**ВСТАНОВЛЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ
ТИМЧАСОВОГО СКЛАДУ РУДНИХ ПІСКІВ
ПРИ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН ЗЕМСНАРЯДАМИ**

Б. Ю. Собко, О. В. Ложніков

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
просп. Д. Яворницького, 19, м. Дніпро, 49005, Україна.

E-mail: oleksii.lozhnikov@gmail.com

Встановлено динаміку заповнення тимчасового складу гідросумішшю різною щільністю при розробці обводненого титано-цирконієвого родовища при різних обсягах водозабору. Визначено вплив продуктивності земснарядів на заповнення тимчасового рудного складу, на підставі якого встановлено термін його використання. При встановленні впливу довжини рудного складу на час його заповнення врахований фактор заповнення гідросумішшю з різним складом. Встановлена залежність, часу заповнення тимчасового рудного складу від продуктивності земснаряда, дозволила визначити вплив збільшення годинного видобутку рудного піску на прямопропорційне зменшення терміну використання рудного складу. При цьому істотний вплив на динаміку заповнення рудного складу мають показники розходу добового водозабору. З його збільшенням в 1,8 раз з 50 до 90%, час заповнення рудного складу гідросумішшю збільшується в 1,67 разів при будь-якому з розглянутих обсягів резервуара.

Ключові слова: відкрита розробка, кар'єр, рудний склад, земснаряд, гідросуміш, водозабір.

**УСТАНОВЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ
ВРЕМЕННОГО СКЛАДА РУДНЫХ ПЕСКОВ
ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ЗЕМСНАРЯДАМИ**

Б. Е. Собко, А. В. Ложников

Национальный технический университет «Днепропетровская политехника»
просп. Д. Яворницкого, г. Днепр, 49005, Украина.

E-mail: oleksii.lozhnikov@gmail.com

Установлена динамика заполнения временного склада гидросмесью различной плотности при разработке обводненного титано-циркониевого месторождения при различных объемах водозабора. Определено влияние производительности земснарядов на заполнение временного рудного склада, на основании которого установлен срок его службы. При установлении влияния длины рудного склада на время его заполнения учтен фактор заполнения гидросмесью с различным составом. Установленная зависимость времени заполнения временного рудного склада от производительности земснаряда позволила определить, что увеличение часовой добычи рудного песка приводит к прямопропорциональному уменьшению его срока службы. При этом существенное влияние на динамику заполнения рудного склада оказывают показатели суточного расхода водозабора. С его увеличением в 1,8 раз с 50 до 90 %, время заполнения рудного склада

гидросмесью увеличивается в 1,67 раз при любом, из рассмотренных объемов склада.

Ключевые слова: открытая разработка, карьер, рудный склад, земснаряд, гидросмесь, водозабор.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Під час розробки обводнених розсипних родовищ з використанням гідромеханізованого способу на ранніх етапах експлуатації кар'єру, або під час підготовчих робіт, коли ще не завершено спорудження збагачувальної фабрики, допускається формування тимчасових рудних складів у виробленому просторі кар'єру з їх подальшим повторним відпрацюванням [1]. Актуальність вирішення даного завдання полягає в тому, що це питання раніше детально не розглядалось через обмежене застосування технологічної схеми, яка передбачає тимчасове розміщення складу рудних пісків в межах гірничого відводу [2].

Рішення даного завдання вельми актуально в умовах розробки нового кар'єра Мотронівського ГЗК з видобутку титано-цирконієвих руд, оскільки фронт початкових видобувних робіт вже сформований і виїмка корисної копалини повинна проводитися згідно з проектом розробки. Однак будівництво збагачувальної фабрики ще не завершено, тому добуту руду доцільно розміщувати в тимчасовий склад, який формуються гідротранспортом в спеціально відведеному місці на незначній відстані від збагачувальної фабрики.

Через високу виробничу потужність кар'єру Мотронівського ГЗК, яка становить 2,7 млн м³ руди, організація тимчасового складування таких обсягів корисної копалини є важливим завданням для забезпечення функціонування великого гірничодобувного підприємства [3]. У зв'язку з цим необхідно виконати ряд досліджень зі встановлення впливу продуктивності кар'єра на необхідні параметри тимчасового складу рудних пісків, що дозволить визначити ефективні параметри тимчасового складу, до яких відноситься: площа, глибина і термін служби [4].

