

Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова
Національна академія наук України

МЕДВЕДЄВА ОЛЬГА ОЛЕКСІЇВНА

УДК [622.648.2.001.5:622'17.042](043.5)

РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ
ГІДРОМЕХАНІЗОВАНОЇ РОЗРОБКИ ТЕХНОГЕННИХ РОДОВИЩ

05.15.09 – «Геотехнічна і гірнича механіка»

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Дніпро – 2021

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (м. Дніпро)

Науковий консультант доктор технічних наук, старший науковий співробітник

Семененко Євген Володимирович,
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова
НАН України, завідувач відділу (м. Дніпро)

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Собко Борис Юхимович,
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» МОН України, завідувач кафедри відкритих гірничих робіт (м. Дніпро);

доктор технічних наук, професор

Маланчук Євген Зіновійович,
Національний університет водного господарства та природокористування МОН України, професор кафедри автоматизації електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій (м. Рівне).

доктор технічних наук, професор

Біляєв Микола Миколайович,
Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна МОН України, завідувач кафедри гідравліки та водопостачання (м. Дніпро).

Захист відбудеться « 9 » квітня 2021 р. о 13³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.188.01 при Інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України за адресою: вул. Сімферопольська, 2А, м. Дніпро, 49005.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України за адресою: вул. Сімферопольська, 2А, м. Дніпро, 49005.

Автореферат розісланий « 9 » березня 2021 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

доктор технічних наук, професор



В.Г. Шевченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Надійне та ефективне функціонування гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК) з необхідною площею територій для складування продуктів переробки мінеральної сировини визначає сталий розвиток Криворізького залізрудного басейну. ГЗК розташовані в межах міста Кривий Ріг, де відсутні ділянки землі для складування продуктів переробки мінеральної сировини. Однак, сховища продуктів переробки необхідно розглядати ще й як техногенні родовища, бо в них накопичена значна кількість цінних компонентів. З огляду на вищенаведене, видобуток техногенних покладів є перспективним способом отримання додаткових обсягів корисних копалин, а також вивільненням місця для складування нових продуктів переробки мінеральної сировини (ППМС), тобто є інструментом забезпечення надійності функціонування ГЗК. Це дозволить скоротити обсяги ППМС, збільшити запаси мінерально-сировинного комплексу за рахунок залучення в розробку техногенних родовищ, подовжити термін експлуатації сховищ шляхом відновлення їх акумулюючої здатності. Проте, дослідження по встановленню закономірностей та визначенню параметрів техногенних родовищ, як масивів сипучих тіл, з урахуванням властивостей твердої та рідкої фаз, що сформовані при експлуатації штучних сховищ продуктів переробки мінеральної сировини, проводились недостатньо.

Таким чином, *встановлення закономірностей процесів гідромеханізації та складування продуктів переробки мінеральної сировини з урахуванням властивостей твердої та рідкої фаз при формуванні техногенних родовищ, як масивів сипучих тіл, для подовження терміну експлуатації з поновленням акумулюючої здатності сховищ є актуальною науковою проблемою, яка має важливе значення для підвищення ефективності функціонування гірничо-збагачувальних комбінатів.*

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана в рамках державних бюджетних тем Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України: III-20-13 Г «Дослідження екологічних проблем складування відходів на гірничо-збагачувальних комбінатах» (№ДР 0113U005467), за якою авторка є керівницею; III-55-10 «Наукове обґрунтування методів розрахунку параметрів процесів гідромеханізації при розробці родовищ корисних копалин» (№ДР 0110U002634), III-65-15 «Наукове обґрунтування параметрів ресурсозберігаючих технологій розробки та експлуатації техногенних родовищ корисних копалин» (№ДР 0115U002534), III-72-19 «Розвиток методологічних основ оцінки ризиків функціонування хвостосховищ» (№ДР 0119U001349) за якими авторка є відповідальною виконавицею.

Ідея роботи – використання встановлених закономірностей для вдосконалення методів визначення параметрів технології гідромеханізованої розробки техногенних родовищ з метою подовження терміну експлуатації сховищ продуктів переробки мінеральної сировини та поновлення їх акумулюючої здатності без припинення процесу складування шляхом

видобутку техногенних покладів.

Мета роботи – встановлення закономірностей процесів фракціонування та інтенсифікації освітлення зворотної води, а також урахування розподіленого складування продуктів переробки мінеральної сировини при гідромеханізованій розробці техногенних покладів при відновленні акумулюючої здатності сховищ та подовженні терміну їх експлуатації для надійного та ефективного функціонування гірничо-збагачувальних комбінатів.

Для досягнення поставленої мети розв'язано наступні науково-практичні завдання:

1. Вдосконалити моделі процесів формування техногенних покладів у сховищах ППМС при надводному та підводному наливі з урахуванням їх особливостей при використанні екстенсивних, роз'єднувальних та інтенсивних методів зміни параметрів процесів течії відходів і їх фракціонування по пляжу наливу.

2. Обґрунтувати параметри технологій гідромеханізованої розробки техногенних родовищ з урахуванням параметрів магістралей, що прокладено по борту сховища, та процесів фракціонування.

3. Розробити методи розподіленого складування ППМС та інтенсифікації освітлення зворотної води, які дозволяють відновити акумуляційну здатність сховищ під час їх експлуатації, проєктуванні та після завершення нарощування дамб обвалування.

4. Обґрунтувати параметри технології гідромеханізованої розробки для відновлення акумулюючої здатності сховищ ППМС з урахуванням супутнього видобутку техногенних покладів. Експериментально дослідити та встановити закономірності особливостей формування пляжу в придамбовій зоні карти при розподіленому наливі з урахуванням параметрів воронки розмиву.

5. Розробити та впровадити наукові основи розрахунку параметрів ресурсозберігаючих технологій на основі теоретичних та експериментальних досліджень закономірностей процесів фракціонування та пульпоутворення при гідромеханізованій розробці техногенних покладів.

Об'єкт дослідження – процеси гідромеханізації при складуванні продуктів переробки мінеральної сировини в штучні сховища з урахуванням переміщення сипких тіл гідравлічним способом.

Предмет дослідження – закономірності формування штучних ґрунтових масивів надводним і підводним наливом.

Методи досліджень. В дисертаційній роботі використовувався комплексний метод наукових досліджень, який включає аналіз та узагальнення результатів відомих досліджень, методи чисельного рішення нелінійних алгебраїчних рівнянь та математичного моделювання. При розробці методики розрахунку параметрів гідротранспортування гідросумішей використано рівняння Бернуллі для потоку гідросуміші в трубопроводі з обмеженнями за швидкістю течії з урахуванням залежності коефіцієнту гідравлічного тертя від числа Рейнольдса. При побудові моделей осадження цінного компоненту застосовано рівняння Чена з урахуванням універсальної залежності коефіцієнту сили опору від числа Рейнольдса, що запропонована М.М. Нігматулінім. При визначенні меж техногенного розсипу на ярусі наливу використовувався

удосконалений метод В.А. Мелентьєва. При побудові моделі функціонування тимчасового ставка в карті наміву враховано фундаментальні закони збереження та співвідношення перерозподілу потоків при згущенні гідросуміші.

Основні наукові положення і результати, які виносяться на захист.

1. Фактичне значення швидкості гідросуміші при переміщенні техногенних покладів, що сформовані в штучних сховищах продуктів переробки мінеральної сировини, прямо пропорційне критичній швидкості, а коефіцієнт пропорційності дорівнює співвідношенню діючого напору до гідравлічного ухилу магістралі в критичному режимі гідротранспортування, який зведено в степінь з позитивним показником, який змінюється від 0,171 до 0,316.

2. Залежність критичного діаметру трубопроводу гідротранспортної установки від питомої витрати води на пульпоутворення визначається степеневою залежністю з позитивним дрібним показником, що змінюється в інтервалі від 0,33 до 0,62, а коефіцієнт пропорційності залежить від густини та гідравлічної крупності матеріалу, що транспортується.

3. Залежність співвідношення максимальної відстані в горизонтальному напрямку, на яку переміщуються тверді частинки крупністю від 100 до 300 мкм в нерухомій рідині, до добутку вихідної швидкості твердих частинок та їх діаметру, описується степеневою функцією з показником 0,9, а коефіцієнт пропорційності залежить від в'язкості рідини та відносної густини твердих частинок від 2,2 до 4,9.

4. Максимальна тривалість заповнення тимчасового ставу при згущенні гідросуміші низької концентрації з одночасним укладанням висококонцентрованої гідросуміші обернено пропорційна концентрації гідросуміші, що надходить з карти наміву, в степені 0,46, а коефіцієнт пропорційності дорівнює 0,09.

5. Кут нахилу намитого пляжу, що утворено з частинок частинки крупністю від 100 до 300 мкм та відносної густини від 2,2 до 4,9, до горизонту біля краю карти наміву для акумулювання і освітлення зворотної води пропорційний об'ємній концентрації складованої пульпи в степені $3/2$, а коефіцієнт пропорційності максимальний за центральною віссю карти і лінійно убуває при зміщенні перетину до краю карти наміву.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше науково обґрунтовано залежність фактичного значення швидкості гідросуміші при напірному та безнапірному гідротранспортуванні техногенних покладів, які видобуто в штучних сховищах продуктів переробки мінеральної сировини, від густини та концентрації частинок твердої фракції, кута нахилу трубопроводу до горизонту, діючого напору, параметрів насосного обладнання, а також співвідношення діаметрів твердих частинок та трубопроводу.

2. Вперше досліджено взаємозалежність між питомою витратою води на пульпоутворення та критичним діаметром трубопроводу гідротранспортної установки, що дозволяє визначити діаметри трубопроводу з урахуванням особливостей технології пульпоутворення, характеристик матеріалу, що транспортується, та режиму гідротранспортування.

3. Удосконалено метод В.А. Мелентьєва розрахунку параметрів процесу фракціонування ППМС, в якому враховується відмінність густини частинок техногенного розсипу від середньозваженого значення густини складованих продуктів переробки, що дозволяє оцінити найближчу та найвіддаленішу межі техногенного покладу.

4. Вперше науково обґрунтована відстань в горизонтальному напрямку, в межах якої накопичуються тверді частинки продуктів переробки при формуванні підводного укусу, що дозволяє обчислити місце акумулювання твердих частинок конкретних фракцій при визначенні параметрів технологій видобутку техногенних покладів в залежності від їх діаметру та густини, а також технологічних параметрів процесу складування.

5. Вперше науково обґрунтована залежність діаметру випуску з розподільного трубопроводу від витрати та його геометричних параметрів, який забезпечує відведення гідросуміші з частинками пиловатих, глинистих та крейдових фракцій з заданою витратою в верхній треті поперечного перерізу трубопроводу, що дозволяє визначити параметри випусків, які забезпечують накопичення в розподільному трубопроводі частинок техногенного покладу з одночасним складуванням інших в ставку під шаром рідини.

6. На основі експериментальних досліджень вперше встановлено залежність між кутом нахилу намитого пляжу до горизонту від об'ємної концентрації складованої пульпи при використанні карти намиву для акумулювання та освітлення зворотної води.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечується коректністю постановки задач, використанням апробованих методів дослідження; збіжністю результатів теоретичних і експериментальних досліджень щодо визначення об'ємів та геометричних параметрів техногенних покладів, які сформовані під час експлуатації хвостосховищ, з похибкою, яка не перевищує 15%, та позитивними результатами впровадження.

Практичне значення роботи.

Розроблено та впроваджено «Методику розрахунку параметрів напірної та безнапірної течії пульп з концентрацією пасти», «Рекомендації по обґрунтуванню параметрів процесів відновлення акумулюючої здатності прудка з використанням процесів гідромеханізації», «Методику визначення раціональних геометричних параметрів сховищ відходів збагачення», «Рекомендації по використанню методів керування параметрами техногенних родовищ при складуванні пульп високої концентрації», «Методику визначення обсягів продуктів переробки мінеральної сировини, що складовано, геометричних параметрів пляжу, ставку та ємності сховища відходів, що доступна, при нарощуванні дамб», «Науково-методичне забезпечення розрахунків параметрів техногенних родовищ, які формуються при складуванні відходів збагачення» та «Методику розрахунку параметрів гідротранспорту висококонцентрованих гідросумішей».

Реалізація результатів роботи. Результати дисертаційної роботи

впроваджено: ДП «ДПІ «Кривбаспроект» (довідка про використання наукових розробок від 12.12.2018 р.), ДП «УкрНДІВуглезбагачення» (акт впровадження наукових результатів від 18.10.2013 р.), Національний університет водного господарства та природокористування МОН України (довідка про використання наукових розробок від 21.09.2019 р.), ТОВ «Вирівський кар'єр», ТзОВ «Технобуд» (довідка про використання наукових розробок від 27.09.2018 р.). Очікуваний річний економічний ефект від впровадження наукових розробок складає 7,01 млн. грн., частка авторки при використанні рекомендацій, науково-методичних, технологічних та інженерно-технічних рішень складає 15 % від загального економічного ефекту, тобто 1,05 млн. грн.

Апробація результатів роботи. Основні положення і результати досліджень доповідались та обговорювались на наукових конференціях: II Науково-практична конференція молодих вчених «Проблеми та перспективи розвитку міста Дніпропетровська» (м. Дніпропетровськ, 17 травня 2012 р.); конференції молодих учених "Геотехнічні проблеми розробки родовищ" (м. Дніпро, 14.11.2013 р., 29.10.2015 р., 27.10.2016 р., 26.10.2017 р., 25.10.2018 р.); Міжнародній конференції "Форум гірників" (м. Дніпро, 02-05 жовтня 2013 р., 01-04 жовтня 2014 р., 30.09-03.10.2015 р., 05-08 жовтня 2016 р.); Міжнародній науковій конференції «Математические проблемы технической механики – 2012» (м. Дніпропетровськ, 16 – 19 квітня 2012 р.); 8-а Міжнародна конференція: ТулГУ «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики» (Тула, 2012 р.); II Міжнародна науково-технічна конференція «Геомеханічні аспекти та екологічні наслідки відпрацювання рудних покладів» (м. Кривий Ріг, 21-22 грудня 2012 р.); Міжнародна науково-технічна конференція «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці» (м. Київ, 26-29 травня 2015 р., 24-27 травня 2016 р.); XIV конференція «Вібрація в техніці та технологіях» (м. Дніпро, вересень 2015 р.).

