



ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
Факультет гірничо-металургійний  
Кафедра безпеки праці та охорони довкілля

«Допущено до захисту»  
Гарант ОПП «Інноваційні технології та  
системи захисту навколишнього  
середовища»

Дмитро ПІКАРЕНЯ

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання  
освітньо-професійної програми  
«Інноваційні технології та системи захисту навколишнього середо-  
вища»  
за спеціальністю 183 Технології захисту навколишнього середовища

**на тему** «Використання зворотної води після флотації в умовах  
виробничого процесу гірничозбагачувального комбінату»

Керівник роботи

Наталія МАКСИМОВА

Консультант від  
бази практики

Володимир ПОЛТАВЕЦЬ

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Оксана ХРИСТОФОРОВА

<i>Підсумкова оцінка за атестацію</i>			
---------------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Альона КОПІЙКА

Кам'янське 2024



ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	<u>гірничо-металургійний</u>
Кафедра	<u>безпеки праці та охорони довкілля</u>
Ступінь вищої освіти	<u>магістр</u>
Спеціальність	<u>183 Технології захисту навколишнього середовища</u>
ОПП	<u>Інноваційні технології та системи захисту навколишнього середовища</u>

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Гарант ОПП

Дмитро ПІКАРЕНЯ

«11» вересня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

*Христофорової Оксани Олександрівни*

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Використання зворотних вод після флотації в умовах виробничого процесу гірничозбагачувального комбінату

керівник роботи Максимова Наталія Миколаївна, канд. техн. наук, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету від 29.08. 2023 р. №137.1/29.08.2023

2. Термін подання роботи 16.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі розробки щодо ведення процесу флотації залізовмісних руд та організації зворотного водопостачання, літературні джерела, технологічні інструкції, дані переддипломної практики, результати власних спостережень.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Реферат. Зміст. Вступ. 1 Актуальність оборотного водопостачання. 2 Технологія флотаційного доведення концентрату. 3 Засоби удосконалення процесів очищення технічної води. 4 Охорона праці. Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Презентаційні матеріали з 17 слайдів

. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта

7. Дата видачі завдання 11.09.2023

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Аналіз предметної області	25.12.2023 – 28.12.2023
2	Розділ 2. Технологія флотаційного доведення концентрату	25.12.2023 – 28.12.2023
3	Розділ 3. Засоби удосконалення процесів очищення технічної води	28.12.2023 – 02.01.2024
4	Розділ 4. Охорона праці	03.01.2024 – 07.01.2024
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	07.01.2024 – 08.01.2024
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	08.01.2024 – 10.01.2024
7	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	10.01.2024 – 16.01.2024
8	Рецензування завершеної роботи. Захист	16.01.2024 – 25.01.2024

Здобувач

(Оксана ХРИСТОФОРОВА)

Керівник роботи

(Наталія МАКСИМОВА)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 96 с., 8 рис., 6 табл., 42 літературних джерела, 1 додаток.

**Об'єкт дослідження:** використання води після процесу флотації у виробничому циклі гірничозбагачувального комбінату.

**Предмет дослідження:** система оборотного водопостачання гірничо-збагачувального комбіната.

**Мета кваліфікаційної роботи:** ефективне використання технічної води після флотації в оборотному водопостачанні з урахуванням сучасних методів та засобів її підготовки.

У вступі розглянуто актуальність використання замкненого оборотного водопостачання в умовах нестачі природних водних ресурсів для забезпечення процесів флотації на гірничозбагачувальному комбінаті.

В першому розділі наведені особливості законодавчих аспектів водокористування в ЄС та Україні, розглянуті приклади застосування оборотного водопостачання на промислових підприємствах України.

В другому розділі розглянуті складові технологічного процесу флотації при збагаченні залізозмісного концентрату на гірничозбагачувальному комбінаті та аналіз впливу на навколишнє середовище.

У третьому розділі наведена аргументовна необхідність модернізації елементів конструкції радіального згущувача та визначено клас небезпеки об'єкта з огляду використання флотореагентів, шкідливих для людини і навколишнього середовища.

В четвертому розділі розглянуті питання щодо особливостей безпечної роботи з реагентами для флотації та аналіз дотримання вимог щодо охорони праці й техніки безпеки.

У висновках наведені результати аналізу використання технічної води після флотації при збагаченні залізної руди на гірничозбагачувальному комбінаті.

ГІРНИЧОЗБАГАЧУВАЛЬНИЙ КОМБІНАТ, ОБОРОТНЕ ВОДОПОСТАЧАННЯ, ФЛОТАЦІЯ, ЗГУЩУВАЧ, РЕАГЕНТИ, ІДЕНТИФІКАЦІЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

## ЗМІСТ

ВСТУП	8
ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ	10
1 АКТУАЛЬНІСТЬ ОБОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ	11
1.1 Законодавчі аспекти водокористування в країнах Європейського Союзу	11
1.2 Законодавчі аспекти водокористування в Україні	15
1.3 Промислове водокористування в Україні	18
1.4 Оборне водопостачання на підприємствах України	21
2 ТЕХНОЛОГІЯ ФЛОТАЦІЙНОГО ДОВЕДЕННЯ КОНЦЕНТРАТУ	30
2.1 Загальна характеристика виробничої ділянки	30
2.2 Основні технологічні процеси	33
2.3 Використання зворотної води у виробничому процесі	42
2.4 Екологічні аспекти процесу флотації	46
3 ЗАСОБИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ ОЧИЩЕННЯ ТЕХНІЧНОЇ ВОДИ	53
3.1 Необхідність модернізації радіального згущувача	53
3.2 Поліпшення складу технічної води для флотації	61
3.3 Оцінка потенційно небезпечного об'єкта	65
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	74
4.1 Визначення шкідливих та небезпечних факторів виробництва	74
4.2 Заходи щодо запобігання пожеж, вибухів, зберігання та транспортування матеріалів	79
ВИСНОВКИ	82
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	84



## ВСТУП

**Актуальність теми.** Флотація є одним з найбільш поширених методів збагачення залізовмісного концентрату як в Україні, так і за кордоном. Виробничі процеси флотації потребують великої кількості технічної води для забезпечення гідротранспорту пульпи при мокрій магнітній сепарації, для підтримання відповідної консистенції пульпи та при фільтруванні промислових продуктів. В умовах обмеженого доступу до водних ресурсів дослідження засобів підготовки води після флотації є актуальною науково-практичною задачею.

**Об'єкт дослідження:** використання води після процесу флотації у виробничому циклі гірничо-збагачувального комбінату.

**Предмет дослідження:** система оборотного постачання гірничо-збагачувального комбіната.

**Мета та завдання кваліфікаційної роботи.** Метою роботи є ефективно використання технічної води після флотації в оборотному водопостачанні з урахуванням сучасних методів та засобів її підготовки.

Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

1. Виконати огляд сучасних проблем збереження водних ресурсів, зокрема за рахунок організації оборотного водопостачання на гірничо-збагачувальних комбінатах.

2. Проаналізувати ефективність технологічної схеми магнітно-флотаційного доведення концентрату при використанні води.

3. Виявити шляхи підвищення ефективності очищення зворотних вод гірничо-збагачувального комбінату.

4. Виконати ідентифікацію об'єкта підвищеної небезпечності на прикладі оцінки безпеки реагентів.

5. Розглянути основні нормативні вимоги щодо охорони праці на виробничій ділянці магнітно-флотаційного доведення залізовмісного концентрату.

За результатами досліджень опубліковано тези доповіді на Міжнародній науково-технічній конференції «MININGMETALTECH 2023 – Гірничо-металургійний комплекс: інтеграція бізнесу. Технологій та освіти», 29-30 листопада 2023 року (дод.А).

## ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ

АПК – адміністративно-побутовий комплекс;  
АСУТП – автоматизована система управління технологічними процесами;  
АТ «ПІВДГЗК» – Акціонерне товариство «Південний гірничо-збагачувальний комбінат»;  
ВФ-1, ВФ-2 – відділення флотації;  
ВЦФ – відділення централізованого фільтрування;  
ГЗК – гірничо-збагачувальний комбінат;  
ДУ та ДОО – дисковий вакуум-фільтр;  
МД та ДМ – магнітний дешламатор;  
ММС – мокра магнітна сепарація;  
МФДК – магнітно-флотаційне дозбагачення концентрату;  
ПАР – поверхнево-активні речовини;  
ПРАТ – приватне акціонерне товариство;  
ПРАТ «ІНГЗК» – приватне акціонерне товариство «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат»;  
ПРАТ «ПІВНГЗК» – приватне акціонерне товариство «Північний гірничо-збагачувальний комбінат»;  
ПРАТ «ЦГЗК» – приватне акціонерне товариство «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат»;  
РЗФ-1, РЗФ-2 – рудозбагачувальна фабрика №1 і №2 відповідно;  
РІФ – машина флотаційна пневмомеханічна;  
ЦКЛ – центральна комплексна лабораторія;  
ЦТВШГ – Цех технічного водопостачання та шламового господарства.

## 1 АКТУАЛЬНІСТЬ ОБОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

### 1.1 Законодавчі аспекти водокористування в країнах Європейського Союзу

Технічне перетворення промисловості України та економічне зростання для відновлення країни після війни неможливі без переходу до циркулярної економіки. Це є перспективним напрямком для багатьох країн Європейського Союзу (ЄС). Застосування принципів циркуляції у виробничих процесах дозволить забезпечити суттєву економію матеріалів, що призведе до більш раціонального використання природних ресурсів, які не відновлюються людством, наприклад, води. Саме зниження кількості якісної чистої води та обмеження доступу до неї в деяких країнах зумовлюють необхідність виконання чітких вимог до забезпечення раціонального використання води та зменшення її забруднення.

Для всіх країн ЄС діє спільне законодавство з охорони водних ресурсів – Водна директива ЄС, де чітко означені заходи та способи їх реалізації щодо ефективного захисту вод Європи, щодо рекреації забруднених водойм за рахунок спеціальних державних або муніципальних фондів, та щодо дотримання ретельного контролю над скидами в водне середовище.

Також країни-члени ЄС в своїй екологічній політиці послуговуються Директивою 2010/75/ЄС про промислове забруднення, яка характеризується трьома універсальними постулатами:

- "забруднювач платить";
- застосування комплексного аналізу впливу підприємств різних галузей на довкілля ще на етапі проектування планованої діяльності (інтегрований дозвіл);

– обов'язковість впровадження найкращих доступних практик та методів управління для мінімізації скидів (НДМТ).

Але при цьому Директива допускає тимчасову відстрочку, якщо витрати на НДМТ перевищують екологічні переваги від їхнього застосування.

Розглянемо найбільш ефективні приклади управління промисловими стоками в країнах Європейського Союзу [1].

В Данії в 1997 р. парламентом було затверджено план дій із покращення очистки стічних вод з обов'язковим встановленням на підприємствах сучасних очисних споруд. Після промислового очищення всі стоки мали підлягати збору й потрійній системі очистки – механічній, біологічній і хімічній – на муніципальних спорудах й місцевих піщаних інфільтраційних системах.

Муніципалітети Данії займаються видачою інтегрованих дозволів, контролюють скиди і моніторинг водного середовища. Періодично готують генеральні плани з контролю над стічними водами промисловості, об'єктів житлово-комунальної галузі, і приватних домогосподарств, які теж зобов'язані мати відповідне обладнання із очистки стоків. Величини граничних значень вмісту в стоках органічних речовин, азоту, фосфору, нітратів аміаку регламентуються більш суворо, ніж встановлені в директивах ЄС, як і національні вимоги щодо ступенів очистки. На сьогодні в Данії майже всі стічні води (99%), що надходять до каналізаційних мереж, очищені до гранично допустимого вмісту шкідливих речовин. Приблизно 94% очисних споруд використовують третинну систему очищення стоків, держава підтримує промислові підприємства, які дотримуються стандартів очищення стоків грантами на розвиток технологій або застосуванням податкових пільг, які діють протягом певного періоду часу.

В Швейцарії, яка входить до Шенгенської зони, з 1971 року скиди неочищених промислових стоків до річок та інших водойм були заборонені.

нені законом після тривалої боротьби з інфекційними хворобами, що поширювались через користування забрудненими водоймами. Зараз системами очищення господарсько-побутових вод обладнані 97% підприємств і майже 90% домогосподарств. За останні 15 років у створення національної системи водоочищення було вкладено приблизно 50 млрд франків лише з федерального бюджету.

Прикладом використання ефективної системи з очистки промислових стоків є робота акціонерної компанії "ARA Bern", яка обслуговує стоки 280 тисяч домогосподарств, промислових і торгових підприємств – щодобово компанія забезпечує механічну й біологічну очистку 90 млн літрів стічних вод. При цьому утворений після фільтрації осад "ARA Bern" використовує для виробництва біогазу, який подається в бернську систему комунального газопостачання, його також застосовують як паливо для муніципальних автобусів.

В Швейцарії почалося впровадження національної програми, за якою до 2040 року мають бути реконструйовані всі очисні системи приватних та комунальних підприємств. Планується, що після завершення реалізації цієї державної програми стічні води будуть повністю очищені від механічного забруднення. Протягом перших 5 років уряд Швейцарії планує витратити на цю програму близько одного мільярда франків [1].

За останні 30 років істотного зниження водоспоживання в виробничих процесах досягли у Фінляндії через впровадження оборотних систем і використання води в замкнутому циклі. Починаючи з 1985 року на підприємствах масово встановлювали біологічні очисні споруди, завдяки чому було знижено вміст органічних речовин і твердих суспензій в очищених стоках підприємств лісової та паперової галузі.

Дуже часто у Фінляндії застосовують практику, коли проєктування виробництва починається з оцінки потенційних ризиків для природи і прорахунку підсумкових значень навантаження на водойму. Технологічний цикл коригується до моменту досягнення відповідних значень

щодо екологічного навантаження. Також на підприємствах широко впроваджені мембранні технології для очищення води, що удосконалює систему вторинного використання води і зменшує обсяг споживання водних ресурсів.

В Німеччині зміни водогосподарського управління відбулись в 1986 р. – були внесені поправки до федеральних законів про водні ресурси, миючі засоби та ліквідацію відходів. Наразі ці закони спрямовані на здійснення превентивних заходів і підтримку застосування таких важелів рамкової водної Директиви, як "забруднювач сплачує за збиток" і використання "найкращих доступних технологій" [2,3].

Загальнодержавна проголошена ціль водогосподарської політики в Німеччині – відновлення і підтримка екологічної рівноваги водних об'єктів країни як необхідна умова довгострокового і гарантованого забезпечення населення та інших споживачів водою доброї якості.

У результаті реалізації програм зі зменшення забруднень, прийнятих муніципалітетами та промисловими підприємствами, кількість забруднених водних ділянок скоротилася. Так, якість води в р. Рейн поліпшилася нижче за течією від таких центрів забруднення, як Леверкузен і Рурська область [2].