Виконаний аналіз науково-дослідних робіт з питання формування тимчасових рудних складів в межах гірничого відводу показує недостатній ступінь вивченості питання [5]. У більшості робіт автори розглядають формування бідних руд розсипних родовищ в хвостосховища, які в подальшому можуть бути розроблені, як техногенна сировина.

В роботах [6, 7] розглядається питання формування хвостосховищ рідкісних металів і необхідність, повторної розробки вже наявних техногенних родовищ. Однак в роботі велику увагу приділяється не вибору ефективних параметрів хвостосховищ, які в подальшому можуть повторно відроблятися, а розробці технологічних рішень з метою вилучення цінних мінералів і очищення забруднених ними вод.

Дослідження, виконані в роботах [8, 9] присвячені питанням електрокінетичного осушення рудних хвостосховищ при розробці родовищ металів. Дані дослідження є актуальними з позиції додаткового осушення рудних складів і хвостосховищ, які намиваються гідравлічним способом. Недоліком технології є необхідність потужного джерела енергії для виконання осушення хвостосховища, що може бути недоступно на кар'єрах, віддалених від центральної електромережі.

Автори роботи [10] основну увагу приділили розробці сталого підходу до забезпечення функціонування хвостосховищ. У роботі розглядаються питання формування безпечних хвостосховищ в контексті майбутніх викликів, які передбачають розробку родовищ з більш бідними рудами. Однак в роботі не розглянуто питання вибору безпечних параметрів і технологічних рішень при формуванні тимчасових рудних складів.

Як показує аналіз виконаних досліджень, питання формування тимчасових рудних складів практично не відображено в сучасних дослідженнях, незважаючи на існуючий інтерес до вирішення завдань при освоєнні обводнених титаноцирконієвих родовищ. У зв'язку з цим виникає необхідність виконання досліджень, які дозволять розробити рекомендації щодо вибору ефективних параметрів тимчасових рудних складів в межах гірничого відводу.

Під час встановлення ефективних параметрів тимчасового рудного складу, для складування корисних копалин, необхідно визначити вплив продуктивності видобувних земснарядів на час заповнення складів з урахуванням їх параметрів. Досягнення поставленої мети може бути реалізовано шляхом вирішення наступних завдань: встановити залежність часу заповнення резервуара тимчасового рудного складу від його параметрів; визначити вплив продуктивності земснарядів на заповнення тимчасового рудного складу; встановити динаміку заповнення тимчасового складу рудним піском та гідросумішшю в часі; визначити вплив водозабору з рудного складу на час його безперебійної роботи. Отримані результати дозволять розробити рекомендації щодо вибору параметрів тимчасового рудного складу в залежності від виробничої потужності кар'єру.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Вибір ефективних параметрів тимчасового рудного складу для зберігання в ньому корисних копалин в першу чергу залежить від обґрунтованого співвідношення приймальної ємності складу з виробничою потужністю кар'єра. У тому випадку, коли параметри тимчасового складу будуть занадто великі, площа займана ним буде використовуватися з низькою ефективністю, а витрати на його спорудження будуть завищені. У той же час недостатній обсяг рудного складу буде негативно позначатися на продуктивності підприємства, оскільки через його швидке наповнення, виникне потреба у спорудженні другого складу.

В першу чергу необхідно встановити ефективні параметри тимчасового рудного складу за показником часу заповнення його гідросумішшю і рудним піском. У раніше виконаних роботах [3] була встановлена продуктивність земснаряда ЗМД-200-50л по гідросуміші та гірській масі для піщаних і глинистих порід. Для виконання розрахунків приймалися наступні значення: продуктивність з видобутку корисних копалин з вміщувачими піщаними породами – 281 м³/год. (концентрація гідросуміші (за об'ємом) Т:Р = 1:7), з глинистими вміщувачими породами – 89 м³/год. (концентрація гідросуміші Т:Р = 1:22); ширина складу – 200 м, глибина – 10 м, довжина від 100 до 400 м; кути укосів тимчасового складу – 27 град.; кількість робочих годин на добу – 20.