Особистий внесок авторки полягає у формулюванні проблеми, мети, ідеї, завдань досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій, а також у вирішенні поставлених завдань, розроблено математичну модель розрахунку параметрів процесу фракціонування продуктів переробки з урахуванням відмінності густини частинок техногенного розсипу від середньозваженого значення густини складованих продуктів переробки, у проведенні експериментальних досліджень, обробці й аналізі отриманих результатів, розробці методик, рекомендацій та науково-методичного забезпечення, а також у впровадженні результатів роботи. Текст дисертації авторкою написано особисто.

Публікації. Основні результати досліджень опубліковані в 38 наукових працях, з яких: 27 наукових статей у фахових виданнях, 7 з яких входять до наукометричних баз та надруковані у іноземних журналах, 11 матеріалів конференцій і тез доповідей, 9 робіт без співавторів.

Структура й обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел – 315 найменувань на 36 сторінках, містить 396 сторінок машинописного тексту, з яких 46 таблиць та 169 рисунків, з яких 44 на окремих сторінках (основна частина 294 сторінок), додатків на 69 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі роботи розглянуто технології гідромеханізації, які використовуються при розробці корисних копалин та складуванні продуктів переробки мінеральної сировини у штучні сховища, проаналізовано стан сховищ такого типу, їх геометричні параметри, ступінь заповнення та перспективи подальшої експлуатації. При розгляді специфіки застосування технологій гідромеханізації й досвіду експлуатації гідротранспортних систем в умовах штучних сховищ продуктів переробки, а також при існуючому стані цих гідротехнічних споруд провідними вітчизняними та світовими фахівцями, такими як І.Л. Гуменік, Й. Соботи (Польща), Б.Є. Собко, І.М. Ялтанець, А.Г. Шапар, С.Г. Коберник, З. Чара (Чехія), В.І. Войтенко, Є.З. Маланчук, Ю.К. Вітошкін, М.М. Біляев, а також фахівцями ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України, такими як В.М. Потураєв, Е.І. Єфремов, М.С. Четверик, В.П. Надутий, Б.О. Блюсс, Є.В. Семененко показана перспективність видобутку зі сховищ продуктів переробки техногенних покладів, що формуються, як для збільшення потужності підприємств, так і з метою підвищення безпеки споруд та подовження їх терміну експлуатації. Стверджується, що подальше існування вітчизняних залізрудних гірничо-збагачувальних комбінатів можливе лише з впровадженням видобутку техногенних копалин зі сховищ. Результати наукових досліджень фахівців провідних інститутів в галузі гірничої механіки, гідротранспорту та технологій гідромеханізації – НТУ «Дніпровська політехніка»: В.І. Самусі, Є.О. Кириченко, В.І. Симоненко; МГУ: А.П. Юфіна, Г.А. Нурка, П.Д. Євдокімова; СПДГ(ТУ) ім. Г.В. Плеханова: В.М. Покровської, В.І. Александрова, М.І. Ніколаєва; ДНТУ: В.Б. Малєєва, А.П. Кононенко, В.С. Білецького свідчать про перспективність використання технології, методів та засобів гідромеханізації для складування ППМС та цілеспрямованого формування техногенних покладів з їх подальшим видобутком. Дослідження цих фахівців підтверджують, що технології експлуатації сховищ продуктів переробки досягнули нового рівня, який відповідає переходу до інтенсивного шляху розвитку, коли місце під нові обсяги продуктів переробки буде забезпечуватися за рахунок більш ефективного використання існуючих ємностей, інтенсифікації процесу освітлення зворотної води і попутного видобутку корисних копалин, які залишилися. З огляду на це, видобуток техногенних покладів є засобом отримання додаткового об'єму корисної копалини та розглядається як інструмент забезпечення надійності функціонування підприємства за рахунок звільнення додаткового простору. В даному випадку параметри техногенних родовищ, як масивів сипучих тіл, з урахуванням твердої та рідкої фаз, є головними факторами при визначенні режимів процесів гідротранспортування та складування продуктів переробки мінеральної сировини, що виконуються з метою подовження терміну експлуатації сховищ та поновлення їх акумулюючої здатності. Але відомі дослідження не враховують зміну густини при розрахунку процесу фракціонування продуктів переробки мінеральної сировини, що не дозволяє оцінити параметри техногенних розсипів, сформовані під час експлуатації

сховищ.

На підставі виконаного аналізу сформульовані завдання досліджень.

В другому розділі обґрунтовані параметри технологій гідромеханізації для відновлення акумулюючої здатності сховищ ППМС та раціонального складування техногенних покладів. В даному розділі розглянуто особливості розрахунку параметрів магістралей для технологій гідромеханізації в умовах сховищ ППМС, що дозволило отримати нові залежності для розрахунку продуктивності напірних та безнапірних гідротранспортних установок, а також обґрунтувати параметри технології пульпоприготування, які засновані на процесах змішування та всмоктування, з урахуванням особливостей їх залежностей від параметру пульпоутворення.

З відомих технологій, що можуть бути використані в умовах штучних сховищах ППМС, для переміщення твердих сипких матеріалів та відповідних обсягів рідини й гідросуміші, найбільш перспективними вважаються технології напірного (рис. 1) та безнапірного складування (рис. 2), а також струменеві, бункерні, ежекторні та всмоктувальні технології пульпоприготування, які набули поширення при гідромеханізації відкритих гірничих робіт, при дотриманні відповідного розподілу режимів.



Рисунок 1 – Напірний метод складування відходів збагачення на ЦГЗК

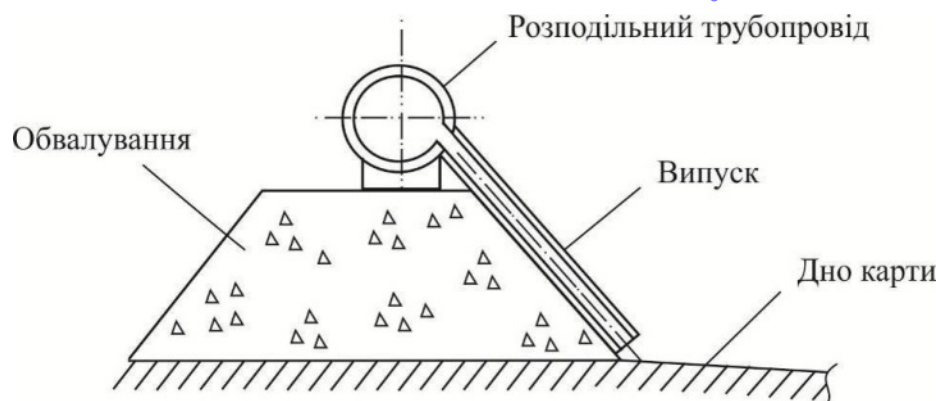
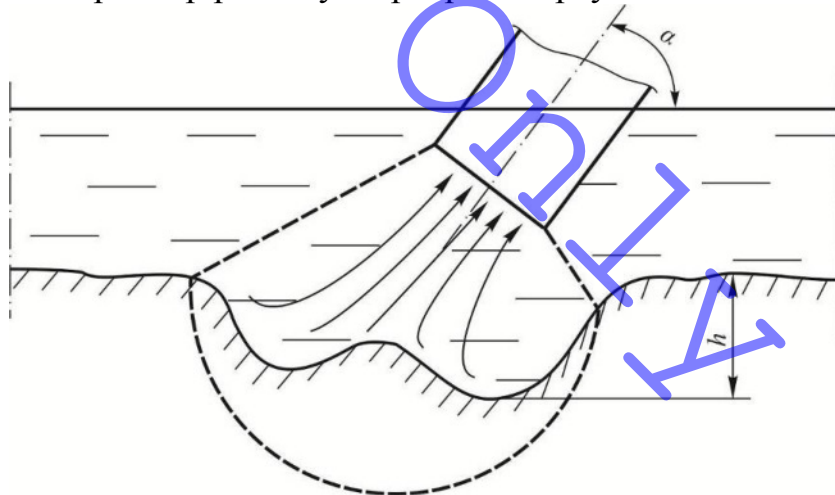


Рисунок 2 – Розподілений безнапірний метод складування ППМС

Для використання технологій гідромеханізації при складуванні продуктів переробки та доставки видобутих техногенних покладів з урахуванням геометрії дамб сховищ ППМС та технології їх зведення, обґрунтовані геометричні параметри магістралей. При розрахунках параметрів та режимів роботи установок, що доставляють видобуті техногенні поклади на збагачувальне виробництво самопливом з поточної позначки дамби сховищ, і комплексів, що забезпечують відведення ППМС, витратно-напірні характеристики магістралей описуються однаковими формулами, а їх гідравлічний ухил обчислюється як:

$$i = \left(1,6 \frac{AC}{K} + K^{2-p} \right) i_0^{kp}, \quad i_0^{kp} = \frac{N v_w^p V_{kp}^{2-p}}{2gD^{1+p}}, \quad K = \frac{V}{V_{kp}}, \quad A = \frac{Ar}{1 + Ar}, \quad (1)$$

де i – гідравлічний ухил при течії пульпи; i_0^{kp} – гідравлічний ухил при течії води з критичною швидкістю; g – прискорення вільного падіння; C – вагова концентрація пульпи; Ar – параметр Архимеда матеріалу, який транспортується; v_w – кінематичний коефіцієнт в'язкості води; N – коефіцієнт пропорційності в залежності коефіцієнту гідравлічного опору тертя від числа Рейнольдса; p – показник степені в залежності коефіцієнта гідравлічного опору тертя від числа Рейнольдса; V – середня витратна швидкість течії пульпи; V_{kp} – критична швидкість гідротранспортування; D – діаметр трубопроводу; K – параметр режиму гідротранспортування.



h – діаметр воронки розмиву за рівнем вхідного перетину всмоктувального трубопроводу, м; α – кут нахилу струменя до горизонту

Рисунок 3 – Схема воронкоутворення

Для струменевих, бункерних та ежекторних технологій пульпоприготування запропоновано формули для визначення параметрів готової пульпи, таких як, об'ємна витрата гідросуміші, вантажопотік, вагова концентрація гідросуміші, густина гідросуміші та критичний діаметр трубопроводу гідротранспортної установки в залежності від густини твердих

частинок й співвідношення витрат твердих частинок та рідини. Для всмоктувальних технологій пульпоприготування (рис. 3) вперше запропоновано методи розрахунку концентрації та витрати гідросуміші, що утворюється в процесі воронкоутворення, які враховують співвідношенням витрат фаз потоку гідросуміші, відстань між вхідним перерізом всмоктувального трубопроводу та поверхнею дна, витратою гідросуміші та швидкістю, при якій розмиваються поклади.

За результатами досліджень визначене фактичне значення параметра гідротранспорту при напірному чи безнапірному переміщенні техногенних покладів (2), залежність критичного діаметру трубопроводу гідротранспортної установки від питомої витрати води на пульпоутворення та коефіцієнту пропорційності, який визначається густиною та гідравлічною крупністю матеріалу (3):

$$K = (1,6AC)^{\frac{1-b(2-p)}{3-p}} e \left(\rho \frac{i_g}{i_0^{kp}} \right)^b, \quad (2)$$

$$b = 0,4192e^{1,166p}, \quad e = 0,5254 + 0,3813p - 0,2072p^2,$$

$$D_{kp} = C_D q^n Ar^m \left(\frac{Q_S}{K \sqrt[3]{w}} \right)^{\frac{3}{7}}, \quad (3)$$

де D_{kp} – критичний діаметр трубопроводу, м; C_D – коефіцієнт пропорційності; Q_S – об'ємна витрата техногенного розсипу, w – гідравлічна крупність матеріалу, який транспортується, м/с; q – питома витрата води на пульпоутворення; m, n – показники степені.

Таблиця 1 – Коефіцієнти та показники степені у формулі для розрахунку D_{kp} (3)

Параметр залежності	Концентрація гідросуміші	
	низька	середня
Коефіцієнт пропорційності	0,345	0,335
Показник степеня q	0,620	0,330
Показник степеня Ar	-0,191	0,099

Отримані результати дозволяють здійснювати процеси всмоктування гідросуміші і утворення воронки розмиву в двох різних режимах. Перший режим реалізується коли гідросуміш надходить в насос гарантовано без виникнення критичного режиму течії у всмоктуючому трубопроводі земснаряда. Концентрація гідросуміші в цьому режимі течії не перевищує критичного значення і визначається співвідношенням швидкості всмоктування до розмиваючої швидкості в степені 3/2. Другий режим реалізується коли гідросуміш надходить в насос з високою ймовірністю виникнення критичного режиму течії у всмоктуючому трубопроводі земснаряда. В даному режимі в області утворення

воронки розмиву є надлишок твердих частинок, тому вони надходять у всмоктувальний трубопровід з концентрацією близькою до критичного значення.

В третьому розділі роботи наведені розроблені моделі процесів формування техногенних покладів у сховищах ППМС при надводному та підводному наміві, розглядаються особливості процесів та технологій при використанні екстенсивних, роз'єднувальних та інтенсивних методів, досліджується управління параметрами техногенних покладів за рахунок зміни параметрів процесів течії ППМС з трубопроводу і фракціонування їх при течії по пляжу наміву.

Обґрунтовано, що геометричні параметри залягання техногенних покладів, як відстані вздовж пляжу, що відраховуються від дамби обвалування (рис. 4), обумовлюються довжиною пляжу, шириною карти і довжиною фронту намівання, а також законом розподілу по довжині пляжу цінного компонента та визначаються сумою з таких складових:

$$L_{III} = L_P + L_h, \quad L_h = (tg\alpha + tg\varphi)h_P, \quad L_P = L_{II} - L_I, \quad (4)$$

де L_{III} – довжина техногенного родовища за простяганням ярусу намівання, м; L_P – довжина техногенного покладу за простяганням ярусу намівання, м; L_h – довжина розкриття, м; h_P – висота ярусу намівання, м; α – кут укосу дамби обвалування, град.; φ – кут внутрішнього тертя частинок розсипу при заданій вологості, град.; L_{II} – відстань від внутрішнього укосу дамби обвалування, починаючи з якого складовані продукти переробки не вважають техногенним розсипом, м; L_I – відстань від внутрішнього укосу дамби обвалування, починаючи з якого складовані продукти переробки вважаються техногенним розсипом, м.