Після того, як Польща увійшла до Європейського Союзу, зазнала змін нормативно-правова база екологічних аспектів управління країною. З 2004 року в рамках реалізації декількох програм щодо водокористування в країні побудували понад тисячу об'єктів для очищення води.

Також Польща активно працює над зменшенням обсягів водоспоживання у промисловості без втрати виробничих обсягів. У 2017-2020 роках у Польщі вносилися зміни до водного закону для чіткого визначення характеру використання води в різних галузях промисловості та встановлення тарифів сплат залежно від ступеня забруднення водних об'єктів.

В Румунії на реалізацію програми модернізації управління водними ресурсами у 2014-2020 роках виділили майже 7 млрд доларів. На 2021 рік Румунія отримала 370 млн євро від Фонду гуртування ЄС для модернізації водної інфраструктури. У Румунії також працює водний закон з платою за послуги водопостачання. Досить часто проєкти з екомодернізації водної інфраструктури реалізуються через органи місцевого самоврядування, а не тільки через центральні органи в Бухаресті [4]

## 1.2 Законодавчі аспекти водокористування в Україні

Наслідком нещадної експлуатації природних водних ресурсів за часів існування Радянського Союзу стала кризова ситуація еколого-водогосподарської системи в Україні. Сумарне техногенне навантаження на довкілля України в колишньому СРСР у 10 разів перевищувало загальносоюзне. Для того періоду характерним було постійне збільшення обсягів виробництва базовими галузями господарського комплексу, а також процес територіальної концентрації ресурсоємних, багатовідходних, особливо небезпечних виробництв при високій щільності населення, недостатність фінансування на природоохоронну, у тому числі й водоохоронну, діяльність. Головними принципами управління в галузі використання і охорони вод та відтворення водних ресурсів були дотримання лімітів водокористування і скидання забруднювальних речовин, а не впровадження найкращих доступних технологій, які дозволяють зменшити використання ресурсів та утворення відходів [1].

Тому зараз переважна більшість промислових підприємств досі працюють на застарілому обладнанні, без встановлення сучасних систем очищення промислових стоків, так як встановлений мінімальний розмір плати за спеціальне водокористування та скидання забруднених

вод не стимулює до впровадження нових екологічно безпечних технологій. Окрім економічної кризи технічне оновлення промислових підприємств гальмує знищення та глобальні пошкодження через війну з Росією, як наслідок, Україна втрачає час і набутий потенціал щодо впровадження екологічних змін. Але необхідність підтримування рентабельності вітчизняної промислової продукції на світовому ринку спонукає до запровадження європейських вимог щодо якості як продукції, так і процесів її створення, починаючи від раціонального використання природних ресурсів і закінчуючи безпечною утилізацією. Розглянемо найбільш актуальні для промисловості України законопроекти, пов'язані з еколого-господарською діяльністю [5 – 7].

У проєкті Закону України «Про внесення змін до Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року» № 6227 від 27.10.2021, передбачено нарощування обсягів видобутку корисних копалин в Україні, зокрема тих, що мають великий попит на світовому ринку. Це має позитивно вплинути на економіку України, але існують ризики збільшення негативного впливу на довкілля внаслідок розширення гірничодобувної діяльності, мають бути передбачені заходи з мінімізації очікуваних негативних впливів на довкілля. Також цим проєктом передбачається відновлення та підвищення технічного рівня моніторингу підземних вод в контексті необхідності імплементації Водної Рамкової Директиви 2000/60/ЄС, переоцінку прогнозних та експлуатаційних запасів підземних вод; моніторинг несприятливих екзогенних геологічних процесів. Даний проєкт було прийнято.

Проєкт Закону «Про інтегроване запобігання та контроль промислового забруднення» №6004 від 06.09.2021 відповідає вимогам Директиви 2010/75/ЄС про промислові викиди і передбачає створення цілісної системи екологічного контролю, створення сприятливих умов для за-

провадження найкращих доступних технологій та методів промисловими підприємствами, а також обов'язкове встановлення сучасних очисних споруд. Проєкт було відхилено.

Приймаючи та впроваджуючи засади сталого розвитку Україна поступово переходить на нові європейські правила водної політики, хоча це дуже складно зробити через застарілу систему управління водними ресурсами.

Кабінет Міністрів України схвалив Водну стратегію України до 2050 року та операційний план з її реалізації до 2024 року. Це надважливий документ для України на шляху виконання міжнародних зобов'язань у сфері «водної» безпеки нашої держави, Угоди про асоціацію між Україною та ЄС та Резолюції Генеральної Асамблеї ООН: Глобальні цілі сталого розвитку до 2030 року. Стратегія покликана розв'язати основні водні проблеми країни, серед них:

- забезпечення рівного доступу до якісної й безпечної для здоров'я людини питної води;
- досягнення «доброго» екологічного стану вод;
- запобігання посухам, паводкам та іншим шкідливим діям вод;
- сталє управління водними ресурсами за басейновим принципом.

Також промислові підприємства України у своїй господарській діяльності, яка стосується водних ресурсів, керуються наступними нормативно-методичними документами:

- Водний кодекс України;
- Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища»;
- Про Концепцію розвитку водного господарства України. Постанова Верховної Ради України (ВРУ) від 14.01.2000 № 1390-XIV;
- Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами. Постанова Кабінету Міністрів України (КМУ) №465 від 25.03.99;

– Про порядок видачі дозволів на спеціальне використання природних ресурсів у межах територій та об'єктів природно-заповідного фонду і встановлення лімітів використання ресурсів загальнодержавного значення. Постанова КМУ №459 від 10.08.1992;

– Про затвердження порядку погодження та видачі дозволів на спеціальне водокористування та внесення змін до постанови Кабінету Міністрів України від 10 серпня 1992 р. № 459. Постанова КМУ від 13 березня 2002 року № 321;

– Про затвердження Правил охорони праці та безпечної експлуатації технологічних трубопроводів. Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України № 755 від 24 жовтня 2014 року;

– ДСТУ 3013-95. Гідросфера. Правила контролю за відведенням дощових і снігових стічних вод з території міст і промислових підприємств.

– Гігієнічні нормативи якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення» (із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства охорони здоров'я № 77 від 13.01.2023), затверджені Наказом Міністерства охорони здоров'я України від 02.05.2022 №721.

### 1.3 Промислове водокористування в Україні

Найбільше вода використовується і забруднюється у виробничих процесах, пов'язаних зі стратегічною для нашої країни металургійною та гірничодобувною промисловістю. При цьому більшість крупних підприємств являються містоутворюючими факторами, які впливають на підземні та наземні об'єкти гідросфери через водозабір необхідної для

виробництва води та скидання промислових стоків. Тому особливо важливо запроваджувати інноваційні технології, які дозволять ефективно очищувати та повторно використовувати технічну воду, тим самим виконуючи вимоги сталого розвитку щодо забезпечення доступу населення до чистої та якісної води через скорочення використання чистої води у виробничих циклах. Найбільш раціональним рішенням ефективного використання води є замкнені системи водокористування з мінімальним скиданням забруднених вод у поверхневі водні об'єкти [8,10].

Технологічні аспекти охорони природних вод, які використовують у виробництві, включають наступні кроки:

- 1) зменшення об'єму стічних вод за рахунок впровадження найкращих доступних безстічних технологій виробництва;
- 2) встановлення сучасних систем очищення стічних вод;
- 3) використання рециклінгу – вилучення із стічних вод цінних речовин і їх повторне використання;
- 4) використання оборотного водопостачання;
- 5) для зменшення обсягів використання води заміна водяного охолодження повітряним.

Мінімізація концентрації забруднювальних речовин у стічних водах досягається не тільки суворим дотриманням технологічного режиму, а й підвищенням якості очищення стічних вод. Зменшення загального об'єму стічних вод, які скидаються підприємствами, досягається шляхом нормування води на одиницю продукції, а також використанням у системі оборотного водопостачання очищених раніше стічних вод.

В Україні досвід будівництва та експлуатації замкнутих систем водопостачання на виробничих підприємствах пострадянського простору можна умовно розділити на три етапи. Перший етап, який припадає на період з 1973 по 1990 роки, характеризується інтенсивним підйомом будівництва та експлуатації численних великих систем замкнутого водо-

постачання. Перша в світі система замкнутого водопостачання металургійного підприємства була побудована в СРСР в 1973 році на металургійному заводі м. Свердловськ, даний комплекс працює і зараз. За цей період у радянській металургійній галузі було побудовано близько 40 досить потужних багатоцільових комплексів замкнутого водопостачання: 24 – у чорній металургії, 15 – у кольоровій. За кордоном будівництво систем оборотного водопостачання промислових підприємств почалося наприкінці 80-х років [10].

Під час другого етапу, з 1990 по 2000 рік, після розпаду СРСР, роботи зі створення замкнутих систем практично припинилися, причому не тільки в металургії, але і в інших галузях виробництва. І тільки з 2000 року почали з'являтися перші серйозні ознаки відновлення промисловості і прояви інтересу до створення замкнутих систем водопостачання.

Створення замкнутої системи водопостачання на підприємстві є комплексним завданням, що передбачає [9]:

- впровадження ефективних методів очищення стічних вод;
- встановлення гранично допустимих концентрацій солей та інших компонентів в оборотній воді з урахуванням подальшого використання для кожного замкнутого циклу;
- створення максимально можливого числа локальних замкнутих циклів з багаторазовим використанням води;
- вилучення із стічних вод цінних компонентів, які можливо використати в якості вторинних ресурсів;
- переробку з метою утилізації відокремлених осадів і засолених вод.

Замкнута система водопостачання металургійного підприємства – це складний хіміко-технологічний комплекс для очищення та подальшого використання води на внутрішні потреби виробництва. Така система є невід'ємною частиною будь-якого безвідходного виробництва, причому, однією з головних.

Організація замкнутих систем водопостачання вимагає одночасного опрацювання всіх елементів водного господарства у їх взаємозв'язку, а не тільки окремих частин: чистих і брудних оборотних циклів, локальних споруд з очищення стоків та ін. На практиці в таких системах очищаються і повторно використовуються зливові води, на хвостових установках переробляються відходи від локальних циклів і т.д. для створення ефективної замкнутої системи необхідні спільні зусилля фахівців з очищення води, технологів, фахівців з обладнання та систем автоматичного управління, економістів, фахівців хімічних лабораторій. В результаті ефективні системи очищення промислових вод дозволяють повторно використовувати промислові стоки, забезпечуючи тим самим значну економію свіжої води при зниженні її споживання до рівня безповоротних втрат, утилізувати відокремлені зі стоків забруднювачі (повторне використання, знищення або складування) і в результаті ліквідувати всі скидання стоків у навколишнє середовище [10].

#### 1.4 Обортне водопостачання на підприємствах України

Позитивний досвід використання та ефективна реконструкція існуючих систем замкнутого оборотного водопостачання доводить, що впровадження замкнутих систем очищення води досить актуальне та економічно доцільне для металургійної галузі нашої країни. Великі металургійні підприємства заявляють сьогодні про активну роботу з проектування, будівництва та налагодження таких систем, щоб забезпечити відповідність світовим вимогам якості та суттєво знизити рівень використання водних ресурсів. Однак, щоб прискорити цей процес, потрібно створити відповідні економічні стимули. Зокрема, збільшити екологічні платежі до рівня європейських країн.

Погіршення екологічної ситуації в країні та дефіцит води в регіонах з найбільш високим металургійним навантаженням змушують підприємства реалізовувати проєкти щодо створення сучасних замкнутих безстічних систем водного господарства в умовах працюючого застарілого обладнання та підвищення нормативних вимог до виробництва та якості продукції.

Очевидно, що для створення ефективної за промисловими та екологічними чинниками замкненої системи водопостачання необхідно вирішувати наступні задачі:

- розробка та впровадження засобів підтримання відповідних якостей води, яка обертається в системі, за кількістю та хімічним складом;
- попередження та вчасна ліквідація забруднень системи як мінеральними домішками, так і біологічними відкладеннями;
- застосування ефективного захисту обладнання від корозії;
- зведення до мінімуму забруднення води водоборотної системи шляхом встановлення установок для очищення до потрібного ступеня;
- оцінити та реалізувати засоби використання осаду для зменшення обсягів стоків які необхідно утилізувати.

В Україні величезний досвід у розробці безстічних замкнутих систем водопостачання металургійних підприємств має український державний науково-технічний центр «Енергосталь». Останнім часом за проєктами УкрДНТЦ «Енергосталь» на ПАТ «Алчевський металургійний комбінат» і ПРАТ «Єнакіївський металургійний завод» були створені практично безстічні системи оборотного водопостачання.

Для металургійного підприємства при організації системи водопостачання станів гарячої прокатки в «брудний» оборотний цикл скидалися води від деяких споживачів, які використовують свіжу або «умовно-чисту» воду. При цьому утворювався дебаланс, а частина води з оборотного циклу скидалася у водойму. Використання нових очисних спо-

руд, розроблених УкрДНТЦ «Енергосталь», дозволило скоротити займані виробничі площі, а потім повернути в «умовно-чистий» оборотний цикл дебалансні води після їхнього доочищення на антрацитово-кварцових фільтрах.

Прикладом високоефективної замкненої системи, яка не має світових аналогів, розробленої за технічним рішенням УкрДНТЦ «Енергосталь», була система оборотного водопостачання листопрокатного стану ПРАТ «Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча» [10]. Ця система оборотного водопостачання складалася з «умовно-чистого» та двох «брудних» оборотних циклів. Перший оборотний цикл використовувався для обслуговування ділянки чорнових клітей і включав яму для окалини, радіальні відстійники з камерою флокуляції та два ступені фільтрів. Вода після другого ступеня фільтрів подавалась на установки гідрозмиву, які раніше зазвичай працювали на свіжій технічній воді. Це значно скоротило переповнення даного оборотного циклу. Для запобігання накопиченню дрібної фракції зважених речовин передбачалась коагуляційна обробка води сірчаноокислим алюмінієм. Другий оборотний цикл, обслуговуючий чистові кліті і відвідний рольганг, включав відкриті гідроциклони діаметром 6 м і антрацито-кварцові фільтри. Частина освітленої води доочищувалась на вугільних фільтрах і поверталась на поповнення «умовно-чистого» циклу. Відповідно до технологічної схеми виробничого циклу робота системи водопостачання була розрахована на безстічний режим.