Для визначення залежності часу заповнення рудного складу гідросумішшю, гірничою масою, а також площі складу від його довжини, при постійній продуктивності земснаряда, скористаємося запропонованими виразами:

$$T_{F.S.n} = \frac{V_s}{Q_{Dn} \cdot T_{SH}}, \text{доб.}, \quad (1)$$

$$V_s = (W_s + 0,5 \cdot H_s \cdot ctg\gamma) \cdot (L_s + 0,5 \cdot H_s \cdot ctg\gamma) \cdot H_s, \text{ м}^3, \quad (2)$$

$$S_s = (W_s + 2 \cdot H_s \cdot ctg\gamma) \cdot (L_s + 2 \cdot H_s \cdot ctg\gamma), \text{ м}^2, \quad (3)$$

де V_s – обсяг складу, м^3 ; Q_D – продуктивність земснаряда, $\text{м}^3/\text{год}$; n – концентрація гідросуміші Т:Р (за об'ємом); T_{SH} – кількість робочих годин на добу; W_s – ширина складу, м; H_s – глибина складу, м; L_s – довжина складу, м.

Результати розрахунків часу заповнення рудного складу гідросумішшю з різною концентрацією Т:Р (за об'ємом), а також важкими мінералами, що знаходяться в різних вміщаючих породах (піщаних і глинистих), представлений на рис. 1.

Рисунок 1 – Вплив довжини рудного складу на час його заповнення гідросумішшю з різною концентрацією Т:Р (за об'ємом) і важкими мінералами, що знаходяться в вміщаючих піщаних і глинистих породах

Встановлені залежності (рис. 1) дозволяють зробити висновок, що заповнення рудного складу гідросумішшю з різною концентрацією Т:Р (за об'ємом), яка залежить від вмісту піщаних і глинистих порід в рудному пласті, відбувається практично з однаковою швидкістю. У той же час заповнення тимчасового складу корисними копалинами з вміщаючими глинистими породами відбувається в 3,15 разів повільніше, ніж піщаними. Це пояснюється різною концентрацією корисних копалин в гідросуміші Т:Р (за об'ємом), і може змінюватися від 1:7 до 1:22 в залежності від складу вміщаючих порід.

Наступним етапом досліджень є встановлення впливу продуктивності земснаряда на час заповнення рудного складу гірською масою. При встановленні цієї

залежності розглядався діапазон продуктивності земснаряда від 50 до 350 м³/год. по рудному піску. При цьому параметри рудного складу були постійними: ширина – 200 м; довжина приймалася рівною 100 м, 250 м і 400 м, а обсяг був визначений раніше (рис. 1). Для встановлення необхідної залежності, використовувався вираз (1). Результати виконаних досліджень наведені на рис. 2.

Рисунок 2 – Час заповнення складу рудним піском в залежності від продуктивності земснаряда

Залежність часу заповнення рудного складу від продуктивності земснаряда, представлена на рис. 2, описується рівнянням мінус першого ступеня. При збільшенні продуктивності земснаряда з 50 до 350 м³/год. по рудному піску, термін служби рудного складу зменшиться з 262 до 37 днів при обсязі складу – 263 тис. м³, а при обсязі - 922 тис. м³ термін служби скоротиться з 921 до 131 дні. Отже, отримані закономірності дозволяють зробити попередній вибір параметрів тимчасового рудного складу в межах гірничого відводу в залежності від виробничої потужності кар'єру, вільної площі під рудний склад, а також наявності піщаних і глинистих порід в рудному пласті.

Для більш детального аналізу впливу продуктивності земснарядів на параметри рудного складу необхідно розглянути вплив вмісту води в гідросуміші на параметри заповнення ємності складу. Як було встановлено раніше, вода становить від 95 до 85% гідросуміші в залежності від виду матеріалу, що транспортується. Отже, заповнення рудного складу водою буде здійснюватися набагато швидше, ніж гірничою масою, тому забезпечення водозабору води з рудного складу є невід'ємною умовою його функціонування.

Раніше виконані дослідження зі встановлення залежності часу заповнення рудного складу від продуктивності земснаряда по ґрунту (рис. 2) є важливими для подальшого визначення необхідних параметрів рудного складу. Однак, оскі-

Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. Випуск 2/2019(24).