Основними ознаками, за якими ППМС відносять до техногенних розсипів, є вміст заліза, густина і крупність частинок, тому перспективним є використання гідравлічної крупності частинок складованих продуктів переробки, характеристика яких одночасно враховує густину і розмір твердих частинок. Умовою визначення L_I і L_{II} буде наступна нерівність:

$$\rho_S(L_I, L_{II}) \geq [\rho_S], \quad \rho_S = \rho_K \phi \Phi'_{OK} + \rho_x(1 - \phi)\Phi'_{OK}, \quad (5)$$

де ρ_S – густина продуктів переробки, що складовано, кг/м³; $[\rho_S]$ – мінімальне припустиме для техногенних покладів значення густини продуктів переробки, кг/м³; ρ_K – густина частинок техногенного покладу, кг/м³; ρ_x – густина частинок продуктів переробки, що не є техногенним покладом, кг/м³; ϕ – частка частинок техногенного покладу у відповідній фракції гранулометричного складу твердої фази; Φ'_{OK} – вагова частка фракції, що містить частинки крупністю d_K , у вихідному гранулометричному складі твердої фази.

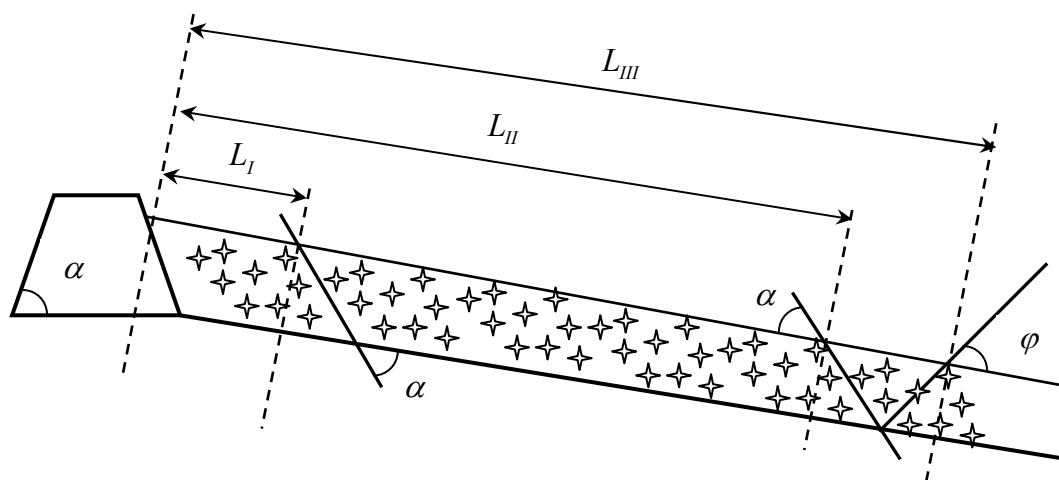


Рисунок 4 – Геометричні параметри залягання техногенних розсіпів

Для визначення ближньої та дальньої меж техногенних розсіпів визначають діаметр фракції, до якої необхідно додати частинки техногенного покладу при визначенні параметрів процесу фракціонування, та коригують вихідний гранулометричний склад продуктів переробки (табл. 2):

$$d_E = \frac{\rho_K - 1}{\rho_{cp} - 1} d_K, \quad \Phi_{0K} = (1 - \phi) \Phi'_{0K}, \quad \Phi_{0E} = \Phi'_{0E} + \phi \Phi'_{0K}, \quad (6)$$

де d_E – позірний діаметр частинок техногенного покладу, м; d_K – середня крупність частинок техногенного покладу, м; ρ_{cp} – середньозважена густина продуктів переробки, що складуються; Φ_{0K} – скоригована вагова частка фракції, що містить частинки розміром d_K , у вихідному гранулометричному складі твердої фази; Φ_{0E} – скоригована вагова частка фракції, що містить частинки крупністю d_E , у вихідному гранулометричному складі твердої фази; Φ'_{0E} – вагова частка фракції, що містить частинки крупністю d_E , у вихідному гранулометричному складі твердої фази.

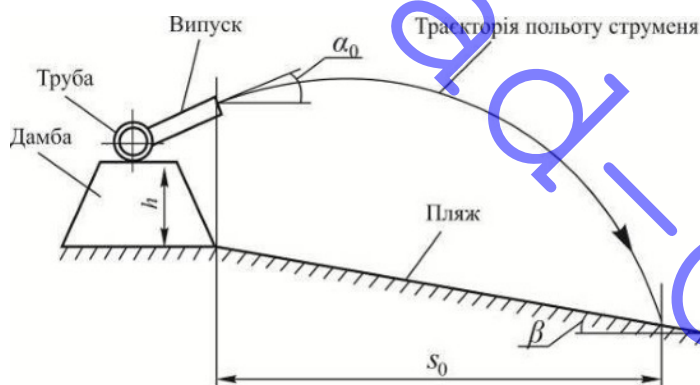
Вихідний гранулометричний склад, що скориговано, використовують для розрахунків параметрів процесу фракціонування продуктів переробки за методом В.А. Мелентьєва (табл. 2).

Після проходження по пляжу продукти переробки потрапляють в область підводного намиву, коли тверді частинки починають рухатися в нерухомій рідині. Рух твердої частинки після попадання в нерухому безмежну рідину розглянуто відповідно до відомих фундаментальних законів збереження вздовж горизонтальної та вертикальної вісі координат. При цьому вертикальну вісь спрямовано вниз, її нульовий рівень знаходиться на вільній поверхні рідини, а горизонтальну вісь спрямовано вздовж вільної поверхні рідини в напрямку руху твердої частинки. Ці рівняння враховують сили інерції, вагові сили, силу аеродинамічного опору та силу Архімеда.

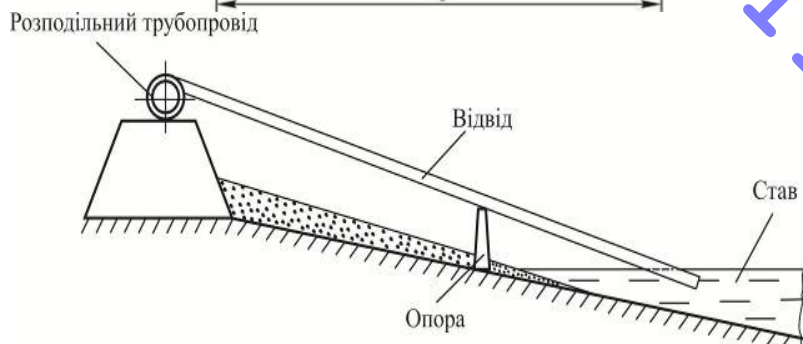
Таблиця 2 - Оцінка густини частинок техногенних покладів, що обумовлюють похибку розрахунків за РСН 257-75 на початку надводного укосу

Середньо- зважений діаметр ППМС, мм	Співвідношення середньозважених діаметрів ППМС в створі 0,05		Середньозважений діаметр відходів в створі 0,05, мм		$\frac{Ar_K}{Ar_{cp}}$	Густина покладів при густині ППМС 2,700
	теорія	факт	теорія	факт		
0,075	8,00	6,75	0,600	0,506	1,185	3,015
0,100	7,00	5,75	0,700	0,575	1,217	3,070
0,125	5,75	5,00	0,719	0,625	1,150	2,955
0,150	5,00	4,50	0,750	0,675	1,111	2,889

За результатами моделювання процесів при формуванні техногенних покладів за допомогою роз'єднувальних технологій складування обґрунтовано параметри випусків з розподільного трубопроводу при напірному та безнапірному (рис. 5) методах складування.



а) напірний метод



б) безнапірний метод

Рисунок 5 - Схема формування техногенних покладів за допомогою роз'єднувальних технологій складування

Досліджено рух твердої частинки, яка потрапляє в нерухому рідину:

$$s_a = 0,02 Re_0^{0,9}, \quad (7)$$

де s_a – асимптотичне значення горизонтальної координати твердої частинки.

Науково обґрунтована межа в горизонтальному напрямку, за яку не вийдуть тверді частинки відходів збагачення при формуванні підводного укосу, це дозволяє обчислити місце акумулювання твердих частинок конкретної

фракції, при визначенні параметрів технологій видобутку техногенних покладів, в залежності від їх діаметру та густини, а також технологічних параметрів процесу складування.

При напірному методі складування відведення гідросуміші з верхньої частини поперечного перерізу розподільного трубопроводу відбувається по відводу безпосередньо під шар води в ставі (рис.6).

При безнапірному складуванні гідросуміш надходить з розподільного трубопроводу під дією гідростатичного тиску через систему отворів, пророблених в його бічній стінці (рис. 7.а). Ці отвори робляться вище границі зависання частинок техногенного розсипу (рис. 7.б). Вся гідросуміш збирається з отворів в лоток (рис. 7.в), паралельний розподільному трубопроводу, з якого самопливом по відведенню надходить в став-освітлювач (рис. 7).

Для розрахунку довжини ділянки розподільного трубопровода, на якій закінчується відбір гідросуміші з верхньої частини поперечного перерізу, отримані наступні залежності

$$L_d = \frac{\nu^{0,491} R^{0,507}}{\delta^{1,697} g^{0,496}} \frac{V}{0,078}, \quad Q_0 = 1,991 \sqrt{\sin \gamma} R'^{4,34} \left(\frac{h_0}{R'} \right)^{1,35}, \quad (8)$$

$$\delta = \frac{d}{R}, \quad \sin \gamma = \frac{L}{L_b} \sin \beta + \frac{h + \kappa R + \omega}{L_b}, \quad R'_{kp} = \frac{0,688 Q_0^{0,23}}{\sin^{0,115} \gamma}, \quad (9)$$

де L_d – довжина ділянки розподільного трубопровода, на якій закінчується відбір гідросуміші з верхньої частини поперечного перерізу, м; V – середня швидкість течії гідросуміші за розподільним трубопроводом, м/с; δ – відносний діаметр отвору; ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості рідини, що витікає; Q_0 – відведена витрата гідросуміші; R' – радіус трубопроводу для відведення гідросуміші в став, м; h_0 – глибина потоку, м; L_b – довжина відведення, м; ω – довжина підводної частини відведення, яка регламентується вимогами освітлення зворотної води, м; β – кут нахилу поверхні пляжу до горизонту, град.; γ – кут нахилу відведення до горизонту, град.; κ – коефіцієнт, який враховує перевищення початкового перерізу відведення над верхньою межею дамби обвалування; L – довжина пляжу намівання, м.

За результатами досліджень вперше науково обґрунтована залежність діаметру випуску з розподільного трубопроводу від витрати та його геометричних параметрів, який забезпечує відведення гідросуміші з частинками пилюватих, глинистих та крейдяних фракцій з заданою витратою в верхній треті поперечного перерізу трубопроводу, що дозволяє визначити параметри випусків, які забезпечують накопичення в розподільному трубопроводі частинок техногенного покладу з одночасним складуванням інших в ставку під шаром рідини.

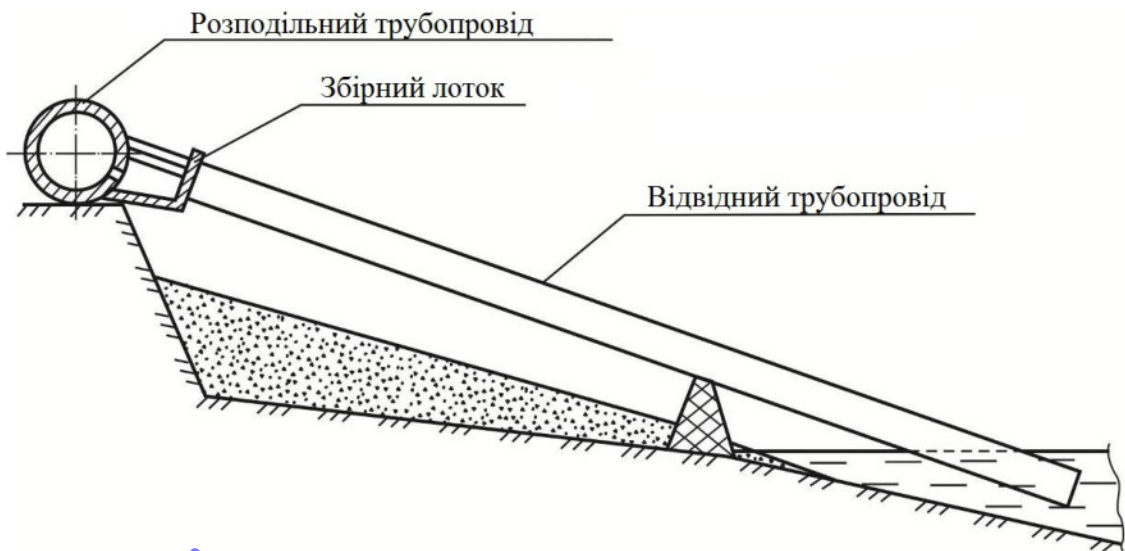
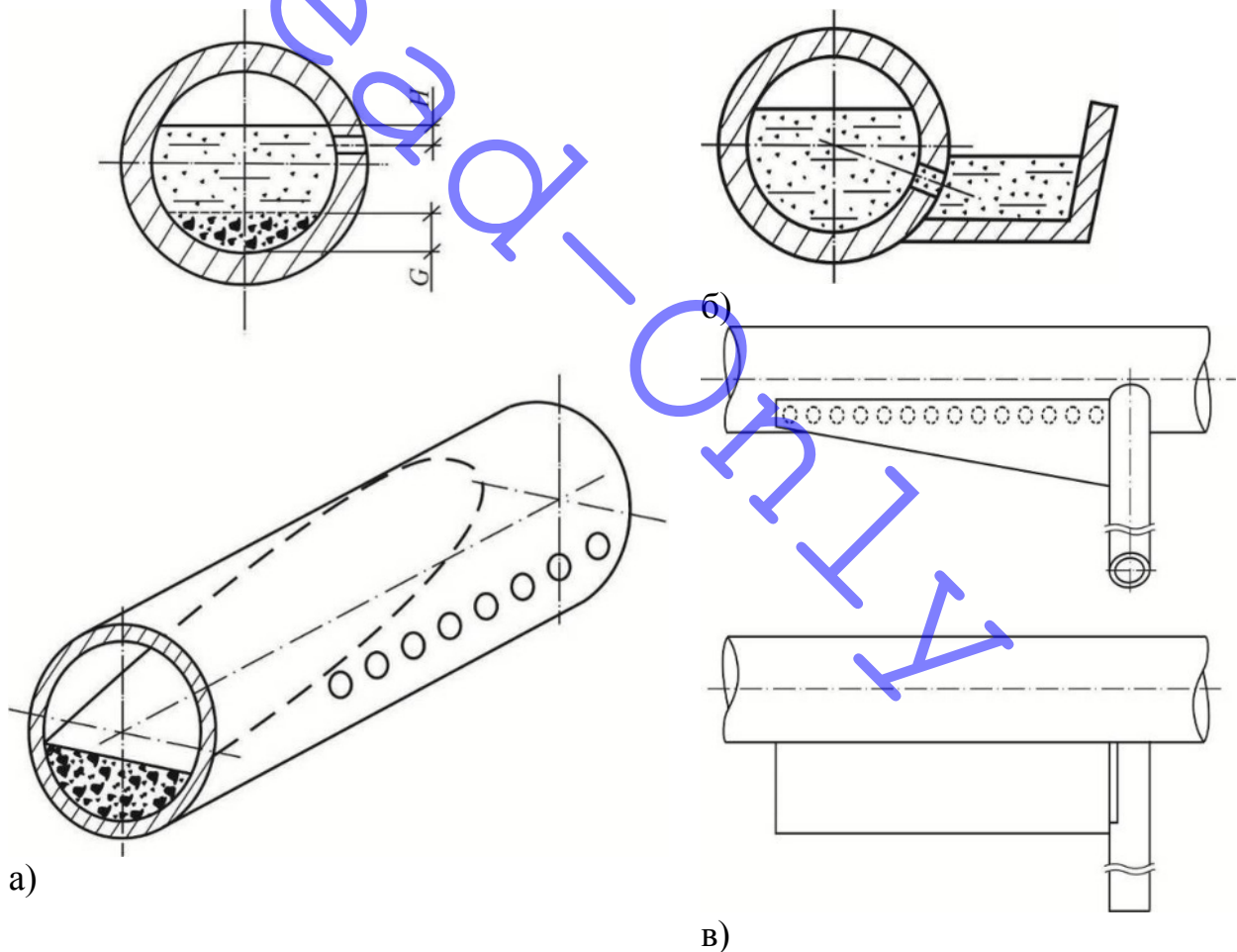


