для механічної очистки великих частинок застосовуються сітчасті або пористі фільтри. Цей етап дозволяє досягти високого ступеня прозорості води [8].

На етапі хімічної обробки коригується склад води відповідно до вимог технології. Нейтралізація рН з додаванням кислот або лугів для усунення кислотно-лужного дисбалансу. Для видалення розчинених солей застосовуються реагенти, що сприяють їхньому осадженню, або мембранні технології, такі як зворотний осмос. Також проводиться дезінфекція з використанням хлору, озону чи ультрафіолетового випромінювання для знищення хімічних речовин, що завершує процес [13, 14].

Комбінована система оборотного водопостачання є гібридною моделлю, яка поєднує в собі елементи простої замкнутої системи та системи з глибоким очищенням. Її застосування обумовлене необхідністю ефективної обробки води

з різнорідними забрудненнями при мінімальній витраті ресурсів [6]. Цей підхід особливо актуальний для збагачувальних фабрик, де вода зазнає інтенсивного забруднення мінеральними та органічними речовинами, що потребують різних методів очищення [10, 15].

Комбінована система включає два основні рівні очищення: первинний та вторинний. Основним методом первинного очищення є осадження твердих частинок у відстійниках. Забруднена вода надходить у резервуар, де великі частинки (пісок, шлами,) осідають на дно під впливом сили тяжіння [9, 11].

Альтернативою чи доповненням до відстійників є гідроциклони. В них вода закручується у вихровому потоці, а важкі частки викидаються до стінок пристрою, після чого осідають і видаляються. Гідроциклони є особливо ефективними для обробки води з високою концентрацією твердих речовин [4, 7].

Для підвищення ефективності первинної очистки можуть використовувати фізико-хімічні методи, такі як введення флокулянтів. Ці речовини забезпечують агрегацію дрібних частинок і їх осадження [12]. Видалені тверді забруднення переміщуються і прямують на подальшу переробку чи складування. Освітлена вода першого рівня прямує на вторинні етапи очищення, де видаляються дрібніші або розчинені забруднення.

Другий рівень очищення води спрямований на видалення дрібнодисперсних частинок, колоїдних домішок, розчинених органічних речовин та видалення домішок, які не були усунені на первинному рівні. Цей етап необхідний досягнення високої якості води, яку можна повторно використовувати у технологічних процесах [13].

Цей рівень є обов'язковим для промислових підприємств з переробки руди, оскільки тут видаляється переважна більшість мінеральних домішок. Надійність роботи на першому рівні безпосередньо впливає на ефективність системи оборотного водопостачання [14, 15].

## **1.2 Технології складування відходів мокрої магнітної сепарації**

Відходи, які утворюються в процесі мокрої магнітної сепарації (хвости) є сумішшю води та дрібнодисперсних твердих частинок (шламів), вимагають особливого підходу до транспортування та складування, щоб мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище та оптимізувати виробничі витрати [1, 4]. Відходи у вигляді пульпи транспортуються у хвостосховище [3, 7].

### *Гідравлічне транспортування пульпи.*

Гідравлічне транспортування пульпи є процесом переміщення дрібних мокрих відходів з збагачувального цеху в хвостосховище через трубопроводи з використанням насосного обладнання. Цей метод ефективний під час роботи з великими обсягами відходів, оскільки дозволяє мінімізувати витрати на транспортування [5]. Пульпа складається із суміші води та твердих частинок різної крупності, причому її характеристики визначають вибір насосів та параметри транспортування [8].

Для переміщення пульпи найчастіше використовуються відцентрові або шламові насоси, які мають високу стійкість до абразивного впливу твердих частинок. Ключовим параметром пульпи є щільність: оптимальна консистенція дозволяє уникнути забивання трубопроводів та забезпечує стабільний потік [9]. Транспортування може здійснюватися на великі відстані, що важливо при розташуванні хвостосховищ далекої від фабрики [11].

Швидкість потоку регулюється таким чином, щоб мінімізувати зношування труб і насосів. Якщо швидкість надто низька, важкі частки можуть осідати в трубах, створюючи пробки. Якщо швидкість надмірно висока, це збільшує знос устаткування [6].

Гідравлічне транспортування вимагає регулярного моніторингу стану трубопроводів для запобігання їх руйнуванню під впливом абразивних частинок [10].

Також важливо враховувати зміну властивостей пульпи у процесі транспортування, наприклад, її схильність до згущення [12].

Однією з переваг методу є його відносна екологічна безпека: відходи транспортуються в закритій системі, що виключає їхню пряму взаємодію з довкіллям. Однак при розривах труб можливі витіки, що потребує швидкої локалізації та ремонту [14].

Транспортування пульпи також передбачає проектування системи з урахуванням перепадів висот на місцевості. Для подолання підйомів встановлюються додаткові станції насосів. Ефективне транспортування пульпи відіграє ключову роль у загальній системі управління відходами збагачувальної фабрики.

#### *Осадження частинок у басейнах хвостосховищ*

У хвостосховищі пульпа надходить для поділу твердої та рідкої фаз шляхом гравітаційного осадження. Цей процес ґрунтується на природному осіданні частинок під дією сили тяжіння [7]. Осадження залежить від розміру частинок: великі частинки осідають швидше, тоді як дрібнодисперсні вимагають більше часу для осадження [5].

Для підвищення ефективності осадження пульпи хвостосховища проектується з урахуванням їх глибини, площі та характеристик відходів, що надходять. Глибокі басейни сприяють осіданню великих частинок, тоді як широкі мілководні ділянки дозволяють затримувати дрібнодисперсні шлами [9].

Важливо контролювати рівномірність подачі пульпи до хвостосховища, щоб уникнути ерозії берегів та надмірного накопичення шламу в окремих ділянках. Для цього використовуються розподільні системи, що забезпечують рівномірний розподіл потоку. Ці системи відіграють ключову роль в управлінні дрібними мокрими відходами, оскільки дозволяють організувати оптимальні умови для їх укладання, мінімізуючи ризик навантаження окремих ділянок та руйнування інфраструктури. Розділові системи включають кілька ключових елементів:

розподільні труби – основний елемент, яким пульпа транспортується до хвостосховища. Вони виготовляються з міцних матеріалів, таких як сталь з

покриттям або поліетилен, стійкий до корозії та абразивної дії. Для їх укладання можуть використовуватися стаціонарні та ковзні опори, що забезпечують стійкість трубопроводів. Труби укладаються вздовж берегів хвостосховища чи у його центрі, забезпечуючи подачу пульпи в певні зони.

форсунок та розподільники – встановлені на трубах, регулюють подачу пульпи, змінюючи швидкість та напрямок потоку. Це дозволяє уникнути локального перевантаження хвостосховища та рівномірно розподілити відходи.

Типи форсунок: вузконаправлені – для подачі в конкретні точки, використовуються для подачі пульпи до віддалених зон, ширококутні - для рівномірного покриття великих ділянок, забезпечують рівномірний розподіл поблизу точки подачі. Виготовляються із міцних та стійких до абразивного зносу сплавів або полімерів.

Клапани та заслінки – ці елементи регулюють потоки пульпи, дозволяючи перенаправляти їх у різні зони хвостосховища. Типи клапанів: запірні клапани для перекриття потоку, регулюючі клапани контролю швидкості подачі пульпи. Особливості конструкції - герметичність для запобігання витоків, простота механізму керування для оперативного налаштування параметрів подачі.

Бічні канали або жолоби – ці елементи направляють потоки пульпи у необхідні зони, забезпечуючи рівномірний розподіл матеріалу площею хвостосховища. Жолоби можуть бути відкритими або покритими захисними екранами, що запобігають розмиву при інтенсивних потоках. Бічні канали часто мають похилу поверхню для керування швидкістю потоку. Виготовляються з бетону, металу або армованого поліетилену, стійких до зношування та дії хімічних речовин.

Вузли підключення та розподілу – забезпечують зв'язок насосного обладнання з розподільчими трубами, а також їх поділ на кілька потоків для подачі у різні ділянки. Включають розгалужувачі та сполучні елементи, стійкі до високого тиску та абразивних середовищ. Оснащені системою швидкого відключення, що полегшує обслуговування та ремонт.

Фільтруючі пристрої – встановлюються для запобігання попаданню великих частинок у розподільчу систему, що може призвести до засмічення форсунок та клапанів. Представляють собою сітки або фільтри з міцного металевого матеріалу, здатні витримувати високу швидкість потоку.

Опори та фіксатори – забезпечують стійкість труб та інших елементів системи, запобігаючи їх зсуву під впливом потоку пульпи або зовнішніх факторів. Опори застосовуються стаціонарні - для фіксованого укладання трубопроводів і рухливі - для зміни кута подачі або перенаправлення потоків. Опори виготовляються з корозійностійких матеріалів, таких як оцинкована сталь або армований бетон.

Системи автоматичного управління – призначені для моніторингу та управління розподільчими системами в реальному часі. Включають в себе такі елементи: датчики тиску та швидкості потоку, електронні регулятори клапанів та заслінок, центральний пульт керування для налаштування роботи усієї системи.

Параметри осадження визначаються швидкістю подачі пульпи, її щільністю та концентрацією твердої фази. Оптимізація цих факторів дозволяє досягти максимальної ефективності процесу [5, 9].

Внаслідок осадження на дні хвостосховища формується шар шламу, який згодом ущільнюється під власною вагою. Освітлена вода з верхніх шарів збирається і може бути спрямована на повторне використання в системі оборотного водопостачання [3, 6].

Особлива увага приділяється запобіганню вимиванню частинок з хвостосховища при сильних опадах або розливах. Для цього встановлюються дамби та фільтрувальні пристрої. Крім того, осадження може бути прискорене за рахунок додавання коагулянтів або флокулянтів, які сприяють об'єднанню дрібних частинок у більші агрегати [7, 12].

Ефективне осадження в хвостосховищі відіграє ключову роль в управлінні відходами, оскільки дозволяє не тільки відокремити тверду фазу, але й підготувати освітлену воду для повторного використання.

#### *Технології укладання відходів*

Укладання дрібних мокрих відходів у хвостосховищах здійснюється з метою їхнього рівномірного розподілу, зменшення об'єму рідини та підвищення стійкості дамб. Однією з найпоширеніших методів є картове укладання, коли хвостосховище ділиться на декілька ділянок (карт), які обнесені дамбами. Карти заповнюються по черзі, що дозволяє одночасно осаджувати частинки, укладати шлами та збирати освітлену воду [8, 10]. Цей метод знижує ризик розмиву та дозволяє більш ефективно керувати процесом складування відходів.

Ще одним підходом є пошарова укладання, при якому відходи розподіляються рівномірними шарами. Кожен шар осідає і частково зневоднюється, після чого на нього укладається наступний. Це дозволяє підвищити щільність шламу та стійкість усієї структури. Для прискорення зневоднення іноді використовують геотекстильні матеріали, через які фільтрується вода. Вони сприяють зміцненню шару укладки і запобігають його розмив [11].

Укладання відходів також включає будівництво та зміцнення дамб, що запобігають розливам та руйнуванню хвостосховищ. Геосинтетичні матеріали, що використовуються для зміцнення, забезпечують герметичність та стійкість споруд.

#### *Зневоднення шламів*

Зневоднення дрібних мокрих відходів (шламів) є важливим етапом управління хвостосховищами, оскільки дозволяє зменшити обсяг рідкої фази, підвищити щільність шламу та забезпечити його стійкість. Цей процес може здійснюватися як природним, так і механічним шляхом, залежно від конкретних умов та вимог підприємства [7].

Природне зневоднення відбувається за рахунок випаровування води під впливом сонячного тепла і просочування рідини в ґрунт. Цей метод є

економічним, але потребує значних часових витрат і підходить лише для регіонів із сухим кліматом [10, 13].

Для прискорення процесу застосовуються механічні зневоднення, такі як фільтр-преси, центрифуги або геотекстильні контейнери. Фільтр-преси стискають шлам, вичавлюючи з нього воду, що дозволяє отримати осад з низькою вологістю. Центрифуги використовують відцентрову силу для поділу твердої та рідкої фаз [9, 14].

Використання геотекстильних контейнерів полягає в тому, що шлам поміщається в спеціальні мішки з матеріалу, що фільтрує, який пропускає воду, але затримує тверді частинки. Це дозволяє прискорити зневоднення, зберігаючи структурну цілісність шламу.

Зневоднення дозволяє зменшити обсяг відходів і знижує ризик забруднення довкілля. Сухі шлами легше складувати, їхня стійкість до розмиву значно вища. Крім того, процес зневоднення дозволяє повернути частину води до системи оборотного водопостачання.

Для підвищення ефективності зневоднення можуть застосовуватися хімічні реагенти, такі як флокулянти, які сприяють укрупненню частинок та швидшому відділенню води.

Зневоднення шламів вимагає постійного контролю, оскільки його ефективність залежить від складу відходів, кліматичних умов та характеристик обладнання. Цей етап відіграє ключову роль у забезпеченні екологічної безпеки хвостосховищ та збільшенні терміну їх експлуатації.

#### *Екологічні аспекти*

Процеси укладання дрібних мокрих відходів вимагають суворого дотримання екологічних норм, щоб мінімізувати вплив на довкілля. Однією з головних завдань є запобігання витоку відходів з хвостосховищ. Для цього використовуються герметичні греблі, укріплені геосинтетичними матеріалами, які виключають проникнення забруднень у ґрунт та водоймища [5, 8]. Вода, відокремлена від шламів, збирається та прямує на повторне використання. Це дозволяє скоротити споживання свіжої води, зменшити обсяг стічних вод та знизити навантаження на природні водні ресурси [13]. Контроль за якістю води, що повертається до системи, здійснюється за допомогою хімічного аналізу. Це необхідно для запобігання нагромадженню шкідливих речовин в оборотній системі водопостачання.

Для запобігання забрудненню повітря використовується метод зволоженого укладання шламів. Волога утримує частинки, запобігаючи їх роздмухуванню вітром. При необхідності застосовуються системи пилоподавлення, наприклад, розпилення води або використання спеціальних покриттів.

Особлива увага приділяється утилізації шламів, що містять небезпечні речовини, такі як важкі метали. Такі відходи вимагають особливих умов зберігання, включаючи використання ізольованих карт та додавання стабілізуючих матеріалів.

Дотримання екологічних стандартів включає рекультивацію хвостосховищ після завершення їх експлуатації. Це може включати покриття



шламів ґрунтом, посадку рослинності та створення герметичних екранів, що запобігають контакту з навколишнім середовищем.

Екологічна безпека укладання відходів має не тільки природоохоронне, а й економічне значення, оскільки недотримання норм може призвести до штрафів та додаткових витрат на ліквідацію забруднень.

#### *Економічна ефективність*

Грамотна організація укладання дрібних мокрих відходів дозволяє значно скоротити витрати на управління хвостосховищами. Одним із ключових аспектів економічної ефективності є зниження обсягів свіжої води за рахунок повторного використання очищеної води з хвостосховищ [9, 12].

Технології пошарового укладання та зневоднення відходів збільшують щільність шламів, що дозволяє використовувати хвостосховища довше, не створюючи необхідності будівництва нових об'єктів [6]. Це особливо важливо для підприємств з обмеженими територіями.

Використання сучасних методів транспортування та укладання шламів, таких як гідравлічне транспортування та геотекстильні фільтри, знижує витрати на експлуатацію обладнання та обслуговування інфраструктури [6, 8]. Крім того, зменшення обсягів стічних вод та зниження екологічних ризиків дозволяє уникнути витрат на усунення наслідків забруднення навколишнього середовища. Це включає мінімізацію штрафів за порушення екологічних норм та витрат на ліквідацію витоків [9, 13].

Інвестиції у системи зневоднення шламів і зміцнення гребель окупаються за рахунок зменшення витрат утримання хвостосховищ і збільшення їх терміну служби [7]. Сучасні системи моніторингу стану відходів та інфраструктури дозволяють ефективно керувати процесами укладання та запобігати аварійним ситуаціям [10, 12].

Економічна ефективність забезпечується завдяки підвищенню стійкості хвостосховищ до зовнішніх впливів, таких як опади або землетруси. Це знижує ймовірність руйнувань, які можуть спричинити значні витрати [5, 11].

Таким чином, процеси укладання дрібних мокрих відходів, засновані на сучасних технологіях та підходах, дозволяють забезпечити не лише екологічну, а й економічну стійкість збагачувальних фабрик [14, 15].

### **1.3. Схеми укладання відходів і оборотного водопостачання**

Схеми укладання відходів і оборотного водопостачання розрізняються за способом транспортування відходів, методами осадження твердої фази, організації збирання та повернення води у технологічний процес [5, 7].

#### *Схема 1: Гідравлічний транспорт та осадження.*

Ця схема призначена для фабрик, що працюють із мокрими методами збагачення, такими як флотація або магнітна сепарація. Відходи, що є сумішшю води і дрібних частинок, транспортуються напірними насосами в басейн-сховище [8]. Тверда фаза осідає на дно басейну, а освітлена вода збирається на поверхні.

Через колодязі та колектори освітлена вода подається назад на фабрику для повторного використання [9]. При даній схемі не застосовуються

флокулянти, оскільки процес заснований на природному осадженні частинок [10].



Рисунок 1.3 - Схема 1: гідравлічний транспорт та осадження.

*Схема 2: Із застосуванням флокулянтів.*

Подібна до схеми 1, але з додаванням флокулянтів для поліпшення осадження дрібнодисперсних частинок [11]. До пульпи додають спеціальні речовини, які сприяють укрупненню частинок. Прискорюється процес осадження твердої фази, що покращує якість води та збільшує її обсяг для повторного використання [12].