Значних поліпшень в області очищення і скидання стічних вод вдалося досягти і на ПАТ «Запоріжсталь». На комбінаті розроблена і цілеспрямовано виконується програма технічного переозброєння основних потужностей з максимальним впровадженням ресурсозберігаючих технологій, у якій значне місце займає впровадження заходів з охорони водного господарства. Серед найбільших об'єктів, які успішно експлуатуються, замкнуті системи з очищення промислових вод аглофабрики,

доменного, ливарного і прокатних цехів. В даний час побудовані і ефективно використовуються 11 замкнутих оборотних циклів, завдяки яким вдалося зменшити скиди стічних вод на 30% і підвищити повторне використання технічної води на 86%. Крім того, завдяки встановленим системам, щорічно уловлюється і повертається у виробництво більше 200 тис. т залізовмісних шламів.

Досить розвинуто використання систем замкнутого оборотного водопостачання на гірничо-збагачувальних комбінатах Криворіжжя – для їхнього поповнення використовуються шахтні і кар'єрні води.

Зокрема, ПРАТ «ПІВНГЗК», ПРАТ «ЦГЗК», ПРАТ «ІНГЗК», АТ «ПІВДГЗК» в I кварталі 2023 року перехоплено та повернено до системи оборотного водопостачання 7,8 млн м<sup>3</sup> дренажних й фільтраційних вод від діючих хвостосховищ (за звітом про виконання Міської екологічної програми за I півріччя 2023 року).

Хоча слід зауважити, що використання шахтних та кар'єрних вод обмежене через необхідність зниження рівня мінералізації, адже на даний момент більшість способів демінералізації складно застосовувати в умовах вітчизняної промисловості. До того ж система поводження з шахтними водами недосконала на законодавчому рівні – підприємства отримують Дозволи на підземний видобуток надр, що супроводжується утворенням і відкачуванням шахтних вод, але подальше поводження з відкачуваними водами залишається проблемою гірничорудних підприємств.

На підприємстві ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» підвищену увагу приділяють ефективності роботи діючих водоочисних споруд, систем оборотного водопостачання та водовідведення, а також раціонального використання води. Контроль якості води ведеться за 39 інгредієнтами, діє автоматична система обліку обсягів стічних вод. Завдяки використанню оборотних циклів водопостачання, на підприємстві вдалося знизити обсяг стічних вод майже в 6 разів (з 63047,1 тис.м<sup>3</sup> в 2003 р. до

11867,2 тис.м<sup>3</sup> у 2010 р.). Також були реалізовані проекти по реконструкції оборотного водопостачання двох хвостосховищ підприємства – «Об`єднане» і «Миролюбівка».

На АТ «ПІВДГЗК» також використовується автономна система замкнутого оборотного водопостачання, що дозволяє використовувати освітлену воду на збагачувальних фабриках, в технологічних процесах збагачення руди та для забезпечення роботи промислового обладнання, для гідроущільнення сальників землесосів пульпонасосних станцій. Для підживлення системи оборотного водопостачання використовують кар'єрні води, фільтраційні та дренажні води, біологічно-очищені води південної станції аерації КП «Кривбасводоканал».

АТ «ПІВДГЗК» та ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» використовують загальний ставок оборотного водопостачання в балці Грушувата, куди надходить вода після освітлення на хвостосховищах.

На ПРАТ «ЦГЗК» для використання шахтної води у системі оборотного водопостачання розробляється проєкт «Будівництво трубопроводу скиду шахтних вод шахти «Гігант-Глибока».

Ще одним водокористувачем із замкненим оборотним водопостачанням на території Криворіжжя є Північний гірничзбагачувальний комбінат. Це найбільше гірничодобувне підприємство у Європі з повним циклом підготовки доменної сировини – залізорудного концентрату (вміст заліза 66%) та окотків (вміст заліза 60,3% та 63,5%). Підприємство працює на базі Першотравневого та Ганнівського родовища залізистих кварцитів Криворізького залізорудного басейну. На прикладі ПРАТ «ПІВНГЗК» показано можливості застосування оборотного водопостачання при спорудженні і функціонуванні комплексу згущення відходів збагачення.

Технологічно процес виглядає таким чином [11]. Освітлена вода самопливом зливається від згущувачів та по трубопроводах надходить

в залізобетонну приймальну камеру. Звідти насосною станцією оборотного водопостачання здійснюється забір освітленої води та її подача під необхідним напором на рудозбагачувальну фабрику РЗФ-1. Насосна станція за ступенем забезпечення подачею води для технологічних потреб відноситься до I категорії, тобто на ній забезпечується безперебійна подача води. Після використання відпрацьована вода знову повертається до комплексу згущення відходів збагачення і цикл повторюється. Такий підхід дозволяє, повністю забезпечуючи технологічні потреби у воді на підприємстві, знизити негативний вплив на довкілля, зменшуючи обсяги води, які забираються з природних водних джерел.

Наразі через війну призупинили реалізацію проекту "Нове будівництво комплексу згущення відходів збагачення на промисловій території цеху технологічної води та шламового господарства ПРАТ "ПІВНГЗК". Проектований комплекс згущення хвостової пульпи поблизу пульпонасосної станції ПНС-1 передбачає обробку всього обсягу хвостової пульпи в радіальних згущувачах при примусовій її подачі із застосуванням флокулянтів, при цьому оборотний злив за допомогою заново збудованої насосної станції оборотної води повертається в технологічний процес збагачувальної фабрики, а згущені хвости перекачуються в хвостосховище.

На ПРАТ «ІНГЗК» також здійснюється оборотне водопостачання виробничих процесів. Розроблено «Індивідуальні балансові норми водоспоживання і водовідведення на одиницю виробленої продукції ПРАТ «ІНГЗК» та «Індивідуальні технологічні нормативи використання питної води», затверджені Дніпропетровським обласним управлінням водних ресурсів, нині – Регіональний офіс водних ресурсів у Дніпропетровській області. Безповоротні втрати технічної (кар'єрної) води складають 3,55 м<sup>3</sup>/добу (0,148 м<sup>3</sup>/год), не передбачається скидання забруднених стічних вод у поверхневі водні об'єкти господарсько-питної, культурно-побутової і рибогосподарської категорій водокористування, а також в

підземні водоносні горизонти. Скиди стічних вод у поверхневі водойми (р. Інгулець) відсутні. Зворотне водопостачання виробничих ділянок рудозбагачувальних фабрик забезпечує Цех технічного водопостачання та шламового господарства (ЦТВШГ) після освітлення води, яка забезпечує гідротранспорт пульпи та укладання хвостів в шламосховище. Обсяг водойми для доосвітлення оборотної води на території цеху становить 0,5 млн м<sup>3</sup>, в 2010 році із загальної площі цеху ЦТВШГ 1062 га хвостосховище займало 982 га. Реалізовані проєкти щодо реконструкції об'єктів хвостового господарства та оборотного водопостачання для підтримання виробничої потужності ПРАТ «ІНГЗК» – подача води на РЗФ відбувається самопливною схемою, останнім часом введена в дію нова перекачувальна стаціонарна водовідливна установка на горизонті мінус 300м в кар'єрі, а для забезпечення процесів збагачення було введено в експлуатацію хвостосховище II-ої черги в 2007 році після запуску ділянки магнітно-флотаційного доведення залізорудного концентрату.

Окрім ПРАТ «ІНГЗК», на Криворіжжі флотація для збагачення залізовмісного концентрату запроваджена на наступних гірничозбагачувальних комбінатах – Північний, Південний, Центральний, Новокриворізький, флагманом використання методу флотації в Україні був Полтавський ГЗК. Аналогічну технологію збагачення із застосуванням флотації використовують на підприємствах Австралії, Фінляндії, Канади та США, але вітчизняні результати збагачення відрізняються підвищеним вмістом оксиду кремнія, що не дозволяє використовувати збагачений концентрат для виробництва металізованих окотків та прямого відновлення заліза.

Процес флотації почали активно досліджувати ще в 30-х роках, і зараз є багато як вітчизняних, так і закордонних напрацювань, які стосуються підвищення ефективності флотації за різних умов. Багато розробок щодо флотації у науковій діяльності фахівців кафедри збагачення

корисних копалин Державного вищого навчального закладу “Національний гірничий університет”, викладачі та студенти ДВНЗ «Криворізький технічний університет», а також НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Свій внесок в описання та дослідження процесів флотації та реагентного режиму зробили Соколова В.П., Білецький В.С, Олійник Т.А., Смирнов В.О. та інші [12 – 16].

Безпосередньо збагачення залізних руд Кривбаса описано в науковій роботі «Розробка наукових основ технології отримання високоякісного концентрату із окислених залізних руд Кривбасу», автори Туркеніч О.М., Мостіпан Л.Ф., Дементьєв В.В., Левченко К.А., Шатова Л.А. у 2003 – 2006 роках [17].

Технологію впровадження флотації на Інгулецькому ГЗК розробили науковці Півень В.А., Дендюк Т.В., Калініченко О.Ф. у роботі «Застосування зворотної катіонної флотації для доведення концентратів магнітного збагачення кварцитів Інгулецького ГЗКа», дана робота стала основою багатьох досліджень [18]. Особливістю ведення процесу флотації на Інгулецькому ГЗК є використання зворотної катіонної флотації, для якої хімічні процеси можуть відбуватися у середовищі жорсткої води.

Забезпечення водопостачання виробничих процесів магнітно-флотаційного доведення залізозмісного концентрату є одним з пріоритетних напрямків діяльності, адже рудний матеріал, який видобувають в Інгулецькому кар’єрі характеризується низьким вмістом заліза, а застосування зворотної катіонної флотації дозволяє підвищити рівень вмісту заліза до показників, яких вимагають світові споживачі залізорудної продукції.

Зворотна катіонна флотація порівняно з іншими процесами флотації залізних руд характеризується більш високою селективністю і швидкістю флотації, а також нечутливістю до солей твердості. Її недоліки

полягають у великій вартості й токсичності збирача, дефіцитності депресора, більшій чутливості до шламів, ніж при аніонній флоатації.

Основним недоліком зворотної аніонної флоатації є погане фільтрування концентрату, що при необхідності його подальшого грудкування може спричинити суттєві труднощі. Одночасно відмова від попереднього видалення шламів (крупністю 5–10 мкм) призводить до надлишкових витрат реагентів і порушення селективності процесу [16]. Таким чином, дуже велика кількість води витрачається для забезпечення фільтрації та сепарації промислових продуктів концентрату.

Також флоатація характеризується використанням реагентів, які поступово можуть накопичуватись у поверхневих та підземних водах, якщо система зворотного водопостачання не досить досконала [19].

Розглянемо особливості застосування технічної води при реалізації процесів флоатації на ПРАТ «ІНГЗК».

## 2 ТЕХНОЛОГІЯ ФЛОТАЦІЙНОГО ДОВЕДЕННЯ КОНЦЕНТРАТУ

### 2.1 Загальна характеристика виробничої ділянки

Технічний рівень виробництва високоякісного флотаційного концентрата ПРАТ «ІНГЗК» відповідає вимогам споживачів в сучасних умовах. Будівництво та введення в експлуатацію ділянки магнітно-флотаційного дозбагачення концентрату (МФДК) відбувалось у 2002-2003рр. за проєктною документацією, виконаною ТОВ «МЕХАНОБРЧЕРМЕТ» та ДП «ДПІ «КРИВБАСПРОЕКТ», другий пусковий комплекс МФДК було введено в експлуатацію в 2012р. Комплекс МФДК включає: корпус перемішування, дешламації і магнітної сепарації; корпус флотаційної доводки; операторський пункт та будівлю АПК.

Після процесу налагодження флотаційного доведення концентрату до потрібної якості, технічними спеціалістами комбінату були запропоновані рішення щодо реконструкції для зміни технологічної схеми МФДК при роботі у відкритому циклі. Рішення стосувались встановлення основного та допоміжного обладнання, реконструкції існуючих будівель для влаштування складу ПАР, розробку проєктної документації на роботу флотомашин у відкритому циклі та систему подавання ПАР в процес фільтрації. Проєктну документацію по реконструкції МФДК виконали фахівці ТОВ «МІ-ЦЕНТР» у 2017р. В результаті змін схеми транспортування промпродукту РЗФ-2 для живлення флотомашин із зумпфа СБ-4 в корпус перемішування, дешламації та мокрої магнітної сепарації з ланцюга перекачування промпродукту було виключено два вузла, що дозволило звільнити деяку площу при демонтажі конструкцій, які не застосовувались. Також було виконано заміну деяких насосних агрегатів

з електродвигунами з метою зменшення витрат на комплектуючі та запасні частини механізмів. Проєкт з реконструкції МФДК успішно реалізований і дозволяє отримувати високоякісний концентрат.

Характерною особливістю МФДК ПРАТ «ІНГЗК» є застосування технологічної схеми роботи флотомашин в закритому та відкритому циклі, що дозволяє виробляти концентрат відповідної якості в залежності від вимог споживачів. Мобільність схеми дозволяє виконувати перемикання з однієї на другу.

На даний час успішно реалізовано проєкт використання комп'ютерного зору на дільниці флотації РЗФ-2. За допомогою експертної системи управління процесом флотації Visio Froth контролюється якість, що впливає на збільшення обсягів виробництва концентрату. Система Visio Froth – це розробка фінської компанії Metso Outotec, світового лідера в галузі промислових технологій [20].

Використання таких технологій як система комп'ютерного зору дозволяє оперативно керувати процесом виробництва концентрату на основі результатів аналізів його проб. У її основі лежать математичні алгоритми, для аналізу зображення з відеокамер та подальшого прийняття відповідного рішення для ефективного управління виробництвом.

Алгоритм роботи системи Visio Froth на дільниці флотації РЗФ-2 ПРАТ «ІНГЗК» полягає у наступному:

- вісім відеокамер забезпечують безперервну зйомку процесу піноутворення на чотирьох виробничих лініях;

- на основі візуального аналізу спеціальна система визначає ключові параметри піни (розмір і колір бульбашок, швидкість і т.п.), що являються індикаторами якості проходження технологічного процесу;

- використовуючи ці дані, друга експертна система в автоматичному режимі регулює витрату реагенту й повітря для підвищення виходу концентрату при досягненні заданої якості.

Робота системи Visio Froth дозволяє перейти до проактивного управління в режимі реального часу, не чекаючи результатів хімічного аналізу. Також система контролює процес подачі води для забезпечення роботи на всіх виробничих ділянках процесу флотації – від подачі води для приготування розчину реагентів до подачі води на гідроущільнення насосів.

Флотаційне доведення концентратів з технологічної точки зору є найбільш довершеним в рішенні проблеми видалення кремнезему та отримання високоякісної металургійної сировини.

Зворотна катіонна флотація має наступні переваги:

- низькі витрати катіонних збирачів;
- можливість ведення процесу на жорсткій технічній воді;
- можливість ефективної флотації залізних силікатів;
- менша кількість матеріала, який піднімається в пінний продукт (у порівнянні з прямою та зворотньою аніонною флотацією);
- забезпечення екологічної відповідності технології в умовах часткового внутрішнього водообороту за рахунок адсорбції катіонних збирачів на твердій фазі пульпи та наступного їхнього поглинання шламистою фракцією хвостів магнітної сепарації при змішуванні з хвостами магнітно-флотаційного доведення.

