

© О.О. Медведєва¹, Б.О. Блюсс², В.Ю. Медяник³, Л.Г. Татарко⁴

¹ Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, Дніпро, Україна

² Придніпровський науковий центр НАН України і МОН України, Дніпро, Україна

³ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

⁴ Український державний хіміко-технологічний університет, Дніпро, Україна

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ ГІДРОМЕХАНІЗАЦІЇ ДЛЯ ПРОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СХОВИЩ ВІДХОДІВ ЗБАГАЧЕННЯ

© O. Medvedieva, B. Blyuss², V. Medianyck³, L. Tatarko⁴

¹ Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of NASciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine

² Prydniprovsky Scientific Center of the National Academy of Science of Ukraine and Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro, Ukraine

³ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

⁴ SHEI "Ukrainian State University of Chemical Technology", Dnipro, Ukraine

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES OF HYDRAULIC MECHANIZATION TO EXTEND THE OPERATION LIFE OF ENRICHMENT WASTE STORAGE

Мета. Визначення та обґрунтування способів подовження терміну експлуатації хвостосховищ для забезпечення ефективного функціонування гірничо-збагачувальних комбінатів.

Методика. Для досягнення поставленої мети у роботі використано аналітичні та чисельні методи визначення технологічних параметрів та режимів роботи гідротранспорту хвостосховищ для забезпечення надійності функціонування підприємства за рахунок звільнення додаткового простору в сховищі.

Розглянуто сучасний стан проблеми експлуатації сховищ відходів збагачення залізорудних комбінатів Кривбасу. На підставі чого визначено, що сталий розвиток Криворізького залізорудного басейну неможливий без надійного та ефективного функціонування гірничо-збагачувальних комбінатів з належною площею територій для складування відходів збагачення. Майже всі сховища заповнені практично на 100%.

В роботі розглядається видобуток техногенних покладів, які сформовані при складуванні відходів збагачення в штучних сховищах, як інструмент для забезпечення надійності функціонування підприємства за рахунок звільнення додаткового простору в сховищі. Параметри техногенних родовищ 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. Основна ідея модернізації технологій гідромеханізації полягає в обґрунтуванні напрямку повторної переробки концентрату, який потрапляє у відходи збагачення, та осідає на ділянці пляжу біля дамби обвалування, і подальшому складуванні на це місце нових відходів збагачення.

Наукова новизна. На основі встановлених залежностей параметрів процесів, що відбуваються при складуванні відходів збагачення гідравлічним способом, обґрунтовані технологічні рішення по окремому складуванню фракцій відходів збагачення. Розроблені математичні моделі

процесів, що відбуваються в штучних сховищах під час їх експлуатації, на підставі яких обґрунтовані перспективні методи відновлення їх акумулюючої здатності за рахунок видобутку техногенних розсипів та подальшого складування пульпи високої концентрації.

Практична значимість. Запропоновано перспективний алгоритм використання сховищ відходів збагачення, який передбачає видобуток техногенних покладів на більшості з етапів та розглядає видобуток техногенних покладів не тільки засобом отримання додаткової корисної копалини, а й інструментом забезпечення надійності функціонування підприємства за рахунок звільнення додаткового простору в сховищі.

Ключові слова: штучні сховища, акумулююча здатність, техногенні розсипи.

Вступ. Криворізький залізорудний басейн є найбільшим в Україні, в якому видобувається більше ніж 80% залізорудної сировини і виробляється понад 20% металургійної продукції в Україні. У басейні сконцентровані основні підприємства гірничо-видобувної промисловості: п'ять найбільших гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК) з десятьма кар'єрами глибиною понад 300 м і 17 шахт з видобутку залізних руд глибиною від 80 до 1300 м. Залізорудні родовища Кривбасу є комплексними за своїм складом, кожне з них складено двома-трьома типами залізних руд і супутніми нерудними корисними копалинами. У Кривбасі за різними оцінками [1-3] в відвалах розкривних порід міститься до 13 млрд т порід розкриття, а в сховищах відходів збагачення (СВЗ) (табл.) накопичено за період експлуатації залізорудних комбінатів понад 7 млрд т відходів збагачення бідних залізних руд.