Використовується у випадках, коли дрібнодисперсні частинки вимагають додаткової обробки для осадження [13].

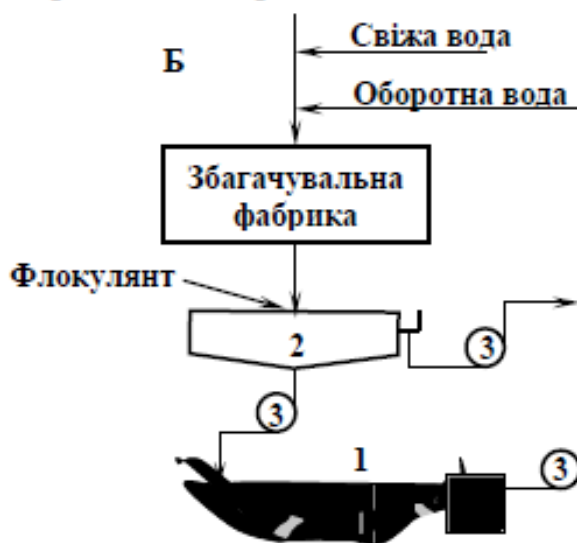


Рисунок 1.4 - Схема 2: із застосуванням флокулянтів.

*Схема 3: Згущувач і конвеєрна подача*

Використовується на підприємствах, де відходи проходять попереднє згущення [6]. Відходи проходять через радіальні або циліндричні пристрої, що згущують. Загущені матеріали рухаються за допомогою стрічкових конвеєрів на відвал [8]. Злив радіального згущувача надходить до системи оборотного водопостачання [9].

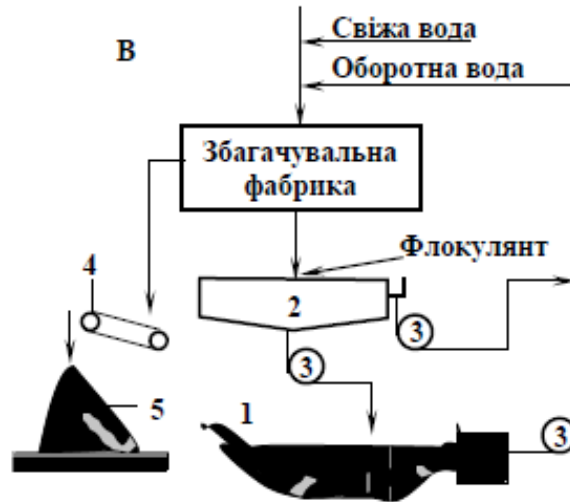


Рисунок 1.5 - Схема 3: згущувач і конвеєрна подача.

*Схема Г: Комбіноване використання методів.*

Ця схема включає елементи попередніх підходів, але з можливістю зміни конфігурації в залежності від рівня забруднення води та характеристик відходів [7].

Схема поєднує осадження твердих частинок та механічне зневоднення [10].

Гнучкість даної системи дає можливість використання як освітленої води, так і води з додаванням реагентів для оборотного водопостачання [11]. Наведена схема застосовується на підприємствах із змінною структурою відходів [12].

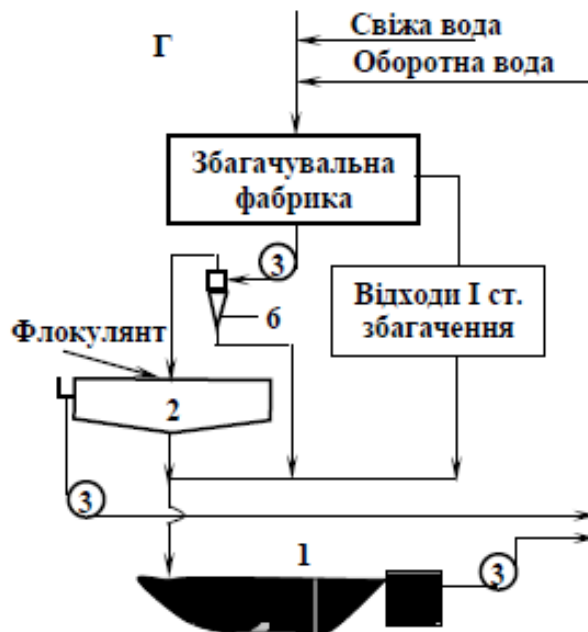


Рисунок 1.6 - Схема 4 комбіноване використання методів.

#### 1.4 Обладнання для транспортування відходів мокрої магнітної сепарації та оборотного водопостачання.

Основним видом обладнання для транспортування хвостів є насоси, які мають спеціалізовану конструкцію, що забезпечує стійкість до високих навантажень, спричинених абразивним впливом частинок [1, 6]. Головним завданням насосів для перекачування пульпи є надійне транспортування матеріалу від збагачувального обладнання до хвостосховища або інших етапів переробки [5]. Всі насоси для перекачування пульпи розробляються з урахуванням специфіки середовища, забезпечуючи стійкість до зношування, корозії та механічних пошкоджень [9]. Вони є ключовими елементами в системах транспортування, дозволяючи підприємствам працювати стабільно та з мінімальними екологічними ризиками [3]. Розрізняють наступні види насосів.

##### *Відцентрові насоси для пульпи.*

Відцентрові насоси є ключовим типом обладнання, яке використовується для перекачування пульпи зі збагачувальної фабрики до хвостосховищ, згущувачів або іншим точкам системи [4]. Принцип роботи таких насосів заснований на створенні відцентрової сили, яка виникає при обертанні робочого колеса, що дозволяє переміщати суміш води і твердих частинок [8].

Головною перевагою відцентрових насосів є їхня висока продуктивність і здатність підтримувати стабільний потік на значних відстанях [10]. Їх конструкція включає корпус, робоче колесо, вал та ущільнювальні елементи, виконані з матеріалів, стійких до абразивного зношування, таких як хромовані сплави, поліуретан або нержавіюча сталь [11]. Ці матеріали запобігають передчасному зносу обладнання при контакті з дрібнодисперсними частинками [13].

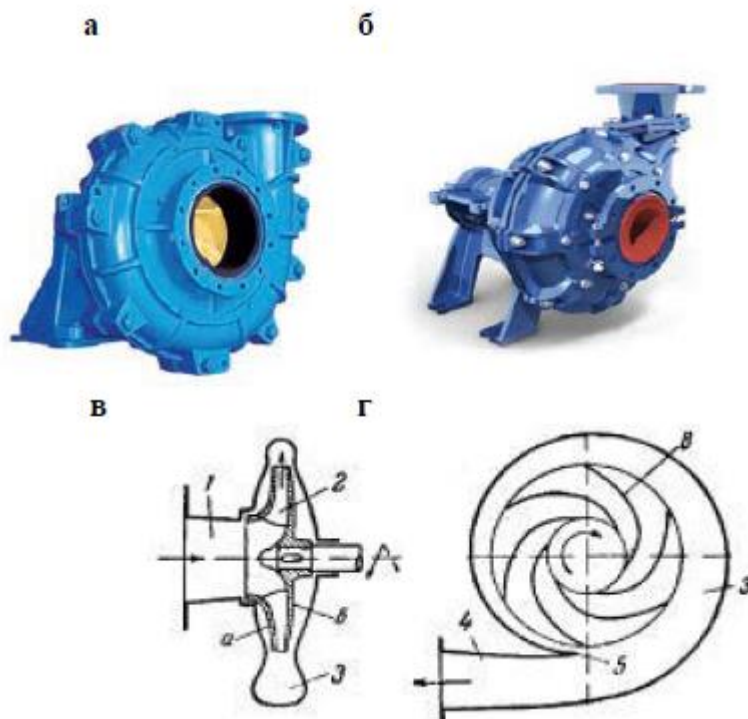


Рисунок 1.7 - Схема відцентрованого насоса: а, б – загальний вигляд;

в – передній диск; г – задній диск; в – лопаті; 1 – підвід; 2 – робоче колесо; 3 – відвід; 4 – дифузор; 5 – язик.

Особливістю відцентрових насосів є збільшений діаметр проточної частини, який запобігає засміченню системи. Лопаті робочого колеса мають гідродинамічну форму, що зменшує втрати енергії та підвищує ефективність перекачування. Це особливо важливо при транспортуванні пульпи високої щільності, оскільки таке середовище створює значне навантаження на насос. Ці насоси також можуть бути обладнані різними типами приводів: електричними, гідравлічними або дизельними, що забезпечує їхню універсальність та адаптивність до різних умов експлуатації. Для підвищення надійності роботи насоси комплектуються датчиками тиску та температури, які дають змогу контролювати параметри системи в режимі реального часу. Відцентрові насоси часто використовуються на початкових етапах транспортування, де потрібна висока швидкість подачі пульпи. Вони інтегруються у системи рециркуляції, повертаючи оброблену пульпу назад у процес чи транспортуючи її у віддалені зони хвостосховищ. Застосування таких насосів знижує витрати на транспортування та збільшує ефективність переробки відходів. Регулярне технічне обслуговування відцентрових насосів включає перевірку стану робочого колеса, валу та ущільнювальних елементів. Це дозволяє запобігти витоків, поломкам і підтримувати стабільну роботу обладнання. Для покращення експлуатаційних характеристик деякі насоси оснащуються додатковим захистом у вигляді полімерних чи керамічних покриттів.

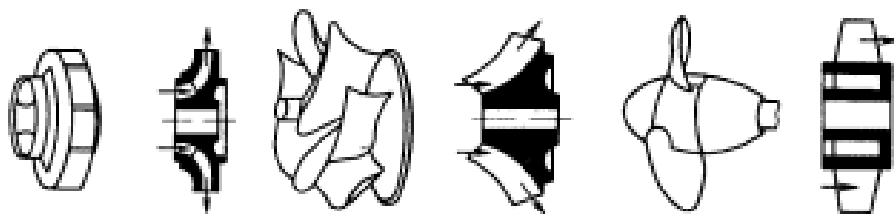


Рисунок 1.8 - Типи робочих коліс відцентрованого насоса.

#### *Шламові насоси.*

Шламові насоси призначені для перекачування густих та в'язких рідин, що містять велику кількість твердих частинок [7]. Вони активно застосовують у системах транспортування відходів на збагачувальних фабриках, де пульпа має високу концентрацію твердої фази [9]. Конструкція таких насосів включає посилені робочі елементи, виготовлені з матеріалів, стійких до абразивного зношування, таких як міцні сплави або гума [8].

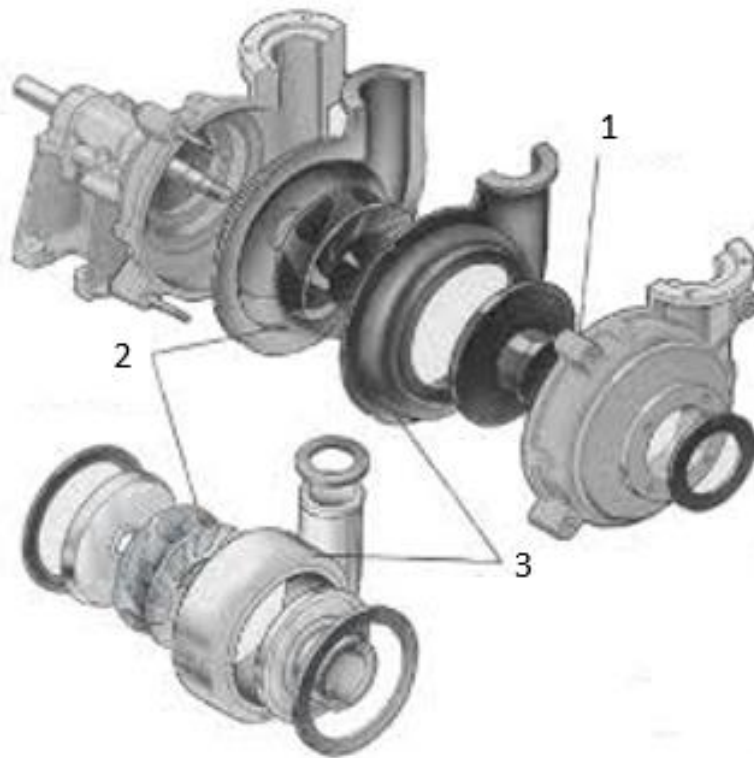


Рисунок 1.8 - Схема шламового насосу: 1 – зовнішній корпус;  
2 – робоче колесо; 3 – футування з твердого сплаву або полімеру.

Головною перевагою шламових насосів є їхня здатність справлятися з великими навантаженнями, не втрачаючи продуктивності [10]. Широкі проточні канали запобігають засміченню, а спеціальна форма робочого колеса сприяє ефективному транспортуванню густого середовища [12]. Ці насоси можуть перекачувати шлам навіть за високої в'язкості, що робить їх незамінними для роботи з відходами [14]. Шламові насоси часто використовуються для транспортування пульпи в згущувачі, фільтр-преси або хвостосховища. Завдяки своїй конструкції вони легко витримують довгострокову експлуатацію за умов високого тиску. Для тривалого терміну служби насоси потребують регулярної заміни зношених елементів, таких як лопаті робочого колеса або ущільнення.

Додатковою перевагою шламових насосів є можливість їхньої адаптації до різних умов експлуатації. Наприклад, насоси можуть бути встановлені на пересувні платформи для роботи у віддалених зонах. Їхня стійкість до агресивних середовищ дозволяє використовувати їх для транспортування шламу, що містять хімічно активні речовини.

Шламові насоси відіграють ключову роль в управлінні відходами збагачувальних фабрик, дозволяючи ефективно транспортувати густу пульпу та забезпечувати стабільність технологічних процесів.

#### *Занурювальні насоси для пульпи.*

Занурювальні насоси спеціально розроблені для роботи в умовах, де середовище, що перекачується, знаходиться в басейнах, резервуарах або інших ємностях [15]. Ці насоси занурюються безпосередньо в пульпу, що дозволяє

уникнути складних систем подачі та економити простір [9]. Корпус та робочі елементи таких насосів виготовляються з матеріалів, стійких до корозії та абразивної дії [6].

Конструкція занурювальних насосів забезпечує їхню герметичність, що запобігає пошкодженню внутрішніх механізмів від контакту з рідиною. Вони можуть працювати з пульпою різної щільності, включаючи середовища з високим вмістом дрібнодисперсних частинок. Занурювальні насоси часто використовуються для переміщення відходів з басейнів осадження в хвостосховища або на інші етапи переробки.



Рисунок 1.9 - Занурювальні насоси для пульпи.

Перевагою цих насосів є їх компактність та простота установки. Вони не вимагають складних монтажних систем і можуть бути легко переміщені до різних точок підприємства. Однак експлуатація занурювальних насосів вимагає регулярного контролю стану ущільнень та електроізоляції, щоб уникнути витоків або поломок.

Ці насоси ідеально підходять для використання в умовах, де необхідно мінімізувати енерговитрати на транспортування та забезпечити мобільність обладнання. Їх використання покращує процес керування пульпою, підвищуючи ефективність усієї системи транспортування.

#### *Насоси високого тиску.*

Насоси високого тиску є ключовим елементом систем транспортування пульпи на збагачувальних фабриках, особливо при необхідності переміщення на великі відстані або значних перепадах висот [11]. Їх конструкція розрахована на створення та підтримання стабільного високого тиску в трубопроводах, що дозволяє транспортувати пульпу з високою густиною без втрати продуктивності [8].

Основною особливістю насосів високого тиску є їх багатоступінчаста конструкція, що включає декілька робочих коліс [9]. Кожне колесо збільшує тиск рідини, забезпечуючи плавний потік навіть за високих навантажень [12]. Ці насоси мають посилені робочі елементи, такі як лопаті та корпус, виготовлені з матеріалів, стійких до абразивного зношування та корозії.

Корпус насосів виконується з міцних сплавів, а внутрішні поверхні часто покриваються захисними шарами, такими як кераміка або полімери, для збільшення терміну служби [7, 11]. Ущільнення та з'єднання спроектовані таким чином, щоб витримувати екстремальні умови експлуатації, включаючи високий тиск та вплив дрібнодисперсних частинок [10].

Насоси високого тиску застосовуються для подачі пульпи в хвостосховища, згущувачі або для гідравлічного транспорту відходів на значній відстані [8]. Наприклад, на деяких фабриках такі насоси використовуються для транспортування пульпи на кілька кілометрів, що знижує потребу у додаткових етапах обробки [12].

Однією з переваг цих насосів є їхня здатність працювати з висококонтентною пульпою, де вміст твердої фази може досягати 70%. [5, 9]. Це робить їх незамінними в умовах, де стандартне обладнання не може впоратися з інтенсивним навантаженням [6].

Для тривалого терміну служби насоси високого тиску оснащуються системами охолодження [10]. Такі системи запобігають перегріву обладнання, яке може виникати через тертя частинок у робочій зоні [14]. Крім того, насоси можуть бути обладнані системами автоматичного контролю, включаючи датчики температури, тиску та швидкості потоку [13].

Ці насоси використовуються у поєднанні з посиленими трубопроводами, які також розраховані на високий тиск та інтенсивну дію абразивних середовищ [8, 15]. Застосування таких трубопроводів дозволяє підтримувати стабільність транспортування та мінімізувати ризик аварій [11].

Експлуатація насосів високого тиску потребує регулярного технічного обслуговування [7]. Це включає перевірку стану робочих коліс, ущільнень, системи охолодження та стану корпусу [12]. Заміна зношених деталей проводиться за графіком, щоб уникнути аварійних простоїв [9].