Технологія флотаційного доведення магнетитових концентратів на ПРАТ «ІНГЗК» дозволяє отримувати концентрат із вмістом заліза до 69% і складається з наступних операцій [21]:

- усереднення концентрату в технологічних перемішувачах;
- флотування в машинах флотації РІФ-25;
- згущення та знешламлювання концентрату флотації в дешламаторах МД-9;
- згущення зливів дешламаторів в радіальному згущувачі СЦ-18А для освітлення оборотної води;

- дешламацію та магнітне збагачення (сепаратори ПБМ 120/300) пінного продукту флотації для отримання відвальних хвостів та промпродукта магнітної сепарації;

- централизовану фільтрацію концентрата.

Після реалізації проєкту по реконструкції комплексу магнітно-флотаційного доведення концентрату стало можливим використання комбінації роботи флотомашин у закритому та відкритому циклі в залежності від вимог ринкових споживачів. Розглянемо більш детально технологічний процес магнітно-флотаційного доведення залізовмісного концентрату.

## 2.2 Основні технологічні процеси

Технологія флотаційного доведення магнетитових концентратів включає наступні операції:

- усереднення концентрату в технологічних перемішувачах;
- флотацію в машинах флотації РІФ-25;
- згущення і знешламлювання концентрату флотації в дешламаторах МД-9;

- згущення зливів декламаторів в радіальному згущувачі СЦ-18А для освітлення оборотної води;

- дешламацію і магнітну сепарацію (сепаратори ПБМ 120/300) пінного продукту флотації в два заходи для отримання відвальних хвостів і промпродукту магнітної сепарації;

- централизовану фільтрацію концентрату.

Контроль якості та опробування продуктів збагачення здійснює служба відділу технічного контролю згідно з вимогами діючих на підприємстві інструкції по опробуванню продуктів збагачення збагачувальних

фабрик та інструкції по опробуванню продуктів збагачення цеха магнітно-флотаційного збагачення концентрата. Об'єктами контролю є вхідна руда, промислові продукти ділянок мокрого магнітного збагачення, кінцеві продукти збагачення – концентрат та хвости, які направляються в хвостосховище, а також обов'язковим є контроль якості зворотної технічної води, яка повертається в процес флотації після освітлення в радіальному згущувачі. Спрощена схема магнітно-флотаційного доведення концентрату показана на рис. 2.1.

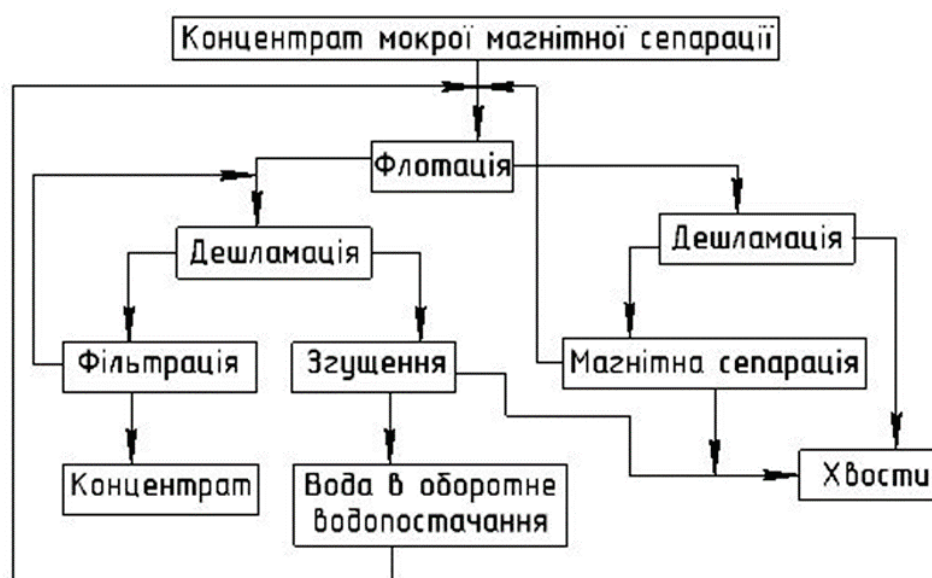


Рисунок 2.1 – Спрощена схема магнітно-флотаційного доведення концентрату на ПРАТ «ІНГЗК»

Розглянемо більш детально операцію саме флотації.

Пінна флотація – найбільш поширений різновид флотації. Пінна флотація ґрунтується на здатності погано змочуваних водою мінеральних частинок (гідрофобних) прилипати до бульбашок повітря, які виникають при аерації пульпи. Комплекси «мінерал-повітря» спливають на поверхню пульпи, утворюючи пінний продукт. Змочувані водою мінеральні частинки залишаються завислими у пульпі і утворюють камерний

продукт. Для підсилення різниці в змочуваності мінеральних частинок пульпа обробляється спеціальними флотаційними реаґентами. У процесі пінної флотації оброблені реаґентами частинки виносяться на поверхню води бульбашками повітря, утворюючи пінний шар. Для утворення бульбашок передбачалися різні методи: утворення вуглекислого газу за рахунок хімічної реакції, виділення газу з розчину при зниженні тиску – вакуумна флотація, енергійне перемішування пульпи (механічна флотація), пропускання повітря крізь дрібні отвори (пневматична флотація). Тонкодисперсні бульбашки для флотації з розчинів отримують також при електролітичному розкладі води з утворенням газоподібних кисню і водню (електрофлотація). Різноманітні способи утворення газових бульбашок і комбінації цих способів відповідають різним типам флотаційних машин. Концентрат може бути отриманий пінним (пряма флотація) або камерним продуктом (зворотна флотація); в останньому випадку флотації піддається пуста порода [12, 15, 16].

На флотаційне збагачення концентрат ММС РЗФ-2 секцій №11-24 перекачується насосами в пульповідокремлювач перемішувачів П-1 і П-2, робочий об'єм кожного з яких – 2400 м<sup>3</sup>, і далі – на чотири шестикамерні флотаційні машини РІФ-25, обсяг кожної камери – 25 м<sup>3</sup>. Флотомашини №1 і №2 працюють в замкненому циклі – на свіжому живленні (концентрат ММС РЗФ-2) і циркуляції (кінцевий магнітний продукт сепараторів №8 – 16 вузла доведення пінного продукту).

Флотомашини №3 і №4 працюють у відкритому циклі – на свіжому живленні (концентрат ММС РЗФ-2). Густина пульпи, яка подається у флотомашини, має підтримуватись у межах 1,27кг/л – 1,4кг/л або 30 – 37% твердого. Кількість твердого у живленні флотомашини може коливатись у межах 210т/год – 310т/год. У флотомашині мінеральні частинки руди, оброблені збирачем, стикаючись з повітряними бульбашками, утворюють шар піни, яка направляється на знешламлювання у магнітний

дешламатор ДМ-12А №5. Камерний продукт флотомашин №1 і №2 направляється на згущення в магнітні дешламатори МД-9А №1 – 4, що знаходяться у відділенні централізованого фільтрування (ВЦФ), а після флотомашин №3 і №4 – в магнітні дешламатори ДМ-12А №7 і №8. Схема флотомашини показана на рис.2.2.

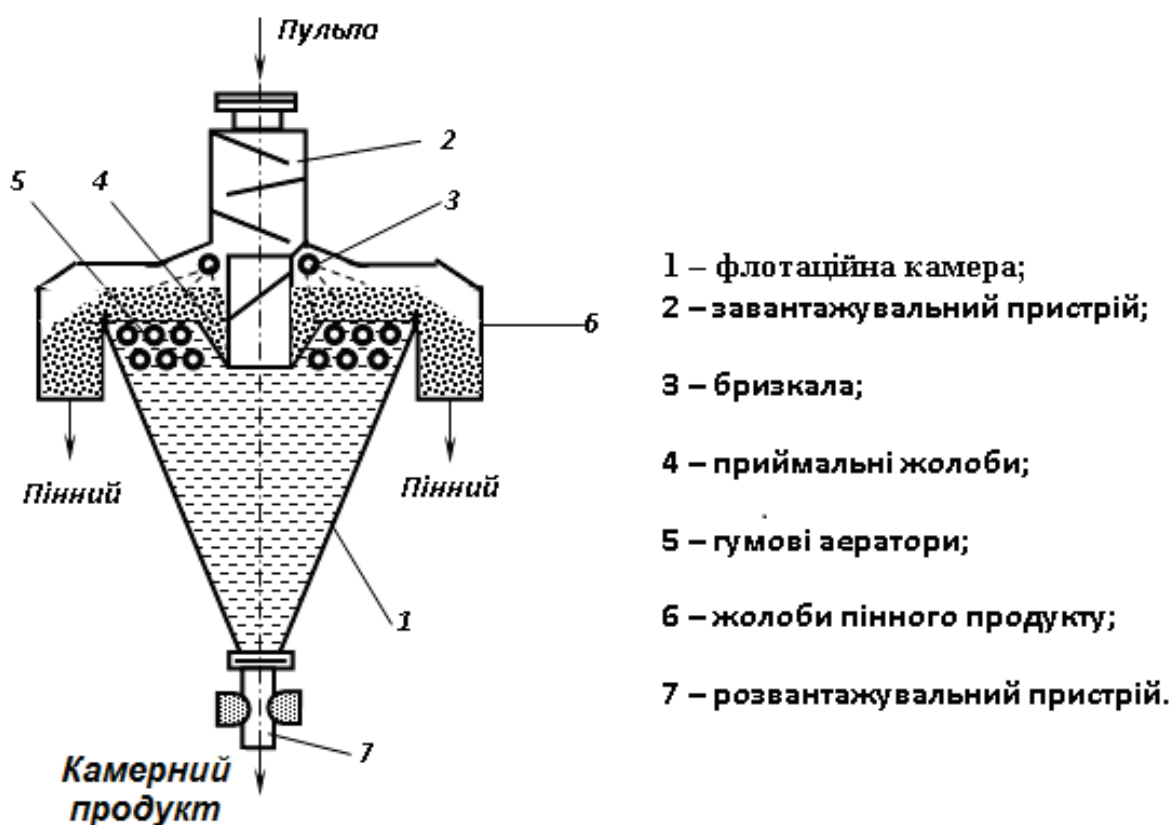


Рисунок 2.2 – Схема флотаційної машини

Витрата збирача, що подається з живленням у флотомашину, коливається в межах від 90 г/т до 145 г/т на тонну вихідного живлення. В якості збирачів використовуються реагенти Lilafлот 811М, Procol СК921М. В якості альтернативних реагентів можливе застосування наступних збирачів – Tomamine PA-14,5 Acetate Surfactant; FlotigamV5444; Flotron DP 3T; Flotron DP 4T. Збирачі застосовуються в процесі флотації у вигляді 5% водного розчину з додаванням 0,4% оцтової кислоти, яка

посилює спінюючі властивості збирача. Витрата реагенту, який подається разом з живленням у флотомашину, коливається у межах від 90г до 145г на тонну.

Приготування розчину збирача виконують в контактному чані у реагентному відділенні за технологічною інструкцією ТІ 00190905.05.001-2019 «Ведення процесу магнітно-флотаційного збагачення концентрата». Контактний чан призначений для перемішування пульпи з флотаційними реагентами і створення умов для їх закріплення на пульпі. Ємність циліндричної форми, усередині якої розташована пустотіла труба з отворами для циркуляції, де обертається вал з лопатевою мішалкою. Це забезпечує рівномірний розподіл реагентів (рис. 2.3).

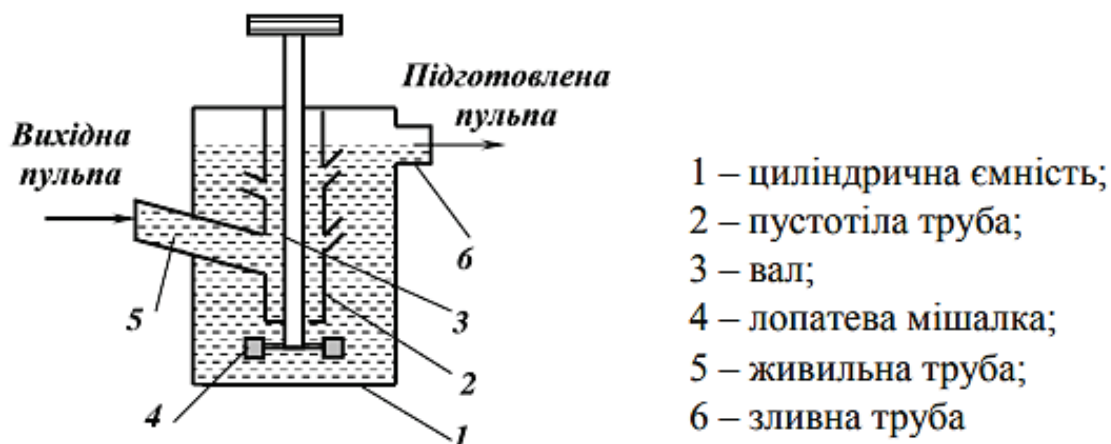


Рисунок 2.3 – Схема контактного чану

На операцію знешламлювання направляється пінний продукт флотації. Знешламлювання пінного продукту здійснюється в магнітних дешламаторах ДМ-12А в два прийоми. Пінний продукт чотирьох флотомашин направляється в дешламатор ДМ-12А №5. Піски з магнітного дешламатора №5 направляються на магнітну сепарацію на сепараторах ПБМ-ПП-120/300 №№1 – 8, а злив – у відвальні хвости. Магнітний продукт сепараторів №1 – 8 направляється в дешламатори ДМ-12А №6,

піски спрямовуються на магнітну сепарацію на сепараторах ПБМ-ПП-120/300 №9 – 16, а злив у відвальні хвости. Хвости магнітних сепараторів направляються у відвальні хвости.