Рисунок 6 - Схема складування гідросуміші, відібраної з верхньої частини поперечного перерізу розподільного трубопроводу, через систему отворів, які зроблені в його бічній стінці



а) схема течії вздовж ділянки; б) видалення гідросуміші через отвір; в) лоток для збору гідросуміші;

Рисунок 7 – Конструктивні особливості розподільного трубопроводу з системою отворів для відбору гідросуміші

В четвертому розділі розглянуто технології гідромеханізації для відновлення акумулюючої здатності сховищ ППМС, обґрунтовано параметри технології супутнього видобутку техногенних покладів, експериментально досліджено особливості формування пляжу в придамбовій зоні карти.

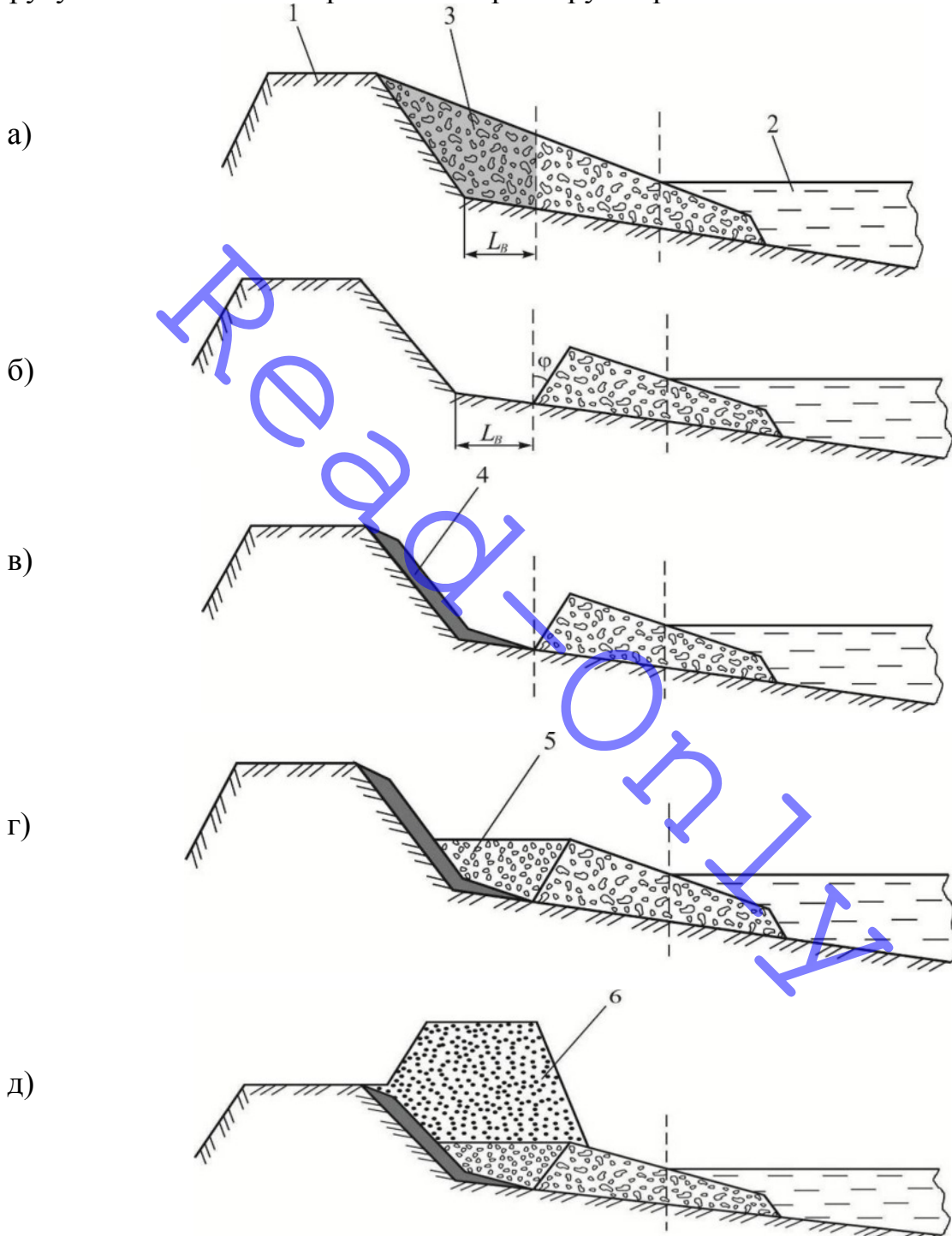
За результатами аналізу методів відновлення акумулюючої здатності сховищ ППМС рекомендована технологія супутнього видобутку техногенних покладів як найбільш перспективна. Дана технологія передбачає відновлення акумулюючої здатності сховищ продуктів переробки за рахунок видобутку концентрату, що потрапляє у ППМС, і осідає на ділянці пляжу біля дамби обвалування (рис. 8), який пропонується видобувати і повертати в збагачувальний переділ після замивання карти і осушення придамбової зони. Вироблений простір повторно заповнюється продуктами переробки, які згущують до концентрації пасти, що дозволить впровадити технології згущення і складування таких пульп в сховища продуктів переробки (рис. 5), що експлуатуються. Таке рішення передбачає наступний алгоритм переходу на нову позначку випуску пульпи (рис. 8): по всьому периметру після закінчення замивання карт здійснюються видобувні роботи з виїмки придамбової частини пляжу, потім заповнюється вироблений простір висококонцентрованою пульпою і переходимо на новий рівень складування продуктів переробки. Ефективність запропонованих технологічних операцій оцінюється за величиною відносного об'єму техногенного покладу, який обчислюється як відношення об'єму техногенного розсипу до об'єму ярусу намивання (рис. 8):

$$w = \frac{\eta - \sigma}{1 - \sigma}, \quad \sigma = \left(1 - \frac{a}{H}\right) \left(\operatorname{tg}(\alpha - \beta) + \operatorname{tg} \varphi \right) \frac{\sin(\alpha - \beta)}{2\mu \sin \alpha}, \quad \mu = \frac{L}{H}, \quad (10)$$

де H – висота дамби обвалування, м; a – перевищення гребеня дамби обвалування над намитим пляжем, м; α – кут нахилу зовнішнього укосу дамби обвалування до горизонту, град.; β – кут нахилу пляжу намиву до горизонту; σ – безрозмірна товща ярусу намиву, град.; η – частка довжини пляжу, яка зайнята техногенним розсипом; μ – закладення ярусу намиву; φ – кут природного укосу частинок техногенного розсипу, град.; L – довжина пляжу, м.

Впровадження технологій супутнього видобутку техногенних розсипів із сховищ ППМС на ГЗКах Кривбасу потребує змінення технології складування, які існують та засновані на розбитті периметра поточної відмітки упорної призми мінімум на 5 карт намиву. Регламент робіт за картами намиву всередині однієї ділянки намивання здійснюється за технологічними схемами, в основі яких лежить певна послідовність технологічних операцій. При впровадженні технології супутнього видобутку техногенних покладів цей регламент необхідно вдосканалити шляхом впровадження одночасного виконання операцій на п'яти картах (табл. 3): намивання продуктів переробки; просушка пляжів (сушка) і видобуток техногенного розсипу (ВТР); заповнення виробленого простору і побудова дамби обвалування (дамба); монтаж розподільного пульповіду і просушування новоутвореного пляжу (монтаж); знаходження в резерві (резерв). Для реалізації такої технологічної схеми

необхідно виконання кількох умов: видобувні роботи повинні виконуватися з дамби карти без спуску видобувного обладнання на пляж або обладнання, що не вимагає просушки пляжу для початку роботи; відстань від внутрішнього укосу дамби обвалування, починаючи з якої продукти переробки вважаються техногенним розсипом, дозволяє почати відсипання дамби обвалування нового ярусу без заповнення виробленого простору вторинними ППМС.



1 - дамба обвалування; 2 - став; 3 - частка пляжу з високим вмістом цінного компоненту; 4 - відсипка; 5 - пульпа з концентрацією пасти; 6 - чергова дамба обвалування

Рисунок 8 – Послідовність технологічних операцій при супутньому видобутку техногенних розсипів із сховищ ППМС

Таблиця 3 – Регламент впровадження одночасного виконання операцій на п'яти картах

Номер етапу	Порядковий номер карти на ділянці, яка намивається				
	I	II	III	IV	V
1	намив	резерв	монтаж <i>усадка</i>	дамба <i>засип</i>	сушка <i>ВТР</i>
2	сушка <i>ВТР</i>	намив	резерв	монтаж <i>усадка</i>	дамба <i>засип</i>
3	дамба <i>засип</i>	сушка <i>ВТР</i>	намив	резерв	монтаж <i>усадка</i>
4	монтаж <i>усадка</i>	дамба <i>засип</i>	сушка <i>ВТР</i>	намив	резерв
5	резерв	монтаж <i>усадка</i>	дамба <i>засип</i>	сушка <i>ВТР</i>	намив

Гідросуміш, що витікає з проран, не встигатиме освітлитися в ставі сховища через малі геометричні розміри ставу-освітлювача. Тому для відновлення акумулюючої здатності сховищ ППМС пропонується вдосконалити відому технологію попереднього освітлення пульпи в картах намиву (рис. 10). Модернізація полягає в тому, щоб не використовувати прорани для відведення гідросуміші в став сховища, а направляти пульпу з тимчасового ставку на згущення. Це дозволить складувати на дно ставка без перешкод для процесу освітлення вже згущену висококонцентровану пульпу, а воду подавати в систему зворотного водопостачання (рис. 11).

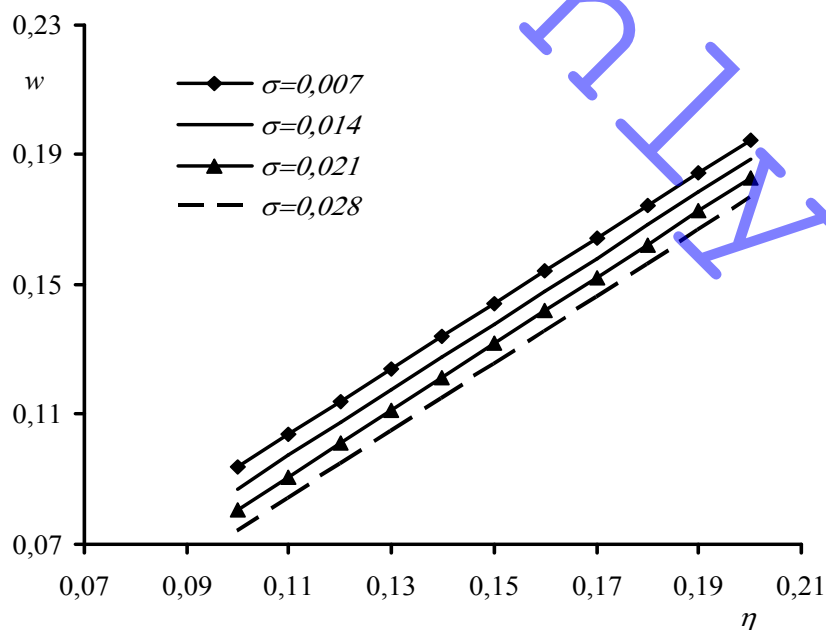


Рисунок 9 – Залежність відносного об'єму техногенного розсипу від частки довжини пляжу, яку займає техногенний розсип, при різних значеннях безрозмірної товщі ярусу намивання

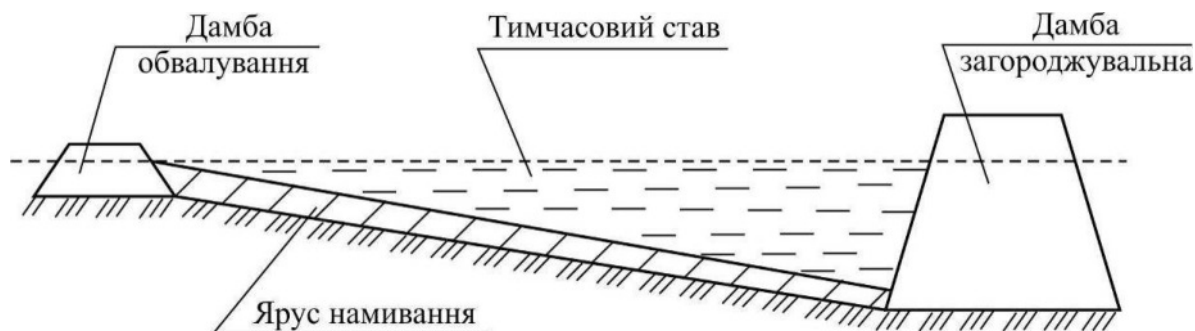


Рисунок 10 – Технологія замивання з тимчасовим ставом освітлення

Дослідження способів наміву карт свідчать, що відстань на якій концентруються техногенні поклади при підводному наміві, значно менше за відповідну відстань при надводному. Таким чином, використовуючи підводний намів безпосередньо біля дамби обвалування, досягаються декілька цілей: збільшується об'єм тимчасового ставу, змінюється спосіб формування техногенного покладу, збільшується акумулююча здатність ставу, організовується освітлення води в тимчасовому ставі до випуску її в водозабір. При цьому заповнення карти за схемою з надводним наміванням, а потім, перед просушінням, карта використовується для тимчасової акумуляції неосвітленої зворотної води, як тимчасова секція ставу-освітлення. При накопиченні техногенного покладу біля внутрішнього укусу дамби обвалування суттєво зменшується час видобутку цінного компоненту та сушки карти для подальшого використання.

