

© Б.Ю. Собко¹, О.В. Ложніков¹

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

ВСТАНОВЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОЗРОБКИ ОБВОДНЕНОГО КАР'ЄРУ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ПЛАВУЧОЇ ЗБАГАЧУВАЛЬНОЇ ФАБРИКИ

© B. Sobko¹, O. Lozhnikov¹

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

DETERMINATION FLOODED PIT MINING PARAMETERS AT THE IMPLEMENTATION FLOATING WET CONCENTRATOR PLANT

Мета. Встановлення основних параметрів розробки обводненого кар'єру під час включення у технологічний процес плаваючої фабрики мокрого збагачення.

Методика дослідження. Аналітичний метод досліджень застосовувався при встановленні основних параметрів кар'єру, що змінюються в результаті використання плаваючої збагачувальної фабрики. При розрахунку впливу ширини робочого майданчику обводненого видобувного уступу на об'єм і площу розрізної траншеї, а також залежності об'єму гідротранспортної роботи при включенні у технологічний процес плаваючої фабрики мокрого збагачення використувався графічний метод досліджень.

Результати дослідження. Виконані розрахунки зі встановлення параметрів розрізної траншеї при включенні у технологічний процес плаваючої фабрики мокрого збагачення показали, що основним недоліком є збільшення площі та об'єму розрізної траншеї. Встановлено, що перевагами технологічної схеми, що запропонована, є значне зменшення об'єму гідротранспортної роботи за рахунок зниження обсягів гірської маси, яку необхідно переміщати на збагачувальну фабрику, що розташована на борту кар'єру в місці закладення капітальної траншеї.

Наукова новизна. Встановлено залежності змін площі та об'єму розрізної траншеї від ширини її обводненої частини при включенні у технологічний процес розробки родовища плаваючої фабрики мокрого збагачення. Встановлено залежність об'єму транспортної роботи при розробці обводненого видобувного уступу земснарядами від року розробки родовища з урахуванням включення у технологію плаваючої фабрики мокрого збагачення.

Практичне значення. Встановлено недоліки і переваги включення у технологічний процес розробки обводненого розсипного родовища плаваючої фабрики мокрого збагачення. Визначено площу і об'єм розрізної траншеї при застосуванні плаваючої фабрики мокрого збагачення в умовах розробки кар'єру Мотронівського ГЗК. Визначено об'єми транспортної роботи для технологічних схем розробки обводненого розсипного родовища.

Ключові слова: відкрита розробка, кар'єр, траншея, земснаряд, плаваюча збагачувальна фабрика, гідротранспорт

Актуальність. Перевагою розробки обводнених розсипних родовищ є можливість використовувати засоби гідромеханізації при відсутності зовнішніх джерел технічної води [1]. В якості основного видобувного обладнання при гідромеханізації відкритих гірничих робіт на розсипних родовищах застосовуються земснаряди і драги [2]. Видобута гірська маса у вигляді пульпи переміщується

гідротранспортом на збагачувальну фабрику. Розташування збагачувальної фабрики, як правило, є стаціонарним і обирається на початковому етапі освоєння родовища. Для мінімізації поточних витрат, збагачувальну фабрику доцільно розташовувати в районі закладання капітальної траншеї, що дозволяє знизити початкові витрати на транспортування корисної копалини.

Істотним недоліком застосування стаціонарної збагачувальної фабрики на борту кар'єра для гірничо-геологічних умов розсипних родовищ є постійне збільшення довжини трубопроводів при посуванні фронту гірничих робіт. Результати раніше виконаних досліджень [1] дозволили встановити, що, наприклад, для умов експлуатації кар'єра Мотронівський ГЗК за час розробки родовища довжина трубопроводів гідротранспорту збільшується з 4 до 9,2 км.

Другим істотним недоліком технології розробки розсипних родовищ гідромеханізаційним способом з розташуванням збагачувальної фабрики на борту кар'єра є необхідність подачі на фабрику всього обсягу корисної копалини. При цьому лише 5% від загального обсягу руди становлять титан-цирконієві мінерали, а інший обсяг представлено піщано-глинистою сумішшю. У зв'язку з цим існує необхідність пошуку нових технологічних рішень, що дозволяють підвищити ефективність підводного видобутку титано-цирконієвих руд.