Таблиця

Параметри СВЗ ГЗК Кривбасу

Назва СВЗ	Висота дамб, м	Площа, га	Ємність сховища, млн.м ³	Дебіт відходів, млн.м ³ /рік
«Войкове» Південного ГЗК	від 50 до 74	250	156,5	11,50
«Об'єднане» Південного ГЗК та АрселорМітталл	від 40 до 59	від 350 до 550	320,0	6,50
«Миролюбівка» АрселорМітталл	55	479	107,0	10,60
Інгулецького ГЗК	112	736	379,0	4,52
Центрального ГЗК	10	170	290,0	7,00
Північного ГЗК	76	1293	466,0	8,84

Сталий розвиток Криворізького залізорудного басейну неможливий без надійного та ефективного функціонування ГЗК з належною площею територій для складування продуктів переробки мінеральної сировини. Ці підприємства розташовані в межах міста Кривий Ріг, де відсутні вільні ділянки землі для складування продуктів переробки мінеральної сировини. Тому вільних ділянок для нових СВЗ не існує, а більшість сховищ на сьогодні вже заповнені майже повністю. Таким чином для забезпечення ефективної експлуатації хвостосховища необхідно насамперед вирішити питання зі збільшенням їх ємності.

Мета роботи – визначення та обґрунтування способів подовження терміну експлуатації СВЗ для забезпечення ефективного функціонування ГЗК.

При розгляді специфіки застосування технологій гідромеханізації й досвіду експлуатації гідротранспортних систем в умовах штучних СВЗ ГЗК, а також при висвітленні існуючого стану цих гідротехнічних споруд провідними вітчизняними та світовими фахівцями [1, 3-7] вказується на перспективність видобутку зі СВЗ техногенних покладів, що формуються, як для збільшення потужності ГЗК, так і з метою підвищення екологічної безпеки споруд та подовження їх терміну експлуатації. Деякі з авторів стверджують, що подальше існування вітчизняних ГЗК неможливе без впровадження такого процесу. 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; СПДГІ(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 не тільки для складування відходів переробки мінеральної сировини, але й для цілеспрямованого формування техногенних покладів з їх подальшим видобутком. Результати аналізу світового досвіду експлуатації штучних сховищ відходів (СВ) та практичні здобутки за модернізацією СВЗ ГЗК Кривбасу з метою подовження їх терміну використання дозволили сформулювати перспективний алгоритм використання СВЗ (рис. 1), який передбачає видобуток техногенних покладів на більшості з етапів експлуатації.

З огляду на це, видобуток техногенних покладів, що сформовані при складуванні відходів переробки мінеральної сировини в штучних СВ, в роботі розглядається як інструмент для забезпечення надійності функціонування підприємства за рахунок звільнення додаткового простору в СВ. В даному випадку параметри техногенних родовищ є головними факторами при визначенні режимів процесів гідротранспортування та складування продуктів переробки мінеральної сировини, що виконуються з метою подовження терміну експлуатації СВ та поновлення їх акумулюючої здатності.

Основна ідея модернізації, що рекомендується за результатами проведених досліджень, полягає в обґрунтуванні напрямку повторної переробки відходів та вилучення додаткового обсягу концентрату, який потрапив у відходи збагачення, та осів на ділянці пляжу біля дамби обвалування, з подальшим складуванням на цьому місці нових відходів збагачення.

Відома технологія складування відходів збагачення, яка здійснюється з супутнім видобутком техногенних розсипів на кожному ярусі [4-6], але цей принцип одночасного складування відходів та вилучення техногенних покладів, можна застосувати для декількох ярусів, що актуально для СВ, термін експлуатації яких закінчився або добігає кінця.

Результати попереднього аналізу свідчать, що технологія складування відходів збагачення, яка здійснюється з супутнім видобутком техногенних розсипів

на кількох ярусах, дозволяє видобуток з ярусів, що знаходяться нижче поточного (рис. 2).



Рис. 1. Перспективний алгоритм експлуатації СВ

У разі застосування такої технології для видобутку техногенних розсипів після виведення СВЗ з експлуатації вона дозволяє скороти об'єми СВЗ за рахунок переєкскарпації дамб обвалування на кінець техногенного розсипу (рис. 3). В цьому випадку гірничі роботи починають з виїмки придамбової частини пляжу верхнього ярусу намивання (рис. 3.а). Потім здійснюють переєкскарпацію дамби обвалування на нове місце (рис. 3.б). Після цього, відповідні операції повторюють на наступних ярусах намивання (рис. 3.в, 3.г).

Загальним є визначення ефективності використання вищезгаданих технологій як відносного об'єму техногенних покладів, які вилучено, тобто частки, яку становить об'єм вилученого техногенного покладу від об'єму ярусів намивання, я яких відбувалося вилучення [7-9].