Такі насоси часто інтегруються в автоматизовані системи керування, що дозволяє оптимізувати їх роботу та скоротити енерговитрати [10]. Система контролю може регулювати швидкість та потужність насоса в залежності від умов транспортування та характеристик пульпи [13].

Застосування насосів високого тиску особливо важливе в екологічно чутливих зонах, де мінімізація кількості транспортних вузлів та витоків пульпи має критичне значення [8]. Завдяки своїй потужності та надійності, ці насоси дозволяють підприємствам дотримуватись суворих екологічних норм і одночасно знижувати витрати [6, 15].

Насоси високого тиску – це технологічно просунуте обладнання, яке оптимізує роботу збагачувальних фабрик, покращує керування відходами та забезпечує економічну ефективність [9].

### **1.5 Загальні відомості про згущення хвостів і складування згущених хвостів.**

Згущення хвостів – це процес збільшення концентрації твердої фази в пульпі шляхом видалення надлишкової води. Цей процес відіграє важливу роль у системах управління відходами збагачувальних фабрик, оскільки дозволяє



зменшити обсяг рідкої фази, що підлягає складуванню, та забезпечити повернення води у технологічний цикл [1, 5].

Основний принцип згущення полягає у поділі пульпи на осад та освітлену воду за рахунок гравітаційного осадження твердих частинок [2]. Під дією сили тяжіння частинки осідають на дно пристрою, що згущує, а освітлена рідина залишається у верхній частині. Швидкість осадження залежить від розміру, густини частинок і в'язкості середовища [3]. Для підвищення ефективності процесу до пульпи додають хімічні реагенти, такі як коагулянти і флокулянти. Коагулянти дестабілізують колоїдні частинки, а флокулянти сприяють їх укрупненню, формуючи більші агрегати, які швидше осідають [4, 6]. Це дозволяє прискорити процес поділу та покращити якість освітленої води.

Процес згущення здійснюється у спеціальних пристроях - згущувачах, які бувають радіального, конусного або циліндричного типу [7]. Радіальні згущувачі найбільш поширені завдяки своїй продуктивності та простоті експлуатації. Вони представляють собою циліндричні ємності з широкою горизонтальною поверхнею, де пульпа поділяється на освітлену воду і осад. Осадження твердих частинок відбувається під дією гравітації, а велика площа основи забезпечує рівномірний розподіл потоку.

Особливістю радіальних згущувачів є наявність центрального вузла подачі пульпи та периферійних збірних пристроїв для відведення освітленої води [8]. Збір освітленої води здійснюється через переливні жолоби, які розташовані по периметру згущувача, що мінімізує вміст твердих частинок у зібраній рідині. Для видалення осаду з дна згущувача використовуються механізми з лопатями, що обертаються, які переміщують згущений осад до центрального випускного отвору. Ці лопаті регулюють процес осадження, запобігаючи ущільненню осаду та покращуючи його транспортування. Радіальні згущувачі відрізняються високою продуктивністю та надійністю, що робить їх універсальними для більшості збагачувальних фабрик. Вони можуть додатково оснащени системами подачі коагулянтів або флокулянтів для прискорення осадження дрібнодисперсних частинок. Цей тип обладнання ефективний для роботи з великими обсягами пульпи, забезпечуючи стабільний процес поділу фаз та мінімальні втрати води. Простота конструкції та довговічність роблять радіальні згущувачі важливим елементом систем згущення та оборотного водопостачання.

Конусні згущувачі використовуються для роботи з дрібнодисперсними хвостами, де потрібний високий ступінь згущення. Вони мають конічну форму, яка забезпечує концентрацію частинок у центрі та прискорює процес осадження. Зменшена площа основи посилює гравітаційний вплив на частинки, сприяючи їх щільному осадженню [9]. Основне застосування конусних згущувачів пов'язане з ситуаціями, де потрібний високий ступінь згущення та мінімальний вміст води в осаді. Це особливо актуально для дрібних хвостів, які важко поділити стандартними методами. У верхній частині згущувача розташовується система подачі пульпи та розподільні пристрої для рівномірного її надходження. Для відведення освітленої води використовують спеціальні переливні пристрої, розташовані у верхній частині конусного

згущувача. Осад видаляється через нижній отвір за допомогою шнекових механізмів чи насосів. Це обладнання часто доповнюється системами подачі флокулянтів, які сприяють укрупненню частинок та прискоренню осадження. Конусні згущувачі відрізняються компактністю, що дозволяє використовувати їх на обмежених виробничих площах. Високий ступінь згущення робить їх ефективними у системах зневоднення та складування відходів. Крім того, вони забезпечують якісний поділ фаз навіть під час роботи з особливо складними хвостами.

Одним із ключових факторів успішного згущення є правильний вибір обладнання та налаштування параметрів процесу. Це включає регулювання швидкості подачі пульпи, дозування реагентів та контроль за рівнем рідини в згущувачі. Важливо враховувати характеристики хвостів, такі як їх склад, концентрація твердої фази та вміст дрібнодисперсних частинок.

Згущення дозволяє витягти з пульпи освітлену воду, яка потім повертається до системи оборотного водопостачання [10]. Це знижує споживання свіжої води та зменшує навантаження на хвостосховища. Отриманий осад, має менший об'єм і більш високу щільність, що полегшує його транспортування і складування [11]. Застосування згущення хвостів покращує екологічну стійкість підприємства, знижуючи ризик розливів та витоків забрудненої води. Також це зменшує площу, необхідну для зберігання відходів, та збільшує термін служби хвостосховищ. Таким чином, згущення хвостів – це ефективне рішення для оптимізації управління відходами та водними ресурсами.

Обладнання для згущення хвостів є пристроями, що забезпечують поділ пульпи на осад і освітлену воду. Основним типом обладнання є радіальні згущувачі, які найбільше широко застосовуються на збагачувальних фабриках. Ці пристрої є ємністю з широкою основою, де тверді частинки осаджуються під дією сили тяжіння. Радіальні згущувачі відрізняються високою продуктивністю та простотою конструкції, що робить їх універсальними для більшості завдань згущення [7].

Конусні згущувачі застосовуються для роботи з дрібнодисперсними хвостами, де потрібне досягнення високої концентрації твердої фази [9]. Конусна форма пристрою дозволяє збільшити швидкість осадження за рахунок фокусування частинок у центрі, що покращує щільність осаду. Такі згущувачі часто використовуються для складніших умов роботи.

Для підвищення ефективності згущення обладнання інтегруються системи подачі реагентів, таких як коагулянти і флокулянти. Ці реагенти вводять через розподільні вузли, забезпечуючи рівномірне змішування з пульпою. Це прискорює процес осадження та покращує якість освітленої води.

Видалення освітленої води із згущувачів здійснюється через спеціальні збірні пристрої, такі як переливні жолоби або колодязі. Вони забезпечують збирання верхнього шару рідини з мінімальним вмістом твердих частинок.

Осад, що згущується, виводиться за допомогою шнекових механізмів або насосного обладнання, яке транспортує його до місця складування. Шнекові системи дозволяють ефективно видаляти осад навіть за високої в'язкості.

Сучасні згущувачі оснащуються автоматизованими системами управління, які контролюють рівень рідини, дозування реагентів та швидкість видалення осаду [12]. Це знижує вплив людського фактора та підвищує стабільність роботи обладнання.

Особлива увага приділяється матеріалам, з яких виготовляються згущувачі. Корпус і внутрішні елементи повинні бути стійкими до абразивного зносу та корозії, оскільки вони постійно контактують з пульпою. Зазвичай використовують сталь з антикорозійним покриттям або полімерні матеріали.

Ефективність роботи згущувачів залежить від їх конструктивних особливостей, правильно підібраних параметрів експлуатації та регулярного обслуговування. Вони відіграють ключову роль у процесі згущення, забезпечуючи високий рівень зневоднення та мінімізуючи обсяги відходів, що підлягають складуванню.

## **1.6 Висновки до розділу**

1. Оборотно-водопостачання відіграє ключову роль у скороченні споживання свіжої води на збагачувальних фабриках. Використання освітленої води, що повертається з хвостосховищ або пристроїв, що згущують, знижує екологічне навантаження на природні водні ресурси.

2. Технології складування відходів спрямовані на забезпечення безпечного та економічного зберігання хвостів. Сучасні методи укладання, включаючи пошарове складування та використання геосинтетичних матеріалів, підвищують стійкість відвалів та запобігають забрудненню навколишнього середовища.

3. Схеми складування відходів розробляються з урахуванням характеру відходів, їх обсягів та вимог до екологічної безпеки. Вони включають гідравлічний транспорт пульпи, укладання карти осадження, комбіноване використання методів згущення і осушення.

4. Насоси для перекачування пульпи та хвостів є важливою частиною систем транспортування. Вони адаптовані для роботи з високоабразивними та агресивними середовищами, що забезпечує їхню довговічність та ефективність. Застосування насосів високого тиску дозволяє транспортувати відходи великі відстані.

5. Згущення хвостів є основним етапом керування відходами. Воно дозволяє зменшити об'єм пульпи, підвищити щільність твердої фази та повернути значну кількість води в обігову систему.

6. Радіальні згущувачі широко використовуються завдяки високій продуктивності та простоті експлуатації. Вони підходять для роботи з великими обсягами пульпи та забезпечують стабільний процес поділу фаз.

7. Конусні згущувачі ефективні для роботи з дрібнодисперсними хвостами. Їх конструкція забезпечує більш щільне осадження та компактність, що робить їх незамінними в умовах обмеженого простору.

8. Технології флокуляції та коагуляції покращують процес осадження, прискорюючи поділ фаз та підвищуючи якість освітленої води. Використання хімічних реагентів знижує час обробки пульпи та збільшує ефективність роботи обладнання.

9. Екологічні аспекти складування відходів та використання води перебувають у центрі уваги. Сучасні технології знижують обсяг скидів, запобігають розливам та мінімізують забруднення навколишнього середовища.

10. Комплексний підхід до управління відходами та водопостачання дозволяє підприємствам підвищити виробничу ефективність, скоротити витрати на експлуатацію та покращити екологічну стійкість. Інтеграція сучасних методів та обладнання забезпечує стабільність процесів та дотримання екологічних стандартів.

## РОЗДІЛ 2 ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Загальна мета дослідження

**Метою дослідження** є розробка науково обґрунтованого рішення по вдосконаленню технології оборотного водопостачання та складування відходів вологої магнітної сепарації, спрямоване на підвищення економічної ефективності та екологічної надійності виробництва.

Основними завданнями дослідження є:

- зменшення споживання свіжої води шляхом збільшення обсягу її повторного використання у системі оборотного водопостачання;
- підвищення ефективності зневоднення відходів перед їх складуванням. Збільшення щільності твердої фази у хвостах зменшує їх обсяг, зменшує площу хвостосховищ і продовжує термін їх експлуатації;
- впровадження сучасних методів осадження частинок, включаючи використання коагулянтів та флокулянтів, для прискорення поділу твердої та рідкої фаз та покращення якості освітленої води.
- забезпечити технологію екологічної стійкості, що знижує забруднення довкілля, пов'язане зі збиранням відходів вологої магнітної сепарації;
- запропонувати техніко-економічно обґрунтоване рішення, яке продемонструвало економічну вигоду від реформаторської технології.

**Об'єкт дослідження** - технологічний процес оборотного водопостачання та складування відходів вологої магнітної сепарації в умовах ПРАТ «ПВНГЗК».

**Предмет дослідження** - технологічні процеси обробки та управління відходами вологої магнітної сепарації, включаючи процеси оборотного водопостачання, згущення хвостів та складування відходів.

Вихідні дані:

Таблиця 2.1 - Хімічний склад вихідної руди ПРАТ «ПВНГЗК»

Хімічні компоненти	Вміст, %	Хімічні компоненти	Вміст, %
F <sub>tot</sub>	37,50	V	<0,002
F <sub>mag</sub>	31,72	Cr	<0,0005
SiO <sub>2</sub>	40,10	Co	<0,0005
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,52	Ni	<0,0005
CaO	1,36	Cu	<0,0005
MgO	2,72	Zn	<0,0005
P	0,037	Pb	<0,0024
S	0,095	As	<0,0005
Na <sub>2</sub> O	0,30	Cd	<0,0005
K <sub>2</sub> O	0,32	Ti	<0,0005
Mn	0,05	SrO	0,0042
TiO <sub>2</sub>	0,021	BaO	0,029

Таблиця 2.2 - Мінералогічний склад вихідної руди ПРАТ «ПВНГЗК»

Мінерали	Вміст, %
Магнетит	48,0
Кварц	32,0
Гематит	6,0
Амфібол	4,1
Тальк	4,3
Хлорит	1,8
Біотит	0,6
Доломіт	3,2

Таблиця 2.3 - Фізико-механічні властивості залізистих кварцитів продуктивної товщі Первомайського родовища

Показник	Значення
Об'ємна щільність, г/см <sup>3</sup>	3,39
Питома густина, г/см <sup>3</sup>	3,62
Пористість, %	5,8
Вологість (в видобутій масі)	3,0
Міцність за шкалою проф. Протодьяконова	16-18
Розмір шматка, мм	0-400

**Загальна методика дослідження:**

- 1) Вивчення літературних джерел - аналіз сучасних технологій оборотного водопостачання; дослідження методів зневоднення та складування відходів; вивчення технічних та технічних характеристик хвостів вологої магнітної сепарації.
- 2) Постановка експерименту - метою експерименту є вивчення різних факторів, пов'язаних із процесами осадження частинок, покращення якості освітленої води, а також підвищення ефективності методів згущення та складування хвостів вологої магнітної сепарації.
- 3) Розробка технологічної схеми - моделювання роботи системи, оптимізація параметрів роботи насосного обладнання, систем осадження та складування.
- 4) Екологічна оцінка - аналіз наслідків запропонованих рішень на навколишнє середовище, розрахунок зниження обсягів свіжої води та зниження екологічних ризиків.

5) Техніко-економічне обґрунтування - порівняння витрат за впровадження нових технологій з існуючими умовами, оцінка економічної ефективності та економічного ефекту від впровадження запропонованої схеми.

## **2.2 Основні методи дослідження**

1) Літературний аналіз - вивчення наукової літератури, нормативних документів та патентів, правил із проведенням вологої магнітної сепарації та складування відходів.

2) Фізико-хімічні дослідження - визначення складу хвостів (розмір частинок, вміст твердої фази, хімічні домішки), вивчення реагентів для осадження частинок.

3) Експериментальні дослідження - лабораторне моделювання процесу, тестування різних типів насосного обладнання для перекачування пульпи.

4) Математичне моделювання - моделювання осадження твердих частинок

Моделювання процесу згущення - моделі згущення можуть бути засновані на рівняннях масопереносу, що описують процеси, такі як дифузія частинок та їх осадження у складних умовах (наприклад, у радіальних чи конусних згущувачах). Моделювання транспортування пульпи.

5) Екологічний аналіз - вивчення складу води та відходів за допомогою хімічного аналізу, оцінка якості води у процесі оборотного водопостачання, моделювання поширення забруднюючих речовин у водоймах та ґрунтах для прогнозу можливих наслідків за різних умов роботи системи, порівняння екологічних показників сучасних та пропонованих технологій, включаючи вплив на забруднення повітря, води та ґрунту, а також на здоров'я людей, створення карт забруднень, щоб визначити небезпечні зони для екосистем та населення у разі розливу хвостів чи витоків.

6) Техніко-економічний аналіз - порівняння різних технологій і процесів щодо витрат на впровадження та експлуатацію, а також щодо економічної ефективності. Розрахунок терміну окупності інвестицій, включаючи майбутні доходи та витрати з урахуванням тимчасової вартості грошей. Розрахунок економії витрат на основі покращень, таких як зниження споживання води, енергії та реагентів. Цей метод використовується з метою оцінки вигод від застосування нової технології.

## **2.3 Висновки до розділу**

У розділі детально розглянуто методи, що застосовуються для дослідження технологічних процесів оборотного водопостачання та складування відходів мокрої магнітної сепарації на ПРАТ «ПІВНІЗК». Комплекс експериментальних, аналітичних і математичних методів дозволяє оптимізувати дані процеси та підвищити економічну ефективність комбінату.

## РОЗДІЛ 3 ВИЗНАЧЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗГУЩЕННЯ ГІДРОТРАНСПОРТУВАННЯ ТА СКЛАДУВАННЯ ХВОСТІВ ЗБАГАЧЕННЯ В УМОВАХ ПРАТ «ПІВНГЗК».

### 3.1 Літературний аналіз.

#### *Загальні відомості про технологію згущення*

Технологія згущення, є багаторівневою системою, спрямованою на підвищення концентрації твердої фази в хвостах з метою мінімізації об'єму води, що транспортується в хвостосховище. Це сприяє ефективному використанню води у замкнутому циклі, зниженню витрат на водопостачання та зменшенню екологічного навантаження на довкілля.

#### *Ключові етапи схеми*

1) Подача вихідної пульпи - пульпа, що утворюється в процесі мокрої магнітної сепарації, подається в радіальні згущувачі. Ці пристрої дозволяють осаджувати частинки під впливом гравітації. Найбільше розповсюдження отримали радіальні згущувачі.

2) Осадження та ущільнення - у згущувачах відбувається процес осадження дрібнодисперсних частинок хвостів. Для покращення процесу використовуються флокулянти, які сприяють укрупненню частинок, прискорюючи їхнє осадження.

3) Збір освітленої води - у верхній частині згущувачів встановлюються переливні пристрої, які дозволяють відокремити освітлену воду. Освітлена вода повертається до системи оборотного водопостачання.

