

© Б.Ю. Собко¹, О.В. Ложніков¹

¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ХВОСТОСХОВИЩА У ВНУТРІШНЬОМУ ВІДВАЛІ КАР'ЄРА НА ПОКАЗНИКИ ПЛОЩІ ВІДНОВЛЕННЯ ПОРУШЕНИХ ЗЕМЕЛЬ

© B. Sobko¹, O. Lozhnikov¹

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

INVESTIGATION OF THE INPIT DUMP TAILINGS INFLUENCE ON THE DISTURBED LANDS USING INDEXES

Мета. Встановлення залежності площі повернення земель новому користувачу при освоєнні обводнених титано-цирконієвих родовищ від року розробки кар'єру.

Методика дослідження. Аналітичний метод досліджень застосовувався для встановлення залежності площі порушених земель, повернених новому землекористувачу при різних технологічних схемах від року розробки родовища. При розрахунку впливу року розробки родовища на обсяг робіт зі спорудження дамб хвостосховища у внутрішньому відвалі кар'єра застосовувався графічний метод досліджень.

Результати досліджень. Отримані результати досліджень впливу відстані між дамбами хвостосховища на обсяг робіт з їх спорудження дозволили встановити, що найменші показники обсягу робіт за п'ятирічний період, досягаються при відстані між дамбами L'_{xx} рівним 250 м і становлять 3,6 млн м³. При встановленні повернутих площ землі, при різних технологічних схемах розробки обводненого титано-цирконієвого родовища з формуванням хвостосховища на поверхні внутрішнього відвалу і використанням гідромеханізованого видобувного комплексу (ГДК) визначена найбільш ефективна схема.

Наукова новизна. Встановлена залежність об'єму робіт зі спорудження дамб хвостосховища V_{CD} від відстані між ними L'_{xx} дозволила визначити, що при збільшенні відстані між дамбами в 6 разів з 50 до 300 м, обсяг робіт з їх спорудження скоротиться в 3,02 рази з 11,5 до 3,8 млн м³. Залежність показника різниці відновлених площ землі, переданих новому землекористувачу ΔS , від року розробки родовища дозволила встановити, що найбільша ефективність схеми з використанням гідромеханізованого видобувного комплексу досягається на 17 році розробки родовища і становить 306 га, в той час як при доопрацюванні кар'єра – 145 га.

Практичне значення. Отримані результати досліджень необхідні для подальших досліджень з оцінки ефективності технологічних схем розробки обводнених титано-цирконієвих родовищ з різними термінами повернення порушених земель новому користувачу.

Ключові слова: відкрита розробка, кар'єр, обводнені родовища, гідромеханізований видобувний комплекс, землекористувач, хвостосховище

Постановка проблеми. Розробка титано-цирконієвих родовищ супроводжується процесом збагачення, який передбачає формування хвостосховищ на спеціально відведених територіях. У разі дефіциту зазначених земель виникає необхідність пошуку нових технологічних рішень цього завдання. Особливої актуальності це питання набуло останнім часом після прийняття законів про ОВНС (оцінка впливу на навколишнє середовище) і Стратегічну екологічну оцінку

(СЕО), тому що їх виконання значно ускладнює отримання нових площ землі для будь-яких видів промислової діяльності в країні.

Одним з найбільш поширених рішень в гірничій практиці при розробці рудних горизонтальних родовищ є розміщення відходів збагачення на поверхні внутрішнього відвалу з дотриманням норм безпеки за умови стійкості гірських порід. В даному випадку хвостосховище може займати велику частину відвалу і збільшувати свою площу в міру посування фронту гірничих робіт. Однак використання даного рішення на довгий час унеможливорює рекультивацію поверхні внутрішнього відвалу і передачу їх новому землекористувачу для лісогосподарської, сільськогосподарської діяльності, розміщення на них сонячних електростанцій та ін.

В якості альтернативної технологічної схеми, яка дозволяє відмовитися від формування хвостосховища при розробці титано-цирконієвих родовищ є запропонована технологія відпрацювання видобувної уступу з використанням гідромеханізованого видобувного комплексу (ГДК) [1]. Перевага даної технологічної схеми полягає в поділі корисної копалини безпосередньо в кар'єрі на основні складові: фракції важких мінералів, піщані і глинисті породи. За рахунок окремого складування вміщуючих порід можлива відмова від формування хвостосховища.

Аналіз основних досліджень по темі роботи. У роботах [1, 2] викладено результати досліджень зі встановлення параметрів роботи плавучого гідромеханізованого видобувного комплексу при відпрацюванні обводнених родовищ титанових руд в Мозамбіку. Однак в роботі мало приділено уваги технології складування відходів збагачення корисних копалин, а також не висвітлено спосіб формування хвостосховищ.

Авторами робіт [3, 4] розглянуті питання інвестиційної привабливості технологічних схем розробки обводнених титано-цирконієвих родовищ. Основна увага в роботах приділяється розрахунку капітальних і експлуатаційних витрат при експлуатації кар'єра. Однак в роботах не досить детально розглянуті питання порівняння схем за критерієм повернення порушених земель новому землекористувачу.

Виконані дослідження з визначення стійкості гірських порід, які знаходяться у відвалах і хвостосховищах гірничого підприємства наведені в роботах [5, 6]. Дані розрахунків можуть бути застосовані при розробці родовищ металів та інших корисних копалин, які потребують збагачення. Основним недоліком роботи є відсутність універсальної методики, яка дозволяє визначати час стабілізації відходів збагачення у хвостосховищі, після чого можуть бути виконані рекультиваційні роботи.