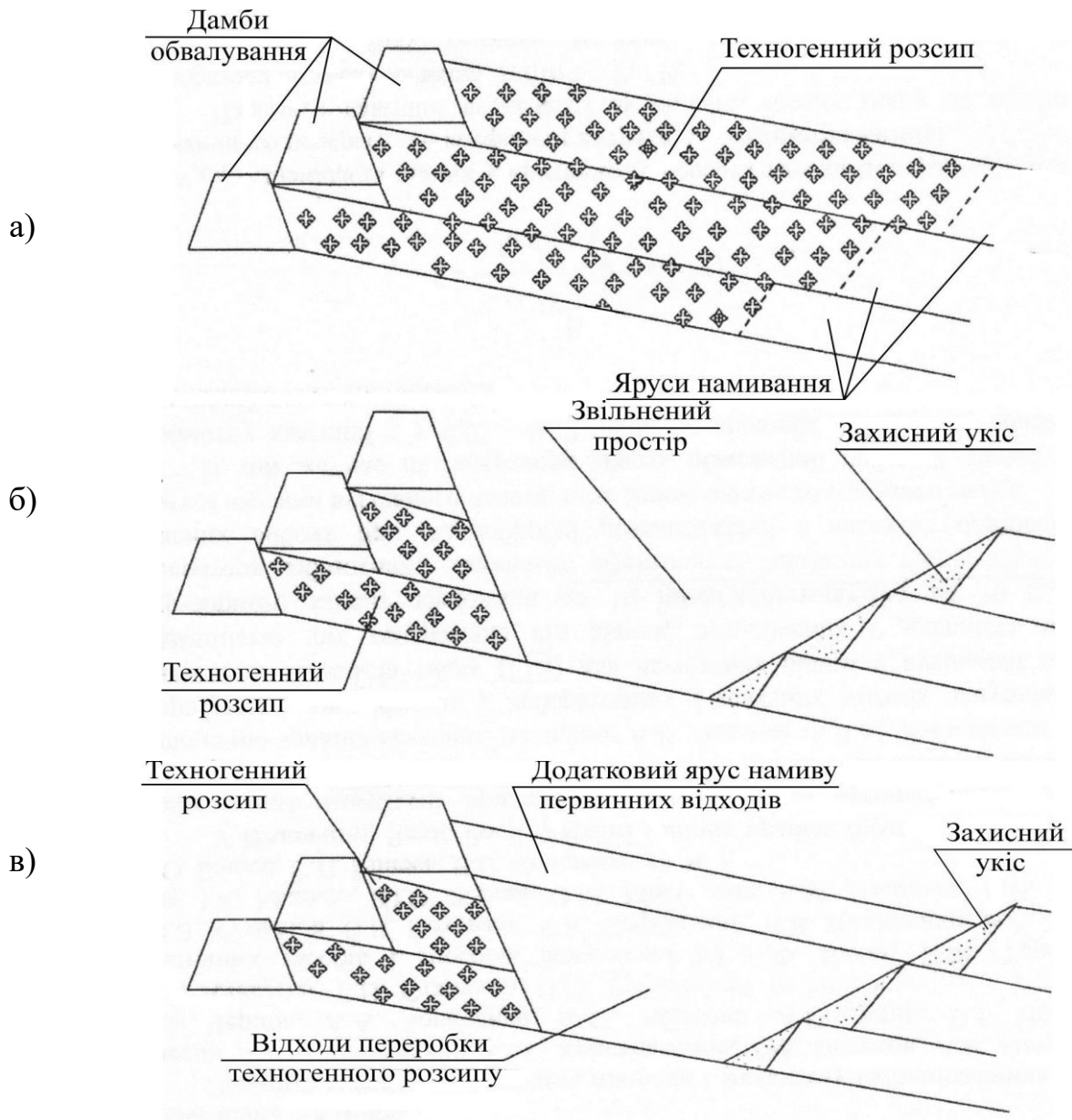


Рис. 2. Технологія складування додаткового об'єму відходів збагачення після розробки техногенних розсіпів на кількох ярусах

У випадку сховищ відходів, які виведені з експлуатації (рис. 3), для розрахунків ефективності використання вищезгаданої технології та параметрів гірничих робіт можна використовувати залежності, що отримані для умов супутнього видобутку техногенних розсіпів на кожному ярусі (рис. 4) [4 – 6, 8]

$$w = \frac{\eta - \sigma}{1 - \sigma}, \quad (1)$$

$$W = \frac{2(\eta - \sigma)\sigma}{\sin \alpha} BH^2, \quad W_0 = \frac{2(1 - \sigma)\sigma}{\sin \alpha} BH^2, \quad (2)$$

$$\eta = \sum_{m=1}^M \eta_m, \quad \sigma = \left(1 - \frac{a}{H}\right) \frac{H}{2L} \sin(\alpha - \beta), \quad (3)$$