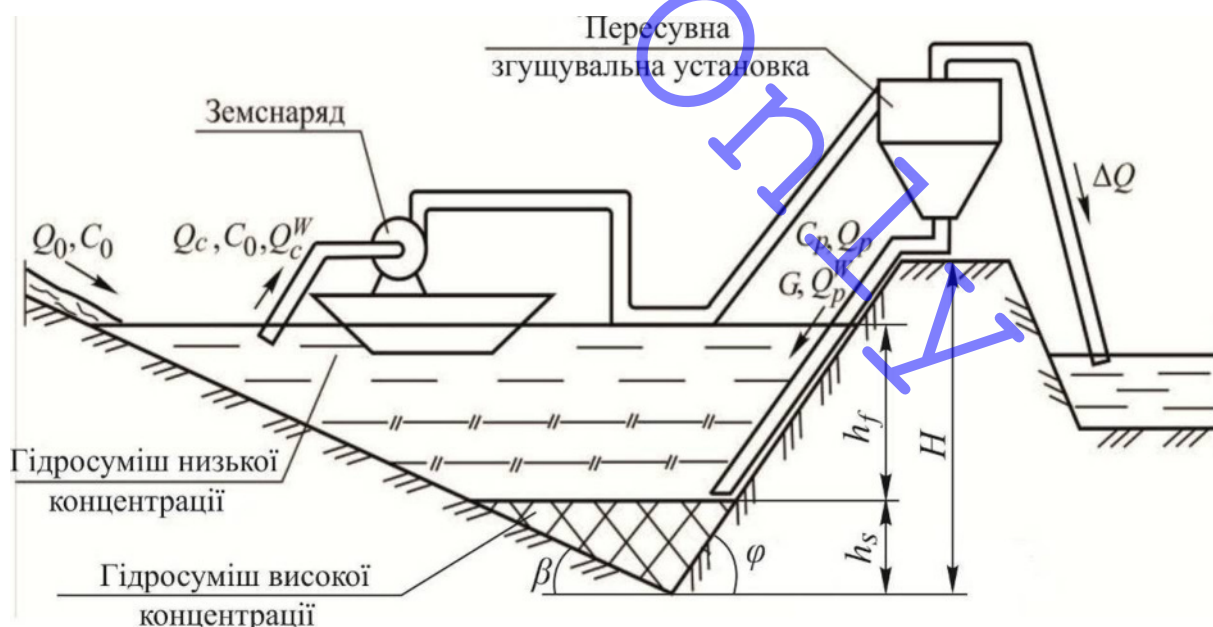


Рисунок 11 – Перспективний спосіб видалення тимчасового ставу після заповнення карти, що забезпечує відновлення акумулюючої здатності сховища

Для оцінки можливого розподілу витрат води, гідросуміші і твердої фази при попередньому освітленні пульпи в тимчасовому ставку розглянуто умови збереження обсягу гідросуміші, а також її рідкої та твердої фаз:

$$Q_C = K_C Q_0, Q_P = K_P Q_0, Q_C^W = w_C Q_0, Q_P^W = w_P Q_0, G = K_g Q_0, \Delta Q = K_q Q_0, \quad (11)$$

$$K_P = \frac{1}{c-1}, K_C = \frac{c}{c-1}, w_C = \frac{1-C_0 c}{c-1} c, w_P = \frac{1-C_0 c}{c-1}, K_g = \frac{c C_0}{c-1}, K_q = 1-C_0 c, c = \frac{C_P}{C_0},$$

де Q_0 - об'ємна витрата пульпи низької концентрації, що надходить з карт наживу, м³/с; Q_p - об'ємна витрата пульпи з концентрацією пасти, що надходить в нижню частину тимчасового ставу, м³/с; Q_c - об'ємна витрата пульпи низької концентрації, що відбирається зі ставу, м³/с; C_p - концентрація гідросуміші, що надходить в нижню частину тимчасового ставу; C_0 - концентрація гідросуміші, що надходить в ставок з карт наживу; G - об'єм твердих частинок, які циркулюють між тимчасовим ставом та згущувачем, м³/с; ΔQ - різниця між об'ємними витратами води, що надходить в ставок і відводиться із ставка, м³/с; Q_c^w - об'ємна витрата води, що відбирається з тимчасового ставу, м³/с; Q_p^w - об'ємна витрата води, що надходить до тимчасового ставу разом з висококонцентрованою пульпою, м³/с; c - ступінь згущення гідросуміші.

Формули (11) дозволяють записати праві частини рівнянь, що описують зміну висот рівнів води і твердих частинок в тимчасовому ставку:

$$\eta_s \frac{d\eta_s}{d\tau} = \frac{1}{c}, \quad (\eta_f - \eta_s) \frac{d\eta_f}{d\tau} + (\eta_s(2 - C_p) - \eta_f) \frac{d\eta_s}{d\tau} = (c - 1)C_0, \quad (12)$$

$$\eta_s(\tau = 0) = 0, \quad \eta_f(\tau = 0) = \eta_0, \quad (13)$$

$$\eta_s = \frac{h_s}{H}, \quad \eta_f = \frac{h_f}{H}, \quad \eta_0 = \frac{h_0}{H}, \quad \tau = \frac{Q_0 H^2}{C_{\beta\phi} L} t, \quad C_{\beta\phi} = ctg\beta + ctg\phi, \quad (14)$$

де t - час, с; h_s - висота шару твердих частинок, м; h_f - висота шару гідросуміші низької концентрації над шаром твердих частинок, м; L - довжина фронту наживу, м; β - кут нахилу пляжу до горизонту, град.; ϕ - кут нахилу внутрішнього укусу тимчасової дамби до горизонту, град.; h_0 - початкова висота шару гідросуміші низької концентрації над шаром твердих частинок, м; η_0 - початкова відносна висота шару гідросуміші низької концентрації над шаром твердих частинок; H - висота тимчасової дамби, що відраховується від внутрішнього укусу, м.

Рівняння (14) при даній початковій умови (13) вирішується в квадратурах, що дозволяє, з використанням рівняння $\eta_f(\tau_H) + \eta_s(\tau_H) = 1$, визначити тривалість експлуатації тимчасового ставу, а також її максимальне значення:

$$\tau_H = \frac{(1 - \eta_0^2)^2}{32} \left(\sqrt{\frac{5}{C_0}} + 1 + 1 \right) \approx 0,09 \frac{(1 - \eta_0^2)^2}{C_0^{0,46}}, \quad (15)$$

де τ_H - безрозмірний час експлуатації тимчасового ставу.

З чого слідує, що максимальна тривалість заповнення тимчасового ставу при згущенні гідросуміші низької концентрації з одночасним укладанням висококонцентрованої гідросуміші (рис. 12), обернено пропорційна

концентрації гідросуміші, що надходить з карти наживу, в степені 0,46, а коефіцієнт пропорційності дорівнює 0,09.

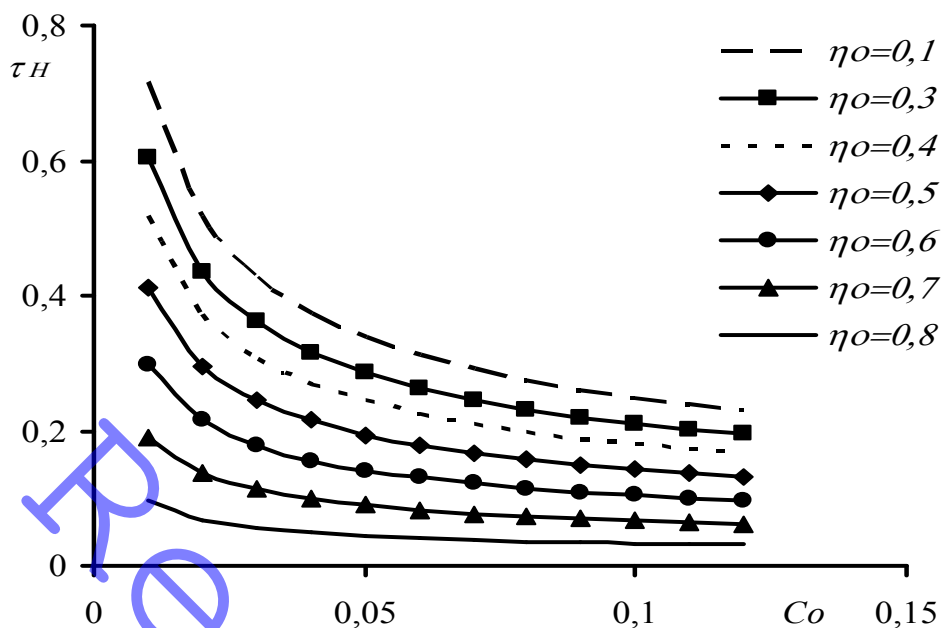


Рисунок 12 – Залежність максимальної безрозмірної тривалості заповнення тимчасового ставу від концентрації гідросуміші, що надходить з карт наживу, при різному початковому ступені заповнення

Відносні витрати та концентрація гідросуміші, що надходить з карт наживу, при ступені згущення гідросуміші, що забезпечує максимальну тривалість експлуатації тимчасового ставу, визначаються за формулами (рис. 12):

$$K_P = \sqrt{\frac{C_0}{5 + C_0}}, K_C = 1 + K_P, K_g = (1 + K_P)C_0, K_q = 1 - C_0 \frac{1 + 2K_P}{K_P}, \quad (16)$$

$$C_P = \frac{1 + K_P}{K_P} C_0, w_c = 1 - 4K_P - 2C_0(1 + K_P), w_p = K_P - C_0(1 + K_P). \quad (17)$$

Для обґрунтування використання тимчасового ставу (рис. 13) в картах наживу для акумулювання і освітлення зворотної води досліджено особливості формування пляжу в придамбовій зоні біля внутрішнього укусу, встановлено профіль пляжу наживання біля основи дамби, наявність процесу фракціонування по довжині карти та відстань від основи дамби, на яку будуть віднесені тверді частинки цінного компонента, визначено залежності товщини шару та ухилу ярусу наживання від концентрації гідросуміші.

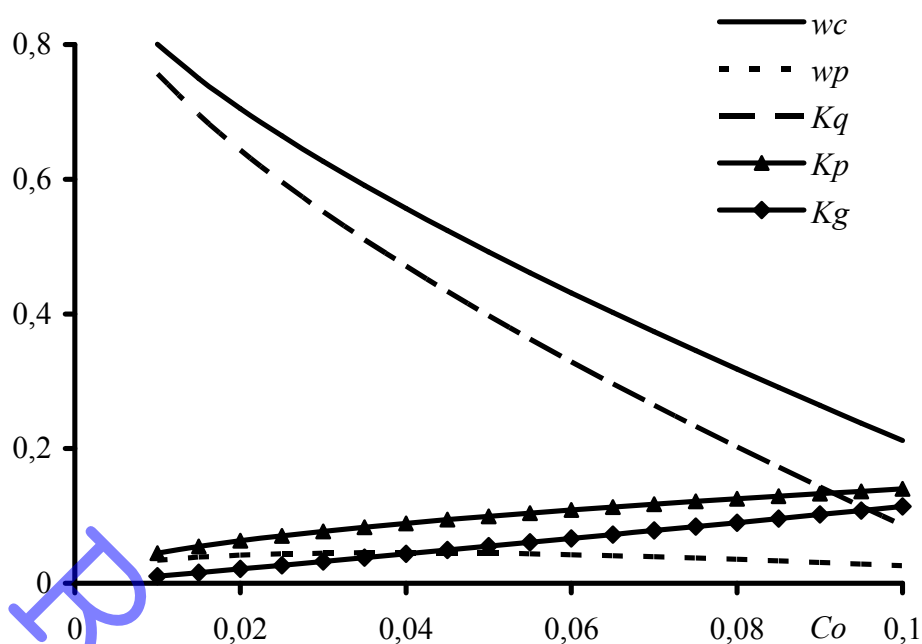


Рисунок 13 – Залежність раціональних значень параметрів процесу експлуатації тимчасового ставу від концентрації гідросуміші, що надходить з карт намиву

Дослідження проводились на лабораторному стенді, який було створено на базі відділу геодинамічних систем та вібраційних технологій Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України). Стенд складається з прозорого лотка з габаритами $1100 \times 540 \times 300$ мм, в якому безпосередньо реалізується процес складування пульпи, розподільного трубопроводу діаметром 30 мм, на якому через 85 мм встановлені 4 шт відводів діаметром 12 мм, стійки манометричної висотою 2,3 мм, на яких розташовано напірний бак для пульпи, що досліджується. Бак об'ємом 6 дм^3 з'єднано з розподільним трубопроводом гофрованим шлангом діаметром 35 мм і довжиною 2000 мм. Лоток виконано з листів склопластику стики між якими герметизировані клеючим складом. В середині лотка уздовж однієї з менших граней, обладнано макет дамби обвалування, який відсипаний з щебінки і кварцового піску. Зверху укіс дамби стягується шаром зволоженої глини, який повністю висихає до початку експериментів.

Пульпу для експериментальних досліджень готували з кварцового піску, глини і залізорудного концентрату. Вагова частка залізорудного концентрату не перевищувала 5%. Насипна щільність твердої суміші становила 1326 кг/м^3 .

Під час експериментів гідросуміш відповідної концентрації (табл. 4) подавалася в напірний бак установки, звідки по гофрованому шлангу надходила в розподільний трубопровід і через його патрубки витікала в лоток (рис.14). Після заповнення лотка суспензією до рівня верху дамби обвалування проводився відбір освітленої води у межі лотка, протилежної дамбі обвалування. Відібрана рідина використовувалася для приготування наступної порції гідросуміші. Ці операції повторювались доки рівень тіла намівання біля внутрішнього укусу дамби не досягне верху дамби.