льки виконані дослідження не враховують продуктивність земснаряда по гідросуміші, під час заповнення рудного складу, у подальшому виникнуть проблеми з розміщенням надмірного обсягу води, що міститься в гідросуміші.

Для вирішення цього завдання необхідно змоделювати процес заповнення рудного складу гідросумішшю, в якій містяться рудні піски. В якості постійних вихідних даних приймаються наступні параметри: довжина рудного складу – 250 м, ширина – 200 м, обсяг рудного складу – 592 тис. м³; кількість годин роботи на добу – 20 год. Під час виконання завдання, змінним параметром розглядався водозабір технічної води з рудного складу за добу. При виконанні розрахунку, величина добового водозбору з рудного складу приймалася в діапазоні 50 – 90 % від загального обсягу води в гідросуміші.

Згідно з вихідними даними встановлена залежність заповнення рудного складу гідросумішшю і рудним піском від часу протягом 72 годин при витраті водозбору зі складу 50%, 70% і 90%. Слід зазначити, що під час визначення обсягу заповнення складу гідросумішшю прийняті наступні умови: склад заповнюється гідросумішшю протягом 20 годин на добу; наступні 4 години відбувається водозбір з різними показниками витрати; в подальшому процес повторюється і описується зигзагоподібною кривою на графіку (рис. 3).

Рисунок 3 – Заповнення складу рудою та гідросумішшю протягом 72 годин

Як видно з графіків, представлених на рис. 3, показники витрати водозбору води з рудного складу істотно впливають на терміни заповнення виробки. Це в свою чергу впливає на термін існування рудного складу і необхідність коригування його об'єму. Згідно зі встановленими залежностями за три доби середньозважений обсяг гідросуміші в рудному складі буде перевищувати в 2,4, 3,1 і 3,3 рази обсяг рудних пісків, в залежності від водозбору технічної води з рудного складу – 90%, 70% і 50%, відповідно.

Оскільки заповнення складу рудним піском відбувається значно повільніше, ніж гідросумішшю в певний момент часу складування рудних пісків буде проблематичним через заповнення складу водою. Для визначення часу заповнення складу гідросумішшю і рудним піском пропонується розглядати функції, отримані при встановленні залежностей (рис. 3) і попередньо встановлені об'єми рудних складів $263\ 000\ \text{м}^3$, $592\ 000\ \text{м}^3$ і $922\ 000\ \text{м}^3$, які відповідають їх довжині 100, 250 і 400 м.

Для вирішення даного завдання вирішимо систему рівнянь, в якій буде використано ряд функцій, що описують процес заповнення рудного складу гідросумішшю з урахуванням водозабору технічної води зі складу – 50%, 70% і 90%, відповідно:

$$\begin{cases} y = V_s \\ y = 592.18x + 14017 \end{cases} ; \begin{cases} y = V_s \\ y = 495.98x + 13728 \end{cases} ; \begin{cases} y = V_s \\ y = 352.77x + 14194 \end{cases}, \text{ год. (4)}$$

При цьому час заповнення складу рудним піском визначається виходячи з наступної системи рівнянь:

$$\begin{cases} y = V_s \\ y = 235.97x + 401.43 \end{cases}, \text{ год. (5)}$$

де V_s – обсяг рудного складу, м^3 .

Після рішення системи рівнянь (4) і (5), була встановлена залежність часу заповнення складу гідросумішшю і рудним піском від водозабору технічної води рис. 4.

Рисунок 4 – Вплив добової витрати водозабору з рудного складу на час його заповнення гідросумішшю, а також вплив обсягу рудного складу (V_s) на час його заповнення рудним піском

На підставі отриманих закономірностей можна вирішити поставлене завдання з визначення режиму наповнення рудного складу гідросумішшю, що дозволить встановити час його безперервної роботи. Як було встановлено раніше, проблема його наповнення гідросумішшю виникне в той момент, коли можливостей природного водозабору буде недостатньо, отже, необхідно буде збільшувати час між змінами для досягнення необхідної витрати водозабору. Згідно з графіком залежностей (рис. 5) встановимо час заповнення рудного складу об'ємом 592 000 м³ гідросумішшю і корисною копалиною при витраті водозабору від 50 до 90 %.