де w – ефективність використання технології; η – сумарна частка довжин пляжу, які зайняті техногенним покладом на всіх ярусах, де є видобуток, долі одиниці; W – об’єм техногенних покладів в ярусі намівання, м³; W_0 – об’єм ярусу намівання, м³; B – довжина ярусу намівання, м; H – товщина ярусу намівання, м; a – перевищення гребеня дамби обвалування над намитим пляжем, м; L – довжина пляжу, м; α – кут нахилу зовнішнього укосу дамби обвалування до горизонту, град.; β – кут природного укосу частинок техногенного розсипу, град.; M – кількість ярусів намівання, на яких ведеться розробка техногенного розсипу; η_m – частка довжини пляжу, яку займає техногенним покладом, на m -м ярусі, долі одиниці; σ – безрозмірна товщина ярусу намівання.

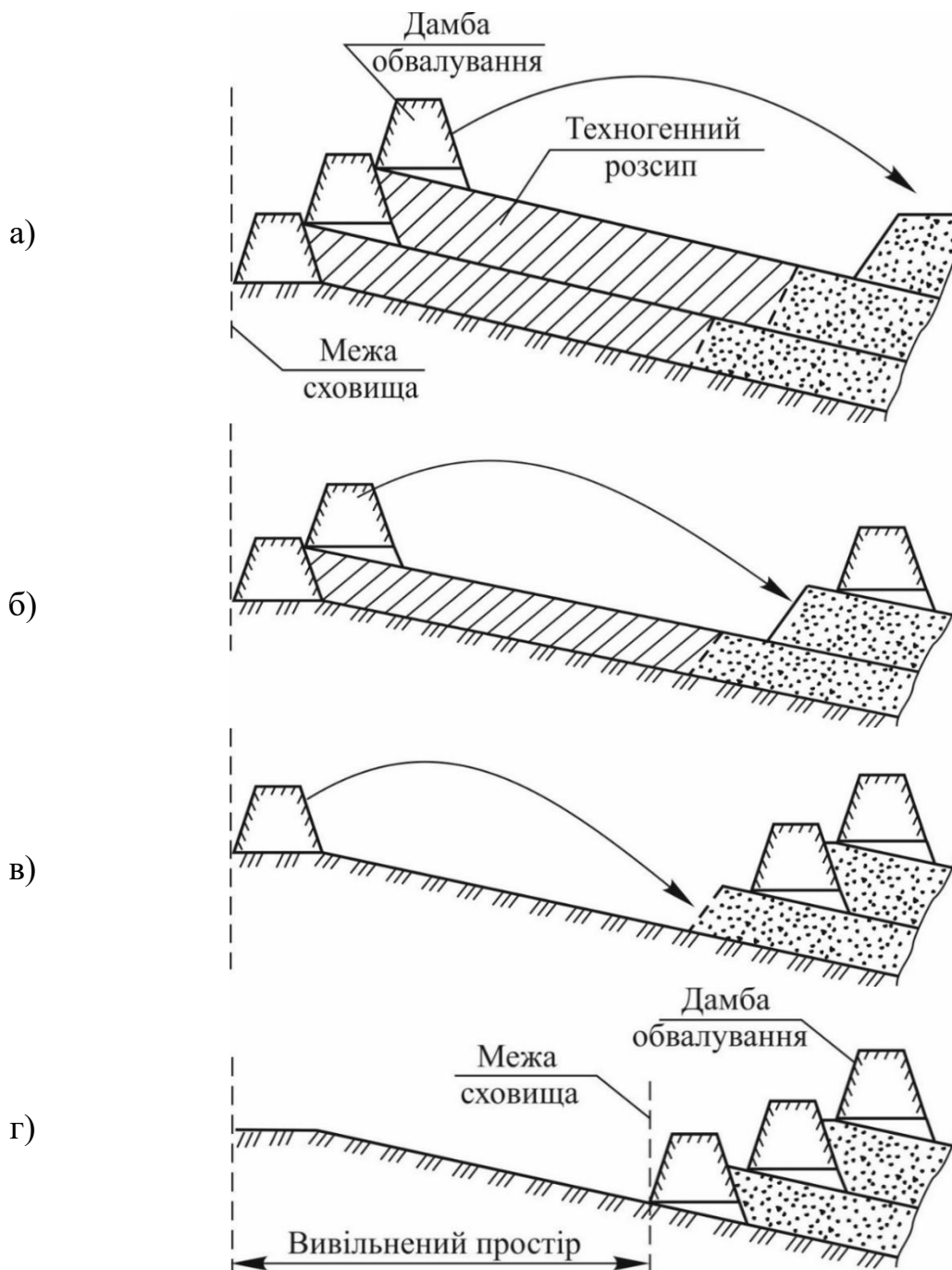


Рис. 3. Технологія видобутку техногенних розсипів зі сховищ відходів, які виведені з експлуатації

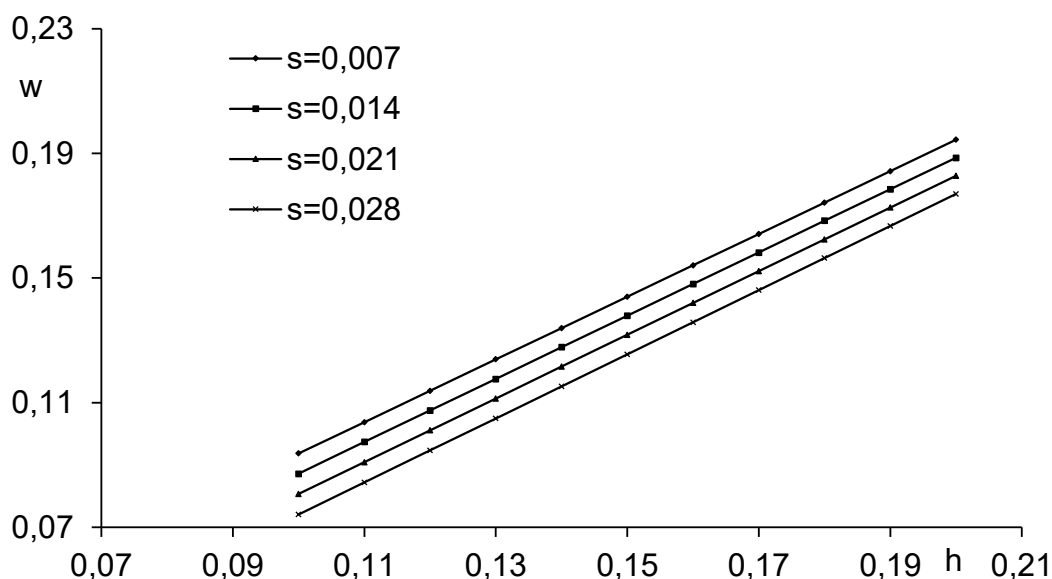


Рис. 4. Залежність ефективності використання технології від частки довжини пляжу, яку займає техногенний поклад, при різних значеннях безрозмірної товщини ярусу намивання [4, 6]

У випадку сховищ відходів, які виведені з експлуатації (див. рис. 3), техногенні поклади вилучаються повністю, а тому формули (1) – (3) відповідають дійсності. А якщо технологія складування відходів збагачення з супутнім видобутком техногенних покладів використовується для кількох ярусах одночасно (див. рис. 2.а), то повністю техногенні поклади вилучають тільки на верхньому ярусі, а на кожному наступному ярусі, що знаходяться нижче верхнього, частина техногенних покладів залишається, оскільки вони прикриті пустими породами (див. рис. 2.б, 2.в, рис. 5):

$$\eta = \sum_{m=1}^M \omega_m \eta_m, \quad (4)$$

де ω_m – частка ділянки пляжу, що зайнята техногенним покладом, на m -м ярусі та не прикрита пустими породами наступного ярусу.