Аналіз досліджень. У світовій практиці рішення задачі зменшення обсягів транспортування вміщуючих порід на збагачувальну фабрику, при підводній розробці розсипних родовищ титано-цирконієвих руд, досягається за рахунок використання плавучих фабрик мокрого збагачення. Як приклад розглянуті показники роботи гірничодобувної компанії Кенмар при розробці титано-цирконієвого родовища Мома (Мозамбик). У 2007 році кампанія змінила існуючу технологію, включивши в технологічний цикл плаваючу збагачувальну фабрику, на яку подається корисна копалина, що видобувається двома земснарядами загальною продуктивністю 5 тис. т / год. [3].

Плаваюча збагачувальна фабрика оснащена спіральними гравітаційними сепараторами з вертикальною кручений колоною. Частилки важких мінералів подаються на збагачувальну фабрику для подальшої доводочної сепарації, а піщано-глиниста суміш транспортується у хвостосховище. Існуюча технологія дозволяє забезпечувати продуктивність гірничого підприємства за важкими мінералами: ільменіт – 800 тис. т / рік; циркон – 56 тис. т / рік; рутил – 21 тис. т / рік. Капітальні витрати на придбання плаваючої збагачувальної фабрики та споруди лінії електропередач в 2006 році склали 78 млн дол. США. Будівництво нової плаваючою фабрики мокрого збагачення в 2019 році оцінено в суму 45 млн дол. США [4].

Видобуток корисних копалин із застосуванням фабрики мокрого збагачення здійснюється з обводненої розрізної траншеї розмірами: довжина – 800 м, ширина – 300 м, глибина – 15 м [5].

Виконаний аналіз також показує, що аналогічні технології застосовуються в Сьєрра Леоне на кар'єрі Ланта де видобувається рутил, ільменіт, циркон [6]. Продуктивність драги становить 1 тис. т / год, що дозволяє досягти річної продуктивності по руді 7,2 млн т / рік. У Сенегалі на гірничодобувному підприємстві Гранде Коте використовується аналогічна технологія при видобутку циркону, ільменіту, рутилу і лейкоксена [7].

Принципова технологічна схема розробки титано-цирконієвих родовищ з використанням плаваючої фабрики мокрого збагачення представлена на рис. 1.