4) Видалення згущеного осаду - згущений осад з високим вмістом твердої фази транспортується в хвостосховище для подальшого складування. Цей процес мінімізує обсяг води, що втрачається разом із відходами.

#### *Переваги схеми зі згущенням пульпи.*

1) Високий ступінь згущення - використання сучасних радіальних згущувачів та ефективних реагентів забезпечує високу концентрацію твердої фази в осаді, що знижує транспортні витрати.

2) Замкнене водопостачання - завдяки збільшенню об'єму води, яка повертається в систему, досягається мінімізація споживання свіжої води, що знижує навантаження на природні водні джерела.

3) Екологічна безпека - зниження обсягу рідини, що надходить у хвостосховище, зменшує ризик витоків та забруднення навколишнього середовища.

4) Гнучкість технологічної схеми - система дозволяє регулювати параметри осадження і роботи обладнання залежно від складу хвостів та умов експлуатації.

#### *Обмеження схеми.*



1) Залежність від складу пульпи - ефективність осадження може значно змінюватись в залежності від мінералогічного складу хвостів.

2) Потреба у реагентах - використання флокулянтів потребує додаткових витрат на їх закупівлю та доставку.

3) Необхідність регулярного обслуговування - згущувачі вимагають регулярного контролю та очищення для запобігання зниженню їх ефективності.

#### *Висновки з аналізу*

Схема згущення демонструє ефективність технологій осадження та згущення хвостів, забезпечуючи високий рівень зневоднення відходів та мінімізацію екологічних ризиків. Використання цієї схеми може бути рекомендовано для застосування або адаптації на підприємствах, що працюють із мокрою магнітною сепарацією. Аналіз ключових аспектів схеми дозволяє виділити можливості її модернізації, наприклад, за рахунок впровадження більш енергоефективних насосів або альтернативних реагентів.

### **3.2 Фізико-хімічні дослідження.**

Фізико-хімічні дослідження є важливим етапом у вивченні хвостів мокрої магнітної сепарації, оскільки вони дозволяють визначити їх властивості та підібрати оптимальні реагенти для осадження частинок. Ці дослідження спрямовані на аналіз гранулометричного складу хвостів, вмісту твердої фази, наявності хімічних домішок та ефективності використовуваних коагулянтів та флокулянтів.

Визначення гранулометричного складу хвостів в умовах

ПРАТ «ПВНГЗК»

Гранулометричний склад хвостів вивчається з метою класифікації частинок за розмірами. Хвости мокрої магнітної сепарації характеризуються дрібнодисперсною структурою, де основну масу складають частинки діаметром менше 0,1 мм. Для аналізу використовується метод ситового аналізу або лазерна дифракція, які дозволяють досить точно виміряти розподіл розмірів частинок. Цей параметр важливий для вибору реагентів та налаштування параметрів осадження, так як дрібні частинки осідають повільніше і вимагають застосування спеціальних флокулянтів.

Таблиця 3.1 – Гранулометричний склад хвостів мокрої магнітної сепарації ПРАТ «ПВНГЗК»

№ п	Показник	Од. виміру	Кількість
1	Вихід хвостів	млн.т	11,614
2	Густина твердих частинок	т/м <sup>3</sup>	2,8
3	Гранулометричний склад хвостів		
	мм		%
	більше 0,5		2,8

	0,2-0,5		9,3
	0,1-0,2		5,2
	0,07-0,1		5,9
	0,05-0,07		5,4
	0,01-0,05		32,8
	менше 0,01		38,6
	Ітого		100
4	Усереднений діаметр частинки	мм	0,074
5	Концентрація твердих часток в пульпі		
	(Т/Т+Р)	%	4,76
	Розжиження, Р:Т		20
6	Режим робот РЗФ	год/рік	8000

У рамках технології згущення хвостів мокрої магнітної сепарації на збагачувальних фабриках вибір флокулянтів ґрунтується на таких критеріях: ефективність дії, стійкість до хімічних умов середовища та економічна доступність.

Типи флокулянтів :

- аніонні флокулянти – є полімери з негативно зарядженими функціональними групами. Використовуються для хвостів, що містять велику кількість металевих оксидів або гідроксидів, які добре взаємодіють із негативно зарядженими полімерами. Приклад: поліакриламід з аніонною функціональністю.

- Катіонні флокулянти - містять позитивно заряджені функціональні групи. Застосовуються для осадження частинок із негативним зарядом, таких як глинисті мінерали та органічні забруднювачі. Приклад: катіонні поліакриламід.

- Неіонні флокулянти - полімери, що не мають заряду, але мають високу молекулярну масу. Використовуються у складних хімічних середовищах, де є як позитивні, так і негативні частки. приклад: поліетиленоксид.

Ключові характеристики флокулянтів:

- молекулярна маса: Високомолекулярні флокулянти забезпечують найкраще укрупнення частинок, що прискорює процес осадження. Для хвостів мокрої магнітної сепарації зазвичай використовують речовини з молекулярною масою 10–15 мільйонів дальтон.

- Розчинність: Флокулянти розчиняються у воді та утворюють розчини, які легко змішуються з пульпою.

- Швидкість дії: Флокулянти забезпечують швидке утворення великих та стійких флокул, які ефективно осідають у згущувачах.

- Стабільність: Ці реагенти стійкі до змін рН (зазвичай від 5 до 9) та сольового складу хвостів.

Оптимізація застосування флокулянтів:

- дозування - для кожного типу хвостів визначається оптимальне дозування флокулянтів, яке зазвичай становить 5-20 г на тонну пульпи.

- Спосіб подачі - флокулянти подаються у вигляді попередньо підготованого розчину, що дозволяє рівномірно розподіляти реагент у пульпі.

- Контроль якості - ефективність роботи флокулянтів контролюється за параметрами освітленої води (мутність, залишкова концентрація завислих частинок) та швидкості осадження частинок.

Приклад флокулянту - Magnafloc LT 27 (аналог Polyacrylamide). Аніонний флокулянт із високою молекулярною масою. Застосовується для осадження частинок оксидів заліза та дрібнодисперсних силікатів.

### **3.3 Експериментальні дослідження.**

*Лабораторні дослідження з моделюванням процесу згущення пульпи* проводяться для вивчення механізмів осадження твердих частинок, підвищення щільності осаду та зменшення обсягу рідини, що надходить у хвостосховища. У лабораторних умовах створюються моделі, що імітують роботу промислових згущувачів.

Мета лабораторних досліджень:

- визначення впливу гранулометричного складу хвостів на швидкість осадження;
- встановлення оптимальних умови для застосування флокулянтів, таких як концентрація, тип та дозування;
- оцінка ефективності освітлення води та щільності одержуваного осаду.

Методика лабораторних досліджень.

У лабораторні згущувачі завантажують зразки хвостової пульпи з різною концентрацією твердої фази (20-40%). Використовуються флокулянти з різною молекулярною масою та зарядом для визначення їх впливу на осадження. Вимірюються швидкість осадження частинок, час досягнення рівноваги та вміст завислих речовин у освітленій воді.

Результати моделювання

Візуалізуються процеси формування флокул та їх осадження. Визначаються залежності між концентрацією твердої фази, типом реагентів та кінцевими параметрами освітленої води. Будуються математичні моделі, що описують процеси осадження та укрупнення частинок, які можна використовувати для масштабування на промислові умови.

*Тестування насосного обладнання* проводиться для визначення їх продуктивності, стійкості до абразивного зношування та здатності ефективно транспортувати пульпу з високим вмістом твердої фази.

Мета досліджень:

- оцінка роботи насосів за різних концентрацій твердої фази в пульпі;
- вивчення енергоефективності насосного обладнання;
- виявлення оптимального типу насосів для мокрої магнітної сепарації.

Обладнання, яке використовується:

- відцентрові насоси - широко застосовуються для перекачування рідин середньої концентрації твердої фази;

- шламові насоси - призначені для роботи з абразивними та густими пульпами;
- поршневі насоси - використовуються для високонапірної подачі густих суспензій на великі відстані.

Методика досліджень. Зразки пульпи з різною концентрацією твердої фази (20-50%) подаються до насосів. Вимірюються тиск, швидкість потоку, енерговитрати та знос робочих елементів. Аналізується вплив гранулометричного складу пульпи на продуктивність насосів.

Результати тестування.

Відцентрові насоси показали високу продуктивність при низькій концентрації твердої фази, але схильні до зношування при роботі з абразивними середовищами. Шламові насоси продемонстрували стійкість до зношування та стабільну роботу при концентрації твердої фази до 40%, але потребують підвищеного енергоспоживання.

Поршневі насоси забезпечили високу продуктивність та стійкість до зношування при перекачуванні пульпи з концентрацією до 50%, але мають більш високі експлуатаційні витрати.

На основі результатів тестів підбираються оптимальні насоси для транспортування пульпи в залежності від її складу та умов експлуатації. Рекомендації щодо вибору насосного обладнання допомагають знизити енерговитрати та продовжити термін служби обладнання.

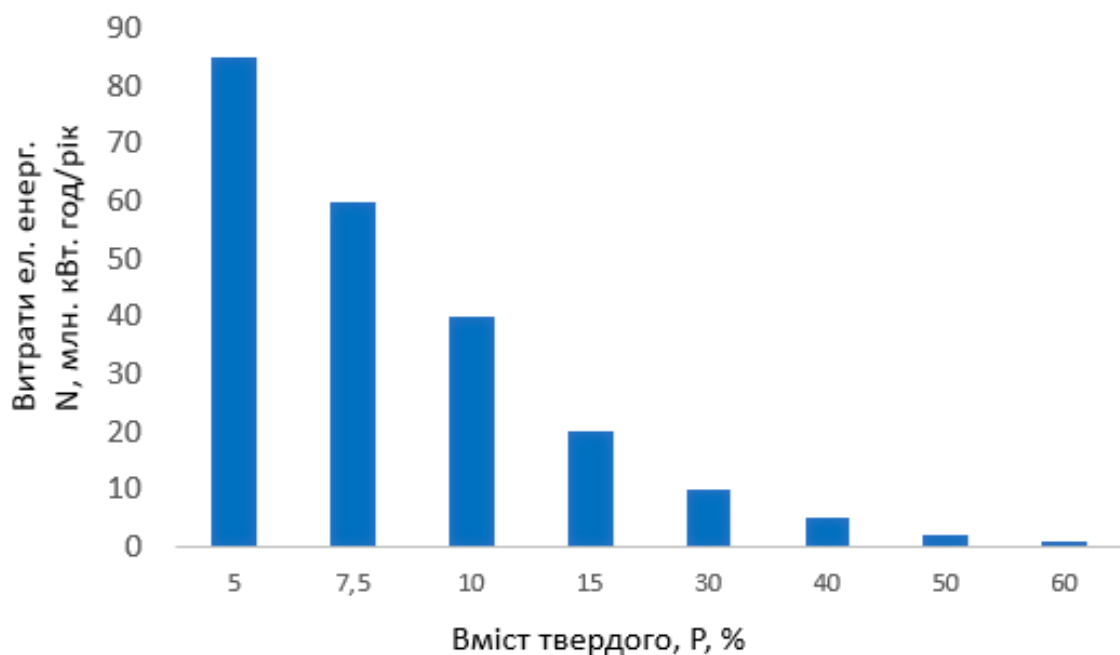


Рисунок 3.1 - Вплив ступеня згущення пульпи на витрату електроенергії.

На діаграмі наведеній рисунку 3.1 показано залежність витрати електроенергії від ступеня згущення пульпи. Вона відображає, як вміст твердої речовини в згущеному продукті (P, %) впливає на енерговитрати (N, млн кВт·год/рік).

При вмісті твердої фази (5-7,5%) максимальна витрата електроенергії досягає 80 млн кВт. год/рік. Це пов'язано з низькою текучістю пульпи та необхідністю постійного перемішування. При вмісті твердої фази 10-15%: помітне зниження енерговитрат. Витрата падає приблизно 3-5 раз. Це викликано стабілізацією процесів осадження та зменшенням необхідності механічного впливу. При вмісті твердої речовини 20-30% витрати електроенергії стабілізуються на низькому рівні.

Досягнуто балансу між в'язкістю пульпи та ефективністю осадження.

Збільшення ступеня згущення пульпи значно знижує енерговитрати.

Оптимальні показники витрати електроенергії спостерігаються за змістом твердої фази 30-60%. Для підвищення енергоефективності рекомендується орієнтуватися на процеси, що забезпечують максимальне згущення хвостової пульпи.

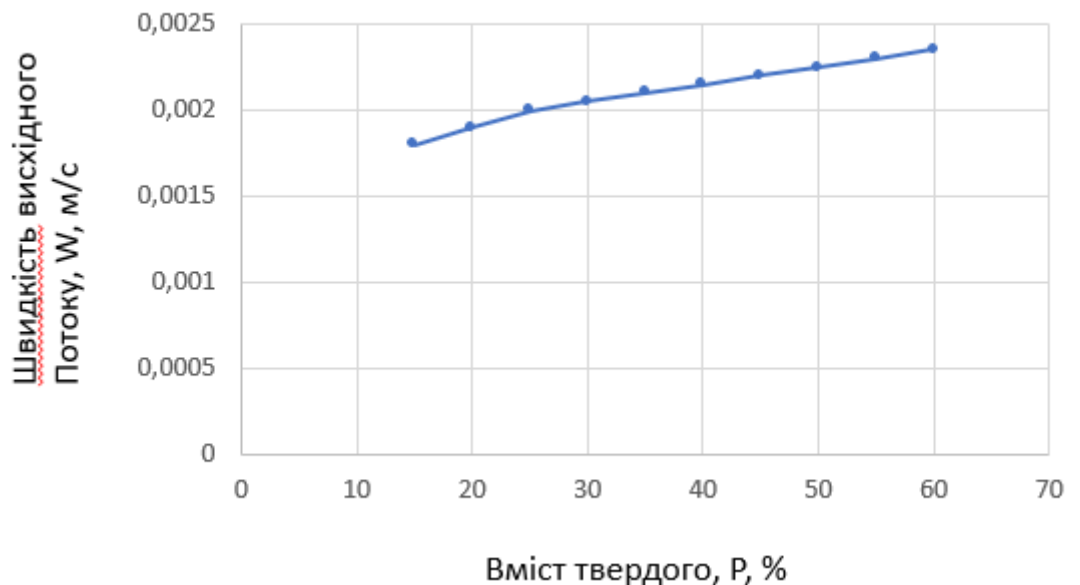


Рисунок 3.2 - Вплив ступеня згущення пульпи на швидкість висхідного потоку.

Графік, наведений на рисунку 3.2 показує, що при збільшенні вмісту твердого компоненту P в підвищеному стані швидкість висхідного потоку повільно збільшується. При концентрації твердого P=15%, швидкість висхідного потоку складає приблизно 0,0018 м/с. Збільшення вмісту твердого компоненту до рівня P=30% сприяє збільшенню швидкості висхідного потоку до 0,00205 м/с, що є помірною зміною. При збільшенні концентрації твердого компоненту від 40% до 60% швидкість практично стабілізується 0,0022-0,0235 м/с. Це свідчить про отримання стану, при якому подальше збільшення твердої речовини мінімально впливає на потік.

Висхідна швидкість частинок і рідини залежить від їхньої взаємодії. При малій концентрації твердого (15-30%) частинки легко переміщуються у зворотному напрямку потоку, а при високих концентраціях (40-60%) частинки утворюють додатковий опір потоку.

Висока концентрація твердого сприяє створенню щільної структури, що обмежує подальше зростання швидкості.

### 3.4 Математичне моделювання

Математичне моделювання процесів згущення хвостової пульпи було спрямовано на визначення основних технологічних параметрів, таких як швидкість висхідного потоку, ступінь згущення, витрата електроенергії та склад твердої фази. Ці параметри є ключовими для проектування та оптимізації систем згущення.

Залежність витрати електроенергії від ступеня згущення показує, що зі зростанням вмісту твердої фази в пульпі, витрата електроенергії різко знижується.

Залежність швидкості висхідного потоку від вмісту твердої речовини в пульпі показала, що швидкість збільшується зі зростанням вмісту твердої фази до певної межі (близько 40%), після чого стабілізується. Це свідчить про граничну насиченість системи, при якій висхідний потік досягає стабільних характеристик.

Вплив ступеня згущення пульпи на кількість води, яка скидається в хвостосховище. За низького вмісту твердої речовини (6%) об'єм води досягає максимуму - близько 30 000 куб.м/год.

З підвищенням вмісту твердої речовини до 12,5% обсяг води різко знижується до 20 000 куб.м/год, а потім до 15 000 куб.м/год при 25%. Після 25% вмісту води падає більш плавно. При 40% обсяг води становить близько 5000 м<sup>3</sup>/год. При збільшенні вмісту твердої речовини до 55% об'єм води стає відчутно нижчим, близько 1000-2000 м<sup>3</sup>/год.