Встановлення невирішених проблем. Як показав аналіз виконаних досліджень, питання визначення ефективності технологічних схем за показником площі земель, переданих новому землекористувачу, є актуальним. Це особливо проявляється в разі, коли при розробці одного родовища можуть застосовуватися різні схеми, в яких порушені території гірничого відводу передаються новому землекористувачу в різний час.

Дані дослідження мають базуватися на обґрунтуванні параметрів хвостосховища при його формуванні на поверхні внутрішнього відвалу і вирішувати відразу кілька питань. В першу чергу це питання параметрів безпеки, які пов'язані зі стійкістю порід, що знаходяться у внутрішньому відвалі, адже на його поверхні будуть складовані десятки мільйонів тонн хвостів збагачення в обводненому стані. До другої – необхідно встановити терміни, за які поверхня відвалів і хвостосховищ стабілізується за фактором усадки порід і обводнення. Отримані результати досліджень необхідні для розрахунку площ земель, переданих новому землекористувачу, в залежності від технології розробки обводненого титано-цирконієвого родовища.

Постановка задач. Для встановлення впливу параметрів хвостосховища, розташованого у внутрішньому відвалі кар'єра, при розробці обводненого титано-цирконієвого родовища, на показники повернення порушених земель новому землекористувачу, необхідно вирішити ряд наступних завдань: 1) встановити вплив відстані між дамбами хвостосховища на їх необхідну кількість і обсяг робіт з їх спорудження; 2) визначити час усадки порід відвалу та термін висихання хвостів збагачення у хвостосховищі; 3) встановити залежність площі повернутих земель новому землекористувачу від року розробки родовища при найбільш ефективних технологічних схемах.

Виклад основного матеріалу. Формування хвостосховищ при розробці титано-цирконієвих родовищ є невід'ємною частиною технологічного процесу функціонування підприємства, оскільки важкі мінерали, що знаходяться в видобувному уступі складають не більше 5% від загального обсягу рудного пласта. Відділення титано-цирконієвих мінералів від вміщуючих порід виконується на збагачувальній фабриці, після чого вони у вигляді відходів розміщуються в хвостосховищі. Оскільки виробнича потужність таких підприємств може досягати 3,0 млн м³ по руді, з яких до 95% після збагачення повинно бути розташоване в хвостосховищі, необхідно детально розглядати всі варіанти складування такого великого обсягу відходів в межах гірничого відводу.

На ранніх етапах розробки родовища, до тих тор поки не сформувалася достатня площа внутрішнього відвалу, хвостосховище розташовується за межами кар'єрного поля і функціонує там протягом 5 – 10 років. Після певного посування фронту гірничих робіт і формування внутрішнього відвалу, з'являється можливість спорудження на його поверхні спеціальних дамб, в межах яких будуть розташовані хвости збагачення.

Важливими параметрами хвостосховища є: висота і ширина дамб, а також відстань між ними. Ці параметри залежать від річного обсягу хвостів збагачення і фізико-механічних властивостей наявних порід. При виконанні досліджень, висота дамби приймалася на рівні 30 м, що на практиці відповідає спорудженню хвостосховищ при роботі збагачувальних фабрик під час розробки типових титано-цирконієвих родовищ [8].

Ширина дамби визначається виходячи за умови стійкості і умови, що дамба формується поярусно з послідовним наповненням хвостосховища. При форму-

ванні первісної дамби висотою 10 м, її ширина становитиме 38 м, після заповнення хвостосховища на висоту дамби, відбувається нарощування дамби до позначки 30 м.

Найбільш важливим при формуванні дамб є обґрунтування раціональної відстані між ними, оскільки від цього параметра буде залежати їх необхідна кількість, а, отже, обсяг робіт зі спорудження. При виконанні досліджень були розглянуті відстані між дамбами хвостосховища в діапазоні від 50 до 300 м. Для визначення ефективної відстані між рядами дамб, необхідно встановити залежність кількості зведення нових дамб від відстані між ними L'_{XX} .

Для встановлення цієї залежності пропонується визначити необхідну кількість рядів дамб, що зводяться в рік відповідно до наступного виразу:

$$N_{XX} = \frac{Q_K \cdot K_W \cdot K_R}{L'_{XX} \cdot H_{XX} \cdot (W_{O.B} - W_{B.R} - 2 \cdot (T_B + (2H_D - H_{XX}) \cdot \text{ctg } \gamma))}, \text{ од./год}, \quad (1)$$

де Q_K – виробнича потужність кар'єру, 2,7, млн м³; K_W – частка порід, що вміщуються в рудному пласті, 95%; K_R – коефіцієнт що враховує наявність води в відходах збагачення у хвостосховищі 1,25, м³/м³; L'_{XX} – відстань між дамбами, м; H_{XX} – висота хвостосховища, 28, м; $W_{O.B}$ – ширина внутрішнього відвалу поверху, 1660 м; $W_{B.R}$ – безпечна відстань між верхньою бровкою укусу відвалу і дамбою хвостосховища, 300, м; T_B – ширина верхньої горизонтальної площадки дамби (транспортна берма), 10, м; H_D – висота дамби, 30, м; γ – кут укусу дамби, 35, град.