Операція магнітної сепарації здійснюється на шістнадцяти магнітних сепараторах типу ПБМ-ПП-120/300. Живленням магнітної сепарації на сепараторах №№1 – 8 першого прийому є піски дешламатора ДМ-12А №5, на сепараторах №9 – 16 другого прийому – піски дешламатора ДМ-12А №6. Схема магнітного дешламатора показана на рис. 2.4

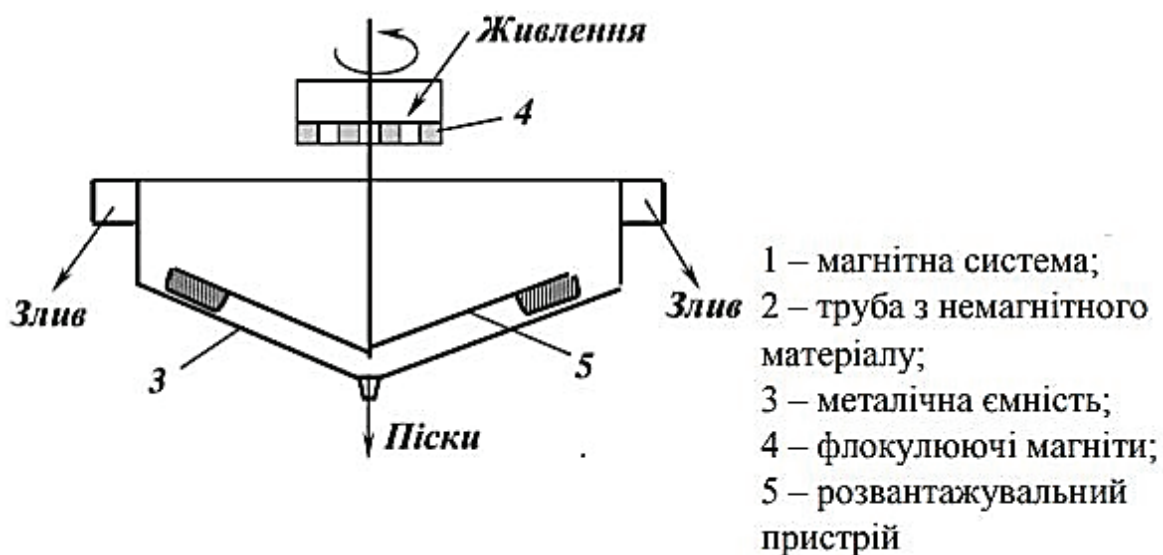


Рисунок 2.4 – Схема магнітного дешламатора

Магнітний продукт магнітної сепарації сепараторів №8 – 16 (циркуляція) надходить у перемішувач П-1 і операцію флотації у флотомашини №1 і №2.

При виконанні магнітної сепарації важливим фактором забезпечення якісно-кількісних показників обслуговуючий персонал обов'язково контролює процеси, пов'язані з використанням технічної зворотної води:

– контроль густини живлення магнітної сепарації;

процесах сепарації. Це дозволить в подальшому використовувати чисту воду тільки для приготування реагентів при відповідних вимогах до якості води.

Враховуючи майбутнє нарощування обсягів виробництва, має бути запропонована можливість заміни засобів водопідготовки (реагентів). Зокрема, слід проаналізувати та запропонувати аналоги реагентів, які є менш токсичними, більш ефективними за часовими параметрами реактивності та виробляються в Україні, що забезпечить безперербійне постачання та зниження собівартості концентрату.

Також актуальним є питання модернізації обладнання для згущення осадів технічної води після флотації та системи трубопроводів, адже неможливо уникнути корозії та зношення внаслідок присутності твердих домішок пульпи.

## 3 ЗАСОБИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ ОЧИЩЕННЯ ТЕХНІЧНОЇ ВОДИ

### 3.1 Необхідність модернізації згущувача

У практиці збагачення залізовмісних руд найчастіше використовуються в основному два види схем оборотного водопостачання: з проясненням хвостової пульпи в шламосховищі і з проясненням у згущувачах з подальшою подачею пульпи у хвостосховище [25]. Перша схема забезпечує природне (безреагентне) прояснення пульпи, друга застосовується, як правило, з подачею флокулянтів для прискорення осадження твердого в згущувачах і дозволяє значно скоротити витрати свіжої води на технологічні потреби. Велика кількість оборотної води витрачається на технологічні потреби при забезпеченні технологічних процесів подрібнення та збагачення:

- при подрібненні руди для класифікації;
- для створення заданого технологією відношення  $P : T$  при транспортуванні і класифікації подрібненого продукту;
- при флотації — для забезпечення відношення  $P : T$  пульпи і для транспортування пінного продукту.

При проєктуванні схем і систем оборотного водопостачання особливу увагу слід звертати на безперебійність подачі води споживачам – необхідно, щоб основні елементи технологічної схеми були забезпечені технічною водою відповідної якості та у достатній кількості. Для цього слід використовувати відповідне модернізоване обладнання, яке дозволить зменшити використання електричної енергії та збільшити коефіцієнт корисної дії у напрямку застосування принципів циркулярної економіки [26 –28].

На даному етапі розвитку технологій, які використовують при збагаченні залізозмісного концентрату, вода високої якості потрібна при приготуванні розчинів реагентів для флотації. Для забезпечення гідротранспорту пульпи та підтримання ефективної роботи тих механізмів, де потрібно водою змивати дрібні часточки концентрату для недопущення блокування через «забивку», доцільно використовувати зворотну воду після освітлення в згущувачах, які являються елементами цехів водношламового господарства. Їх оновлення або повну заміну можна вважати інноваційною діяльністю екологічного напрямку, адже значно підвищується якість освітлення води і, відповідно, підвищуються можливості її використання в оборотному водопостачанні. На деяких гірничовидобувних підприємствах Кривого Рогу були реалізовані або зараз є в розробці декілька успішних проектів використання технології згущення пульпи.

На Південному гірничозбагачувальному комбінаті протягом 2018 – 2020 років був побудований та введений в експлуатацію комплекс згущення пульпи, якому на даний момент ще немає аналогів в Україні.

Згущення пульпи – ефективна технологія раціональної утилізації відходів збагачення корисних копалин, за цією технологією хвости надходять в спеціальні ємності, а вода відокремлюється від порожньої гірничої породи в результаті використання безпечних хімічних реагентів-флокулянтів. Після згущення пастоподібна пульпа направляється на хвостосховище, а вода повертається у виробничий цикл на комбінат. Така технологія впроваджена на підприємствах Індії, США та Бразилії, вона є енергоефективною через відмову від використання застарілих пульпонасосних станцій та екологічною, адже зменшується виділення пилу через пастоподібний стан хвостів та потреба у додаткових площах для хвостосховища, також зменшується потреба у технічній воді для транспортування хвостів на хвостосховище. Згідно зі звітом щодо виконання у I кварталі 2023 року Міської програми вирішення екологічних проблем Кривбасу та поліпшення стану навколишнього середовища на

2016 – 2025 роки АТ «ПІВДГЗК» зменшило обсяг перекачування відходів на хвостосховища на 28 575,08 тис.м<sup>3</sup> завдяки впровадженню технології згущення пульпи.

Розробником технології виступила німецька компанія Engineering Dobersek, розробку проєктної документації здійснив галузевий державний інститут «УкрНДІводоканалпроект». Постачальником обладнання була індійська компанія TENOVA mining, а будівництво об'єкта забезпечило криворізьке підприємство «СУ-7».

Аналогічний проєкт по будівництву комплексу згущення пульпи на ПРАТ «ПІВНГЗК» здійснюється також із використанням технологій, запропонованих компанією Engineering Dobersek. Наразі реалізація проєкту призупинена через війну в Україні, але партнерство з Engineering Dobersek є стратегічним введення в експлуатацію нового об'єкта дасть змогу комбінату використовувати наявну місткість хвостосховища до 2036 року.

За запропонованою технологією відходи збагачення подаються з РЗФ самопливом на пульпонасосну станцію та напірною подачею на комплекс згущення. Після згущення продукт гідротранспортом з вмістом твердої фракції в хвостовій пульпі до 55% необхідно направити в хвостосховище для укладання, а освітлену оборотну воду – в технологічний процес збагачувальної фабрики. Планується встановлення та запуск 4-х високопродуктивних згущувачів діаметром 60 м кожен, 2-х станцій приготування (розбавлення) флокулянту, 2-х пульпонасосних станцій розвантаження згущувачів та 1-єї насосної станції подачі згущених хвостів у хвостосховище.

Аналіз напрямків сучасних технологічних розробок свідчить про актуальність теми згущення відходів гірничодобувних підприємств України. Найбільш універсальними апаратами для згущення пульпи є радіальні згущувачі, які застосовуються на багатьох збагачувальних фабри-

кромки кільцевого зливного жолоба по довжині кола чана і відводиться зі згущувача трубопроводом у систему зворотного водопостачання для повернення в процес флотації. Також для недопуску потрапляння піни в зливний жолоб при згущенні флотаційних концентратів, на відстані 30-70 мм від нього нижче рівня зливу встановлюють піноотбойник. Продукти згущення після осідання на дно переміщуються гребками до розвантажувального конусу, звідки відкачуються діафрагмовими або відцентровими пісковими насосами в якості хвостів на хвостосховище. У нижній зоні пульпа може ущільнюватися частково під дією гребків. Додаткове ущільнення осаду відбувається в результаті руйнування гребками зрощень, утворених частинками.

Враховуючи тривалість використання згущувача з моменту запуску виробничої дільниці по магнітно-флотаційному доведенню концентрата та агресивність водного середовища пульпи, скоріше за все, основні робочі механізми вже виробили свій запас міцності та потребують модернізації. Пропонується розглянути пропозицію по модернізації конструктивних елементів сгущувача СЦ-18 для забезпечення поліпшення якості освітлення води в процесі згущення промпродуктів після процесу флотації.

На даний час багато промислових підприємств України успішно співпрацюють з такими відомими постачальниками обладнання як фінська компанія Metso Outotec, вже згадана вище німецька компанія Engineering Dobersek та промислова група Esmil. Дані компанії окрім обладнання розробляють відповідні технології з урахуванням фізичних та хімічних якостей вихідної сировини та виробничих процесів на вітчизняних фабриках збагачення.

Компанія Esmil є провідним світовим виробником обладнання для очищення стічних вод і постачальником ефективних технологічних рішень з очищення та відновлення води для різних галузей промисловості [29].

Принцип роботи запропонованого згущувача осаду ESMIL аналогічний вже існуючому згущувачу. Для інтенсифікації процесу ущільнення осаду згущувач обладнують стрижневими мішалками, які встановлені на рамі. Під час повільного обертання рами стрижневі мішалки сприяють перміщуванню води та ущільненню осаду, при цьому видаляючи наявне в рідинному середовищі повітря.

Ущільнений осад перміщується по дну резервуара встановленими на рамі скребками до центрального приямку, де видаляється.

Прояснена вода з верхньої частини згущувача надходить у переливні лотки, встановлені по довжині кола згущувача, і далі відводиться трубопроводом у систему зворотного водопостачання.

Залізобетонний резервуар виконується у вигляді циліндричної ємності з дном у формі широковідкритого конусу. Кут дна відносно горизонту складає близько  $9^\circ$ . На верхньому поясі резервуару встановлюється несучий міст для кріплення стакану з подаючою трубою для живлення і центральний привід скребкового механізму.

Робота згущувача має безреверний характер, а ущільнені осади мають вологість 85-97% завдяки максимальному врахуванню фізичних законів руху рідин.

Розглянемо переваги запропонованого рішення:

- можливість виготовлення обладнання для заміни існуючого застарілого обладнання;
- обладнання поставляється на об'єкти у крупно вузловому виконанні, монтаж виконується за короткий термін мінімальним числом співробітників із супроводом при налагодженні та сервісним обслуговуванням;
- компоненти згущувача стійкі до корозії за рахунок застосування матеріалів з іржостійкої сталі AISI 304 та алюмінію;

- скребки згущувача виготовлюються з металевого каркасу та гумової смуги, яка акуратно та ретельно очищує поверхню дна відстійника, необхідна заміна гумової смуги внаслідок природного зношення виконується швидко і без значних витрат;

- логарифмічний скребок дозволяє виконати переміщення мулу з крайньої точки відстійника до приямка за одне обертання, що скорочує час на переміщення мулу та споживання електроенергії;

- шафа автоматичного управління швидкістю руху робочої частини виготовлена із застосуванням частотних перетворювачів із застосуванням контролерів Siemens, встановлюється на мосту або в закритих приміщеннях, в безпосередній близькості до згущувача;

- конструкція дефлектора (заспокоювача) з полімерних матеріалів полегшує навантаження на міст;

- повнопривідний візок забезпечує високу надійність і стабільність роботи відстійників у будь-яку пору року, центральний привід забезпечує рух розкрилків робочої частини відстійника без пробуксовування у зимовий період;

- застосування коліс з електроприводом дозволяє скоротити експлуатаційні витрати, зниження енергоспоживання за рахунок низької потужності двигуна – всього 0,37 кВт;

- обслуговування електроприводів зводиться до заміни масла 1 раз на 2 роки.

Компанія Esmil Group виготовляє згущувачі різноманітних типорозмірів. Після отримання технічного завдання конструкторський відділ розробляє технічну документацію, проводить розрахунки продуктивності та міцності конструкції. Дефлектор, переливи і напівзанурена дошка поставляються опціонально, за запитом від замовника.

Конструкція радіального згущувача Esmil показана на рис. 3.1.

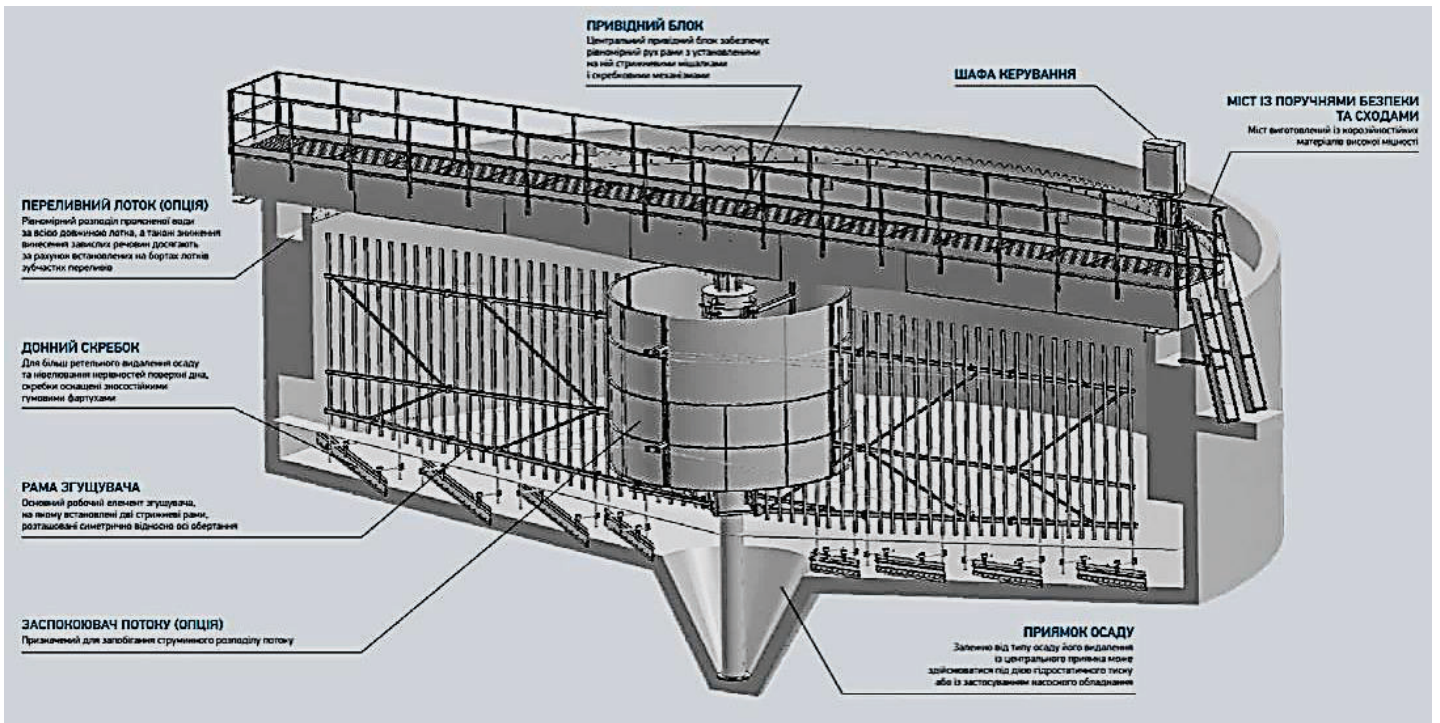


Рисунок 3.1 – Схематичний поперечний переріз згущувача осаду Esmil з центральним приводом [30]

Технічні характеристики даного радільного згущувача: діаметр згущувача – до 20м; глибина – до 10м; швидкість обертання – 3,6 – 7,1об/год; тип скребків сегментний [30].