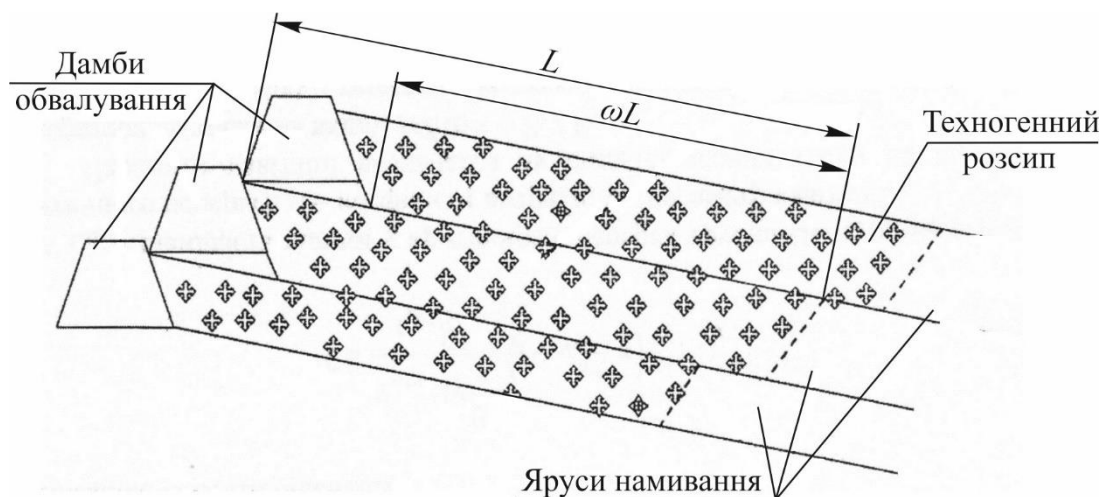


Рис. 5. Пояснення втрат частини техногенного покладу при застосуванні технології супутнього видобутку на кількох ярусах

Для умов СВ ГЗК Кривбасу кут нахилу зовнішнього укосу дамби обвалування до горизонту значно більше кута нахилу пляжу намивання до горизонту і порівняний з кутом природного укосу частинок техногенного розсипу, а частка довжини пляжу, яку займає техногенний розсип, для всіх ярусів може вважатися однаковою. З урахуванням цього, та спираючись на формули (1) та (4), ефективність застосування технології в обох випадках може бути визначена за наступними залежностями:

$$w = \frac{M\eta_0 - \sigma}{1 - \sigma}, \quad w_{\omega} = \frac{\bar{\omega}M\eta_0 - \sigma}{1 - \sigma}, \quad (5)$$

$$\bar{\omega} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \omega_m, \quad (6)$$

де w_{ω} – ефективність використання технології для кількох ярусів одночасно; η_0 – частка довжин пляжу, які зайняті техногенним покладом на ярусі; $\bar{\omega}$ – узагальнена для всіх ярусів частка ділянки пляжу, що зайнята техногенним покладом, та не прикрита пустими породами наступного ярусу.

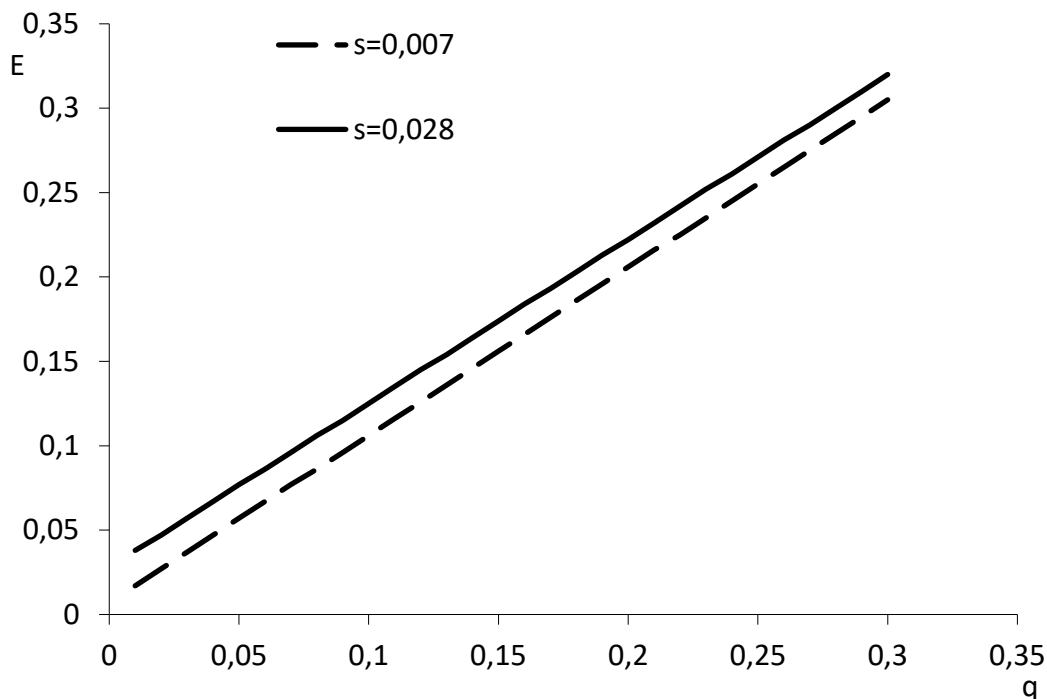


Рис. 6. Залежність ефективних значень параметру розробки техногенних покладів на декількох ярусах одночасно від припустиме значення ефективності використання технології, при різних значеннях безрозмірної товщини ярусу намивання