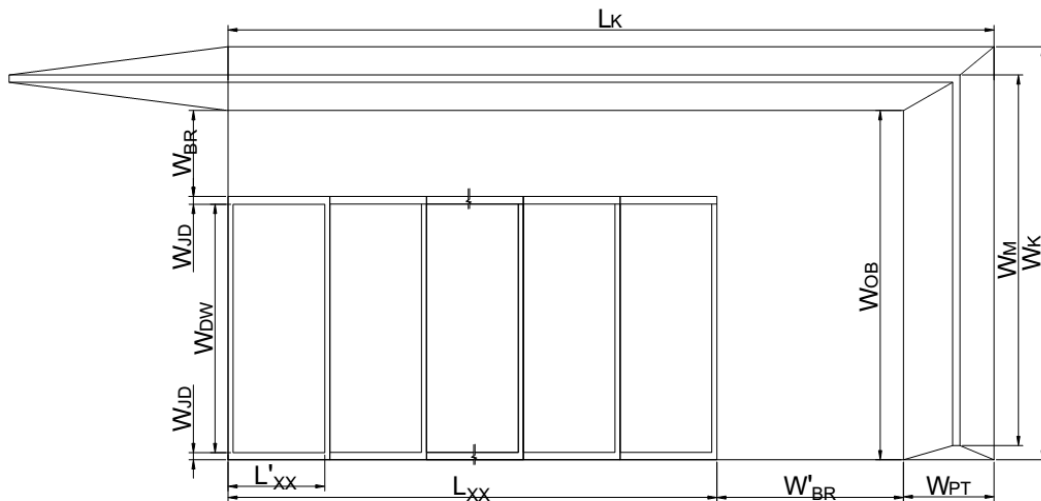


Рис. 1. Схема до визначення залежності обсягу робіт зі спорудження дамб хвостосховища V_{CD} від відстані між їх рядами L'_{XX} : L_K – довжина кар'єра, м; W_K – ширина кар'єра, м; $W'_{B.R}$ – відстань між верхньою бровкою укусу відвалу з боку розрізної траншеї і дамбою хвостосховища, м; W_M – ширина кар'єра внизу, м; W_{RT} – ширина розрізній траншеї, м

При визначенні впливу відстані між дамбами на їх кількість, розглядалася схема, наведена на рис. 1. Встановлена залежність кількості дамб хвостосховища в рік від відстані між ними представлена на рис. 2.

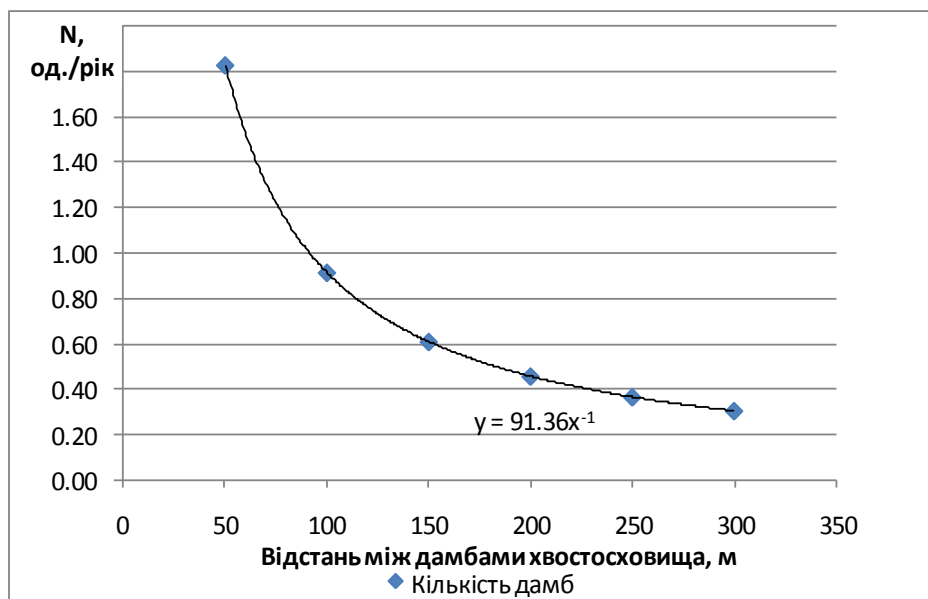


Рис. 2. Вплив відстані між дамбами хвостосховища L'_{XX} на їх необхідну річну кількість N_{XX}

Як видно з графіка (рис. 2), збільшення відстані між дамбами з 50 до 300 метрів, дозволяє знизити їх теоретичну кількість з 1,8 до 0,3 на рік. Оскільки ці значення повинні округлятися в більшу сторону, більш детальні дослідження необхідно проводити за триваліший період розробки родовища.

Після встановлення залежності кількості дамб від ширини між ними виконується розрахунок обсягу робіт зі зведення цих споруд. Даний розрахунок дозволить визначити залежність обсягу будівельних робіт від відстані між дамбами у хвостосховищі L'_{XX} . При виконанні розрахунків використовувався наступний вираз:

$$V_{CD} = N_{JD} \cdot H_{JD} \cdot W_{JD} ((\lceil N_{XX} \rceil + 1)(W_{O,B} - W_{B,R}) + 2L_{XX}), \text{ млн м}^3, \quad (2)$$

де N_{JD} – кількість ярусів дамби хвостосховища, 3; H_{JD} – висота одного ярусу дамби, 10, м; W_{JD} – середня ширина перерізу дамби, 28 м; N_{XX} – кількість дамб зведених за певний період; L_{XX} – довжина хвостосховища, м.

При визначенні залежності обсягу робіт зі спорудження дамб хвостосховища від відстані між ними був прийнятий 5 річний період роботи кар'єру. Результати розрахунку впливу відстані між дамбами на їх необхідну кількість і обсяг робіт з їх спорудження наведені на рис. 3.