Рисунок 5 – Встановлення часу заповнення складу об'ємом 592 тис. м³ гідросумішшю і рудним піском при добовому водозаборі від 50 до 90%

Як видно з графіків залежностей, отриманих на рис. 5, в першу чергу рудний склад заповниться при водозаборі 50%. Це відбудеться протягом 41 дня, в той час як теоретичне час заповнення складу рудним піском складе 105 днів. В результаті цього на 42 день рудний склад не зможе функціонувати в стандартному режимі, в наслідок чого виникне необхідність у збільшенні часу між змінами для необхідного осушення. Тому заповнення складу рудним піском відбуватиметься значно довше ніж 105 днів. У цей час для стабільної роботи підприємства необхідне спорудження другого складу, який зможе компенсувати потребу в додаткових обсягах для складування рудних пісків.

При цьому найбільший безперервний термін роботи рудного складу зафіксований при 90% витраті водозабору води з нього, який складає 68 днів. Проте, після закінчення цього терміну також необхідне буде залучення до використання додаткового рудного складу.

Результати отриманих досліджень необхідні для проведення подальших досліджень при плануванні роботи рудного складу і вибору його ефективних параметрів під час розробки обводнених титано-цирконієвих родовищ.

ВИСНОВКИ. При визначенні впливу продуктивності земснарядів на заповнення тимчасового рудного складу було встановлено, що зі збільшенням продуктивності земснаряда з 50 до 350 м³ / год. по рудному піску, термін служби рудного складу зменшиться з 262 до 37 днів при обсязі складу - 263 тис. м³, в той час як при обсязі складу 922 тис. м³ термін служби скоротиться з 921 до 131 дня.

Встановлена динаміка заповнення складу рудою та гідросумішшю в часі, при різних показниках витрати водозабору з рудного складу, показує, що зі збільшенням добової витрати водозабору в 1,8 раз з 50 до 90%, час заповнення складу гідросумішшю збільшується в 1,67 разів при будь-якому з розглянутих обсягів рудного складу. У той же час аналіз графіків функції заповнення рудного складу гідросумішшю і рудним піском показує, що найбільш короткий безперервний термін використання рудного складу встановленого об'єму буде при 50% витраті водозабору і складе 41 день, в той час як найбільш тривалою буде робота рудного складу при 90% витраті водозабору – 68 днів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Собко Б. Ю., Гайдін А. М., Лазніков О. М. Розробка обводнених родовищ титанових руд. Дніпро: Літограф, 2016. 216 с.
2. Радченко С. А. Особенности формирования внутреннего гидроотвала на насыпном основании. *Горный информационно-аналитический бюлетьень*. 2004. Вип. 7. С. 167–171.
3. Собко Б. Ю., Ложніков О. В. Встановлення параметрів гірничотранспортного комплексу кар'єра при розробці обводнених родовищ з використанням земснарядів. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2018. Вип. № 6 (113). С. 51–58.
4. Chalov S. R. et al. Formation of the sediment yield in areas of mining of placer deposits. *Geography and Natural Resources*. 2015. T. 36. №. 2. pp. 124–131.
5. Cronan D. S. Tin Placer Deposits on Continental Shelves. *Handbook of Marine Mineral Deposits*. Routledge. 2017. pp. 41–80.
6. Wang, C., Harbottle, D., Liu, Q., & Xu, Z. Current state of fine mineral tailings treatment: A critical review on theory and practice. *Minerals Engineering*, 2014. No. 58, pp. 113–131.
7. Ombiro S., Komu, J. Mineral sand handling: Kwale mineral sand equipment selection. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*. 2016. Vol. 7, № 3. pp. 265–280.
8. Lee, J. K., Shang, J. Q., & Xu, Y. Electrokinetic Dewatering of Mine Tailing Using DSA Electrodes. *Int. J. Electrochem. Sci.* 2016. Vol. 11(5), pp. 4149–4160.
9. Padmalal, D., Maya, K. Sand mining: environmental impacts and selected case studies. *Technology & Engineering*. Springer. 2014, 162 p.
10. Adiansyah J. S., Rosano M., Vink S., Keir G. A framework for a sustainable approach to mine tailings management: disposal strategies. *Journal of cleaner production*. 2015. Vol. 108, pp. 1050–1062.