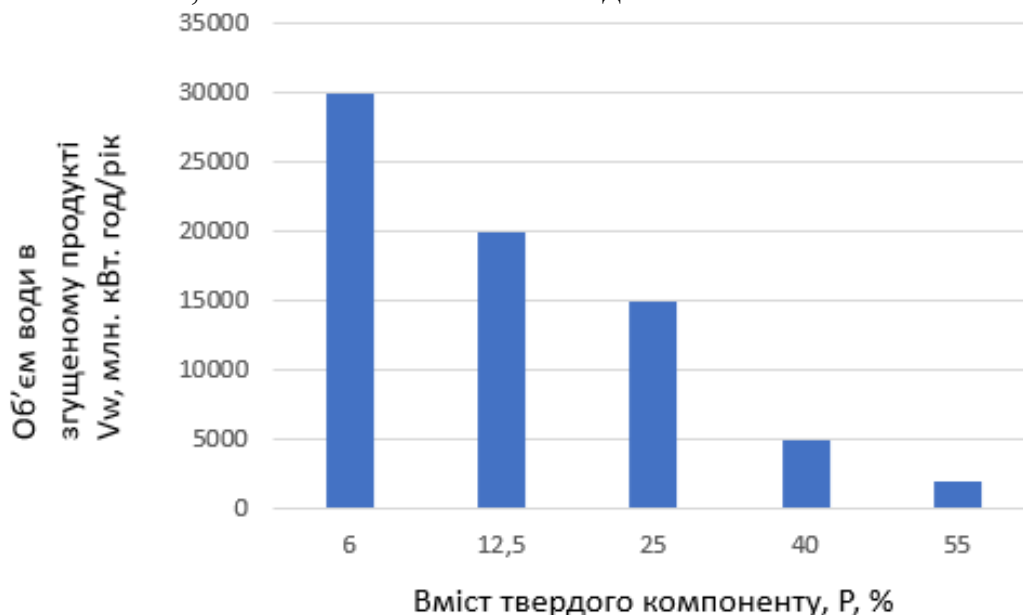


Рисунок 3.3 - Вплив ступеня згущення пульпи на кількість води, яка скидається в хвостосховище.

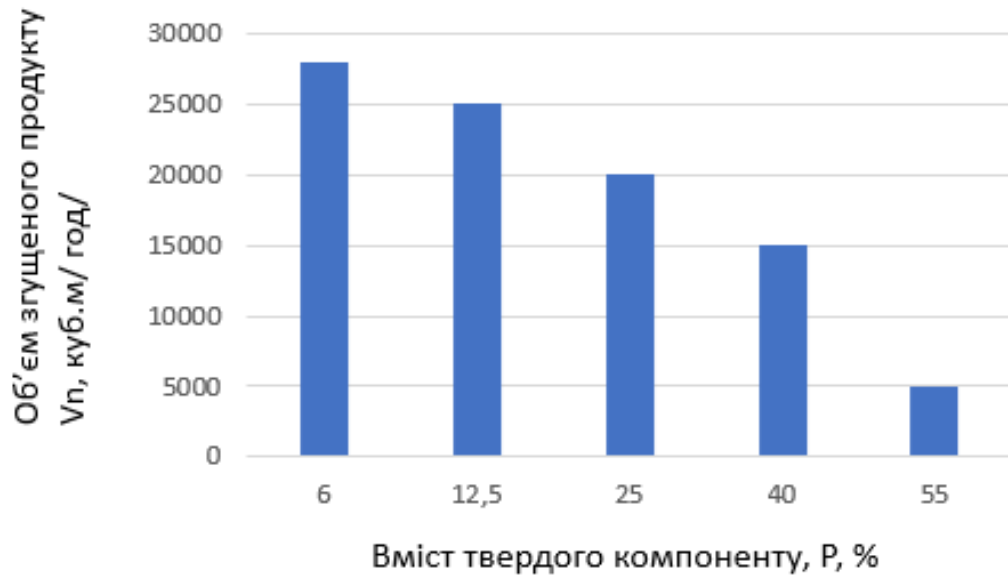


Рисунок 3.3 - Вплив ступеня згущення пульпи на кількість пульпи, яка скидається в хвостосховище.

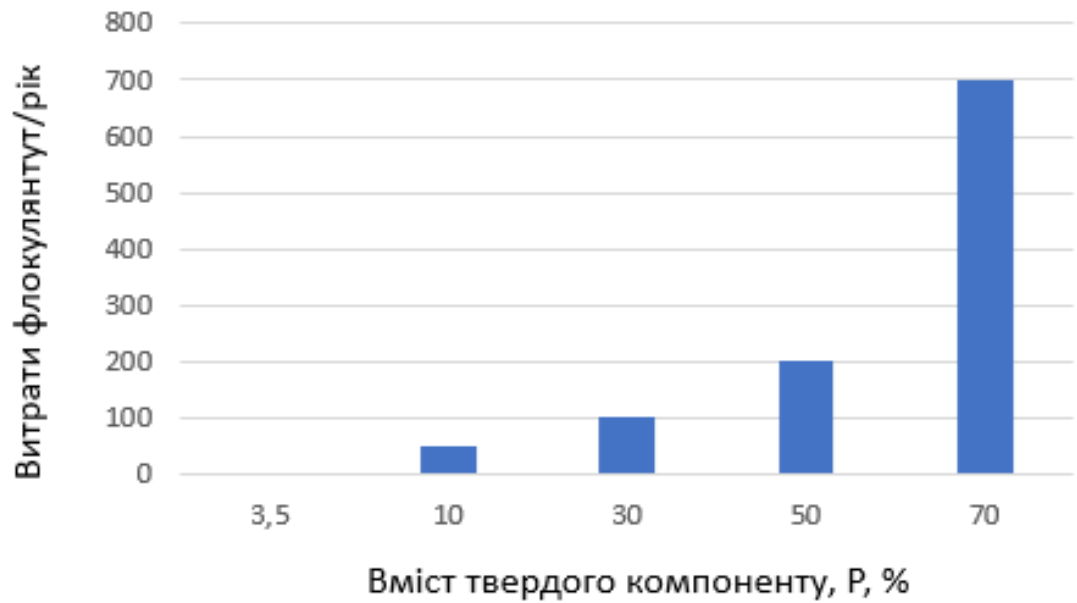


Рисунок 3.4 – Графік залежності витрат флокулянту від ступеню згущення пульпи.

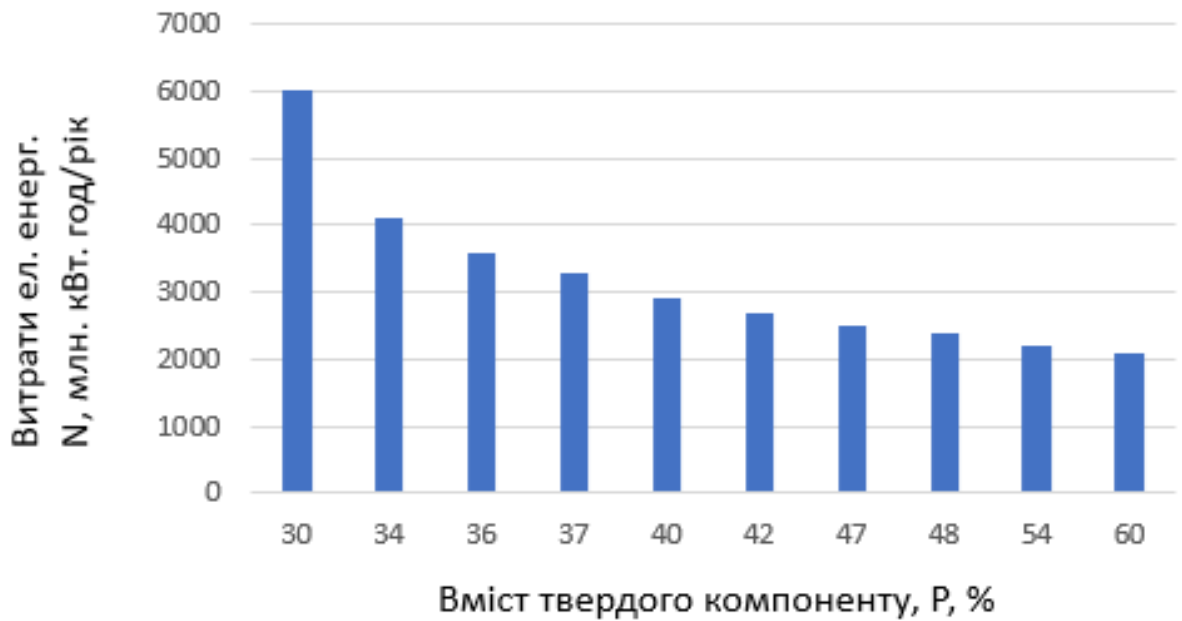


Рисунок 3.5 – Графік вплив ступеня згущення пульпи на продуктивність згущувача.

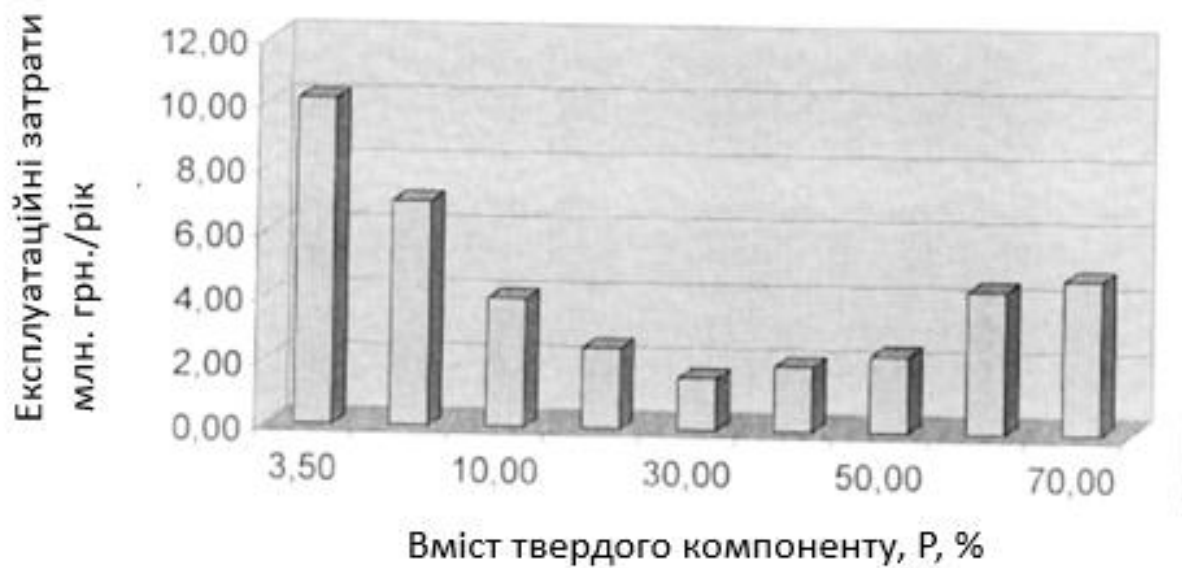


Рисунок 3.6 – Графік залежності експлуатаційних затрат від ступеню згущення пульпи.



## РОЗДІЛ 4 ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ ТА ЗАПРОПОНОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЗВОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА СКЛАДУВАННЯ ВІДХОДІВ МОКРОЇ МАГНІТНОЇ СЕПАРАЦІЇ.

### 4.1. Технологічна схема ПРАТ «ПІВНГЗК»

Існуюча технологічна схема ПРАТ «ПІВНГЗК» має три стадії подрібнення. На I стадії подрібнення, використовується спіральний класифікатор для виділення продукту готового по класу крупності. На II та III стадії використовуються гідроциклони. Обладнання для класифікації всіх стадій функціонує у замкнутому режимі з подрібнюючим обладнанням.

Використовується мокра магнітна сепарація. В якості обладнання використовуються барабанні сепаратори. Технологічна схема збагачення складається з п'яти стадій мокрої магнітної сепарації.

Після I стадії класифікації злив направляється на мокру магнітну сепарацію I стадії. У відвальні хвости скидається немагнітний продукт, у гідроциклон, що встановлений на II стадії класифікації, надходить магнітний продукт. У млину доподрібнюються піски гідроциклону. Дешламації I стадії піддається злив гідроциклону.

На виході з млина II стадії подрібнення встановлюється мокра магнітна сепарація II стадії. Утворюється замкнутий цикл разом з гідроциклоном II стадії та млином II стадії. Продукт I стадії дешламації відправляється на III стадію ММС. Немагнітний продукт відправляється в хвости, а на класифікацію в гідроциклон III стадії направляється магнітний продукт. Піски гідроциклону в млині III стадії доподрібнюються – утворюючи таким чином замкнутий цикл.

На IV стадію ММС надходить продукт II стадії дешламації. Продукт III стадії дешламації направляється на ММС V стадії. Немагнітна фракція відправляється в відвальні хвости, магнітна фракція піддається фільтрації. В результаті збагачення отримуємо товарний концентрат і відходи у вигляді хвостів.

Хвостова пульпа самоплином, по хвостовим лоткам, надходить в пульпонасосні станції першого підйому, звідки двома насосами НП-800 і двома насосами НП-500 по пульповодам ДУ 1000 і ДУ 1200 перекачується в пульпонасосні станції другого підйому ПНС II під. Обладнані насосами НП-500 і НП 800, які транспортують пульпу у хвостосховище. Освітлена вода з відстійників по водоскидним спорудам через труби діаметром 1220мм надходить в насосну станцію оборотної води, звідки чотирма насосами Д6800/300 повертається в оборотний цикл збагачувальної фабрики.

Основні параметри, прийняті при розрахунках:

- продуктивність підприємства ( $Q$ , т/год);
- коефіцієнт подрібнення ( $k$ , співвідношення між лінійним розміром вихідної та кінцевої частинки);
- крупність вихідного матеріалу ( $d_{\text{вих}}$ , мм);
- крупність готового продукту ( $d_{\text{г}}$ , мм);
- кількість стадій дроблення;
- кількість робочих годин на рік;

Розрахунок продуктивності підприємства:

$$Q = \frac{\text{Річний обсяг сировини}}{\text{Робочі години на рік}} = \frac{22,6 \text{ млн тонн}}{8000 \text{ год/рік}} \approx 2825 \text{ т/год.} \quad (4,1)$$

Річний обсяг сировини — 22,6 млн тон.

Продуктивність за годину:

$$Q = \frac{\text{Річний обсяг сировини}}{\text{Робочі години на рік}} = \frac{22,6 \text{ млн тонн}}{8000 \text{ год/рік}} \approx 2825 \text{ т/год.} \quad (4,1)$$

Вихідний розмір частинок:  $d_{\text{вих}}=300$  мм.

Кінцевий розмір частинок:  $d_{\text{г}}=18$  мм.

Кількість стадій дроблення: 3.

Тип обладнання:

- перша стадія: ККД-1500/180 грц (крупного дроблення);
- друга стадія: КСД-2500 (середнього дроблення);
- третя стадія: КМД-1750 (дрібного дроблення).

Баланс сировини по стадіях

Для кожної стадії дроблення розраховано масові потоки: вихідний потік, проміжний продукт, і кінцевий продукт.

Перша стадія:

вихідний потік на першу стадію:

$$Q_{\text{вх1}}=Q_{\text{загальний}}=2825 \text{ т/год.} \quad (4,2)$$

вихідний потік (на наступну стадію):

$$Q_{\text{вих1}}=Q_{\text{вх1}} \cdot K_{\text{пр1}}=2825 \cdot 0,8=2260 \text{ т/год.} \quad (4,3)$$

Хвости:

$$Q_{\text{хв1}}=Q_{\text{вх1}}-Q_{\text{вих1}}=2825-2260=565 \text{ т/год.} \quad (4,4)$$

Друга стадія

вихідний потік на другу стадію:

$$Q_{\text{вх}2} = Q_{\text{вих}1} = 2260 \text{ т/год.} \quad (4,5)$$

вихідний потік на третю стадію:

$$Q_{\text{вих}2} = Q_{\text{вх}2} \cdot K_{\text{пр}2} = 2260 \cdot 0.85 = 1921 \text{ т/год.} \quad (4,6)$$

хвости:

$$Q_{\text{хв}2} = Q_{\text{вх}2} - Q_{\text{вих}2} = 2260 - 1921 = 339 \text{ т/год.} \quad (4,7)$$

Третя стадія

вихідний потік на третю стадію:

$$Q_{\text{вх}3} = Q_{\text{вих}2} = 1921 \text{ т/год.} \quad (4,8)$$

вихідний потік (кінцевий продукт):

$$Q_{\text{кінцевий}} = Q_{\text{вх}3} \cdot K_{\text{пр}3} = 1921 \cdot 1.0 = 1921 \text{ т/год.} \quad (4,9)$$

хвости:

$$Q_{\text{хв}3} = Q_{\text{вх}3} - Q_{\text{кінцевий}} = 1921 - 1921 = 0 \text{ т/год.} \quad (4,10)$$

Загальний баланс

всі хвости:

$$V_{\text{хв загальний}} = V_{\text{хв}1} + V_{\text{хв}2} + V_{\text{хв}3} = 565 + 339 + 0 = 904 \text{ т/год.} \quad (4,11)$$

кінцевий продукт:

$$V_{\text{кінцевий}} = 1921 \text{ т/год.} \quad (4,12)$$

3. Розрахунок коефіцієнтів дроблення

Коефіцієнт дроблення (k) розраховується за формулою:

$$k = \frac{d_{\text{вих}}}{d_r} \quad (4,13)$$

Загальний коефіцієнт дроблення:

$$k_{\text{загальний}} = \frac{d_{\text{вих}}}{d_r} = \frac{300}{18} = 16.67 \quad (4,14)$$

Для трьох стадій дроблення прийнято рівномірний розподіл коефіцієнтів:

$$k_{\text{стадія}} = \sqrt[3]{k_{\text{загальний}}} = \sqrt[3]{16,67} = 2,56 \quad (4,15)$$

Розміри частинок після кожної стадії

Виходячи з коефіцієнта дроблення  $k_{\text{стадія}}$ , розраховано розміри частинок після кожної стадії:

перша стадія:

$$d_1 = \frac{d_{\text{вих}}}{k_{\text{стадія}}} = \frac{300}{2,56} = 117 \text{ мм} \quad (4,16)$$

друга стадія:

$$d_2 = \frac{d_{\text{вих}}}{k_{\text{стадія}}} = \frac{117}{2,56} = 46 \text{ мм} \quad (4,17)$$

третья стадія:

$$d_3 = \frac{d_{\text{вих}}}{k_{\text{стадія}}} = \frac{46}{2,56} = 18 \text{ мм} \quad (4,18)$$

### Розрахунок потужності дробарок та грохотів

Розрахунок потужності дробарок для кожної стадії (P):

$$P = Q \cdot E, \quad (4,19)$$

де:

Q — продуктивність (т/год),

E — питома енерговитрата на дроблення (кВт·год/т).