Аналіз встановлених залежностей (рис. 3) показує, що за 5 років формування хвостосховища його довжина L_{XX} буде варіюватися в межах 500 – 600 м, при цьому залежність цього показника від відстані між дамбами описується рівнянням четвертого ступеня. Досліджуючи дану залежність можна зробити висновок, що критерій довжини хвостосховища не дозволяє визначити ефективну відстань між дамбами. Однак цей показник дозволяє визначити обсяг робіт зі зведення дамб хвостосховища відповідно до виразу (2).

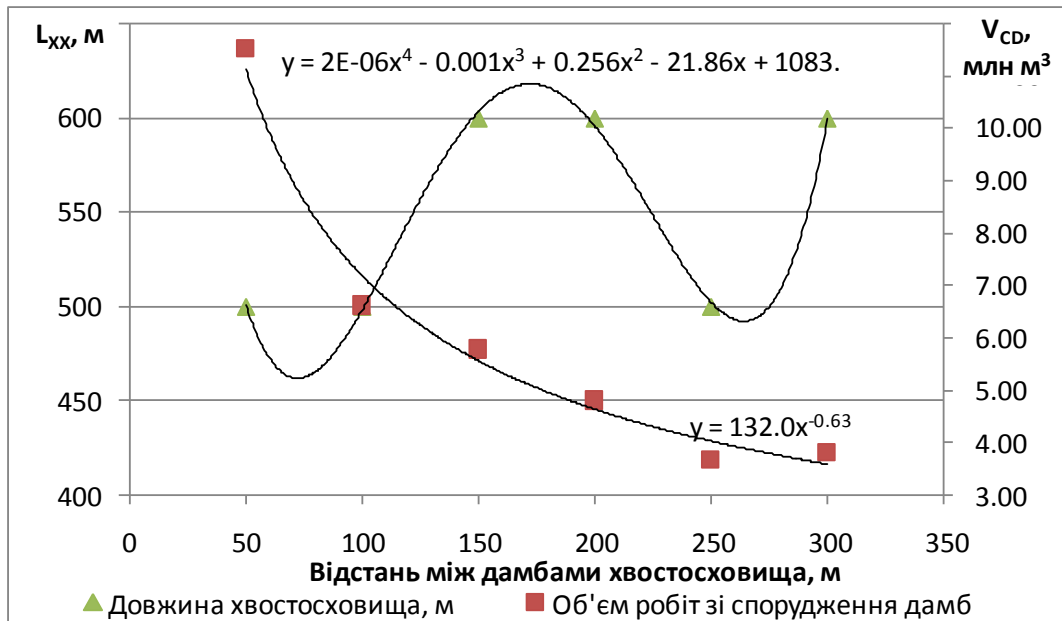


Рис. 3. Залежності довжини хвостосховища L_{XX} і обсягу робіт зі спорудження дамб V_{CD} від відстані між ними L'_{XX} за п'ятирічний період роботи кар'єру

Встановлена залежність обсягу робіт зі спорудження дамб хвостосховища V_{CD} від відстані між їх рядами L'_{XX} дозволяє зробити висновок, що зі збільшенням відстані між дамбами в 6 разів з 50 до 300 м, обсяг робіт з їх спорудження скорочується в 3,02 рази з 11,5 до 3,8 млн m^3 . При цьому слід зазначити, що найменші показники обсягу робіт зі спорудження дамб хвостосховища за 5 років досягаються при відстані між дамбами L'_{XX} рівним 250 м і становлять 3,6 млн m^3 . Це пояснюється тим, що хвостосховище з такою відстанню між дамбами має мінімальну довжину, і розміщує в собі необхідний обсяг відходів збагачувальної фабрики.

Для продовження досліджень зі встановлення впливу параметрів хвостосховища у внутрішньому відвалі кар'єра на показники відновлення порушених земель, виконано порівняння даної технологічної схеми зі схемою, в якій при розробці рудного пласта застосовується ГДК [1].

Під час порівняння двох схем пропонується встановити залежність площі порушених земель, повернутої новому землекористувачу, від року розробки кар'єру. Оскільки в кожній схемі, час, за який землі можуть бути повернуті, різний, через розташування хвостосховища на поверхні внутрішнього відвалу, необхідно провести додаткові дослідження.

В першу чергу встановлюється період часу, за який можливо передати порушені землі новому землекористувачу при технологічній схемі з використанням ГДК. Основним показником, що впливає на час повернення земель внутрішнього відвалу новому землекористувачу є усадка порід, які були розпушені в процесі екскавації з природного стану. Аналіз науково-дослідних робіт з питань рекультивації показав, що різні гірські породи у відвалі мають різний початковий і залишковий коефіцієнт розпушення, тому цю обставину необхідно враховувати при розрахунку показників усадки гірських порід [7]. Для визначення показника

загальної усадки внутрішнього відвалу в умовах розробки обводнених титано-цирконієвих родовищ пропонується використувувати наступний вираз:

$$H_O^y = h_C(K_{PC.H} - K_{PC.O}) + h_K(K_{PK.H} - K_{PK.O}) + h_G(K_{PG.H} - K_{PG.O}) + h_S(K_{PS.H} - K_{PS.O}), \text{ м}^3, \quad (3)$$

де h_C, h_K, h_G, h_S – висота шару гірських порід в природному стані, суглинки, червоно-бурі глини, загіпсовані (сіро-зелені) глини, сарматські піски, відповідно, м; $K_{P.H}$ і $K_{P.O}$ – початковий і залишковий коефіцієнт розпушення гірських порід у відвалі.