**DETERMINATION THE TEMPORARY ORE HYDRO STORE
EFFECTIVENESS PARAMETERS AT THE DREDGER MINING**

B. Sobko, O. Lozhnikov

Dnipro University of Technology

prosp. D. Yavornitskogo, 19, Dnipro, 49005, Ukraine.

E-mail: oleksii.lozhnikov@gmail.com

Purpose. To determine the effectiveness parameters of the temporary storage of titanium-zirconium ores in the conditions of flooded pit development with a hydromechanical complex. **Methodology.** The analytical research method was used to establish the dependence of the ore storage volume on the time of its filling, taking into account various indicators of water supply point in time. To establish the effect of the water flow rate intake from the ore store on its service life a graphical research method was used. **Results.** The dynamics of filling a temporary store with a hydraulic mixture of various densities was established during the development of flooded titanium-zirconium deposit at various volumes of water intake. The influence of dredger productivity on filling a temporary ore store, on the basis of which its service life is established, is determined. During establishing the influence of the ore store length on its volume, the factor of filling the store with a rock mass that have various physical and mechanical properties was taken into account. **Originality.** The dependence of the filling the temporary ore store time on the productivity of the dredger made it possible to determine that an increase of ore sand hourly output leads to a directly proportional decrease of the ore store service life. At the same time, the indicators of daily intake have a significant impact on the dynamics of ore store filling. With its increase by 1.8 times from 50 to 90% the time of the ore store filling with a hydraulic mixture increases by 1.67 times for any of the considered volumes. **Practical value.** The results of the studies allow to establish the effective parameters of temporary ore store, taking into account various indicators of the rocks physic and mechanical properties the productivity of mining equipment, the amount of daily water intake during the development of flooded titanium-zirconium deposits by dredgers.

Key words: surface mining, pit, ore store, dredger, hydromixture, water supply point.

REFERENCES

1. Sobko, B. Yu., Gaydin, A. M., Laznikov, O. M. (2016), *Rozrobka obvodnenih rodovish titanovih rud*. [Mining flooded titanium ores deposits], Dnipro: Lithograph, Ukraine.
2. Radchenko, S.A. (2004), "Features formation of the internal hydro dump on the bulk ground", *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*, vol. 7, pp. 167–171.
3. Sobko, B. U., Lozhnikov, O. V. (2018), "Setting parameters of the pit mining haulage complex during the development watered deposits using dredge", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, Issue. 6(113), pp. 51–58.
4. Chalov, S. R. et al. (2015), "Formation of the sediment yield in areas of mining of placer deposits". *Geography and Natural Resources*. T. 36. №. 2. pp. 124–131.

5. Cronan, D. S. (2017), "Tin Placer Deposits on Continental Shelves". *Handbook of Marine Mineral Deposits*. Routledge. pp. 41–80.
6. Wang, C., Harbottle, D., Liu, Q., Xu, Z. (2014), "Current state of fine mineral tailings treatment: A critical review on theory and practice". *Minerals Engineering*, Vol. 58, pp. 113–131.
7. Ombiro, S., Komu, J. (2016), "Mineral sand handling: Kwale mineral sand equipment selection". *International Journal of Mining and Mineral Engineering*. Vol. 7 № 3. pp. 265–280.
8. Lee, J. K., Shang, J. Q., Xu, Y. (2016), "Electrokinetic Dewatering of Mine Tailing Using DSA Electrodes". *Int. J. Electrochem. Sci*, Vol. 11(5), pp. 4149–4160.
9. Padmalal, D., Maya, K. (2014), "Sand mining: environmental impacts and selected case studies". *Technology & Engineering*. Springer. 162 p.
10. Adiansyah, J. S., Rosano, M., Vink, S., Keir, G. (2015), "A framework for a sustainable approach to mine tailings management: disposal strategies". *Journal of cleaner production*, Vol. 108, pp. 1050–1062.

Стаття надійшла 09.12.2019.