З аналізу формул (5) та (6), а також фізичного смислу величини $\bar{\omega}$, витікає, що значення цього параметру визначається кількістю ярусів, які обробляються одночасно, та властивостями техногенних покладів й не перевищує одиниці. Це

означає, що можливі такі умови залягання техногенних покладів коли ефективність використання цієї технології для кількох ярусів одночасно не буде виправданою:

$$w_{\omega} \leq q, \quad (7)$$

де q – припустиме значення ефективності використання технології для кількох ярусів одночасно.

Розглядаючи сумісно формули (5) і (7) отримаємо обмеження на параметри розробки техногенних покладів на декількох ярусах одночасно, що забезпечують припустиму ефективність (див. рис. б):

$$E \leq q \left(1 + \frac{1-q}{q} \sigma \right), \quad E = \bar{\omega} M \eta_0, \quad (8)$$

де E – параметр розробки техногенних покладів на декількох ярусах одночасно.

Висновки. Розглянуто технології гідромеханізації, які використовуються при складуванні відходів переробки мінеральної сировини у штучні сховища відходів збагачення, проаналізовано стан сховищ такого типу, їх геометричні параметри, ступінь заповнення та перспективи подальшої експлуатації. Запропоновано перспективний алгоритм використання сховищ відходів збагачення, який передбачає видобуток техногенних покладів на більшості з етапів та розглядає видобуток техногенних покладів не тільки засобом отримання додаткової корисної копалини, а й інструментом забезпечення надійності функціонування підприємства за рахунок звільнення додаткового простору в сховищі.

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

Основна ідея напрямку модернізації полягає в обґрунтуванні повторної переробки концентрату, який потрапляє у відходи збагачення, та осідає на ділянці пляжу біля дамби обвалування, і подальшому складуванні на це місце нових відходів збагачення. Запропоновано три нових технології складування відходів збагачення з супутнім видобутком техногенних розсипів: з видобутком на поточному ярусі; з видобутком на кількох ярусах; з видобутком після виведення сховища відходів з експлуатації.

Перелік посилань

1. Дмитриев, Г.П., Махарадзе, Л.И., & Гочиташвили, Т.Ш. (1991). *Напорные гидротранспортные системы*. Москва: Недр.
2. Силин, Н.А. (1962). *Режимы работы крупных землесосных снарядов и трубопроводов*. Киев: Изд-во АН УССР.

3. Махарадзе, Л.И., Гочиташвили, Т.Ш., Криль, С.И., & Смойловская, Л.А. (2006). *Трубопроводный гидротранспорт твердых сыпучих материалов* Тбилиси: Мецниереба.
4. Баранов, Ю.Д., Блюсс, Б.А., Семенов, Е.В., & Шурыгин, В.Д. (2006). *Обоснование параметров и режимов работы систем гидротранспорта горных предприятий*. Днепропетровск: «Новая идеология».
5. Медведева, О.А. (2014). Технологические решения по разработке техногенных месторождений ГОКов Кривбасса. *Форум гірників – 2014: Мат. міжн. конф., жовтень 2014 р.*, 154 – 161.
6. Медведева, О.О. (2021). *Розвиток наукових основ ресурсозберігаючих технологій гідромеханізованої розробки техногенних родовищ* (дисертація на здобуття доктора технічних наук, спеціальність 05.15.09 – Геотехнічна і гірнична механіка). Дніпро: Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України.
7. Евтехов, В.Д., Пранько И.В., Евтехов Е.В. (1999). *Альтернативная минерально-сырьевая база Криворожского железорудного бассейна*. Кривой Рог: Изд-во Криворожского технического университета.
8. Блюсс, Б.А., Семенов, Е.В., & Медведева, О.А. (2016). Технологии восстановления аккумуляционной способности хранилищ отходов обогащения. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*, 1 (17). 72 – 80.
9. Medianyuk, V. Y., Netecha, M., & Demchenko, Y. (2015). Integrated production and utilization of mineral resources. *Mining of Mineral Deposits*, 9(1), 93–100.
<https://doi.org/10.15407/mining09.01.093>

АННОТАЦИЯ

Цель. Определение и обоснование способов продления срока эксплуатации хвостохранилищ для обеспечения эффективного функционирования горнообогатительных комбинатов.