Результати розрахунків усадки відвальних порід при розробці титано-цирконієвих родовищ, розглянуті на прикладі кар'єра Мотронівського ГЗК, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Показники розкривних порід в природному стані в гірському масиві і внутрішньому відвалі на прикладі кар'єра Мотронівського ГЗК

Стратиграфія відвалу	Потужність шару в природному стані, м	Коеф. розпушення, початковий	Коеф. розпушення залишковий	Висота ярусу після відсипання, м	Висота ярусу після усадки, м	Величина усадки, м
1. Суглинки, м	2,0	1,2	1,0	2,4	2,1	0,4
2. Червоно-бурі глини, м	25,0	1,3	1,0	31,8	26,1	5,6
3. Загіпсовані глини, м	12,0	1,3	1,1	15,8	12,8	3,1
4. Сарматські піски, м	16,0	1,1	1,0	18,1	16,2	1,9
Загальна потужність, м	55,0			68,1	57,2	10,9

Як видно з отриманих результатів, потужність порід у відвалі після відсипання становить 68,1 м, в той час як після усадки – 57,2 м.

Очевидно, що поки не відбудеться усадка порід у внутрішньому відвалі на 10,9 м, виконання рекультивацийних робіт і передача їх новому землекористувачу є неможливою з причин пов'язаних з технікою безпеки.

Виконані роботи з визначення часу усадки, а також нормативна документація з тимчасових вказівок з гірничотехнічної рекультивації порушених земель дозволяє стверджувати, що залишкове положення породи внутрішнього відвалу займають за один рік після відсипання [7] і описуються графіком, представленим на рис 4.

Більш складним питанням є встановлення періоду часу висихання хвостосховища, після якого його поверхня стане достатньо стійкою для виконання рекультивацийних робіт.

Виконані дослідження показують, що в даний час немає встановленої методики, яка дозволяє з точністю визначити час висихання хвостосховища. Це пов'язано з тим, що кожне хвостосховище представлено різними відходами збагачення, висихання яких може тривати від одного до десятків років. Досвід експлуатації Вільногірського ГМК при розробці і збагаченні титано-цирконієвих руд [8] показує, що відходи збагачення можуть бути рекультивовані через 5 років після формування. У подальших розрахунках приймається термін повернення земель, зайнятих хвостосховищами рівний п'яти рокам (рис. 4).

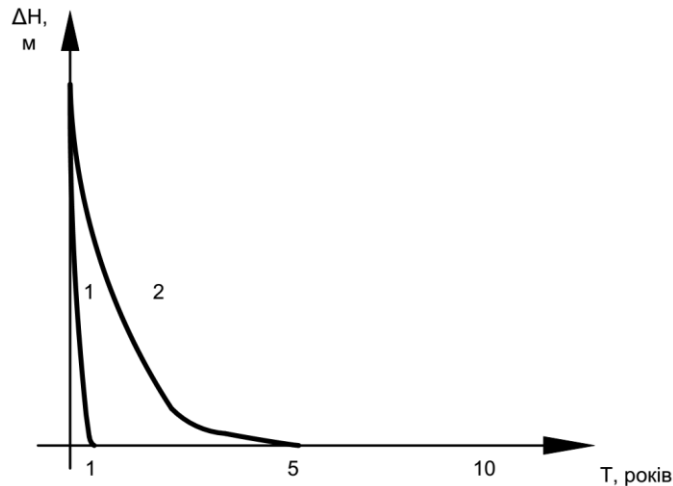


Рис. 4. Залежність усадки порід внутрішнього відвалу (1) і хвостосховища (2) від часу

Для вирішення основного завдання досліджень зі встановлення залежності площі земель, повернутих новому землекористувачу, необхідно встановити динаміку порушення земель і стабілізації поверхні техногенного об'єкту (рис. 4) при розробці кар'єру в часі.

В першу чергу виконується розрахунок площі порушення земель і повернення їх новому землекористувачу при технологічній схемі з використанням ГДК. При вирішенні даного завдання в якості розрахункової також приймається схема, представлена на рис. 1, разом із виразом для визначення площі внутрішнього відвалу:

$$S_{Bi} = W_{O.B} \cdot (W_F \cdot (N_{Ti} - 1) - H_O \cdot ctg \beta), \text{ м}^2, \quad (4)$$

де i – рік розробки родовища; W_F – річне посування фронту гірничих робіт, 180, м; H_O – висота внутрішнього відвалу, 57, м; β – кут укосу борту внутрішнього відвалу, 20, град.; $(N_T - 1)$ – рік розробки родовища з урахуванням усадки відвальних порід.

При встановленні площ земель повернутих новому землекористувачу, при технологічній схемі з формуванням хвостосховища у внутрішньому відвалі кар'єра, необхідно враховувати той фактор, що динаміка збільшення площі хвостос-

ховища по роках буде відставати від динаміки розвитку площі внутрішнього відвалу. Тому спочатку визначається площа хвостосховища, необхідна для розміщення всього обсягу хвостів збагачення. Це дозволить встановити, яка частина внутрішнього відвалу в подальшому буде вільна від розміщення хвостосховища, а ці території можуть бути рекультивовані через один рік після усадки відвальних порід.