Таблиця 4 – Характеристики серій експериментів

Номер серії	Спосіб подання	Концентрація гідросуміші	Цикли намівання	Об'єм, м ³		
				пульпи	пляжу	води
I	по верху	20 %	30	1,08	0,216	0,864
II	по верху	15 %	30	1,08	0,162	0,918
III	по верху	10 %	30	1,08	0,108	0,972
IV	по укусу	10 %	30	1,08	0,108	0,972

За результатами експериментів встановлено, що за дамбою обвалування утворюється придамбовий бугор, висота якого менше за висоту дамби, а зовнішній укіс відповідає куту внутрішнього тертя частинок матеріалу, що складається, в підводних умовах (рис. 15). Верхня підстава придамбового бугра практично повністю зайнята приймальною воронкою, що утворюється при взаємодії струменів пульпи з матеріалом придамбового бугра. У плані приймальна воронка має форму еліпса (табл. 5), всередині якого перпендикулярно основній вісі розташовані поодинокі осередки розмивання (рис. 15, 16). За придамбовим бугром розташовується пляж намівання, параметри якого (табл. 6) подібні з параметрами пляжу, який формується при розподільному наміванні без акумулювання і освітлення зворотної води в карті.

Обробка отриманих експериментальних даних дозволила встановити наступні формули для визначення геометричних параметрів приймальних воронок, які утворені у верхній частині придамбового бугра і пляжу намівання:

$$L_A = A'd_q, \quad L_B = Bd_q, \quad L_E = Ed_q, \quad (18)$$

$$A' = 5576C^2 - 1565C + 127,46, \quad B = 548C^2 - 113C + 12, \\ E = -274C^2 + 112,3C - 5,84, \quad (19)$$

$$H = -9600C^2 + 3140C - 173, \quad \chi_0 = 123,02K_I \left[1 - \frac{1 - K_I}{K_I} \frac{l}{L_0} \right] C^{3/2}, \quad (20)$$

де L_A – довжина великої вісі приймальної воронки, м; d_q – діаметр патрубку, крізь який здійснюється випускання пульпи з трубопроводу, м; C – об'ємна концентрація пульпи; L_B – довжина малої вісі еліпсу верху приймальної воронки, м; L_E – ширина одиничної комірки розмивання, м; H – висота шару намівання, м; χ_0 – кут нахилу намівного пляжу до горизонту біля краю карти; K_I – експериментально визначений коефіцієнт; l – поточна відстань від центральної вісі карти до краю, м; L_0 – половина ширини карти намівання, м.

За результатами розрахунків за виразами (20) встановлено, що кут нахилу намітного пляжу до горизонту біля краю карти наміву для акумулювання і освітлення зворотної води пропорційний об'ємній концентрації складованої пульпи в степені 3/2, а коефіцієнт пропорційності максимальний за центральною віссю карти і лінійно убиває при зміщенні перетину до краю карти наміву.

а)



б)



в)



Рисунок 14 – Процес проведення експериментальних досліджень особливостей формування пляжу в придамбовій зоні карти

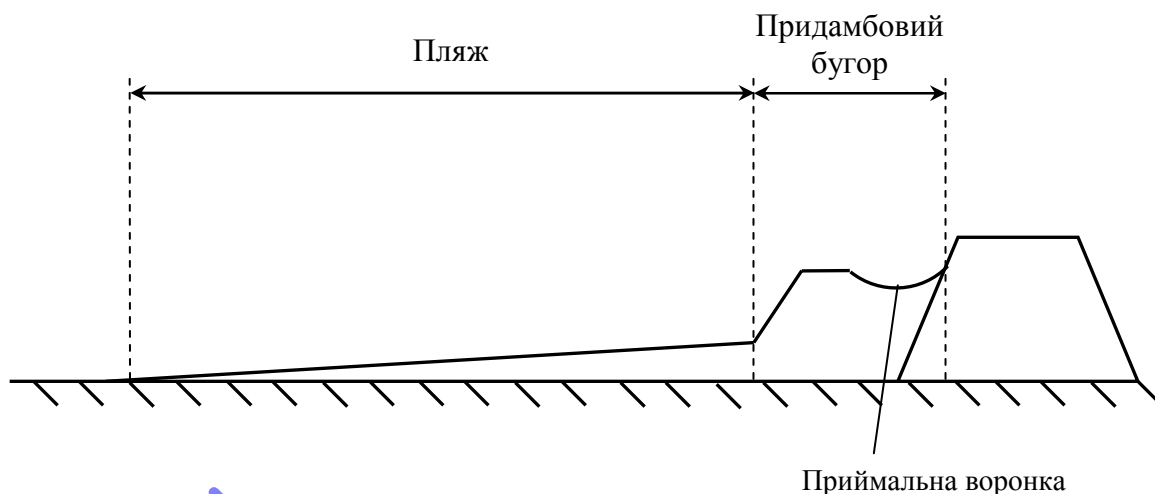


Рисунок 15 - Профіль ярусу наміву при використанні карти наміву для акумулювання та освітлення зворотної води

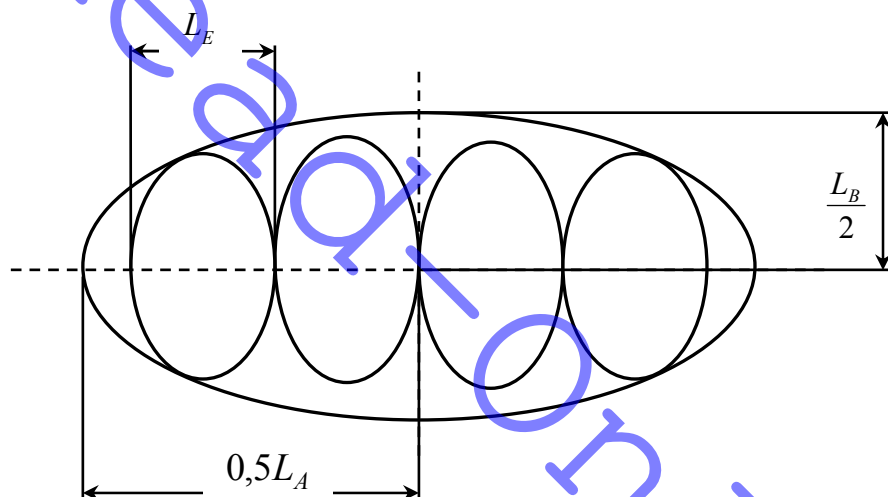


Рисунок 16 – Схематичне зображення приймальних воронки, що утворюються у верхній частині придамбового бугра

Таблиця 5 – Усредненні значення геометричних параметрів приймальних воронки, що утворюються у верхній частині придамбового бугра та уклону пляжу

Номер серії	Вісі еліпса верху воронки, мм		Ширина комірки, мм	Кут нахилу пляжу,	
	більша	менша		центр	край
I	356	82	35	6	4
II	353	148	96	5	3
III	242	85	65	19	8
IV	500	151	75	16	11

Результати, що отримані при експериментальних дослідженнях, співпадають з теоретичними розрахунками, які наведено в табл. 5. Спираючись

на загальну гідродинамічну картину течії, що досліджується, тверді частинки не повинні впасти за межами приймальної воронки, тобто середньо очікувана відстань їх падіння від перерізу насадку буде дорівнювати половині довжини малої вісі еліпсу верху приймальної воронки (табл. 6).

Таблиця 6 – Усереднені значення довжини придамбового бугра

Тверді частинки			Інтервал значень		
Матеріал	Діаметр, мм	Густина, кг/м ³	Розрахунків за $\frac{Re_0^{0,9}}{50}$		Емпіричних даних
Пісок	1,75	2800	41,1	42,6	от 41,0 до 42,5
Концентрат	1,70	5600	72,8	74,4	от 74,0 до 75,5

В п'ятому розділі розглянуто методи керування акумуляційною здатністю сховищ продуктів переробки під час їх експлуатації, проєктуванні та після завершення нарощування дамб обвалування.

Розглядаючи сумісно умову не потрапляння твердих частинок до освітленої води та залежності для визначення ухилу траєкторії руху частинок з урахуванням швидкості безнапірного потоку при течії через поріг, отримано обмеження, що гарантує освітлення води за даних умов:

$$\Phi \leq 1, \quad \Phi = 1,27m \frac{\sqrt{g}(\Delta H)^{\frac{3}{2}}}{L_{OC}w_s}, \quad (21)$$

де Φ – фактор освітлення технічної рідини; m – коефіцієнт витрати через поріг; L_{OC} – довжина шляху освітлення (рис. 16); ΔH – товщина шару переливу освітленої води при заборі води.

Якщо тверді частинки за умов, що існують, потрапляють до освітленої води, тобто при $\Phi > 1$, в цьому випадку забезпечити задовільне освітлення рідини можливо за допомогою флокулянтів, мінімальна вагова витрата яких, за існуючими умовами, визначається за наступним виразом:

$$G = \sqrt[3]{\Phi - 1} E \Phi, \quad E = \frac{k_\Phi}{\sqrt[3]{A_\Phi}} \frac{C_w}{1 - AC_w} \frac{\rho_w w_s L_{OC} L}{0,889}, \quad (22)$$

де k_Φ – коефіцієнт запасу, $k_\Phi > 1$; G – вагова витрата флокулянту, що забезпечить освітлення технічної води в ставку, за існуючими умовами; C_w – концентрація твердих частинок в рідині, що надходить до ставки для освітлення; L – довжина фронту наміву.

Таким чином одним з основних параметрів, які визначають можливість освітлення технічної води є довжина шляху освітлення:

$$L_{OC} = \lambda \frac{a'}{2 \operatorname{tg} \frac{\pi}{n}}, \quad \lambda = 0,5 \left(1 - \operatorname{tg} \frac{\pi}{n} \right) \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4s \operatorname{tg} \frac{\pi}{n}}{\left(1 - \operatorname{tg} \frac{\pi}{n} \right)^2}} \right], \quad (23)$$

де λ – коефіцієнт відносного шляху освітлення, який змінюється від 0 до 1 (рис. 17); a' – довжина сторони багатокутника, який утворюють дамби обвалування; n – кількість кутів багатокутника; s – мінімально допустиме значення частки площі ярусу намівання, яку займає ядро сховища продуктів переробки.



Рисунок 17 – Структура ставу - освітлення

В перспективі технологію супутнього видобутку техногенних покладів зі сховищ, що запропоновано, необхідно застосувати для створення додаткової акумулюючої здатності сховищ продуктів переробки після завершення нарощування дамб обвалування (рис. 18, 19). При цьому на першому етапі завдяки видобутку техногенних покладів, що сконцентровані біля внутрішніх укосів дамб обвалування, поступово, починаючи з верхніх ярусів, звільняють периферійну частину сховища (рис. 19), а на другому етапі заскладають в цей простір нові ППМС (рис. 20).

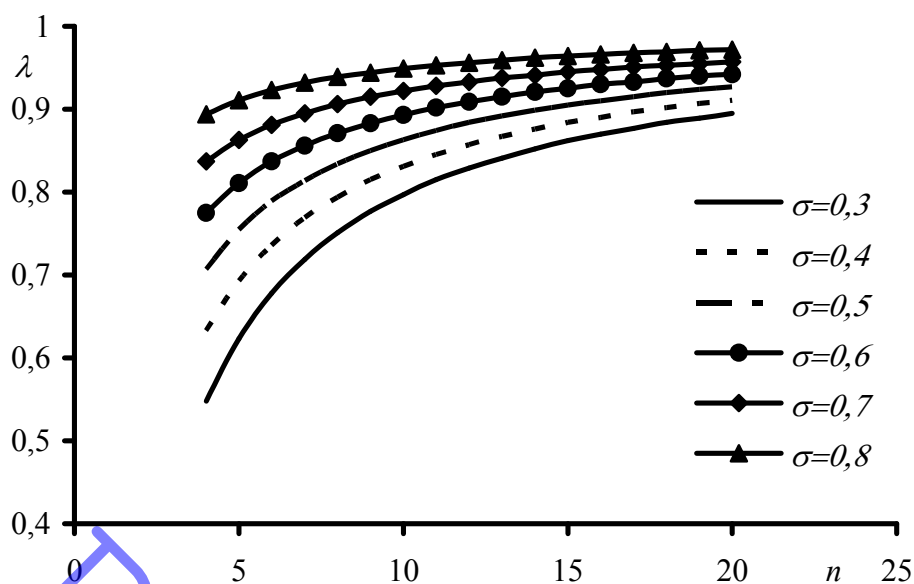
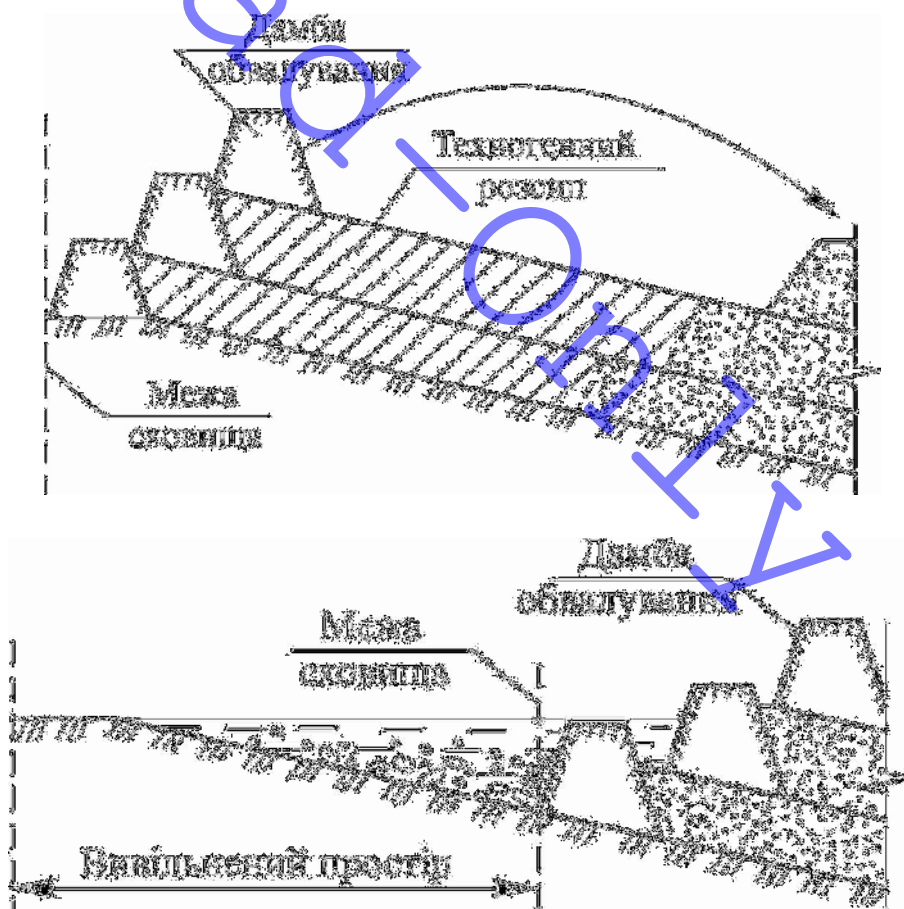