Економічна ефективність від модернізації існуючого на підприємстві згущувача полягатиме у скороченні витрат на поточні та капітальні ремонти основних елементів та у зменшенні витрат на електроенергію за рахунок застосування систем АСУТП та енергоефективних технологій.

Екологічний аспект застосування модернізованого згущувача полягатиме у підвищенні якості освітленої води, яка надходить у згущувач після процесів флотації та мокрої магнітної сепарації, тобто зменшиться кількість свіжої води для підтримання виробничих процесів.

### 3.2 Поліпшення складу технічної води для флотації

Через дефіцит запасів води та суворі вимоги до якості води, що скидається, все більше і більше флотаційних заводів змушені використовувати шахтну воду, морську воду або оборотну воду з високою концентрацією електролітів (мінералізацією). Наразі в різних країнах, де застосовують методи флотації при збагаченні залізних руд проводяться дослідження для вивчення впливу солоної води (або сольових розчинів) на флотацію мінералів, ефективні способи вирішення проблем, які виникають на флотаційних заводах із використанням солоної води, наразі недоступні. Кожне рішення є конкретним випадком, в якому враховуються якості та хімічний склад технічної води та збагачуваної руди.

гентів, спираючись на доступні наукові розробки. Складність моделювання реагентного режиму при флотації полягає у тому, що неможливо підібрати універсальний реагент для флотації через різницю хімічного складу технічної води на ГЗК, вихідний склад залізовмісного концентрату. Тому необхідно запроваджувати виконання досліджень на базі лабораторій ГЗК для підбору реагентів з найменшим шкідливим впливом на людину та навколишнє середовище, адже більшість реагентів зараз відносяться до класу небезпечних і токсичних речовин. Тому при їх зберіганні з'являється ризик виникнення аварійних ситуацій, що приводить до необхідності ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів за діючими нормативами.

### 3.3 Оцінка потенційно небезпечного об'єкта

Реагенти, які використовуються у виробничих процесах флотаційного доведення концентрату являються шкідливими речовинами при неправильному поводженні як для людини, так і для навколишнього середовища. Для прийняття ефективних управлінських рішень щодо мінімізації наслідків можливого небезпечного впливу на виробництво, населення і навколишнє середовище, відповідно до вимог законодавства України необхідно провести оцінку або ідентифікацію. Така оцінка виконується під час ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів (ПНО) за методикою, наведеною в Порядку ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки та ведення їх обліку, затвердженою в Постанові КМУ від 13.09.2022 № 1030 «Деякі питання ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки» [38].

Гранично допустимі концентрації (ГДК) у воді водних об'єктів господарсько-питного й культурно-побутового водокористування для ізодецилоксипропіламіну – не більше 0,1 мг/дм<sup>3</sup>, згідно з «Санітарними правилами і нормами охорони поверхневих вод від забруднення».

Захист здоров'я людини і навколишнього середовища від ризиків, які можуть бути пов'язані з хімічними речовинами, наразі тісно пов'язаний із використанням Регламенту REACH (ЕС 1907/2006), який вступив в силу в 2007 році, із змінами, що відображають розширення знань про різні хімічні речовини та їх властивості.

Положення про реєстрацію, оцінку, дозвіл і обмеження хімічних речовин (REACH) стосується покращення методів визначення та реєстрації хімічних речовин, які характеризуються шкідливим впливом на людину та навколишнє середовище з метою мінімізації їх вживання та можливості заміни відповідними речовинами, які є менш шкідливими. REACH також спрямований на підвищення впровадження інновацій та конкурентоспроможності хімічної промисловості ЄС.

REACH покладає на виробників відповідальність за управління ризиками, пов'язаними з хімічними речовинами, і за надання інформації про безпеку цих речовин. З цією метою виробники та імпортери зобов'язані систематизувати інформацію про властивості шкідливих хімічних речовин і реєструвати цю інформацію у центральній базі даних Європейського агентства з хімічних речовин (ECHA). Агентство є центральним ланкою в системі REACH: воно керує базами даних, необхідними для функціонування системи, координує поглиблену оцінку наданої інформації про хімічні речовини і керує спільною базою даних, в якій споживачі й фахівці можуть знайти інформацію про небезпеку [39].

В подальшому використання бази даних щодо хімічних речовин має спростити та пришвидшити процедуру ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів, де використовуються хімічні речовини різних категорій шкідливості.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Визначення шкідливих та небезпечних факторів виробництва

Керівництво системою охорони праці на підприємстві встановлює вимоги до системи менеджменту гігієни і безпеки праці відповідно до вимог міжнародного стандарту OHSAS 18001:2007 і включає наступні поняття:

- політика,
- планування,
- ідентифікація небезпек,
- оцінки загроз і визначення заходів управління,
- цілі в області охорони праці,
- програми і плани,
- управління документацією і записами,
- підготовленість до аварійних ситуацій,
- моніторинг та аналіз зі сторони керівництва.

Забезпечення виконання робіт з дотриманням діючих вимог з охорони праці і промислової безпеки на підприємстві відбувається за наступними напрямками: «Система менеджменту охорони праці», «Система управління охороною праці в ПРАТ «ІНГЗК», і впровадження корпоративних проєктів і стандартів з безпеки (Проєкт вдосконалення системи управління безпекою, Стандарти «Аудити безпеки», «Визначення корінних причин нещасних випадків» та ін.).

«Положення про систему управління охороною праці в ПРАТ «ІНГЗК» (СУОТ) є організаційно-методичним документом, який відповідно до ст. 13 Закону України «Про охорону праці», встановлює єдиний порядок функціонування системи охорони праці в ПРАТ «ІНГЗК». Дане

положення встановлює єдину систему взаємодії і діяльності директорів, керівників структурних підрозділів і інших посадових осіб з питань охорони праці [40].

До шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища, зокрема, відносяться:

- несприятливі кліматичні (мікрокліматичні) умови у повітрі робочої зони;

- напружені зорові роботи;

- інтелектуальні навантаження;

- монотонність праці;

- нервово-емоційна напруженість праці;

- фізична важкість виконуваної роботи (статичні та динамічні навантаження на кістково-м'язовий апарат людини);

- шуми;

- ультразвук та інфразвук, вібрації;

- електромагнітні поля промислової частоти;

- статичні електричні поля;

- розрядження зарядів статичної електрики;

- надходження шкідливих речовин у повітря робочої зони;

- ризики ураження електричним струмом;

- ризики виникнення пожеж;

- недостатня, або надмірна освітленість робочого місця;

- ризик виникнення надзвичайних ситуацій природного або штучного характеру на об'єкті або території.

Для зведення до мінімуму впливу шкідливих та небезпечних факторів виробництва на працівників виробничої дільниці передбачена автоматизація багатьох процесів, розміщення устаткування згідно з номативними вимогами щодо безпеки та доступності, вимога обов'язкового дотримання технологічних та посадових інструкцій.

Технологічні процеси магнітно-флотаційного доведення концентрату відбуваються відповідно до технологічних інструкцій із дотриманням вимог наступних нормативних документів щодо охорони праці та техніки безпеки: Закон України «Про охорону праці»; НПАОП 0.00-1.82-18 Правила охорони праці під час дроблення і сортування, збагачення корисних копалин і огрудкування руд та концентратів; НАПБ А.01.001-2014 Правила пожежної безпеки в Україні; ДБН А.3.2-2-2009 Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення (НПАОП 45.2-7.02-12); ДБН В.1.2-9:2021 Основні вимоги до будівель і споруд. Безпека і доступність під час експлуатації.

Специфіка технологічних процесів магнітно-флотаційного доведення залізовмісного концентрату зумовлює необхідність виконання робіт, які можна класифікувати як «роботи з підвищеною небезпекою». Відповідно до Переліку робіт з підвищеною небезпекою за НПАОП 0.00-4.12-2005, для працівників, які зайняті на цих роботах, потрібні спеціальні навчання та щорічна перевірка знань з охорони праці [41,42]:

- роботи з надзвичайно займистими, легкозаймистими займистими та вибухонебезпечними речовинами;

- роботи, пов'язані з монтажем, експлуатацією та ремонтом магістральних нафтопроводів, нафтопродуктопроводів, аміакопроводів і технологічних трубопроводів.;

- злив, очистка, нейтралізація резервуарів, тари та інших ємностей з-під нафтопродуктів, кислот, лугів та інших шкідливих речовин, в тому числі радіоактивних;

- роботи з отруйними, шкідливими, токсичними та радіо-активними речовинами;

- прокладка, обслуговування та ремонт пульпопроводів;

- обслуговування механічних та автоматичних ліній.

Відповідно до правил НПАОП 0.00-1.82-18 перераховані роботи підвищеної небезпеки проводять за нарядом-допуском. Ці роботи виконуються бригадою не менше ніж з двох працівників, із супроводом відповідальної посадової особи. У наряді-допуску, виданому на проведення робіт підвищеної небезпеки, зазначають повний обсяг організаційних та технічних заходів, вжиття яких забезпечить безпечне проведення робіт у конкретних умовах.

Згідно з вимогами ДБН В.1.2-9:2021 «Основні вимоги до будівель і споруд. Безпека і доступність під час експлуатації» (розділ 4) на території проммайданчика ПРАТ «ІНГЗК» передбачені проїзди для руху автомобілів з необхідними параметрами технологічних автошляхів та пішохідні доріжки, які мають тверде покриття та огороження. Рух автомобілів регулюється відповідними знаками безпеки, які добре видно у нічний та денний час.

Для забезпечення безпечних умов праці та попередження травматизму компоновка устаткування в корпусах РЗФ-1, РЗФ-2, МФДК виконана з дотриманням вимог НПАОП 0.00-1.82-18 щодо відстаней від будівельних конструкцій до габаритів устаткування, без захаращеності проходів. Для запобігання нещасних випадків при користуванні та обслуговуванні обладнання передбачені наступні заходи:

- всі обслуговуючі площадки, перехідні містки та сходи огорожуються перилами висотою 1м з перекладиною та суцільною оббивкою по низу перил на висоту 0,14м;

- робочі площадки, розташовані на висоті 0,3м і вище, огорожуються перилами та обладнані драбинами.

Всі частини обладнання, які рухаються, мають огороження .

Трубопроводи, які розташовані на висоті не менше 2м та запорна арматура ручного управління, яка встановлена вище ніж 1,5м над рівнем підлоги, обладнані площадками для обслуговування.

Послідовність пуску та подальша робота обладнання технологічних ліній збагачувальних фабрик здійснюється по електроблокувальній залежності у відповідності до схеми ланцюга апаратів, при цьому безпечність роботи обслуговуючого персоналу забезпечується передпусковою світловою, звуковою сигналізацією та засобами гучномовного зв'язку.

Аспіраційні установки вмикаються до пуску технологічного обладнання та вимикаються після його зупинки.

Для захисту працюючих від враження електричним током заземлене все обладнання, яке знаходиться під напругою. Вибухонебезпечні речовини зберігаються в спеціально відведених місцях із дотриманням всіх необхідних умов зберігання, включаючи наявність розвішаних позначень щодо небезпечності речовин.

Щит управління вентиляційною установкою у складі реагентів и ПАР винесено наззовні для можливості її вмикання та провітрювання приміщення складу до входу обслуговуючого персоналу (у випадку, якщо системи вентиляції були раніше вимкнені по будь-яким причинам).

При веденні процесу магнітно-флотаційного доведення концентрата технологічний персонал в своїй діяльності керується вимогами та рекомендаціями НПАОП 0.00-1.82-18 «Правила охорони праці під час дроблення і сортування, збагачення корисних копалин і огрудкування руд та концентратів», а також інструкціями по охороні праці за відповідними професіями.

На кожній виробничій ділянці та в її цехах має бути складений План ліквідації аварій (ПЛА). Забороняється допуск до роботи працівників і посадових осіб, не ознайомлених із ПЛА.

При роботі з реагентами і поверхнево-активними речовинами та їхніми розчинами необхідно застосовувати наступні засоби індивідуального захисту:

- при приготуванні розчинів реагентів – маска для всього обличчя, рукавиці хімічно стійкі, фартух, захисний спецодяг, каска;

- для флотаторів – маска на половину обличчя, рукавиці хімічно стійкі, захисний спецодяг, каска, захисні окуляри;

- для персонала, який обслуговує установки подачі реагентів та поверхнево-активних речовин в недостатньо провітрюваних зонах – маска на половину обличчя, рукавиці хімічно стійкі, захисні окуляри з боковими запобіжними елементами, фартух, захисний спецодяг.

При правильному поводженні з реагентами та поверхнево-активними речовинами додаткових засобів захисту не треба.

#### 4.2 Заходи щодо запобігання пожеж, вибухів, зберігання та транспортування матеріалів.

Існуючі дорожньо-транспортні умови на промисловому майданчику забезпечують вільний безперешкодний під'їзд пожежного спеціалізованого транспорту до будівель і споруджень.

Зовнішнє пожежогасіння здійснюється від пожежних гідрантів, які розташовані в існуючих водопровідних колодязях. Відстань від пожежних гідрантів до будівлі МФДК відповідає нормативним вимогам і не перевищує 200м.