Оскільки, на поверхні внутрішнього відвалу знаходяться техногенні об'єкти, які матимуть різні показники часу повернення земель новому користувачу, для розрахунку пропонується визначити площу трьох окремих ділянок, представлених на рис. 5, і скласти їх:

$$S_{Xi} = S_{X1i} + S_{X2i} + S_{X3i}, \text{ м}^2 \quad (5)$$

де $S_{X1i} = W_{BR} \cdot (W_F \cdot (N_{Ti} - 1) - H_O \cdot \text{ctg} \beta), \text{ м}^2, \quad (6)$

$$S_{X2i} = W_{DW} \cdot [N_{XX} \cdot (N_{Ti} - N_{XX1} - T_S - T_{XX1})] \cdot L'_{XX}, \text{ м}^2, \quad (7)$$

де T_S – час на стабілізацію порід хвостосховища, 5, років; N_{XX1} – час від початку розробки кар'єру до формування першого хвостосховища у внутрішньому відвалі при ширині між дамбами 250 м, 5, років; T_{XX1} – час формування першого хвостосховища, 2, роки.

$$\begin{aligned} & (W_F \cdot (N_{Ti} - 1) - L_{XX} - W_{BR} - H_O \cdot \text{ctg} \beta) > 0 \rightarrow \\ \rightarrow & (W_{OB} - W_{BR}) \cdot (W_F \cdot (N_{Ti} - 1) - L_{XX} - W_{BR} - H_O \cdot \text{ctg} \beta) = S_{X3i}, \text{ м}^2, \end{aligned} \quad (8)$$

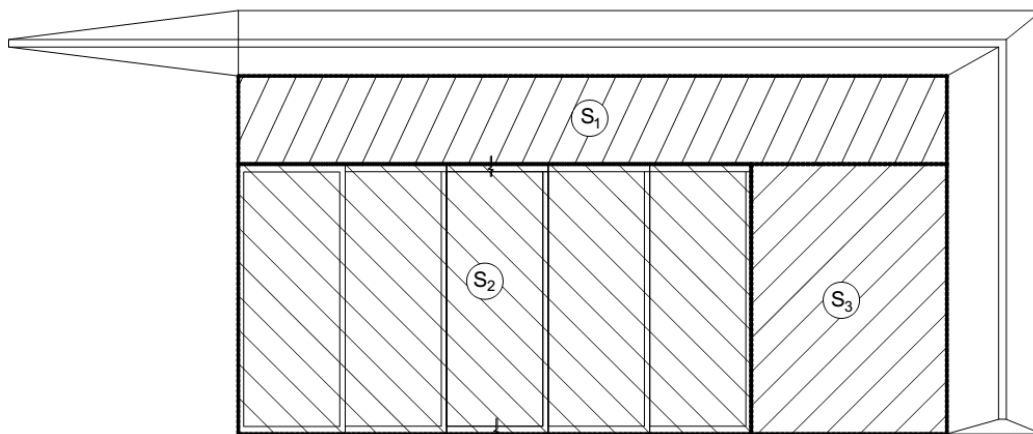


Рис. 5. Схема до визначення площі повернутих земель новому землекористувачу при розробці титано-цирконієвих родовищ: S_1 – площа зайнята смугою безпеки, га; S_2 – площа хвостосховища, га; S_3 – частина відвалу вільна від хвостосховища, га

Згідно з виконаними розрахунками встановлено, що рекультивація поверхні хвостосховища почнеться через 12 років після початку розробки кар'єру, оскільки перше хвостосховище буде заповнюватися протягом двох років після п'ятого року розробки кар'єру. Після цього, згідно з рис. 4, наступні п'ять років породи хвостосховища будуть стабілізуватися.

Результати розрахунків залежності площі повернутих земель новому землекористувачу від часу розробки родовища для технологічних схем з формуванням хвостосховища у внутрішньому відвалі і використанні гідромеханізованого видобувного комплексу наведені на рис. 6.

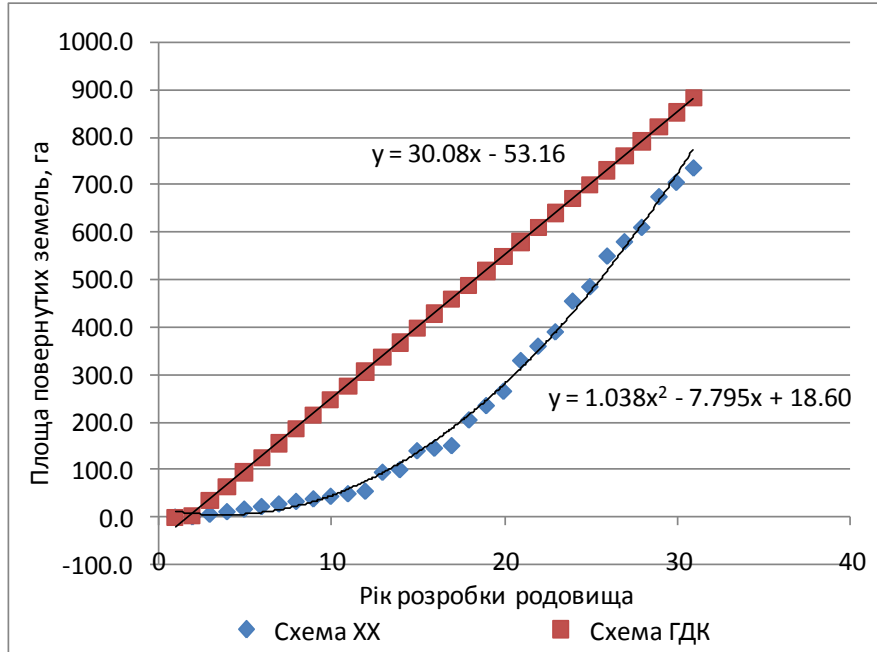


Рис. 6. Залежність площі земель повернутої з гірничої промисловості новому землекористувачу від року розробки кар'єру

З графіків, представлених на рис. 6, видно, що при використанні ГДК, площа повернення порушених земель має лінійну залежність від року розробки кар'єру, яка описується рівнянням $y = 30,08x - 53,16$. У той же час залежність цих показників при технологічній схемі з розміщенням хвостосховища у внутрішньому відвалі, описується рівнянням другого ступеня $y = 1,038x^2 - 7,795x + 18,60$. Це пояснюється тим, що довгий час частина території внутрішнього відвалу не може бути повернута новому землекористувачу в повній мірі через наявність хвостосховища.