Рисунок 18 - Залежність коефіцієнту відносного шляху освітлення від кількості кутів багатокутника, у вигляді якого представлено сховище в плані, для різних значень мінімально допустимого значення частки площі ярусу наміву, яку займає ядро

а)



б)

Рисунок 19 - Перший етап застосування технології створення додаткової акумуляційної здатності сховищ продуктів переробки після завершення нарощування дамб обвалування

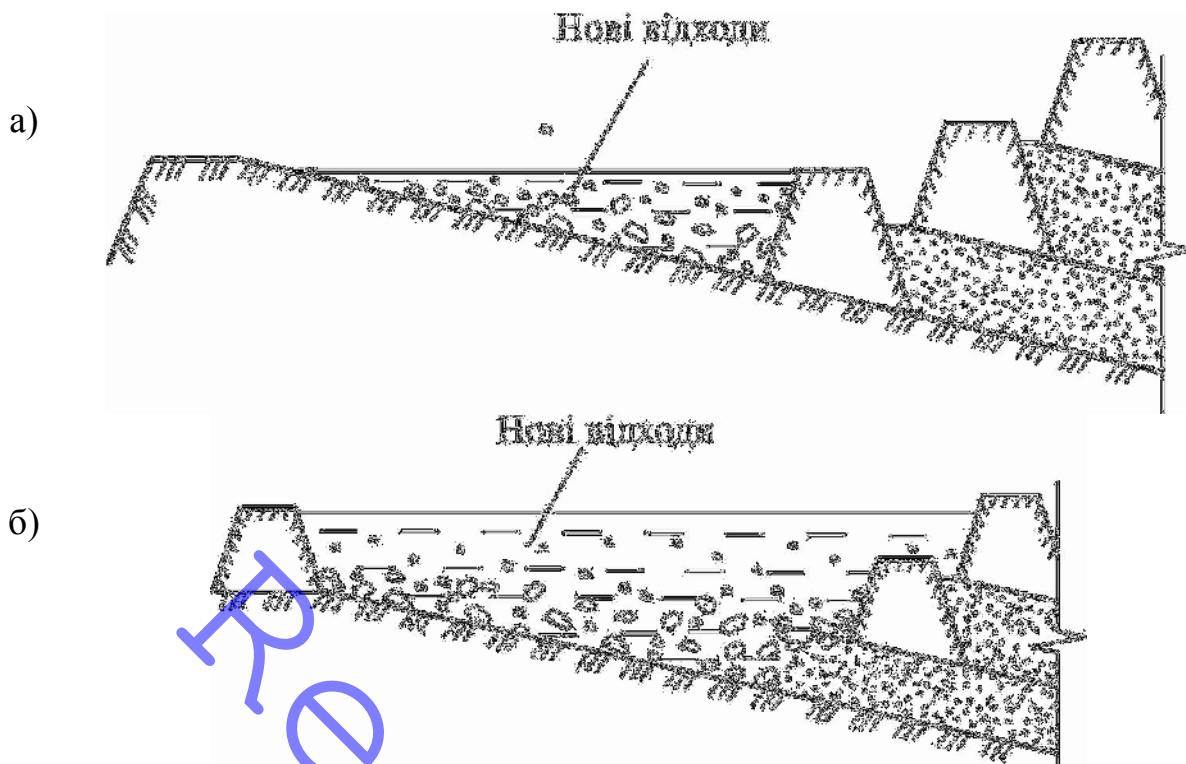


Рисунок 20 - Другий етап застосування технології створення додаткової акумулюючої здатності сховищ ППМС після завершення нарощування дамб обвалування

Результати досліджень враховані при розробці «Методики розрахунку параметрів напірної та безнапірної течії пульп с концентрацією пасти», «Рекомендацій по обґрунтуванню параметрів процесів відновлення акумулюючої здатності прудка з використанням процесів гідромеханізації», «Методики визначення раціональних геометричних параметрів сховищ відходів збагачення», «Рекомендацій по використанню методів керування параметрами техногенних родовищ при складуванні пульп високої концентрації», «Методики визначення обсягів продуктів переробки мінеральної сировини, що складовано, геометричних параметрів пляжу, ставку та ємності сховища відходів, що доступна, при нарощуванні дамб», «Науково-методичного забезпечення розрахунків параметрів техногенних родовищ, які формуються при складуванні відходів збагачення» та «Методики розрахунку параметрів гідротранспорту висококонцентрованих гідросумішей», які були впроваджені в ДП «ДП «Кривбаспроект», ДП «УкрНДІВуглезбагачення», Національний університет водного господарства та природокористування МОН України, ТОВ «Вирівський кар'єр», ТзОВ «Технобуд». Очікуваний річний економічний ефект від впровадження наукових розробок складає 7,01 млн. грн., частка авторки при використанні рекомендацій, науково-методичних, технологічних та інженерно-технічних рішень складає 15 % від загального економічного ефекту, тобто 1,05 млн. грн.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, в якій вирішена актуальна наукова проблема розвитку наукових основ ресурсозберігаючих технологій гідромеханізованої розробки техногенних родовищ шляхом встановлення закономірностей процесів гідромеханізації та складування продуктів переробки мінеральної сировини з урахуванням властивостей твердої та рідкої фаз при формуванні техногенних родовищ, як масивів сипучих тіл, для подовження терміну експлуатації з поновленням акумулюючої здатності сховищ, яка має важливе значення для підвищення ефективності функціонування гірничо-збагачувальних комбінатів.

Основні наукові і практичні результати дисертаційної роботи

1. На підставі проведених досліджень технологій гідромеханізованої розробки техногенних родовищ встановлено, що залежність параметру гідротранспорту, який відповідає швидкості рівних втрат напору, від куту нахилу трубопроводу та добутку густини й концентрації твердої фази описується степеневою залежністю з позитивними та від'ємними показниками відповідно.

2. Вперше науково обгрунтовано залежність фактичного значення швидкості гідросуміші при напірному гідротранспортуванні техногенних покладів, які видобуто в штучних сховищах, від густини та концентрації частинок твердої фракції, кута нахилу трубопроводу до горизонту, діючого напору, параметрів насосного обладнання, а також співвідношення діаметрів твердих частинок та трубопроводу

3. Визначено, що залежність критичного діаметру трубопроводу гідротранспортної установки, яка переміщує техногенні поклади, які сформовані в штучних сховищах продуктів переробки мінеральної сировини, від питомої витрати води на пульпоутворення описується степеневою залежністю з позитивним дрібним показником, а коефіцієнт пропорційності визначається густиною та гідравлічною крупністю матеріалу, що транспортується.

4. На основі встановлених залежностей параметрів процесів, що відбуваються при складуванні продуктів переробки гідравлічним способом, обгрунтовані технологічні рішення по окремому розміщенню фракцій продуктів переробки. Розроблені математичні моделі процесів, що відбуваються в штучних сховищах під час їх експлуатації, на підставі яких обгрунтовані перспективні методи відновлення їх акумулюючої здатності за рахунок видобутку техногенних розсипів та подальшого складування пульпи високої концентрації.

5. Встановлено, що процес фракціонування частинок техногенного розсипу з густиною відмінною від середньозваженого значення продуктів переробки розраховується за діаметром, який співвідноситься з середнім діаметром частинок, як відповідні параметри Архімеду.

6. Вперше обгрунтовані режими роботи систем гідромеханізації при використанні тимчасового ставку для відновлення акумулюючої здатності

сховищ. За результатами проведених експериментальних досліджень встановлено, що при використанні карти намівання для акумулювання і освітлення зворотної води кут нахилу намитого пляжу до горизонту біля краю карти пропорційний об'ємній концентрації складованої пульпи в степені $3/2$, а коефіцієнт пропорційності максимальний за центральною віссю карти і лінійно убуває при зміщенні перетину до краю карти намівання.

7. Розроблено методи визначення геометричних параметрів сховищ та науково-методичне забезпечення розрахунків параметрів техногенних родовищ, які формуються при складуванні продуктів переробки, що дозволяють визначити припустиму відстань ведення гірничих робіт та об'єм техногенного родовища для обґрунтування параметрів перспективних технологій гідромеханізованої розробки.

8. Вперше обґрунтовані параметри технологій гідромеханізованої розробки, що забезпечують подальше функціонування Криворізьких ГЗК за рахунок вдосконалення існуючих технологій складування продуктів переробки з елементами переформування сховищ і впровадження супутньої розробки техногенних розсипів. Запропоновано технології складування продуктів переробки з супутнім видобутком техногенних розсипів: з видобутком на поточному ярусі; з видобутком на кількох ярусах; з видобутком після виведення сховища продуктів переробки з експлуатації.

9. Розроблено комплекс методик розрахунку параметрів гідротранспорту, параметрів процесів відновлення акумулюючої здатності ставу з використанням процесів гідромеханізації, об'ємів складування продуктів переробки мінеральної сировини, геометричних параметрів пляжу та ставу, геометричних параметрів сховища та техногенного розсипу, а також доступної ємності сховищ при нарощуванні дамб, які впроваджено ТОВ «Вирівський кар'єр», ТзОВ «Технобуд», в практику проектно-конструкторських робіт ДП «ДП «Кривбаспроект» та ДП «УкрНДІВуглезбагачення», у навчальний процес Національний університет водного господарства та природокористування МОН України. Очікуваний річний економічний ефект від впровадження наукових розробок складає 7,01 млн. грн., частка авторки при використанні рекомендацій, науково-методичних, технологічних та інженерно-технічних рішень складає 15 % від загального економічного ефекту, тобто 1,05 млн. грн.

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав або України, які включені до міжнародних наукометричних баз

1 Medvedeva O. Development and exploitation of storages of enrichment process wastes as anthropogenic deposits. *Theoretical and practical solutions of mineral resources mining*. Taylor & Francis Group. London, 2015. P. 567–573.

2 Медведєва О.А. Определение размеров воронки всасывания для подводных технологий разработки россыпных месторождений. *Підводні технології. Промислова та цивільна інженерія*. Київ, 2016. № 3. С. 47–53.

3 Блюсс Б.А., Семененко Е.В., Медведєва О.А. Технологии восстановления

аккумулирующей способности хранилищ отходов обогащения. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. Кременчук, 2016. Вип. 1(17). С. 72–80.

4 Семененко Е.В., Медведева О.А., Киричко С.Н., Коваль Н.В. Обоснование рациональных параметров и режимов работы гидротранспортной установки при подводной разработке россыпных месторождений. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. Кременчук, 2017. Вип. 1(19). С. 43–52.

5 Блюсс Б.А., Семененко Е.В., Медведева О.А. Методы управления параметрами техногенных месторождений при складировании плотных пульп отходов обогащения. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. Кременчук, 2017. Вип. 2(20). С. 71–80.

6 Blyuss B., Semenenko Y., Kyrychko S., Karataev A. Parameters determination of hydromechanization technologies for the development of storages to technogenic deposits. *Mining of Mineral Deposits*. 2020. № 1. P. 51–61.

7 Семененко Е.В., Медведева О.А., Татарко Л.Г. Оценка параметров и режимов работы с повышенной концентрацией гидросмеси для технологий подводной добычи россыпей. *Горный журнал Казахстана*. 2020. №2. С. 25–30.

Статті у наукових фахових виданнях

8 Медведева О.А. Проблемы дальнейшей эксплуатации хранилищ отходов обогащения Кривбасса и теоретические предпосылки их решения. *Геотехническая механика*. Днепропетровск, 2012. № 97. С. 155–161.

9 Медведева О.А. Хвостохранилища Кривбасса, проблемы и особенности их эксплуатации. *Геотехническая механика*. Днепропетровск, 2012. № 103. С. 279–285.

10 Семененко Е.В., Медведева О.А. Разработка методов оценки надежности гидротехнических систем для технологий обогащения минерального сырья. *Геотехническая механика*. Днепропетровск, 2012. № 104. С. 155–161.

11 Медведева О.А. Анализ и современное состояние хранилищ продуктов переработки минерального сырья. *Збагачення корисних копалин: наук.-техн. зб. наук. пр. Дніпропетровськ: НГУ, 2012. № 51(92). С. 22–29.*

12 Медведева О.А. Классификация технологий добычи полезных ископаемых для условий разработки техногенных угольных месторождений. *Проблеми експлуатації обладнання шахтних стаціонарних установок: зб. наук. пр. Донецьк: ПАТ НДІГМ, 2012-2013. Вип. 106–107. С. 83–87.*

13 Семененко Е.В., Медведева О.А., Киричко С.Н. Технологические схемы складирования отходов обогащения при сгущении пульпы до концентрации пасты. *Збагачення корисних копалин: наук.-техн. зб. наук. пр. Дніпропетровськ: НГУ, 2013. № 55(96). С. 89–96.*

14 Медведева О.А., Киричко С.Н. Обоснование технологий совместного складирования отходов обогащения с различной степенью сгущения. *Геотехническая механика*. Днепропетровск, 2013. № 109. С. 134–142.

15 Медведева О.А. Определение параметров технологии расчистки хранилищ отходов переработки минерального сырья. *Геотехническая механика*.

Днепропетровск, 2013. № 111. С. 108–117.

16 Семененко Е.В., Медведева О.А. Технология разработки техногенных месторождений Кривбасса. *Розробка родовищ: наук.-техн. зб.* Дніпропетровськ: НГУ, 2013. Т. 7. С. 235–239.

17 Медведева О.А., Киричко С.Н., Кондратюк Т.Д. Лабораторные исследования процесса намыва дамбы хвостохранилища. *Геотехническая механика*. Днепропетровск, 2014. № 118. С. 175–181.

18 Медведева О.А. Классификация этапов эксплуатации хвостохранилищ горно-обогатительных комбинатов. *Геотехническая механика*. Днепропетровск, 2014. № 119. С. 198–207.