В корпусах РЗФ-1, РЗФ-2 та МФДК передбачені короткі та безпечні шляхи, якими працівники можуть дістатися евакуаційних виходів. Пропускна здатність і розміри всіх ділянок евакуаційних шляхів (коридорів, дверних отворів і т.д.) з окремих приміщень будівель та споруджень відповідають нормативним вимогам.

Для забезпечення безпеки під час проток шкідливих речовин та пожеж передбачені наступні заходи:

1) заходи щодо ліквідації протікання збирачів:

- уникати потрапляння реагенту в каналізацію;
- пролитий реагент необхідно помістити в контейнер для поховання, залишок необхідно засипати інертним поглинаючим матеріалом для подальшого збору та поховання. Поховання або знищення розлитого матеріалу слід виконувати за відповідною інструкцією, розробленою на підприємстві для таких випадків.

2) заходи щодо ліквідації протікання поверхнево-активних речовин (ПАР):

- не допускати влучення реагенту в каналізацію;
- обробити місце протоки інертним абсорбуючим матеріалом. Після очищення змити залишок водою.

3) заходи щодо ліквідації пожеж при горінні збирачів, розчинника, флокулянтів, поверхнево-активних речовин (засоби пожежогасіння, що застосовуються):

а) при горінні збирачів:

- спиртостійка піна, водорозпилювач, густий туман, сухий інертний порошок, сухий пісок, вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>). Водний струмінь не застосовувати.

б) при горінні розчинника:

- тонкорозпилена вода, засоби із газовим та порошковим складом при горінні флокулянтів:

- піна, сухі засоби пожежогасіння, вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>), пісок.

в) горіння поверхнево-активних речовин (ПАР):

- вода, вода, що розпилюється, піна, вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>), сухі порошкоподібні засоби.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі поставлена і вирішена актуальна науково-практична задача, що полягає в аналізі доступних до впровадження методів та засобів підвищення якості технічної води після флотації для використання в оборотному водопостачанні виробничого циклу гірничо-збагачувального комбіната.

Результати аналізу наявних наукових розробок щодо технологій водопідготовки для забезпечення виробничих процесів флотації свідчать про необхідність застосування відповідних реагентів для коригування хімічного складу води.

На основі результатів проведеної роботи зроблені наступні висновки.

1. На підставі аналізу науково-технічної літератури виявлена стала тенденція збереження водних ресурсів, зокрема за рахунок організації оборотного водопостачання гірничо-збагачувальних комбінатів.

2. Через аналіз технологічної схеми магнітно-флотаційного доведення концентрату встановлена ефективність використання технічної води після освітлення в радіальному згущувачі без транспортування у хвостосховище з подальшим поверненням у виробничий цикл флотації після механічного очищення.

3. Виявлені шляхи підвищення ефективності очищення зворотних вод гірничо-збагачувальних комбінатів за рахунок використання сучасних реагентів і модернізації елементів згущувача.

4. За результатами ідентифікації об'єкта підвищеної небезпеки, з урахуванням відомостей щодо небезпеки реагентів за класами та категоріями, визначено 2 клас об'єкту підвищеної небезпеки.

5. Визначені шкідливі та небезпечні фактори виробничого середовища, перелік робіт з підвищеною небезпекою за НПАОП 0.00-4.12-

2005, випадки настання аварійних ситуацій, які здатні вплинути на стан довкілля. Дані рекомендації щодо забезпечення відповідних умов праці та запобігання пожеж і вибухів на виробничій ділянці магнітно-флотаційного доведення залізовмісного концентрату.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Тітамир О. Промислове забруднення водних ресурсів: як з цим боротися, і чи врятує новий законопроект? Останні новини України та світу онлайн – Головний діловий портал Delo.ua. URL: <https://delo.ua/opinions/promislove-zabrudnennja-vodnih-resursiv-jak-z-ci-382665/> (дата звернення: 29.12.2023).

2. Хільчевський В. К., Забокрицька М. Р, Кравчинський Р. Л., Чунарьов О. В. Основні засади управління якістю водних ресурсів та їхня охорона: навч. Посібник / ред. В. К. Хільчевський. Київ: ВПЦ "Київ. Ун-т", 2015. 172 с.

3. Best Environmental Practices in Metal Ore Mining/Päivi Kauppila, Marija Liisa Räisänen and Sari Myllyoia(eds). Helsinki: Finnish Environment Institute, 2013. 222p.

4. Хто забезпечить системну і послідовну модернізацію водної сфери? *Офіс сталих рішень*. URL: <https://ukraine-oss.com/hto-zabezpechyt-systemnu-i-poslidovnu-modernizacziyu-vodnoyi-sfery/> (дата звернення: 29.12.2023).

5. Екологізація виробництва та зелені технології: навч. посіб. / Н. С. Ремез та ін. Київ: Нац.техн.ун-т України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського, 2021. 209 с.

6. Томільцева А.І., Яцик А.В., Мокін В.Б. та ін. Екологічні основи управління водними ресурсами: навч. посіб. Київ.: Ін-т екол. упр. та збаланс. природокористування, 2017. 200 с.

7. Хільчевський В.К., Забокрицька М.Р., Стельмах В.Ю. Гідроекологічні аспекти водопостачання та водовідведення: навч. посібник. Київ: ДІА, 2023. 228 с. URL: [https://evnuir.vnu.edu.ua/bitstream/123456789/22631/1/Hidroecolog\\_asp.pdf](https://evnuir.vnu.edu.ua/bitstream/123456789/22631/1/Hidroecolog_asp.pdf) (дата звернення: 09.01.2024).

8. Швиданенко Г. О., Криворучкіна О. В., Матукова Д. Г. Розвиток підприємства на еколого-економічних засадах : монографія. Київ: КНЕУ, 2017. 184 с.

9. Зворотні та безстічні системи водокористування промислових підприємств : конспект лекцій/ Епоян С. М. та ін. – Харків. Нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. 2022. 113с.

10. Замкнуті системи очищення промислових вод в металургії / Новини-Труба.ua. URL: [https://www.truba.ua/ua/news/20110415/zamknuti\\_sistemi\\_ochischennja](https://www.truba.ua/ua/news/20110415/zamknuti_sistemi_ochischennja) (дата звернення: 29.12.2023).

11. В.Сварковський, Т. Хомуцька. Застосування системи оборотного водопостачання на північному гірничо-збагачувальному комбінаті. Робоча програма та тези доповідей III-ї міжнародної науково-практичної конференції «Екологія.Ресурси.Енергія». : Матеріали міжнар. науково-техн. конф., м.Київ, 23листоп.2022р. С.30–31. URL: [https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2023/03/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B0\\_i\\_%D1%82%D0%B5%D0%B7%D0%B8\\_2022\\_1.pdf](https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2023/03/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B0_i_%D1%82%D0%B5%D0%B7%D0%B8_2022_1.pdf) (дата звернення: 29.12.2023).

12. Смирнов В. О., Білецький В. С. Флотаційні методи збагачення корисних копалин: довідник. Донецьк: Східний видавничий дім, 2010. 492 с.

13. Олійник Т. А. Перспективи розвитку технологій збагачення залізних руд. *Збагачення корисних копалин*: Наук.-техн. зб. 2018. Вип. 69(110). С. 32-44. URL: <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/151908> (дата звернення: 29.12.2023).

14. Особливості флотації залізних руд/ Т.А.Олійник та ін.Збагачення корисних копалин. 2017. №67(108). С.31–35. URL: <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/151908> (дата звернення: 09.01.2024).

15. Техніка і технологія збагачення корисних копалин: навч. посіб./ Кравець В. Г., Білецький В. С., Смирнов В. О - Київ: Нац. Техн. Ун-т України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського, 2019. 286с.

16. Білецький В.С., Олійник Т.А., Смирнов В.О. Техніка та технологія збагачення корисних копалин. Частина III. Заключні процеси: підручник. Кривий Ріг: Криворіз. Нац. Ун-т, 2019. 230с.

17. Наукові школи кафедри. Кафедра збагачення корисних копалин. URL: [https://zkk.nmu.org.ua/ua/naukova\\_dijalnist/naukovi\\_shkoly.php](https://zkk.nmu.org.ua/ua/naukova_dijalnist/naukovi_shkoly.php) (дата звернення: 29.12.2024).

18. Соколова В.П., Габура А.В. Особливості флотаційного розподілу силікатів та оксидів заліза. Збагачення корисних копалин. 2009. № 36(77) – 37(78). С. 141–145.

19. Формування екологічно безпечних водогосподарських систем гірничо-збагачувальних комбінатів, що використовують флотаційні технології /Дмитрієва О. О.,Тимошенко М. М., Василенко Г. В. *Екологічні науки:науково-практичний журнал*. 2014. № 1/(5). С.31-41. URL: [http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2014/5/5\\_2014.pdf](http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2014/5/5_2014.pdf) (дата звернення: 25.12.2023).

20. На ІНГЗК комп'ютерний зір допоможе підвищити ефективність. *Медіапортал Групи Метінвест*. URL: <https://metinvest.media/ua/page/na-ingoke-kompyuternoe-zrenie-pomozhet-povysit-effektivnost> (дата звернення: 29.12.2023).

21. Технологічна інструкція ТІ 00190905.07.001-2019. Ведення процесу збагачення магнетитових кварцитів в умовах фабрики безшарового подрібнення. ПРАТ «ІНГЗК», 2019. 79с.

22. Стандарт підприємства СТП ІНГЗК14/03-2020.Система менеджмента навколишнього середовища Документована інформація. Моніторинг та вимірювання впливу екологічних аспектів діяльності ПРАТ «ІНГЗК» на навколишнє середовище. Загальні положення. Кривий Ріг, 2020. 29с.

23. Проєкт «Реконструкція корпусів рудозбагачувальних фабрик №1, №2 в частині зміни технологічної схеми магнітно-флотаційної дово-

дки магнетитового концентрату ПРАТ «ИНГУЛЕЦЬКИЙ ГЗК». Том 6. Оцінка впливу на навколишнє середовище. ТОВ «МАЙНІНГ ІНЖИНІРІНГ ЦЕНТР». Кривий Ріг. 2017. 315с.

24. Пояснювальна записка до документу державного планування: «Детальний план частини території Широківської селищної ради за межами смт. Широке Широківського району Дніпропетровської області під розміщення об'єкту «Поліпшення гідрологічного режиму р.Інгулець в районі промислових об'єктів ПРАТ «ІНГЗК» шляхом будівництва спрямляючого каналу» Розділ «Охорона навколишнього природного середовища». URL: [https://www.shirokrn.dp.gov.ua/OBLADM/shirok\\_rda.nsf/2e8f79a579e9ccd3c22573fe003fcdf0/fb7c1a429d34434fc22579100045b6a9/\\$FILE/%D0%97%D0%B2%D1%96%D1%82%20%D0%A1%D0%AD%D0%9E%20%D1%80.%20%D0%86%D0%BD%D0%B3%D1%83%D0%BB%D0%B5%D1%86%D1%8C.pdf](https://www.shirokrn.dp.gov.ua/OBLADM/shirok_rda.nsf/2e8f79a579e9ccd3c22573fe003fcdf0/fb7c1a429d34434fc22579100045b6a9/$FILE/%D0%97%D0%B2%D1%96%D1%82%20%D0%A1%D0%AD%D0%9E%20%D1%80.%20%D0%86%D0%BD%D0%B3%D1%83%D0%BB%D0%B5%D1%86%D1%8C.pdf) (дата звернення: 09.01.2024).

25. Т.С.Айрапетян. Конспект лекцій з дисципліни «Технологія очистки промислових стічних вод»: конспект лекцій. Харків: Харків.нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекет., 2017. 73с.

26. Експериментальні дослідження гідравлічного режиму діючого макету відстійника для очистки стічних вод від завислих речовин. А.І.Горова, В.Є.Колесник, Д.В.Кулікова. *Науковий вісник НГУ*. 2012. №2. С.98 – 104.

27. Технології очистки та утилізації промислових стоків та викидів (Частина II): конспект лекцій. Кам'янське: ДДТУ, 2022. 82с. URL: <https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/5/7/5-7-kl4.pdf> (дата звернення: 09.01.2024).

28. Екологія гідросфери» (частина 2 – Очистка стічних вод): конспект лекцій. Кам'янське: ДДТУ, 2015. 82 с URL: <https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/5/42/2-42-kl38.pdf> (дата звернення: 29.12.2023).

29. Обладнання для відстійників. ESMILGROUP. URL: [https://ua.esmil.eu/product\\_cat/equipment\\_for\\_clarifiers/](https://ua.esmil.eu/product_cat/equipment_for_clarifiers/) (дата звернення: 09.01.2024).

- 30.Радіальний згущувач осаду.ESMIL GROUP URL: <https://ua.esmil.eu/product/picketscraper/> (дата звернення:29.12.2023).
31. Changes in hydrogeological conditions at the territories adjacent to tailings storage facilities in Kryvyi Rih iron ore basin/ O Hrytsai, A. Petrukhin and T Kulkova. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 1049, 3rd International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters 24/05/2022 – 27/05/2022 Kryvyi Rih, Ukraine
- 32.Minimizing beneficiation wastewater through internal reuse of process water in flotation circuit/ S.Lin et al.Journal of cleaner production. 2020. Vol. 245. P. 118898. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118898> (date of access: 09.01.2024).
33. В.П.Соколова. Підвищення ефективності катіонної флотації залізних руд регулюванням якостей поверхні розділу "рідина-повітря" електролітом". Збагачення корисних копалин. 2012. № 48(89). С. 119–124.
- 34.Filippov L.O., Severov V. V., Filippoval.V. An overview of the beneficiation of iron ores via reverse cationic flotation. *International journal*. URL: <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2014.01.002> (date of access :09.01.2024).
35. WangD., LiuQ. Hydrodynamics of froth flotation and its effects on fine and ultrafine mineral particle flotation: A literature review.Minerals Engineering. 2021. Vol.173. P.107220. URL: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2021.107220> (date of access: 09.01.2024).
36. Bo Wang, Yongjun Peng.The effect of saline water on mineral flotation: A critical review. Minerals Engineering. 2014. Vol. 66–68,Pages 13-24,ISSN 0892-6875, URL: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2014.04.017> (date of access: 09.01.2024).
37. Janusz Laskowski, Sergio Castro.Flotation in concentrated electrolyte solutions. International Journal of Mineral URL: <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2015.09.017>(date of access:09.01.2024).

38. Порядок ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки та ведення їх обліку. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1030-2022-п#n272> (дата звернення: 09.01.2023).

39. An official website of the European Union An official EU: REACH Regulation. Environment. URL: [https://environment.ec.europa.eu/topics/chemicals/reach-regulation\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/chemicals/reach-regulation_en) (date of access: 21.01.2024).