Для більш детального аналізу технологічних схем за критерієм повернення порушених земель для різни схем розробки, виконані додаткові дослідження зі встановлення різниці цих показників відповідно до наступного виразу:

$$\Delta S_i = S_{Bi} - S_{Xi}, \text{ м}^2. \quad (9)$$

Результати виконаних досліджень зі встановлення різниці між показниками площі земель, повернених новому землекористувачу, при двох технологічних схемах, наведені на рис. 7.

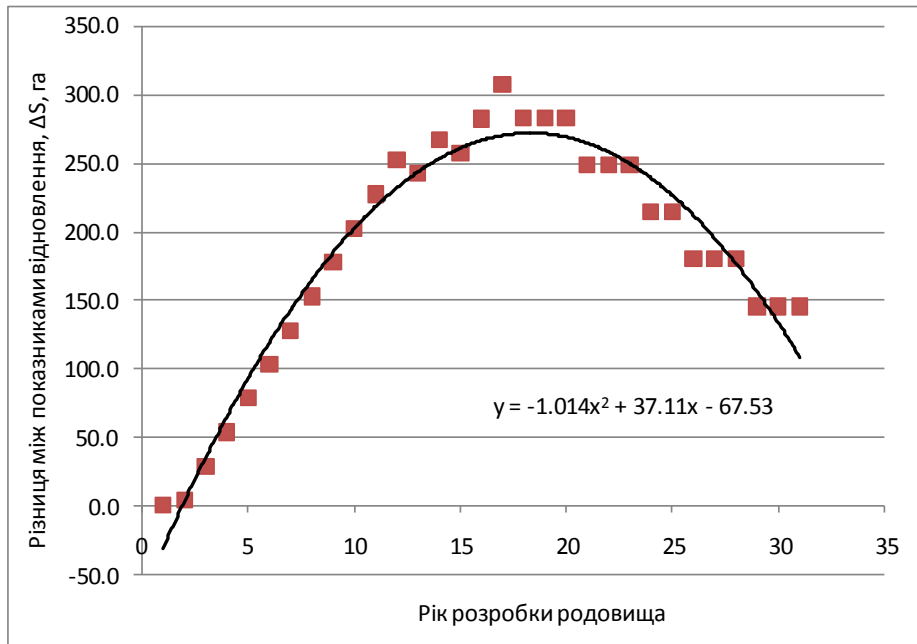


Рис. 7. Залежність показника різниці площі земель повернутих новому землекористувачу ΔS при різних технологічних схемах від року розробки родовища

Як видно з отриманих графіків залежностей (рис. 6) найбільша різниця між площами повернутих земель спостерігається з 15 по 20 рік розробки родовища і досягає 306 га на 17 рік роботи кар'єра. Це пояснюється тим, що в технологічній схемі з формуванням хвостосховища, період повернення найбільшої ділянки внутрішнього відвалу, на якому знаходяться хвости збагачення, починається з 12 року. При доопрацюванні кар'єра, різниця в площах повернутих земель становитиме 145 га. Це пояснюється тим, що на момент закінчення гірничих робіт, буде сформовано останнє хвостосховище, яке рекультивується через 5 років після висихання його вмісту.

Отримані залежності необхідні для подальших досліджень встановлення інвестиційної привабливості технологічних схем розробки обводнених родовищ, з урахуванням показника повернення порушених земель новому землекористувачу.

Висновки. Виконані дослідження з визначення впливу відстані між дамбами хвостосховища на їх необхідну кількість, дозволили встановити залежність обсягу робіт зі спорудження дамб хвостосховища V_{CD} від відстані між ними L'_{xx} . Відповідно до цієї залежності при збільшенні відстані між дамбами в 6 разів з 50 до 300 м, обсяг робіт зі спорудження дамб скорочується в 3,02 рази з 11,5 до 3,8 млн м³. На підставі отриманих результатів встановлено, що найменші показники обсягу робіт зі спорудження дамб хвостосховища за п'ять років досягаються при відстані між рядами дамб L'_{xx} рівним 250 м і становлять 3,6 млн м³.

При визначенні залежності площі повернення порушених земель новому землекористувачу від року розробки родовища встановлено час усадки порід внутрішнього відвалу і термін висихання хвостів збагачення у хвостосховищі. Згідно зі встановленими даними, землі внутрішнього відвалу можна рекультивувати через один рік після їх усадки, в той час як для стабілізації порід хвостосховища необхідно 5 років.

Встановлена залежність площі землі повернутої новому землекористувачу від року розробки кар'єру при різних технологічних схемах дозволила визначити, що ефективність схеми із застосуванням ГДК спостерігається протягом усього терміну експлуатації кар'єра. При цьому найбільша ефективність даної технологічної схеми досягається на 17 році розробки родовища, а різниця площі відновлених земель ΔS становить 306 га.