Прийняті значення E для обладнання по стадіям:

перша стадія: E1=0.6 кВт год/т

друга стадія: E2=0.9 кВт год/т

третья стадія: E3=1.3 кВт год/т

Розрахунок:

перша стадія:

$$P1 = Q \times E1 = 2825 \times 0,6 = 1695 \text{ кВт} \quad (4,20)$$

друга стадія:

$$P2 = Q \times E2 = 2825 \times 0,9 = 2542,5 \text{ кВт.} \quad (4,21)$$

третья стадія:

$$P3 = Q \times E3 = 2825 \times 1,3 = 3673 \text{ кВт.} \quad (4,22)$$

Загальна потужність:

$$P_{\text{загальна}} = P1 + P2 + P3 = 1695 + 2542 + 3673 = 7910 \text{ кВт} \quad (4,23)$$

Прийняті значення E для обладнання по стадіям грохочення:

перша стадія: E1=0.2 кВт год/т

друга стадія: E2=0.25 кВт год/т

третья стадія: E3=0.3 кВт год/т

Розрахунки:

перша стадія

$$P = Q \times E1 = 2825 \times 0,2 = 565 \text{ кВт.} \quad (4,24)$$

друга стадія

$$P_2 = Q \times E_2 = 2825 \times 0.25 = 706,3 \text{ кВт.} \quad (4,25)$$

третя стадія

$$P_3 = Q \times E_3 = 2825 \times 0.3 = 847,5 \text{ кВт.} \quad (4,26)$$

загальна потужність

$$P_{\text{загальна}} = P_1 + P_2 + P_3 = 565 + 706,3 + 847,5 = 2118,8 \text{ кВт.} \quad (4,27)$$

### **Вибір обладнання та кількість установок**

#### **Обґрунтування вибору обладнання та кількості установок**

##### **Перша стадія**

Грохот ГЛ-52 забезпечує попередній відсів дрібних фракцій (<117 мм) перед дробарками ККД-1500/180. Попереднє грохочення дозволяє зменшити навантаження на дробарки, оптимізувати процес і знизити зношування обладнання.

Розрахунок кількості грохотів:

$$n_{\text{грохоти}} = \frac{Q_{\text{вх}}}{\text{Продуктивність грохота}} = \frac{2825}{500} \approx 6 \text{ одиниць} \quad (4,28)$$

Дробарки типу ККД-1500/180 призначена для крупного дроблення гірських порід і сировини з високою міцністю, що повністю відповідає вимогам первинного дроблення залізних руд.

Розрахунок кількості дробарок:

$$n_1 = \frac{Q_{\text{вх}}}{\text{Продуктивність грохота}} = \frac{2825}{600} \approx 5 \text{ одиниць} \quad (4,29)$$

Конусні дробарки характеризуються простотою конструкції, надійністю, довгим терміном служби.

За результатами розрахунків необхідна кількість дробарок становить 5 одиниць.

##### **Друга стадія**

Застосування грохоту ГЛ-42 забезпечує відсів дрібних фракцій (<46 мм) після першої стадії дроблення перед подачею матеріалу на дробарки КСД-2500.

Розрахунок кількості грохотів:

$$n_{\text{грохоти}} = \frac{Q_{\text{вх}}}{\text{Продуктивність грохота}} = \frac{2260}{600} \approx 4 \text{ одиниці.} \quad (4,30)$$

Дробарка типу КСД-2500 підходить для середнього дроблення, яке включає зменшення розміру частинок до 46 мм після первинного дроблення.

Розрахунок кількості дробарок:

$$n_2 = \frac{Q_{\text{вх}}}{\text{Продуктивність грохота}} = \frac{2260}{500} \approx 5 \text{ одиниць} \quad (4,31)$$

Конусні дробарки характеризуються простотою конструкції, надійністю, довгим терміном служби.

За результатами розрахунків необхідна кількість дробарок становить 5 одиниць.

Третя стадія

Грохот ГІСТ-62 виконує остаточний відсів дрібних фракцій (<18 мм) перед подачею на дробарки КМД-1750.

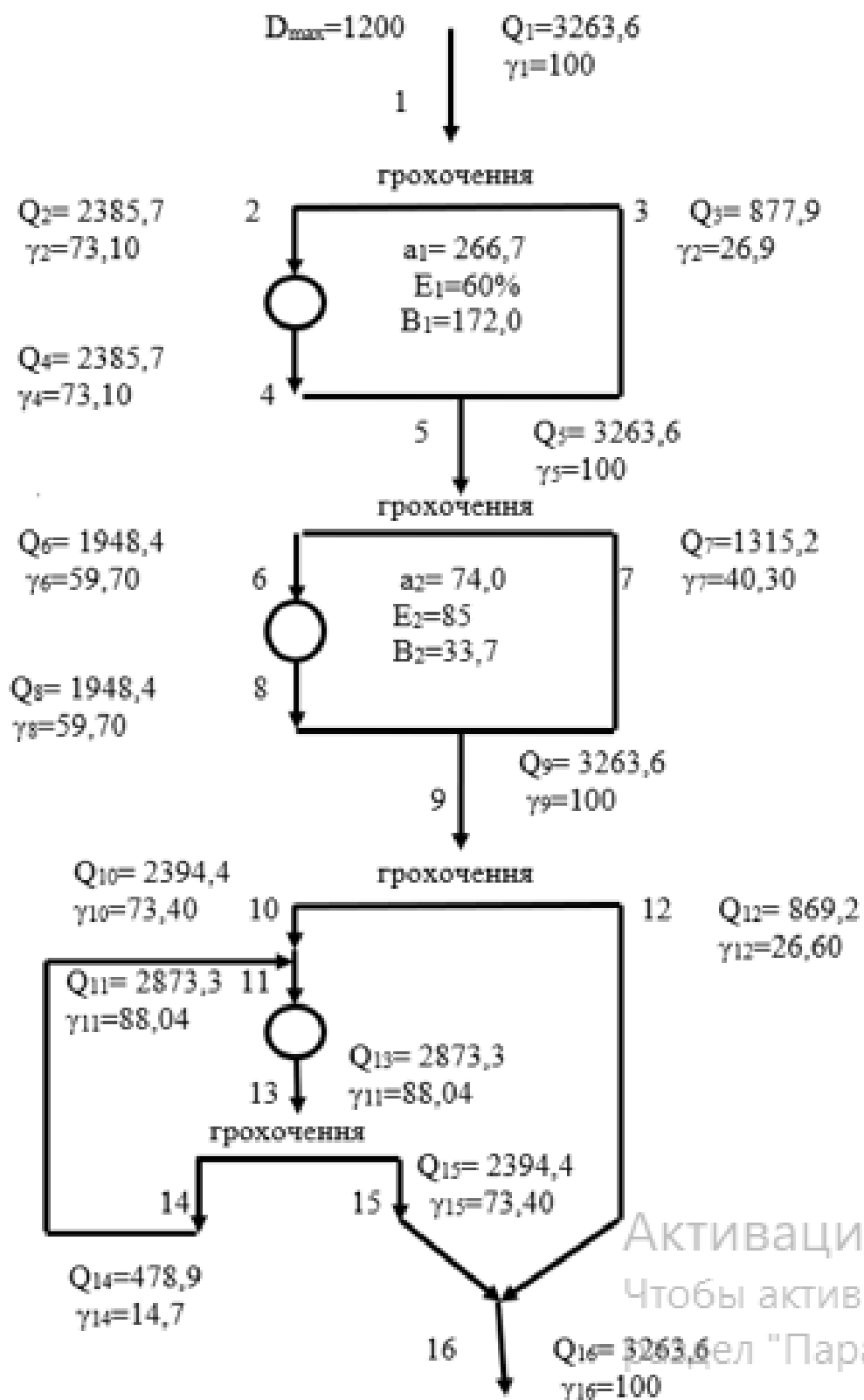
Розрахунок кількості грохотів:

$$n_{\text{грохоти}} = \frac{Q_{\text{вх}}}{\text{Продуктивність грохота}} = \frac{1921}{600} \approx 4 \text{ установок.} \quad (4.32)$$

Дробарки КМД-1750 ефективно застосовуються для дрібного дроблення, з розміром вихідного продукту 18 мм.

Розрахунок кількості грохотів:

$$n_3 = \frac{Q_{\text{вх}}}{\text{Продуктивність грохота}} = \frac{1921}{500} \approx 4 \text{ установок.} \quad (4.33)$$



Активация W  
 Чтобы активировать  
 параметр "Параметр"

Рисунок 4.1 - Технологічна схема дроблення

### **Розрахунок діючої схеми збагачення сировини**

В якості обладнання для мокрої магнітної сепарації використовуються барабанні магнітні сепаратори типу ПБМ-120/300.

Основні параметри обладнання

інтенсивність магнітного поля: 0,5 Тл.

продуктивність: 150 т/год (на одну установку).

питома енерговитрата: 0,2 кВт·год/т.

### **Розрахунок кількості сепараторів:**

$$n_{\text{магнітна}} = \frac{Q}{\text{Продуктивність однієї установки}} = \frac{2825}{150} = 19 \text{ установок.} \quad (4,34)$$

### **Розрахунок потужності:**

$$P_{\text{магнітна}} = Q \cdot E = 2825 \cdot 0,2 = 565 \text{ кВт.} \quad (4,35)$$

Діюча технологічна схема забезпечує виробництво концентрат якістю 65,12% з виходом продукту 44,20%, при вилученні заліза 80,78%. Вихід хвостів продукта збагачення складає 55,80% з якістю 12,27%, при вилученні заліза 19,22%.



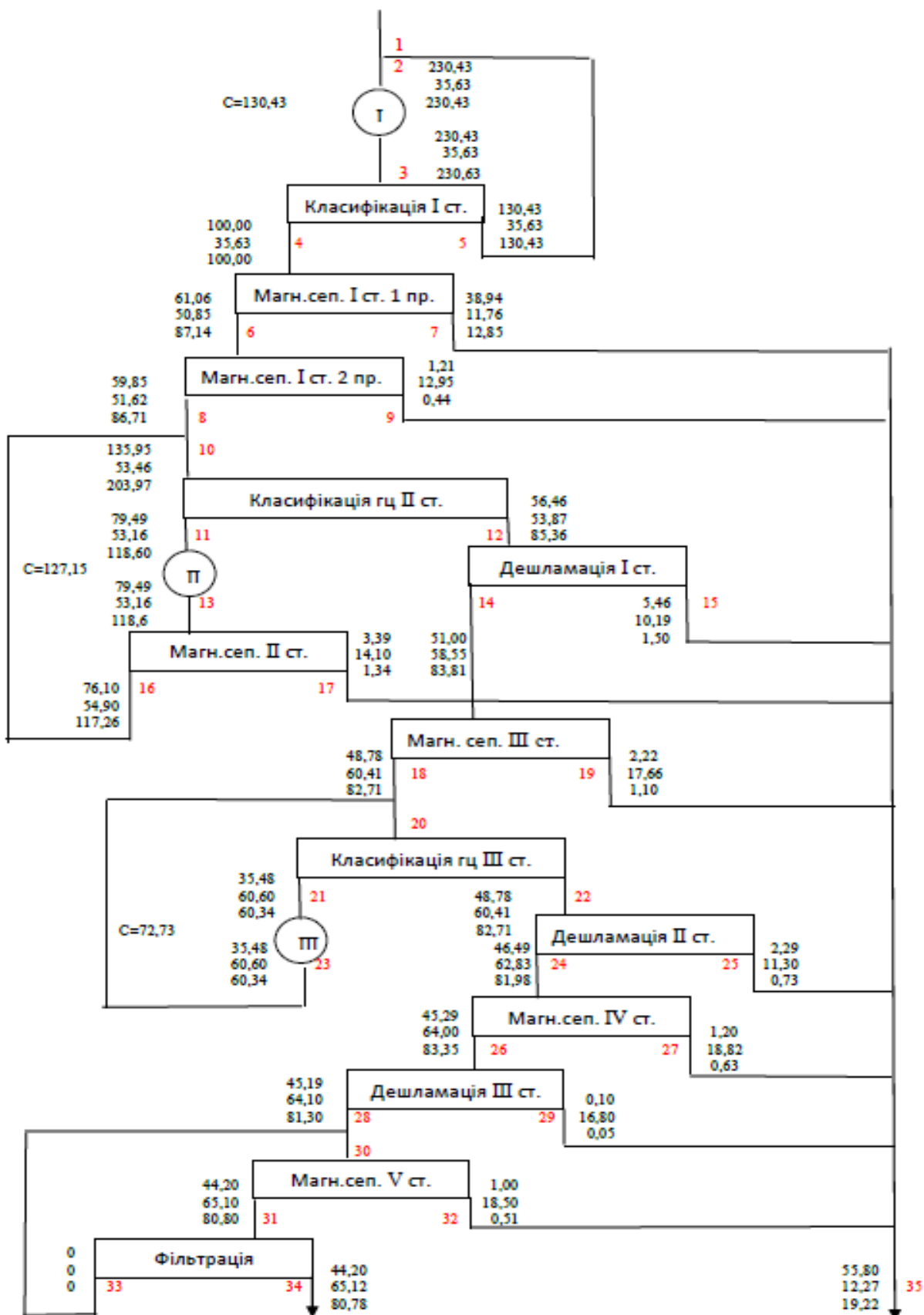


Рисунок 4.3 – Технологічна схема збагачення

## Розрахунок водно-шламової схеми

Розрахунок водного балансу технологічного процесу

### 1. Вихідні дані для розрахунків

продуктивність підприємства (Q): 2825 т/год

річний обсяг сировини: 22,6 млн тонн

робочі години на рік (T): 8000 годин

вміст твердих речовин у пульпі на різних стадіях процесу:

- одрібнення та класифікація: 65% твердої фази

- магнітна сепарація: 30% твердої фази

- Споживання води на 1 тону сухої руди на різних стадіях:

- подрібнення та класифікація: 0,5 м<sup>3</sup>/т

- магнітна сепарація: 0,2 м<sup>3</sup>/т

- Коефіцієнт повторного використання води (рецикл): 70%

### 2. Розрахунок споживання води на кожній стадії

Подрібнення та класифікація

$$W_{\text{подрібн}} = Q \times C_{\text{пожив.}} = 2825 \text{ т/год} \times 0,5 = 1412,5 \text{ м}^3/\text{год} \quad (4,40)$$

Магнітна сепарація

$$W_{\text{магн}} = Q \times C_{\text{пожив.}} = 2825 \times 0,2 = 565 \text{ м}^3/\text{год} \quad (4,41)$$

Загальне споживання води за годину:

$$W_{\text{заг}} = W_{\text{подрібн}} + W_{\text{магн}} = 1412,5 + 565 = 1977,5 \text{ м}^3/\text{год} \quad (4,44)$$

### 3. Розрахунок річного споживання води

$$W_{\text{річне}} = W_{\text{заг}} \times T = 1977,5 \text{ м}^3/\text{год} \times 8000 \text{ год} = 15820 \text{ тис. м}^3/\text{рік} \quad (4,45)$$

## 4.2 Нове проектне рішення

Нова схема передбачає подачу хвостової пульпи самопливом через існуючий хвостовий лоток до двох згущувачів діаметром 50 м. Лоток буде додатково обладнаний вузлом перемикання з футерованими шибєрними засувками діаметром 1000 мм, поворотами та іншими необхідними елементами. Згущувачі для обробки хвостів планується розмістити безпосередньо біля корпусу збагачувальної фабрики на місці лабораторної будівлі або поряд з аварійною земляною ємністю місткістю 12 000 м<sup>3</sup>. За поточного обсягу подачі хвостової пульпи (9 900 м<sup>3</sup>/год) і з подальшим збільшенням потужності до 50 000 м<sup>3</sup>/год на другому етапі планується модернізація. У її рамках буде здійснено оснащення існуючих радіальних згущувачів з центральним приводом седиментаційними пакетами, а також, за потреби, встановлення двох

додаткових згущувачів діаметром 50 м. Детальні розрахунки технологічних показників процесу згущення хвостової пульпи та обґрунтування вибору оптимального типорозміру радіального згущувача представлені в матеріалах.

Згущувачі встановлюються таким чином, щоб забезпечити самопливну подачу очищеного зливу по лотках, розташованих у безпосередній близькості до майданчика вузла згущення. Очищена вода надходить у наявну насосну станцію оборотної води, а самопливне спорожнення згущувачів під час аварійних чи регламентних робіт спрямовується в аварійні відстійники. Згущена пульпа відкачується з-під згущувачів за допомогою імпорتنих насосів Warman або вітчизняних насосів типу НП-500 (при щільності пульпи до 15%), які керуються через перетворювачі частоти для регулювання швидкості обертання відповідно до параметрів технологічного режиму згущення.