40. МЕТІНВЕСТ: відповідальність: охорона праці. МЕТІНВЕСТ: The Official web-site. URL: <https://ingok.metinvestholding.com/ua/responsibility/safety/labor> (дата звернення: 09.01.2024)

41 Нормативно-правові документи в сфері медико-санітарного регламентування небезпечних факторів. URL: [https://uhrc.gov.ua/Normativno\\_pravovi\\_dokumenti/](https://uhrc.gov.ua/Normativno_pravovi_dokumenti/) (дата звернення: 09.01.2024).

42. НПАОП 0.00-4.12-2005.Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0232-05#Text> (дата звернення: 09.01.2024).

Копія публікації за темою досліджень



International scientific conference

**MININGMETALTECH 2023 – THE MINING  
AND METALS SECTOR: INTEGRATION  
OF BUSINESS, TECHNOLOGY  
AND EDUCATION**

November 29–30, 2023

Volume 2



International scientific conference “MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education” : conference proceedings (November 29–30, 2023. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2023. Vol. 2. 348 pages.

#### **Program Committee**

*Head of the Program Committee* – **Yurii RYZHENKOV** – CEO, LLC “METINVEST HOLDING”

*Deputy Head of the Program Committee* – **Oleksandr POVAZHNYI** – Doctor of Economics, Professor, Rector of LLC “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

*Secretary of the Program Committee* – **Maksym KARAKAI** – PhD in Public Administration, Academic Secretary, LLC “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

**Oleksandr MYRONENKO** – Operations Director, LLC “METINVEST HOLDING”

**Tetiana PETRUK** – HR & Organizational Development Director, LLC “METINVEST HOLDING”

**Olha OVCHYNNYKOVA** – Director of Economics and Business Systems Development, LLC “METINVEST HOLDING”

**Yuliia DANKOVA** – Chief Financial Officer, LLC “METINVEST HOLDING”

**Svitlana ROMANOVA** – Chief Legal Officer, LLC “METINVEST HOLDING”

**Andrii YEMCHENKO** – PhD in Engineering, Chief Technology Officer, LLC “METINVEST HOLDING”

**Dmytro TEVELIEV** – CEO Advisor, LLC “METINVEST HOLDING”

**Oleksii KOMLYK** – member of the Supervisory Board

**Oleksandr PIMKIN** – Director of the Department of Organizational Management and Compensation Management, LLC “METINVEST HOLDING”

**Oleksandr PODKORYTOV** – Chief Technology and Quality Officer, LLC “METINVEST HOLDING”

**Pavlo UZBEK** – Director of the Department of Labor Safety, Industrial Security and Environmental Protection, LLC “METINVEST HOLDING”

**Vitalii KOVALENKO** – Director of the Department of Sustainability Development and Environmental Management, LLC “METINVEST HOLDING”

**Maria VASYLIEVA** – CEO, LLC “METINVEST SICHSTEEL”

**Gregory MASON** – Head of the Supervisory Board

**Andrii KOSTRYZHEV** – Project Manager – Material Characterization Scientist, The University of Queensland

#### **Organizational Committee**

*Head of the Organizing Committee* – **Volodymyr KUKHAR** – Doctor of Engineering, Professor, Professor at the Department of Metallurgy, Materials Science and Industrial Management, Vice Rector for Research, LLC “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

*Deputy Head of the Organizing Committee* – **Natalia REKOVA** – Doctor of Economics, Professor, First Vice Rector – Vice Rector for Academic Affairs, LLC “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

*Secretary of the Organizing Committee* – **Khrystyna MALII** – PhD in Engineering, Head of the Research Department, LLC “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

**Kostiantyn MOISEIENKO** – PhD in Economics, Associate Professor, Head of the Department of Education Quality Management and International Projects, LLC “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

**Iryna SHKRABAK** – Doctor of Economics, Professor, Dean of the Faculty of Mining and Metallurgy, LLC “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Riga, the Republic of Latvia

November 29–30, 2023

Biological reclamation of mining lands with biohumus materials <b>Kovrov O.S., Kolisnyk K.V.</b> .....	196
Technical and economic indicators of the low carbon technology of renewable gas injection into the blast furnace <b>Kutz H.O., Teslenko O.I.</b> .....	199
Innovative technologies in the field of garbage sorting and waste disposal <b>Minaiilo D.O., Nakempii O.K.</b> .....	203
Some issues of regulatory and legal provision of environmental protection in Ukraine <b>Navolniev I.Yu., Maksymova N.M.</b> .....	207
Comprehensive visual survey as a mandatory tool for safe operation of tailings <b>Pikarenia D.S., Orlinska O.V., Rudakov D.V.</b> .....	211
Environmental and economic security of the enterprise: content and implementation of the development plan <b>Polishchuk A.A., Maksymova N.M.</b> .....	215
Analysis of the impact of the metallurgical complex on the environment and health of the population <b>Snihovyi D.V., Nakempii O.K.</b> .....	219
Use of natural sorbents in water treatment processes <b>Fediv I.S., Konanets R.M., Stepova K.V.</b> .....	222
The use of return water after flotation in the conditions of the production process of mining and concentration plants <b>Khrystoforova O.O.</b> .....	224
<b>MATHEMATICAL MODELING OF TECHNOLOGICAL AND BUSINESS PROCESSES</b>	
Hybrid turbo-decoding method <b>Bodnarenko B.O., Ivanov Yu.Yu., Skuratov S.M.</b> .....	228
Mathematical simulation of rolling processes by pressure using MAPLE computer mathematics systems <b>Hrudkina N.S., Malii Kh.V., Papazov V.M.</b> .....	230

Підводячи підсумки, глауконіт та клиноптилоліт є перспективними сорбентами, які можуть бути використані в процесах очищення води та управління забрудненнями у водних середовищах.

#### **Перелік використаних джерел**

1. Electronic waste considerations in the Middle East and North African (MENA) region: A review / B. Moossa та ін. *Environmental Technology & Innovation*. 2022. С. 102961. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102961>.

2. Adsorption of Ammonium Ions and Phosphates on Natural and Modified Clinoptilolite: Isotherm and Breakthrough Curve Measurements / K. Stepova та ін. *Water*. 2023. Т. 15, № 10. С. 1933. URL: <https://doi.org/10.3390/w15101933>.

3. Topare N. S., Wadgaonkar V. S. A review on application of low-cost adsorbents for heavy metals removal from wastewater. *Materials Today: Proceedings*. 2022. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.08.450>

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-152>

#### **THE USE OF RETURN WATER AFTER FLOTATION IN THE CONDITIONS OF THE PRODUCTION PROCESS OF MINING AND CONCENTRATION PLANTS**

#### **ВИКОРИСТАННЯ ЗВОРОТНИХ ВОД ПІСЛЯ ФЛОТАЦІЇ В УМОВАХ ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ ГІРНИЧО- ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТІВ**

**Khrystoforova O.O.**  
*student (group 183-22-1m),  
LLC "Technical university  
"Metinvest polytechnic",  
Zaporizhzhia, Ukraine*

**Христофорова О.О.**  
*студентка гр.183-22-1м,  
ТОВ «Технічний університет  
«Метінвест політехніка»,  
м. Запоріжжя, Україна*

Україна належить до країн з високим ступенем нераціонального використання водних ресурсів. Використання застарілого обладнання та несучасних промислових технологій на виробництво одиниці продукції призводить до витрат води в середньому майже в 10 раз більше, ніж у

Європі. Паралельно щороку збільшується обсяг скидання недостатньо очищених зворотних вод у водойми, тому майже не залишилось об'єктів поверхневих вод, які за екологічним станом можна було б віднести до найкращої категорії за якістю питної води. Найбільшим техногенним впливом на об'єкти поверхневих вод характеризуються гірничопромислові регіони України, зокрема, гідросистема Криворізького залізорудного басейну зараз є в критичному стані [1].

У Криворізькому басейні сконцентрована більше ніж половина обсягу української залізорудної сировини й переважає кар'єрний спосіб видобутку. Видобувають руди різної якості за вмістом заліза: від багатих (50–67% заліза) до середніх (23–35%) [2]. Оскільки руда містить окрім корисної речовини багато пустої породи, після її видобутку необхідний процес збагачення на гірничо-збагачувальних комбінатах (ГЗК). Процес збагачення полягає у відокремленні пустої породи від руди. Збагачення криворізьких залізних руд відбувається на п'яти гірничо-збагачувальних комбінатах. Відходи збагачення залізних руд нагромаджуються у хвостосховищах, які водночас акумулюють шахтні і кар'єрні води, на теперішній час за концентрацією відходів хвостосховища являються вторинними техногенними родовищами. При неможливості розміщення надлишків шахтних і кар'єрних вод виникає необхідність здійснення регулярних дозованих скидів високомінералізованих вод у річки Інгулець і Саксагань за затвердженим регламентом, але це зменшує можливість використання цих річок як джерел для питного та побутового водозабезпечення.

Найпоширенішим способом збагачення рудної сировини є флотація. Технології магнітного збагачення з використанням гідросепарації, тонкого грохочення, роздільного збагачення за крупністю продуктів подрібнення у випадку бідних руд не завжди дозволяють забезпечити високий вміст заліза у кінцевій продукції на світовому рівні, тому найбільш ефективним, як технологічно, так і економічно, є застосування зворотної катіонної флотації з використанням певного флотореагенту. Вона реалізується послідовно за магнітним збагаченням і являє собою технологію дозбагачування магнітного концентрату (дозбагачення). Першим в Україні розпочав впровадження флотаційної технології дозбагачення Полтавський ГЗК, потім приєднався Інгулецький ГЗК (Кривий Ріг), було розроблено проект впровадження даної технології для Північного ГЗК та для Криворізького ГЗК окислених руд (КГЗКОР, м. Долинське).

Найбільше на вартість та організацію застосування флотаційного дозбагачення залізорудного концентрату впливає вибір флотореагентів.

Основними критеріями техніко-економічної оцінки певного виду флотореагентів є: 1) ефективність дії у відношенні до повноти вилучення у концентрат цінних мінералів і повноти видалення у відходи породних мінералів і шкідливих домішок; 2) витрата і вартість реагенту; 3) токсичність реагенту, наявність неприємного запаху; 4) складність або висока вартість очищення стічних вод; 5) наявність або відсутність умов, які ускладнюють використання реагенту при підготовці робочих розчинів, необхідність підігріву, регулювання рН пульпи і т. ін.; 6) стійкість і оборотність дії реагенту, збереження його властивостей у різних умовах, а також можливість видалення з міжфазної поверхні при переході до інших операцій схеми, де застосовуються інші реагенти.

Відомо, що у якості флотореагентів при збагаченні залізної руди головне місце посідають аміносполуки жирного ряду, технологічна значущість яких збільшується з подовженням вуглеводневого ланцюга. Флотореагенти, що мають більш довгий ланцюг, можуть закріплюватися на аніоні поверхні мінералу, надаючи їй гідрофобність та здатність до флотації. Найбільш широке розповсюдження серед катіонних флотореагентів отримали аміни на основі пальмової олії. Але зі збільшенням молекулярної маси підвищується токсичність флотореагентів. Тому слід враховувати не тільки технологічну ефективність, але й їх безпечність для працюючих [3].

Флотаційні реагенти, як хімічні сполуки зі складним та багатокомпонентним складом, є одним із головних шкідливих факторів при використанні флотації як методу збагачення залізної руди, що гальмує їх широке застосування. Головна токсикологічна особливість флотореагентів для збагачення залізної руди – їх переважаючий подразнюючий характер при інгаляційному та нашкірному впливах.

У процесі флотації флотореагент може поступово накопичуватись до небезпечних концентрацій у водогосподарських системах ГЗК, де використовується оборотна система на базі хвостосховища. При скиданні надлишкових вод ГЗК у поверхневі води може здійснюватись негативний вплив на їх водну екосистему. Для запобігання такої ситуації при впровадженні зворотної катіонної флотації чи зміні її обсягів необхідно прогнозувати поведінку флотореагенту у виробничих умовах ГЗК та передбачати водоохоронні заходи, які б сприяли дотриманню вмісту флотореагенту у воді, що потрапляє до поверхневих вод, встановленим нормативам. Для оптимального вибору флотореагентів за економічною ефективністю та мінімальним впливом на довкілля можна скористатись наступними кроками [4]: 1) встановлення ГДК для обраного флотореагенту; 2) аналіз балансу технічної води ГЗК з урахуванням

впровадження технології флотаційної доводки; 3) розробка принципової схеми обігу флотореагенту у системі дозбагачення залізної руди ГЗК; 4) експериментальне визначення основних параметрів флотореагенту принципової розрахункової схеми; 5) розробка прогнозу моделі поведінки флотореагенту у часі; 6) прогноз зміни накопичення флотореагенту у хвостосховищі ГЗК (без впровадження додаткових заходів); 7) прогноз якості води у водних об'єктах при скиданні до них дебалансових вод ГЗК; 8) розробка варіантів водоохоронних заходів щодо зниження впливу флотореагенту на поверхневий водний об'єкт; 9) еколого-економічний аналіз запропонованих варіантів водоохоронних заходів та вибір кращого з них.

На сучасному етапі більшість досліджень присвячена зменшенню водоспоживання та розповсюдженню технологій, які забезпечують застосування оборотних вод після флотаційного дозбагачення. Актуальними є питання щодо ефективної підготовки води для оборотної системи, тобто якості очищення від механічних домішок, потреба часткового чи повного знесолення, ефективність та необхідність модернізації існуючого обладнання. Це свідчить про доцільність подальшого розгляду можливих варіантів підвищення ефективності та економічності технологічних процесів флотаційного дозбагачення в умовах виробничого циклу гірничо-збагачувальних комбінатів Криворіжжя.

#### Перелік використаних джерел

1. Як очищують стічні промислові води підприємства у Європі? Журнал Ecobusiness, 27.04.2021. URL: <https://ecolog-ua.com/news/yak-ochyshchuyut-stichni-promyslovi-vody-pidpryyemstva-u-yevropi>
2. Багрій І.Д., Гожик П.Ф., Самоткал Е.В. та ін. Гідроєкосистема Криворізького басейну – стан і напрямки поліпшення. К.: Фенікс, 2005. 216 с.
3. Смирнов В.О., Білецький В.С. Флотаційні методи збагачення корисних копалин. Донецьк: Східний видавничий дім, 2010. 492 с. URL: <http://www.experts.in.ua/baza/doc/download/Flotation.pdf>
4. Дмитрієва О.О., Тертичний О.Л., Василенко Г.В. Екологічна безпека поверхневих водних об'єктів при впровадженні флотаційної доводки збагачення залізних руд. Екологічна безпека та природокористування. 2012. С. 93–104. URL: <http://dspace.nbuiv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/58249/10-Dmytriyeva.pdf?sequence=1>