Методика исследований. Для достижения поставленных целей в работе использованы аналитические и многочисленные методы определения технологических параметров и режимов работы гидротранспорта хвостохранилищ для обеспечения надежности функционирования предприятия за счет освобождения дополнительного пространства в хранилище.

Результаты исследований. Рассмотрено современное состояние проблемы эксплуатации хранилищ отходов обогащения железорудных комбинатов Кривбасса. На основании чего определено, что устойчивое развитие Криворожского железорудного бассейна невозможно без надежного и эффективного функционирования горнообогатительных комбинатов с надлежащей площадью территорий для складирования отходов обогащения. Практически все хранилища заполнены фактически на 100%.

В работе рассматривается добыча техногенных залежей, сформированных при складировании отходов обогащения в искусственных хранилищах, как инструмент для обеспечения надежности функционирования предприятия за счет освобождения дополнительного пространства в хранилищах. Параметры техногенных месторождений являются главными факторами при определении режимов процессов гидротранспортирования и складирования продуктов переработки минерального сырья, которые выполняются для продления срока эксплуатации хранилищ и восстановления их аккумуляционной способности. Основная идея модернизации технологий гидромеханизации заключается в обосновании направления повторной переработки концентрата, который попадает в отходы обогащения, и оседает на участке пляжа у дамбы обвалования, и последующем складировании новых отходов обогащения.

Научная новизна. На основе установленных зависимостей параметров происходящих процессов при складировании отходов обогащения гидравлическим способом, обоснованы технологические решения по раздельному складированию фракций отходов обогащения. Разрабо-

таны математические модели процессов, происходящих в искусственных хранилищах в процессе их эксплуатации, на основании которых обоснованы перспективные методы восстановления аккумулирующей способности за счет добычи техногенных россыпей и последующего складирования пульпы высокой концентрации.

Практическая значимость. Предложен перспективный алгоритм использования хранилищ отходов обогащения, который предусматривает добычу техногенных залежей на большинстве этапов и рассматривает добычу техногенных залежей не только для получения дополнительного полезного ископаемого, но и как инструмент обеспечения надежности функционирования предприятия за счет освобождения дополнительного пространства в хранилище.

Ключевые слова: искусственные хранилища, аккумулирующая способность, техногенные россыпи.

ABSTRACT

Purpose. Determination and justification of methods to extend the lifecycle of tailings to ensure the efficient operation of mining and processing plants.

Methodology. The analytical and numerous methods for determining the technological parameters and operating modes of the hydraulic transport of the tailing dumps to ensure the reliability of the enterprise operation by freeing up additional space in the storage are used in the work.

Results. The current state of the problem of the waste storage facility operations of the iron ore plants in Kryvbas is considered. On the basis of this, it was determined that the sustainable development of the Kryvyi Rih iron ore basin is impossible without the reliable and efficient functioning of mining and processing plants with an appropriate area of territories for storing processing waste. Almost all storage facilities are almost full up to 100%.

The extraction of man-made deposits formed during the storage of enrichment wastes in artificial storages, as a tool to ensure the reliability of the operation of the enterprise by freeing up additional space in the storage is considered. The parameters of technogenic deposits are the main factors in determining the modes of the processes of hydraulic transport and storage of products of processing mineral raw materials, which are carried out to extend the life of storage facilities and restore their accumulating capacity. The main idea of the modernization of hydraulic mechanization technologies is to justify the direction of re-processing of the concentrate, which ends up in the enrichment waste, and settles on the beach section near the caving dam, and the subsequent storage of new enrichment waste at this place.

Scientific novelty. On the basis of the established dependencies of the parameters of the processes occurring during the storage of enrichment wastes by a hydraulic method, technological solutions for the separate compilation of fractions of enrichment wastes are substantiated. Mathematical models of the processes occurring in artificial storages during their operation have been developed, on the basis of which promising methods for restoring the accumulating capacity due to the extraction of man-made placers and the subsequent storage of high-concentration pulp have been substantiated.

Practical significance. A promising algorithm for the use of enrichment waste storage facilities is proposed, which provides for the extraction of man-made deposits at most stages and considers the extraction of man-made deposits not only as a means of obtaining additional minerals, but also as a tool for ensuring the reliability of the enterprise by freeing up additional space in the storage.

Keywords: artificial storage facilities, accumulating capacity, man-made placers