19 Семененко Е.В., Витушко О.В., Медведева О.А. Расчет параметров и режимов работы гидротранспортного комплекса при разработке техногенных россыпей из хранилищ отходов обогащения. *Вісник СНУ*. 2015. № 1(218). С. 161–165.

20 Medvedeva O. Technologies of man-made placers development during and after finishing of wastes storages exploitation. *Геотехническая механика*. Днепропетровск, 2015. № 122. С. 110–118.

21 Семененко Е.В., Медведева О.А. Гидродинамика напорных взвесенесущих потоков: история и перспективы. *Геотехническая механика*. Днепропетровск, 2015. № 124. С. 289–302.

22 Медведева О.А., Киричко С.Н. Стратегии разработки техногенных залежей хвостохранилищ. *Металлургическая и горно-рудная промышленность*. 2015. № 6. С. 80–86.

23 Семененко Е.В., Медведева О.А., Киричко С.Н. Оценка размеров воронки всасывания с учетом критической скорости гидротранспортирования. *Геотехнічна механіка*. Дніпро, 2016. № 129. С. 146–155.

24 Семененко Е.В., Медведева О.А., Киричко С.Н., Коваль Н.В. Рациональные параметры и режимы работы гидротранспортной установки при подводной разработке россыпных месторождений. *Геотехнічна механіка*. Дніпро, 2017. № 132. С. 121–129.

25 Семененко Е.В., Лапшин Е.С., Медведева О.А. Обоснование и расчет параметров устройства для разделения отходов обогащения на потоки различной концентрации. *Геотехнічна механіка*. Дніпро, 2017. № 135. С. 62–74.

26 Семененко Е.В., Медведева О.А., Киричко С.Н., Татарко Л.Г. Особенности расчета параметров магистралей для технологий гидромеханизации в условиях хранилищ отходов обогащения. *Геотехнічна механіка*. Дніпро, 2018. № 140. С. 118–129.

27 Семененко Е.В., Медведева О.А., Киричко С.Н., Никифорова Н.А. Расчет параметров и режимов гидротранспортирования при разработке техногенных месторождений в хранилищах отходов обогащения. *Геотехнічна механіка*. Дніпро, 2018. Вип.142. С. 91–102.

Статті та тези в виданнях конференцій

28 Медведева О.А. Восстановление аккумулирующей емкости хранилищ отходов обогащения методами гидротранспорта. *Математические проблемы*

технической механики 2012: материалы междунаро. научн. конф. (г. Днепропетровск–Днепродзержинск, 16–19 апреля 2012г.). ДДТУ, 2012. Т. 2. С. 19–20.

29 Медведева О.А. Перспективы эксплуатации хранилищ отходов как техногенных месторождений. *Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики*: материалы 8-й междунар. конф. Тула: ТулГУ, 2012. Т. 1. С. 207–211.

30 Семененко Е.В., Медведева О.А. Хвостохранилища Кривбасса как техногенные месторождения россыпей. *Геомеханические аспекты и экологические последствия отработки рудных залежей*: материалы II междунар. науч.-техн. конф. (г. Кривой Рог, 21–22 декабря 2012 г.). Кривой Рог: НИРГИ, 2012. С. 103–104.

31 Медведева О.А. Технологические решения по разработке техногенных месторождений ГОКов Кривбасса. *Форум гірників – 2014*: матеріали міжнарод. конф. (м. Дніпропетровськ, жовтень 2014 р.). Дніпропетровськ: НТУ Дніпровська політехніка, 2014. С. 154–161.

32 Медведева О.А. Обоснование параметров технологии гидромеханизации при разработке техногенных месторождений открытым способом. *Потурайвські читання*: матеріали XIII всеукраїнської наук.-практ. конф. (м. Дніпропетровськ, 20-21 січня 2015 р.). Дніпропетровськ: НТУ Дніпровська політехніка. С. 17.

33 Семененко Е.В., Медведева О.А. Особенности расчета параметров гидротранспорта при добыче техногенных россыпей из хранилищ отходов обогащения. *Гідроаеромеханіка в інженерній практиці*: материалы XX междунар. наук.-техн. конф. (м. Київ, 26-29 травня 2015 р.). Київ: НТУ. С. 12–15.

34 Медведева О.А. Обоснование параметров процесса добычи техногенных россыпей при восстановлении аккумулирующей способности прудка. *Форум гірників – 2015*: матеріали міжнарод. конф. (м. Дніпропетровськ, жовтень 2015 р.). Дніпропетровськ: НТУ Дніпровська політехніка, 2015. С. 154–161.

35 Семененко Е.В., Медведева О.А., Татарко Л.Г. Совершенствование математической модели процесса фракционирования отходов обогащения. *Гідроаеромеханіка в інженерній практиці*: материалы XXI міжнарод. наук.-техн. конф. (м. Київ, 24 - 27 травня 2016 р.). Київ: НТУ, 2016. С. 20–23.

36 Семененко Е.В., Никифорова Н.А., Медведева О.А. Оценка критических параметров и режимов работы при подводной разработке россыпных месторождений. *Форум гірників – 2016*: матеріали міжнар. конф. (м. Дніпропетровськ, жовтень 2016 р.). Дніпропетровськ: НТУ Дніпровська політехніка, 2016. С. 189–196.

37 Substantiation of the boundary of the tailings storage core during the storing of the cleaning rejects by hydraulic method / O. Medvedieva, S. Kyrychko, N. Nykyforova, N. Koval // E3S Web of Conferences, Volume 109 (2019), International Conference Essays of Mining Science and Practice, Dnipro, Ukraine, June 25-27, 2019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900056>.

38. Semenenko Yevhen. Calculation of pressure loss and critical velocity for slurry flows with additive agents in vertical polyethylene pipelines/ Yevhen Semenenko, Stepan Kril, Nina Nykyforova, Larysa Tatarko, Olha Medvedieva // E3S Web of Conferences, Volume 109 (2019), International Conference Essays of Mining Science and Practice, Dnipro, Ukraine, June 25-27, 2019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900083>.

ОСОБИСТИЙ ВНЕСОК АВТОРА В РОБОТИ, ЯКІ ОПУБЛІКОВАНІ В СПІВАВТОРСТВІ

В роботах [3, 8, 11] – виконаний комплекс досліджень, обробка експериментальних даних, а також аналіз попередніх наукових досліджень, постановка проблеми та завдань; [7, 12] – обґрунтування параметрів технології складування відходів збагачення для визначення геометричних параметрів техногенного розсипу, з урахуванням процесу фракціонування, при його формуванні та збіднення цінного компонента за рахунок потрапляння пустих пород, крейдяних та глинистих частинок; [12, 21 - 23] - участь в експериментальних дослідженнях і встановлення залежностей формування воронки всмоктування під час складування відходів збагачення в штучні сховища, визначення параметрів тимчасового ставу для забезпечення освітлення зворотної води; [27-38] – взяла участь у конференціях з доповідями.

АНОТАЦІЯ

Медведєва О.О. Розвиток наукових основ ресурсозберігаючих технологій гідромеханізованої розробки техногенних родовищ. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.09 – «Геотехнічна і гірничо-металургійна механіка» - Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова, Дніпро, 2021.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної наукової проблеми встановлення закономірностей процесів гідромеханізації та складування продуктів переробки мінеральної сировини та визначення параметрів техногенних родовищ, що сформовані в сховищах продуктів переробки, з метою продовження терміну експлуатації сховищ та поновлення їх акумулюючої здатності.

Вдосконалено методи розрахунку параметрів технологій гідромеханізованої розробки техногенних родовищ шляхом встановлення закономірностей процесу фракціонування при формуванні штучних ґрунтових масивів надводним і підводним наливом, з урахуванням особливостей розподілу фракцій різної крупності та густини в складі налитого ґрунту по довжині укусу, а також гідравлічних характеристик потоку пульпи, що дозволяє відновити акумуляційну здатність та продовжити термін експлуатації сховищ без відведення додаткових земельних ділянок за рахунок використання технологій супутнього видобутку, окремого складування та освітлення зворотної рідини в тимчасовому ставі для забезпечення виробничої потужності гірничо-металургійних комбінатів.

Вперше обґрунтовані параметри технологій гідромеханізованої розробки, що забезпечують подальше функціонування Криворізьких ГЗКів за рахунок

вдосконалення існуючих технологій складування продуктів переробки з елементами переформування сховища і впровадження супутньої розробки техногенних розсипів.

Розроблено комплекс методик розрахунку параметрів гідротранспорту, параметрів процесів відновлення акумулюючої здатності ставу з використанням процесів гідромеханізації, об'ємів складування продуктів переробки мінеральної сировини, геометричних параметрів пляжу та ставу, геометричних параметрів сховища та техногенного розсипу, а також доступної ємності сховищ при нарощуванні дамб, які впроваджено на ТОВ «Вирівський кар'єр», ТзОВ «Технобуд», в практику проектно-конструкторських робіт ДП «ДП «Кривбаспроект» та ДП «УкрНДІВуглезбагачення», у навчальний процес Національного університету водного господарства та природокористування МОН України. Очікуваний річний економічний ефект від впровадження наукових розробок складає 7,01 млн. грн., частка авторки при використанні рекомендацій, науково-методичних, технологічних та інженерно-технічних рішень складає 15 % від загального економічного ефекту, тобто 1,05 млн. грн.

Ключові слова: техногенні поклади, сховища продуктів переробки мінеральної сировини, напірний та безнапірний методи складування, технології гідромеханізованої розробки, акумулююча здатність, фракціонування, гідросуміші, густина.

АННОТАЦИЯ

Медведева О.А. Развитие научных основ ресурсосберегающих технологий гидромеханизированной разработки техногенных месторождений. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.15.09 – «Геотехническая и горная механика» - Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, Днепр, 2021.

Диссертационная работа посвящена исследованию процессов гидромеханизации и складирования продуктов переработки минерального сырья и определению параметров техногенных месторождений, сформированных в хранилищах продуктов переработки для продления срока эксплуатации хранилищ и восстановления их аккумулялирующей способности.

Усовершенствованы методы расчета параметров технологий гидромеханизированной разработки техногенных месторождений путем установления закономерностей процесса фракционирования при формировании искусственных грунтовых массивов надводным и подводным намывом, с учетом особенностей распределения фракций различной крупности и плотности в составе намывного грунта по длине откоса, а также гидравлических характеристик потока пульпы, что позволяет восстановить аккумулялирующую способность и продлить срок эксплуатации хранилищ без отвода дополнительных земельных участков за счет использования технологий

совместной добычи, отдельного складирования и осветления оборотной воды во временном прудке для обеспечения производственной мощности горно-металлургических комбинатов.

Впервые обоснованы параметры технологий гидромеханизированной разработки, обеспечивающие дальнейшее функционирование Криворожских ГОКов за счет совершенствования существующих технологий складирования продуктов переработки с элементами переформирования хранилища и внедрение сопутствующей разработки техногенных россыпей.

Разработан комплекс методик расчета параметров гидротранспорта, параметров процессов восстановления аккумулирующей способности прудка с использованием процессов гидромеханизации, объемов складирования продуктов переработки минерального сырья, геометрических параметров пляжа и прудка, геометрических параметров хранилища и техногенной россыпи, а также доступной емкости хранилищ при наращивании дамб, который внедрен на ООО «Выровский карьер», ООО «Технострой», в практику проектно-конструкторских работ ГП «ГПИ «Кривбасспроект» и ГП «УкрНИИУглеобогащение», в учебный процесс Национального университета водного хозяйства и природопользования МОН Украины. Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения научных разработок составляет 7,01 млн грн. Доля автора при использовании рекомендаций, научно-методических, технологических и инженерно-технических решений составляет 15% от общего экономического эффекта, то есть 1,05 млн грн.

Ключевые слова: техногенная залежь, хранилища продуктов переработки минерального сырья, напорный и безнапорный методы складирования, технологии гидромеханизации, аккумулирующая способность, фракционирование, гидросмеси, плотность.

ABSTRACT

Medvedieva O.O. The development of scientific foundations of resource-saving technologies for hydromechanized extraction of technogenic deposits. - Manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Technical Sciences. Specialty 05.15.09 - "Geotechnical and Mining Mechanics"- Institute of Geotechnical Mechanics named by N.S. Polyakov under the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, 2021.

The thesis is devoted to the decision of an actual scientific problem establishing patterns of hydromechanization processes, storage of mineral processing products and parameters determining of technogenic deposits formed in storages of processed products, in order to extend the service life of storages and restore their storage capacity.

Improved methods for calculating the parameters of hydromechanized extraction of technogenic deposits by establishing patterns of the fractionation process in the artificial soil massifs formation by surface and underwater alluvium. The peculiarities of the different size fractions distribution and density in the

inwashed soil along the length of the slope, as well as the hydraulic characteristics of the pulp flow, which allows to restore storage capacity and extend the service life of storage without additional land using associated extraction liquids in a temporary pond to ensure the production capacity of mining and metallurgical plants are taken into account.

For the first time the parameters of hydromechanized extraction technologies are substantiated. They ensure the further functioning of Kryvyi Rih GOK due to the improvement of existing technologies for storage of processed products with repository reformation elements and the adoption of concomitant extraction of technogenic stream gravel.

A set of methods for calculating the hydraulic transport parameters, the restoring processes parameters of the pond storage capacity using the hydromechanization processes, storage volumes of mineral products, geometric parameters of the dusting surface and pond, geometric parameters of storage and technogenic stream gravel, as well as the available storage capacity at topping of dike are developed. They were instilled at the following enterprises: Vyryvsky Quarry LLC, Technobud LLC, into the practice of design and engineering works of Kryvbasproekt SE and UkrNDIVuglezbagachennia SE, and into the educational process of the National university of water and environmental engineering of the Ministry of Education and Science of Ukraine.

The expected annual economic effect from the instillation of scientific developments is 7.01 million UAH, the author's share in the use of recommendations, scientific and methodological, technological and engineering solutions is 15% of the total economic effect, *videlicet* 1.05 million UAH.

Keywords: technogenic deposits, storages of mineral processing products, pressure and pressureless storage methods, technologies of hydromechanized extraction, accumulating capacity, fractionation, hydraulic mixtures, density.

Гарнітура Times. Друк різнографічний.

Підписано до друку 04.03.2021 р.

Папір офсетний. 1,62 умов.друк. арк.

Тираж 100 прим. Зам. № 111

Друк ТОВ "БАРВІКС"

Свідоцтво про внесення до державного реєстру №24 від 25.07.2000 р.

49005, м. Дніпро, вул. Сімферопольська, 21