Перелік посилань

1. Vercruijse, P., van Muijen, H., & Verichev, S. (2011, January). Dredging technology for deep sea mining operations. In *Offshore Technology Conference*. Offshore Technology Conference. doi:10.4043/21559-ms
2. Wehlitz, C. (2012). Moma Mineral Sands-marine jetty upgrade: international: Mozambique. *Civil Engineering= Siviele Ingenieurswese*, 26-29.
3. Собко, Б.Ю., & Ложніков, О.В. (2019) Визначення ефективності технології розробки обводнених розсипних руд з розділенням порід на плавучій збагачувальній фабриці. *Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва*, 23, 75-84. doi:10.30929/2074-1537.2019.1.75-84
4. Собко, Б.Ю., & Ложніков, О.В. (2019) Вплив фактора використання порушених земель на інвестиційну оцінку технологічних схем розробки титан-цирконієвих родовищ. *Збірник наукових праць НГУ*, 58, 8-21. doi:10.33271/crpnmu/58.008
5. Li, Q.M., Yuan, H.N., & Zhong, M.H. (2015) Safety assessment of waste rock dump built on existing tailings ponds. *Journal of Central South University*, 22(7), 2707-2718. doi:10.1007/s11771-015-2801-6
6. Sitharam, T. G., & Hegde, A. (2017) Stability analysis of rock-fill tailing dam: an Indian case study. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 11(4), 332-342. doi:10.1080/19386362.2016.1221574
7. ОНТП 18-85 Загальносоюзні норми технологічного проектування підприємств нерудних будівельних матеріалів (1985)
8. Лазников, А.М., Собко, Б.Е., & Краснопер, В.П. (2010). К вопросу выбора рациональных землесберегающих технологических схем разработки россыпных титано-циркониевых руд. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, 35 (1), 39-43.

АННОТАЦИЯ

Цель. Установление зависимости площади восстановления нарушенных земель при разработке обводненных титано-циркониевых месторождений от года разработки карьера.

Методика исследования. Аналитический метод исследований применялся для установления зависимости площади нарушенных земель, возвращенных новому землепользователю при различных технологических схемах от года разработки месторождения. При расчете влияния года разработки месторождения на объем работ по сооружению дамб хвостохранилища во внутреннем отвале карьера применялся графический метод исследований.

Результаты исследования. Полученные результаты исследований влияния расстояния между дамб хвостохранилища на объем работ по их сооружению позволили установить, что наименьшие показатели объема работ по сооружению дамб за пятилетний период, достигаются при расстоянии между дамбами L'_{xx} равным 250 м и составляют 3,6 млн м³. Во время установления площадей восстановленных земель, переданных новому землепользователю, при различных технологических схемах разработки обводненного титано-циркониевого ме-

сторождения с формированием хвостохранилища на поверхности внутреннего отвала и использованием гидромеханизированного добычного комплекса, определена наиболее эффективная схема.

Научная новизна. Установленная зависимость объема работ по сооружению дамб хвостохранилища V_{CD} от расстояния между ними L'_{XX} позволила определить, что увеличению расстояния между дамбами в 6 раз с 50 до 300 м, объем работ по их сооружению сокращается в 3,02 раза с 11,5 до 3,8 млн м³. Зависимость показателя разности восстановленных площадей земли, переданных новому землепользователю ΔS от года разработки месторождения, позволила установить, что наибольшая эффективность схемы с гидромеханизированным добычным комплексом достигается на 17 году разработки месторождения и составляет 306 га, в то время как при доработке карьера – 145 га.

Практическое значение. Полученные результаты исследований необходимы для дальнейших исследований по оценке эффективности технологических схем разработки обводненных титаноциркониевых месторождений с различными сроками восстановления земель внутреннего отвала.

Ключевые слова: *открытая разработка, карьер, обводненные месторождения, гидромеханизированный добычный комплекс, землепользователь, хвостохранилище*

ABSTRACT

Purpose. Determine the dependence of disturbed lands restoration at the development of flooded titanium-zirconium deposits from the pit exploitation year.

Research methodology. The analytical research method was used to establish the dependence of the disturbed lands area returned to the new land user under various technological schemes from the year of deposits development. During calculating the influence of the deposit development year on the volume of mining work at the tailings dams construction in the pit internal dump the graphic research method was used.

The results. The study's results of the distance between the tailings dams influence on the mining work volume at the construction made it possible to establish that the smallest indicators of the dams construction work volume for a five-year period are achieved with a distance between dams L'_{XX} 250 m and amount to 3.6 million m³. When establishing the restored land areas transferred to a new land user, by the various technological schemes for developing an irrigated titanium-zirconium deposit with the formation of a tailing dump on the internal dump surface and using a hydromechanized mining complex, the most efficient scheme was determined.

Scientific novelty. The established dependence of the dams construction work volume of tailing dump V_{CD} on the distance between it L'_{XX} made it possible to determine that an increase of the distance between the dams in 6 times from 50 to 300 m, the construction work volume will be reduced by 3.02 times from 11.5 to 3.8 million m³. The dependence of the area difference index of the restored land transferred to the new land user ΔS from the deposit development year made it possible to establish that the highest efficiency of the scheme with a hydro-mechanized mining complex is achieved at the year 17 of the pit development and amounts to 306 hectares, while during the pit completion – 145 hectares.

Practical value. The obtained research results are necessary for further studies to assess the effectiveness of technological schemes at the flooded titanium-zirconium deposits development with different periods of land dump restoration.

Keywords: *surface mining, pit, flooded deposits, hydromechanized mining complex, land user, tailing dump*