Насоси встановлюються у утеплених приміщеннях під згущувачами, де також розташоване електрообладнання, перетворювачі частоти струму, необхідна арматура. Склад флокулянтів, розрахований на тиждень роботи за встановленої витрати реагенту, містить чан розчинення і чан подачі флокулянту, об'ємом не менше добової витрати. Вони розміщуються в утепленому приміщенні між згущувачами або в насосному приміщенні під згущувачами. Обґрунтування потреби у флокулянтах, їх виду, дозування та параметрів реагентного господарства наведено.

Корпус згущувача виготовляється з монолітного залізобетону з перекриттям із монолітних залізобетонних плит. Спеціальне опалення ємностей згущувачів не потрібне, оскільки вони призначені для експлуатації на відкритому повітрі при низьких температурах до  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Згущена пульпа, з середньою концентрацією до 30%, у кількості 3887,0 м<sup>3</sup>/год транспортується під тиском 46 м в один підйом на хвостосховище. Робота насосної установки налаштована на регулювання швидкості обертів залежно від витрати хвостової пульпи. Відповідно до розрахунків системи гідротранспорту, оптимальним і економічно доцільним є подача згущеної пульпи РЗФ-1 через пульпопровід діаметром 600 мм зі швидкістю 1,55 м/с і згущеної пульпи ОФ-2 через пульпопровід діаметром 700 мм зі швидкістю 1,42 м/с. Для запобігання замерзанню пульпи в зимовий період труби пульпопроводів засипають м'яким ґрунтом із шаром товщиною 1,2 м над верхом труби.

Об'єднаний злив згущувачів спрямовується по лотках оборотного водопостачання самопливом у всмоктуючий колектор наявної насосної станції, а далі насосами повертається в оборот на РЗФ. Водовід прокладається по поверхні землі та обвалується ґрунтом із шаром товщиною 1 м.

На підставі лабораторних досліджень параметрів згущення та освітлення хвостової пульпи витрата флокулянту прийнята на рівні 6 г/т.

#### **4.2.1 Обґрунтування доцільності згущення хвостів**

## Основні положення

Пристрій згущувального відділення для хвостової пульпи «ПВНГЗК» економічно виправдовує себя з наступних міркувань

велика витрата пульпи (до 18500 м<sup>3</sup>/год по РЗФ-1 і 21400 м<sup>3</sup>/год по РЗФ-2 )

значне розрідження хвостової пульпи ( $T:Ж > 19,66$ ); кількість пульпонасосних станцій – понад дві;

висока дисперсність хвостів ( $d < 70$  мкм); діаметр пульповодів - понад 200 мм (1200 мм);

дефіцит площ земельних угідь, які можуть бути відчужені під будівництво хвостосховища.

У той же час спорудження відділення згущення має свої недоліки, серед яких:

великі капітальні витрати, обсяги яких вимірюються десятками мільйонів гривень;

значний термін окупності, не менше трьох років;

збільшення експлуатаційних витрат, основна частина яких припадає на флокулянти, що мають порівняно високу вартість.

Економічна доцільність процесу згущення у транспортній системі

Згущення хвостової пульпи стає виправданим рішенням у напірно-напружених системах гідротранспорту завдяки скороченню витрат електроенергії на її перекачування до хвостосховища. Потужність насосної установки для транспортування хвостів ( $N$ , кВт) визначається залежністю:

$$N = V \cdot H \cdot d_p / (102 \cdot \eta), \quad (4.45)$$

де

$V$  - подача пульпи, м<sup>3</sup>/с;

$H$  - манометричний напір системи гідротранспорту, м вод. ст.;

$d_p$  - щільність пульпи, кг/м<sup>3</sup>;

$\eta$  - к. п. д. насос.

Манометричний напір системи гідротранспорту включає дві складові.

$$H = H_g + \Sigma h_v \quad (4.46)$$

де  $H_g$ , - геодезичний підйом пульпи, м вод. ст.;

$\Sigma h_v$  - суми втрат напору в системі гідротранспорту хвостової пульпи, м вод. ст.

Тоді вираз енергії при гідротранспорті згущених хвостів дорівнює

$$\Delta N = N_n - N_{ср.н} = V_n \cdot H_n \cdot d_{nn} - V_c \cdot H_c \cdot d_{nc} / (102 \cdot \eta)$$

$$V_c < V_n, H_c > H_n, d_{nc} > d_{nn}$$

$$(4.47)$$

Звідси випливає, що рентабельність гідротранспорту з точки зору енерговитрат визначається тим, наскільки скорочення витрати пульпи ( $C_v$ ) компенсує збільшення енергетичних витрат через підвищення

щільності та напору. Цей принцип закладено в обґрунтування необхідності згущення хвостової пульпи, щоб оптимізувати енерговитрати на її транспортування до хвостосховища.

Результати аналізу підтверджують, що впровадження процесу згущення дозволяє досягти значного зниження енерговитрат і підвищення загальної економічної ефективності системи гідротранспорту.

#### 4.2.2. Розрахунок оптимальних технологічних показників процесу згущення хвостової пульпи та вибір оптимального типорозміру згущувачів.

Методика розрахунку оптимальних показників.

Згущення хвостової пульпи є технологічно ефективним за умови такого вмісту твердих частинок у згущеному продукті, при якому скорочення обсягу води, що скидається у хвостосховище, не спричиняє втрат освітленого шару або зниження продуктивності згущувача. У цьому випадку під згущувачем мається на увазі пристрій радіального типу з продуктивністю 50 000 тис. м<sup>3</sup>/год, тоді як використання циліндро-конічних згущувачів або пристроїв із високою концентрацією осаду (пастових згущувачів) вважається невиправданим. В основу розрахунку покладено рівняння балансу в режимі, що встановився

$$V_{\text{вих}} \cdot T_{\text{вих}} = V_{\text{зл}} \cdot T_{\text{зл}} + V_{\text{ст}} \cdot T_{\text{ст}} \quad (4.48)$$

де

$V_{\text{вих}}, V_{\text{зл}}, V_{\text{ст}}$  - обсяг відповідно вихідного, зливного та згущеного продуктів, м/год  
 $T_{\text{вих}}, T_{\text{зл}}, T_{\text{ст}}$  - вміст твердого відповідно у вихідному, зливному та згущеному продуктах радіального згущувача, г/л.

При заданому осьовому складі вихідної пульпи та вмісті твердих частинок у продуктах поділу розраховуємо об'єм зливу та згущеного продукту. Концентрацію твердих частинок у зливні приймаємо на рівні трохи більше 500,0 мг/л, а у вихідній пульпі — 34,76 г/л. Задаючись процентною концентрацією у згущеному продукті в межах від 15,0% до 60%, визначаємо її вплив на об'єм хвостової пульпи (води), що скидається у хвостосховище, а також оптимальну продуктивність згущувача. На основі оптимальної продуктивності згущувача розраховуємо необхідну площу освітлення за допомогою формули.

$$S = \frac{K_{\text{викор.зг.}} \times V_{\text{п}}}{u} \quad (4.49)$$

де

$K_{\text{викор.зг.}}$  - коефіцієнт, що враховує неповне використання площі згущувача, вплив об'єму і консистенції згущеного продукту, що випускається;

$V_{\text{п}}$  - об'єм вихідного продукту, м<sup>3</sup>/год,

$u$  - швидкість осадження твердого, а при використанні флокулянта швидкість сфлокульованої суспензії, м/с. За дослідними даними швидкість осадження породних частинок без флокулянту - 0,0003 м/с, з флокулянтом - 0,004 м/с. Емпіричний коефіцієнт  $K_{\text{викор.зг.}}$  приймається в межах від 1,5 до

2,0. Визначивши площу освітлення  $S$ , переходимо до розрахунку швидкості висхідного потоку та дисперсності частинок, які потрапляють у злив.

Розроблений алгоритм розрахунку дає змогу за допомогою ЕОМ моделювати різні технологічні сценарії та візуалізувати отримані результати, аналіз яких наведено нижче.

#### Аналіз результатів розрахунку

Дані свідчать, що при згущенні хвостової пульпи до 20% рівень водообігу на стадії згущення досягає 56,09%. У разі підвищення концентрації до 30% та 40% цей показник зростає відповідно до 91,90% та 94,79%. При концентрації 50% та 60% об'єм води, що залишається у згущеному продукті, не перевищує 0,5–2,1%.

Зростання ступеня згущення супроводжується закономірним збільшенням швидкості висхідного потоку. Найрізкіше підвищення швидкості спостерігається в діапазоні від 6% до 27%, після чого процес уповільнюється, і при збільшенні концентрації продукту від 20% до 60% швидкість зростає лише на 0,001 м/с. Подібна тенденція спостерігається і в зміні крупності частинок у злив: при концентрації меншій за 20% дисперсність частинок знижується з 40 до 44 мкм, тоді як після цього зміни становлять лише 4 мкм.

Продуктивність згущувача відчутно залежить від ступеня згущення: при збільшенні концентрації від 5% до 60% продуктивність знижується майже вдвічі. При цьому витрата флокулянту становить 0,7 г/м<sup>3</sup>, а вміст завислих речовин у зливі — не більше 0,69 г/л.

Таким чином, з технологічної точки зору, оптимальним є вміст твердого в згущеному продукті до 35%. Однак економічні фактори мають вирішальне значення, тому був проведений аналіз їх залежності від ступеня згущення. Як показали розрахунки, експлуатаційні витрати змінюються здебільшого за статтями "електроенергія" та "флокулянт". Наприклад, при згущенні продукту до 60% витрати електроенергії становлять 3,33 млн кВт·год/рік, тоді як витрата флокулянту досягає 500 т/рік. Економічно доцільніше працювати в діапазоні концентрації твердого від 25% до 50%.

Знаючи тип згущувача та обчисливши необхідну площу освітлення для заданого об'єму хвостової пульпи, визначаються діаметр згущувача та тип приводу. Результати розрахунків свідчать, що до встановлення рекомендовані три типорозміри згущувачів: 30, 50 і 100 м.

Згущувач діаметром 100 м менш ефективний у технологічному відношенні через значні швидкості потоку в центральній зоні, що створює "мертві зони" та знижує коефіцієнт використання апарата. Крім того, його експлуатаційні витрати вищі, а необхідність великих будівель значно ускладнює монтаж.

Згущувач діаметром 50 м демонструє високу питому продуктивність, має нижчі експлуатаційні витрати та може працювати в умовах відкритого повітря при температурі до -55°C. Крім того, його конструкція передбачає можливість модернізації, наприклад, встановлення седиментаційних пакетів для

підвищення продуктивності. З огляду на ці переваги, до встановлення обираються згущувачі діаметром 50 м із центральним приводом.

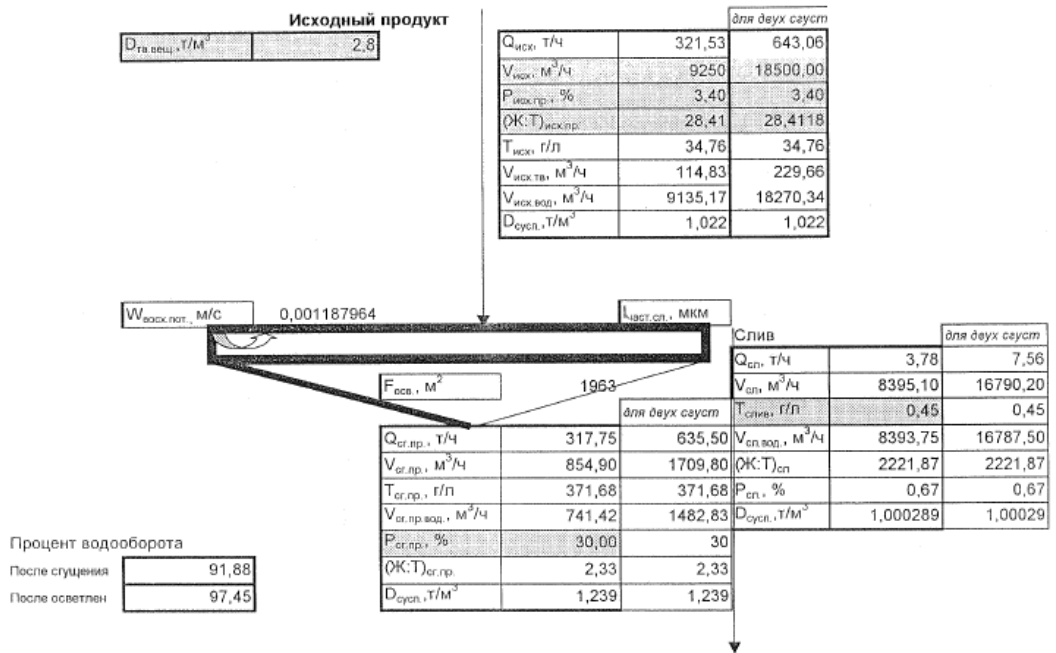


Рисунок 4.1 – Розрахунок показників при згущенні хвостової пульпи

## РОЗДІЛ 5 БЕЗПЕКА ПРАЦІ ПРИ ЗБАГАЧЕННІ МАГНЕТИТОВИХ КВАРЦИТІВ

Збагачення магнетитових кварцитів супроводжується впливом різноманітних виробничих факторів, таких як пил, шум, вібрація, а також ризиком травмування при експлуатації обладнання. Для забезпечення безпечних умов праці в цій сфері в Україні діє система нормативно-правових актів, які встановлюють вимоги з охорони праці.

Відповідно до чинного законодавства України, забезпечується реалізація конституційних прав громадян на безпечну трудову діяльність, охорону життя та здоров'я працівників. Законодавство включає положення, які регулюють організацію та контроль за безпекою праці, а також вимоги до підприємств, що працюють у сфері збагачення магнетитових кварцитів.

На рисунку 5.1 представлено загальну схему структури охорони праці, що ілюструє взаємозв'язок між нормативно-правовою базою, організаційними заходами, контролем за дотриманням норм безпеки та заходами щодо запобігання травматизму й професійним захворюванням.

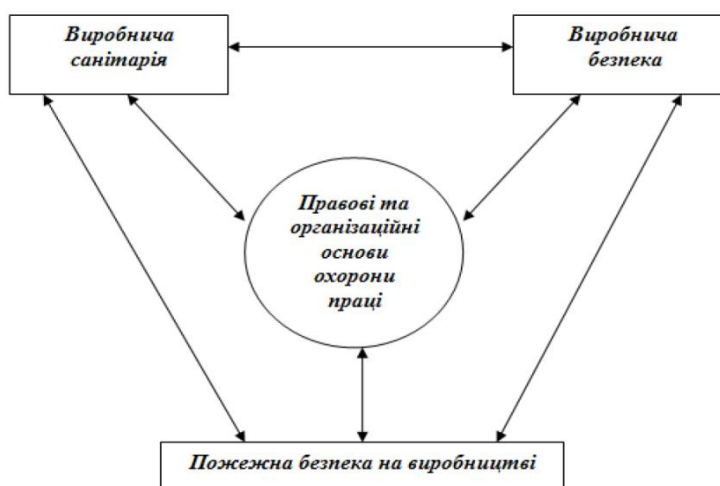


Рисунок 5.1 – Структурна схема охорони праці

Основні норми та показники шкідливих речовин представлені в табл. 5.1. У таблиці 5.2 наведено види небезпек, їх ознаки та перелік документів, що їх регламентують. В табл. 5.3 наведено, в залежності від показника токсичності, класифікація шкідливих речовин.



Таблиця 5.1 – Показники та норми класів небезпеки шкідливих речовин

Назва показника	Норма для класу небезпеки			
	1	2	3	4
ГДК у повітрі робочої зони, мг/м <sup>3</sup>	< 0,1	0,1 – 1,0	1,1 – 10	> 10,0
Середня смертельна концентрація в повітрі, мг/м <sup>3</sup>	< 500	500 - 5000	5001 – 50000	> 50000
Коефіцієнт можливості інгаляційного отруєння	> 300	300 - 30	29 – 3	< 3
Зона гострої дії	< 6,0	6,0 – 18,0	18,1 – 54,0	> 54,0
Зона хронічної дії	> 10,0	10,0 – 5,0	4,9 – 2,5	< 2,5

Таблиця 5.2 – Види небезпек, їх ознаки та перелік регламентуючих документів

Бактеріологічна	Наявність небезпечних мікроорганізмів (бактерії, віруси, рикетсії, грибки, простіші)	ГОСТ 12.1.008-76, ДСТУ 2636-94
Біологічна	Наявність небезпечних макроорганізмів, а також накопичувачі і полігони біологічних відходів, очисні споруди господарсько-побутової каналізації	ГОСТ 12.1.008-76, наказ МОЗ від 19.06.96 № 173 (з 0379-96)
Вибухопожежна	Наявність газоподібних, рідких та твердих речовин, матеріалів або їх сумішей, а також окислювачів, які здатні вибухати і горіти за певних умов	ГОСТ 12.1.010-76, ГОСТ 12.1.011-78, ГОСТ 12.1.044-89
Пожежна	Наявність газоподібних, рідких та твердих речовин, матеріалів або сумішей, які здатні підтримувати горіння	ДСТУ 2272-93, ГОСТ 12.1.004-91, ДБН В.1.1-7-2002
Гідродинамічна	Наявність гідротехнічних споруд (дамби, греблі, шлюзи) для накопичення і зберігання значних об'ємів води і рідких речовин	ДБН В.2.4-3:2010, ГОСТ 27751-88
Радіаційна	Наявність радіоактивних речовин і матеріалів, інших джерел іонізуючого випромінювання	НРБУ-97/Д-2000 (v 0062282-97), ОСПУ 2000
Фізична	Наявність джерел електромагнітних, іонізуючих, світлових, акустичних чи інших полів несприятливого діапазону або потужності. Динамічна небезпека, пов'язана з наявністю джерел високих швидкостей руху, у тому числі перемінних (вібрацій)	ГОСТ 12.1.006-84, ГОСТ 12.1.038-82, ГОСТ 12.1.040-83, ГОСТ 12.1.045-84, ГОСТ 12.1.051-90, ДСТУ 3994-2000
Хімічна	Наявність токсичних, шкідливих, сильнодіючих отруйних речовин, отрутохімікатів, хімічних засобів захисту рослин та міңдобрив	ДНАОП 2.0.00- 1.01-00, ГОСТ 12.1.007.76
Екологічна	Можливість несприятливого впливу на довкілля техногенних і природних факторів, в результаті чого порушується пристосування живих систем до звичних умов існування	НПАОП 0.00- 1.23-10, ДБН В.2.4-2-2005, ДСП 3.3.1.095- 2002

Таблиця 5.3 – Класифікація шкідливих речовин за ступенем токсичності

Група токсичності	ГДК в повітрі, мг/м <sup>3</sup>	Середня смертельна концентрація в повітрі, мг/дм <sup>3</sup>
Надзвичайно токсичні	0,1	< 1
Високотоксичні	0,1 – 1	1 – 5
Сильно токсичні	1,1 – 10	6 – 20
Помірно токсичні	1,1 – 10	21 – 80
Малотоксичні	> 10	81 – 160
Практично нетоксичні	-	> 160

В табл. 5.4 представлені показники пожежовибухонебезпечних речовин і матеріалів.

Таблиця 5.4 – Показники пожежовибухонебезпечності речовин і матеріалів

Показники	Агрегатний стан речовин і матеріалів			
	гази	рідини	тверді	пил
Група горючості	+	+	+	+
Температура спалаху	-	+	-	-
Температура займання	-	+	+	+
Температура самозаймання	+	+	+	+
Концентраційні межі поширення полум'я (займання)	+	+	-	+
Температурні межі поширення полум'я (займання)	-	+	-	-
Умови теплового самозагоряння	-	-	+	+
Мінімальна енергія запалювання	+	+	-	+
Здатність вибухати та горіти при взаємодії з водою, киснем повітря та іншими речовинами	+	+	+	+
Нормальна швидкість поширення полум'я	+	+	-	-
Індекс поширення полум'я	-	-	+	-
Мінімальний вибухонебезпечний вміст кисню	+	+	-	+
Максимальний тиск вибуху	+	+	-	+

Час впливу електричного струму на організм людини представлений в табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Час впливу електричного струму на організм людини

Струм	Час впливу
до 5 mA – безпечний	до 4 хв – можливе відновлення
5 ÷ 20 mA – легкі травми	до 6 хв – інвалід
20 ÷ 50 mA – травми середньої важкості	до 8 хв – біологічний об'єкт
20 ÷ 50 mA – травми середньої важкості	більше 8 хв - смерть
більше 100 mA – миттєва смерть	

## РОЗДІЛ 6 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ

Згущення хвостової пульпи дозволяє повертати 92% води, у вигляді зливу радіальних згущувачів, одразу в систему оборотного водопостачання, виключаючи її гідротранспорт по напорним магістральним, а потім по розподільчим трубопроводам, в результаті чого досягається економія по витратах електроенергії.

Визначення середньої довжини напірно-магістрального пульпопроводу

$$L_{\text{ср.м}} = L_{\text{заг.м}} / n_{\text{заг}} \quad (6.1)$$

де:

$L_{\text{заг.м}}$  - загальна довжина магістральних пульпопроводів, м;

$n_{\text{заг}}$  - кількість магістральних пульпопроводів, шт;

$$L_{\text{ср.м}} = 32560 / 10 = 3256 \text{ м};$$

Визначення середньої довжини розподільчого пульпопроводу

$$L_{\text{ср.роз.}} = L_{\text{заг.роз.}} / n_{\text{заг}} \quad (6.2)$$

де:

$L_{\text{заг.роз.}}$  - загальна довжина розподільчих пульпопроводів, м;

$n_{\text{заг}}$  - кількість розподільчих пульпопроводів, шт;

$$L_{\text{ср.роз.}} = 35820 / 12 = 2985 \text{ м};$$

Розрахунок загальної середньої довжини горизонтальних ділянок при гідротранспортуванні хвостової пульпи до місця її складування в хвостосховище

$$L_{\text{ср.гор}} = L_{\text{ср.м}} + L_{\text{ср.р}} \quad (6.3)$$

де:

$L_{\text{ср.м}}$  - середня довжина горизонтальних ділянок магістрального пульпопроводу, м;

$L_{\text{ср.р}}$  - середня довжина горизонтальних ділянок розподільчого пульпопроводу, м

$$L_{\text{ср.гор}} = 3257 + 3007 = 6278 \text{ м};$$

Визначення висоти втрат напору  $\Delta H$  при подачі хвостової пульпи в кількості 50 тис.м<sup>3</sup>/год (13,89 м<sup>3</sup>/сек.)

Виходячи з номограми, приймаємо висоту втрат напору на кожні 100 м довжини пульпопроводу на рівні 0,4м. Тоді загальні втрати напору на горизонтальних ділянках складуть:

$$H_{\text{гор.}} = 0,4 \times 6278 = 25,11 \text{ м. вод. ст.}$$

Визначення монометричного напору з урахуванням 15%-го коефіцієнту запасу

$$H_{\text{М}} = 1,15 \times (H_{\text{гор.}} + H_{\text{Н}}); \quad (6.4)$$

$$H_{\text{М}} = 1,15 \times (25,11 + 12) = 42,68 \text{ м. вод. ст.}$$

Визначення теоретичної потужності для перекачування 50 000 м<sup>3</sup>/год хвостової пульпи з густиною 1285кг/м<sup>3</sup> до місця складування

$$N_{\text{T}} = \frac{Q \times H \times \rho}{102 \times \rho_{\text{теор}}} \quad (6.5)$$

$$N_{\text{T}} = \frac{13,89 \times 43 \times 1285}{102 \times 1,0} = 7524,43 \text{ кВт}$$

Питомі теоретичні витрати на перекачування всього об'єму пульпи

$$q_{\text{е. т}} = \frac{N_{\text{T}}}{V_{\text{п}}} \quad (6.5)$$

$$q_{\text{е. т}} = \frac{7524,43 \text{т}}{50000} = 0,15 \text{ кВт/м}^3$$

Фактична потужність при перекачуванні хвостової пульпи

$$N_{\text{ф}} = N_{\text{дв.}} \times n \quad (6.6)$$

де

$N_{\text{дв.}}$  – потужність на валу приводного двигуна насосу НП-800;

$n$  – кількість насосів НП-800, які перекачують хвостову пульпу.

$$N_{\text{ф}} = 3200 \times 6 = 19200 \text{ кВт}$$

Визначення теоретичної потужності при перекачуванні тільки згущеного продукту в кількості 4446,1 м<sup>3</sup>/год (1,24 м<sup>3</sup>/сек.) на хвостосховище

$$N_{\text{T. зг}} = \frac{1,24 \times 42 \times 1285}{102 \times 1,0} = 653,5 \text{ кВт}$$

Розрахунок економії електроенергії при згущенні хвостової пульпи з подальшою перекачкою згущеного продукту на хвостосховище, а злив в систему оборотного водопостачання

Розрахунок різниці величини теоретично необхідної потужності насосної установки при роботі в комплексі з радіальними згущувачами і без них.

$$\begin{aligned}\Delta N &= N_T - N_{T.зг} & (6,7) \\ \Delta N &= 7524,43 - 653,5 = 6870,93 \text{ кВт}\end{aligned}$$

Розрахунок витрат на електроенергію. Річний фонд робочого часу ( $t_{\text{год}}$ ) прийнято 8000 годин, середньодобовий тариф по електроенергії  $f_{\text{ср}} = 5,63$  грн/кВт год.

$$C_T = \Delta N \times t_{\text{год}} \times f_{\text{ср}}; \quad (6.8)$$

$$C_T = 6870,93 \times 8000 \times 5,63 = 309\,466\,687,2 \text{ грн};$$

Приймаємо поточний курс долару США рівним  $1\$ = 41$  грн та конвертуємо отриманий результат

$$C_T = 7\,547\,968 \text{ долари.}$$

Розрахунок різниці в величині фактичної необхідної потужності насосної установки при роботі в комплексі з радіальними згущувачами і без них

$$\Delta N_{\phi} = N_{\phi} - N_{\phi.зг}; \quad (6.9)$$

$$\Delta N = 19200 - 653,5 = 18546,5 \text{ кВт};$$

Фактична необхідна потужність насосної установки при роботі в комплексі з радіальними згущувачами розрахована як середня встановлена потужність приводних електродвигунів насосів WARMAN 14/12 АН-АО6 і НП-500, для яких потужність на валу двигунів складає, відповідно, 425 і 1250 кВт, а в експлуатації може знаходитись один з них.

Розрахунок експлуатаційних витрат по статті електроенергія.

$$C_{\phi} = \Delta N_{\phi} \times t_{\text{год}} \times f_{\text{ср}}; \quad (6.10)$$

$$C_{\phi} = 18546,5 \times 8000 \times 5,63 = 835\,334\,360 \text{ грн};$$

Після конвертації в долари США

$$C_{\phi} = 20\,374\,009 \text{ долар};$$

Оборотний цикл.

В оборотному циклі присутня економія експлуатаційних затрат по статті «електроенергія» завдяки перекачуванню освітленої в хвостосховищі оборотної води з існуючих насосних станцій оборотного водопостачання на

проммайданчик комбінату. Висота втрати напору розраховується тільки для горизонтальних ділянок, оскільки витрати електроенергії на вертикальних ділянках в обох випадках приблизно однакові.

Розрахунок висоти втрати напору  $\Delta H$  при подачі освітленої води об'ємом 40 тис.м<sup>3</sup>/год (11,1 м<sup>3</sup>/сек.) на відстань 1500м. З допомогою номограми, яка наведена нижче, розраховано загальні втрати напору на горизонтальній ділянці.

$$H_{\text{заг}} = \frac{0,3 \times 1500}{100} = 4,5 \text{ м. вод. ст.};$$

З урахуванням 15%-го коефіцієнту запасу отримуємо

$$H_{\text{заг}} = 1,15 \times 4,5 = 5,175 \text{ м. вод. ст.};$$

Приймаємо 6,0 м.вод.ст.

Теоретична потужність для перекачки 11.1 м<sup>3</sup>/год оборотної води до проммайданчика.

$$N_{\text{т}} = \frac{Q \times H \times \rho}{102 \times \eta}; \quad (6.11)$$

$$N_{\text{т}} = \frac{11,1 \times 6 \times 1000}{102 \times 1,0} = 652,94 \text{ кВт};$$

Розрахунок експлуатаційні витрати електроенергії

$$C_{\text{заг}} = N_{\text{т}} \times t_{\text{год}} \times f_{\text{ср}};$$

$$C_{\text{заг}} = 652,94 \times 8000 \times 5,63 = 29\,408\,417,6 \text{ грн.};;$$

Після конвертації в долари США отримаємо  $C_{\text{заг}} = 717\,278,5\$$ .

Розраховуємо загальну економію експлуатаційних витрат на електроенергію:

$$C_{\text{е}} = C_{\text{ф}} + C_{\text{заг}}; \quad (6.12)$$

$$C_{\text{е}} = 20\,374\,009 + 717\,278,5 = 21\,091\,287,5\$;$$

Розрахунок додаткових експлуатаційних витрат на допоміжні матеріали.

Додаткові витрати розраховуються на використання флокулянтів типу поліакриламиду або реагенту Магніфлок М-336, німецької фірми «СІВА». Оптимальна питома витрата, заявлена виробником, складає 6,0 г/т.

Розрахунок річної витрати флокулянту при обробці хвостів в об'ємі  $Q = 1738,7$  т/год.

$$W_{\text{фл}} = Q \times t \times q_{\text{фл}}; \quad (6.13)$$

де

$Q$  – об'єм пульпи, яка обробляється, т/год;

$t$  – річний фонд робочого часу, год;

$q_{\text{фл}}$  = питома витрата флокулянту, г/т.

$$W_{\text{фл}} = 1738,7 \times 8000 \times 6 = 83,46 \text{ тон};$$

Розрахунок додаткових експлуатаційних затрат

$$C_{\text{фл}} = Ц_{\text{фл}} \times W_{\text{фл}}; \quad (6.14)$$

де

$C_{\text{фл}}$  – ціна в доларах США за 1 т флокулянту;

$$C_{\text{фл}} = 10000 \times 83,46 = 834\,600 \text{ \$/рік};$$

Розрахунок загального зменшення експлуатаційних затрат при застосуванні технології згущення хвостової пульпи.

$$E = C_E - C_{\text{фл}}; \quad (6.15)$$

$$E = 21\,091\,287,5 - 834\,600 = 20\,256\,68.5\$.$$



## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Магістерська робота має високий рівень актуальності, оскільки спрямована на вирішення проблем зворотного водопостачання та ефективного складування відходів мокрої магнітної сепарації в умовах ПРАТ «ПВНГЗК». У роботі розглядаються як теоретичні аспекти, так і практичні підходи до оптимізації технологій у гірничо-металургійній галузі.
2. Оборотноє водопостачання відіграє ключову роль у скороченні споживання свіжої води на збагачувальних фабриках. Використання освітленої води, що повертається з хвостосховищ або пристроїв, що згущують, знижує екологічне навантаження на природні водні ресурси.
3. Технології складування відходів спрямовані на забезпечення безпечного та економічного зберігання хвостів. Сучасні методи укладання, включаючи пошарове складування та використання геосинтетичних матеріалів, підвищують стійкість відвалів та запобігають забрудненню навколишнього середовища.
4. Витрати електроенергії при перекачуванні згущеного до 60% продукту складають всього 3,33 млн. кВт. год/год, то витрата флокулянта у процесі згущення досягає 500,0 т/рік
5. Запропоновані рішення спрямовані на зменшення витрат води, підвищення ефективності очищення та повторного використання води, а також зменшення площ, необхідних для складування відходів.
6. Робота пропонує впровадження новітнього обладнання для згущення хвостів, яке забезпечить економію ресурсів і зменшення екологічного навантаження.
7. Впровадження запропонованих технологій дозволяє знизити ризики забруднення довкілля завдяки покращенню систем оборотного водопостачання та раціональному управлінню відходами.
8. Очікується суттєве скорочення витрат на водопостачання, будівництво та обслуговування хвостосховищ, а також підвищення рентабельності виробництва. Економічний ефект складе 20 256 68.5\$.

## Список використаних джерел

1. Ахматов О. В. Технологія мокрої магнітної сепарації: Монографія. – Київ: Наукова думка, 2018. – 320 с.
2. Баженов Л. В., Сидоров В. В. Основи теорії та практики збагачення магнетитових кварцитів. – Дніпро: Гірничий інститут, 2020. – 270 с.
3. ДСТУ 3149-2020. Обладнання для згущення пульп. Загальні технічні вимоги. – Київ: Мінекономрозвитку України, 2020.
4. ДСТУ 8294:2016. Системи водоочищення та оборотного водопостачання. Вимоги та методи контролю. – Київ: Стандарт Інформ, 2016.
5. Гребенюк О. О., Соловей Ю. І. Технології оборотного водопостачання на гірничо-збагачувальних комбінатах // Гірничо-металургійний журнал. – 2023. – №2. – С. 45-52.
6. Кравченко І. М., Олійник Т. А. Вплив гранулометричного складу хвостів на ефективність згущення пульпи // Технології збагачення корисних копалин. – 2022. – №4. – С. 12-18.
7. Петренко В. В. Основи збагачення корисних копалин: Навчальний посібник. – Харків: ХНУМГ, 2019. – 340 с.
8. Ткаченко С. І. Екологічні аспекти збагачення корисних копалин. – Львів: Політехніка, 2017. – 280 с.
9. Петров А. А. Проблемы и перспективы утилизации отходов обогащения // Горное дело. – 2020. – №5. – С. 45-51.
10. Smith J., Johnson R. Advances in Tailings Management and Water Recycling in Mining. – London: Taylor & Francis, 2020. – 320 p.
11. Екологічні аспекти управління відходами: Рекомендації для підприємств гірничо-металургійного комплексу. – Київ: Центр екології, 2021. – 120 с.
12. Власюк В. Г., Коваленко О. М. Новітні технології водоочищення в промисловості // Екологічний вісник. – 2022. – №3. – С. 25-30.
13. Литвиненко С. В. Технологічні аспекти збагачення залізних руд: Навчальний посібник. – Дніпро: НГУ, 2018. – 310 с.
14. Klimenko A., Voronov V. Challenges in Closed-Loop Water Supply Systems for Mining Plants. – Springer, 2021. – 280 p.
15. Міністерство енергетики та захисту довкілля України. Вимоги до складування відходів // Офіційний ресурс: <https://mepr.gov.ua>.
16. Офіційний сайт ПРАТ «ПІВНІГЗК»: <https://pivngzk.com.ua>.

17. Євдокименко А. В. Аналіз ефективності повторного використання води у гірничо-збагачувальній галузі // Промислові технології. – 2021. – №6. – С. 32-38.
18. Davis M. W. Sustainable Practices in Mining Tailings and Waste Management. – Wiley, 2022. – 360 p.
19. Захаров Ю. А., Бойко В. І. Особливості проектування хвостосховищ у сучасних умовах // Інженерна геологія. – 2020. – №1. – С. 14-20.