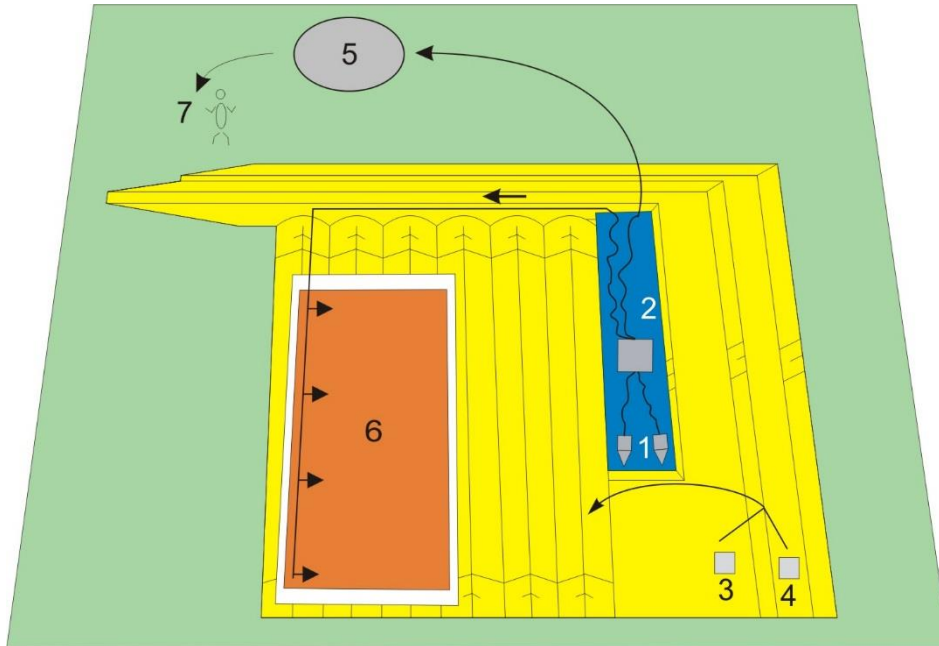


Рис. 1. Принципова схема розробки титан-цирконієвих родовищ із застосуванням земснарядів і плаваючої збагачувальної фабрики на видобувному уступі: 1 – земснаряди; 2 – плавуча фабрика мокрого збагачення; 3, 4 – розкривні екскаватори; 5 – збагачувальна фабрика (поділ мінералів); 6 – хвостосховище; 7 – споживач

Виконаний аналіз світового досвіду застосування плаваючих фабрик мокрого збагачення вказав на необхідність проведення додаткових досліджень для визначення ефективності їх використання з урахуванням параметрів обводнених титано-цирконієвих родовищ. Оскільки існуючі в гірничій практиці приклади застосування плаваючих збагачувальних фабрик відомі лише для кар'єрів з великою виробничою потужністю і відсутністю розкривних порід, залишається відкритим питання ефективності даних капіталовкладень у кар'єри з меншою продуктивністю і значною потужністю розкривних порід. У розглянутих прикладах для застосування плаваючої збагачувальної фабрики, мінімальна ширина обводненої гірничої виробки становила 200 м, що на 100 метрів перевищує показники існуючої технологічної схеми.

Обґрунтування ефективності застосування плаваючої збагачувальної фабрики при розробці обводнених розсипних родовищ повинно виконуватися шляхом порівняння параметрів розробки кар'єру з існуючою технологією, в якій збагачувальна фабрика знаходиться на борту кар'єра. Для цього необхідно встановити вплив застосування плаваючої збагачувальної фабрики на обсяг розрізної траншеї, а також її площу. Визначити, як зміниться обсяг транспортної роботи на кар'єрі при введенні в технологічний цикл плаваючої збагачувальної фабрики. Встановити параметри гірничо-транспортного комплексу кар'єра при використанні плаваючої збагачувальної фабрики.

Основний матеріал. Аналіз виконаних раніше науково-дослідних робіт показав, що розміщення плаваючої збагачувальної фабрики в обводненій частині розрізної траншеї призводить до зміни її ширини і об'єму. Для забезпечення ефективної роботи плаваючої фабрики в обводненій частині розрізної траншеї, її ширина має бути не менше 200 м. Це необхідно для забезпечення її ефективної роботи, оскільки габаритні розміри фабрики досягають завширшки 50 м, у довжину – 70 м.

Збільшення ширини робочого майданчика видобувного уступу відіб'ється на ширині розрізної траншеї поверху, її площі та об'ємі. Збільшення площі розрізної траншеї поверху безпосередньо впливає на прискорення темпів залучення непорушених земель в розробку, а збільшення її обсягу призводить до зростання витрат, пов'язаних з розкривними роботами на ранніх етапах розробки родовища. Отже, оцінюючи переваги від використання плаваючої збагачувальної фабрики необхідно враховувати негативні фактори, пов'язані зі зміною технології розробки.

Для оцінки ефективності застосування плаваючої збагачувальної фабрики пропонується дослідити вплив ширини обводненої частини розрізної траншеї на її площу поверху і об'єм. При дослідженні впливу ширини розрізної траншеї на її площу поверху використовувалися наступні вирази:

$$S_K = B_K (L_K + H_K (\operatorname{ctg} \beta_T + \operatorname{ctg} \gamma)), \text{ м}^2, \quad (1)$$

$$W_K = B_M + H_K (\operatorname{ctg} \beta_P + \operatorname{ctg} \beta_O), \text{ м}, \quad (2)$$

де B_K – ширина розрізної траншеї поверху, м; L_K – довжина кар'єра понизу, м; B_M – ширина обводненої частини розрізної траншеї, м; H_K – глибина кар'єру, м; β_T – кут укосу борту траншеї, град.; γ – кут укосу торцевої частини борта кар'єра, град.; β_P – кут укосу робочого борту кар'єру, град.; β_O – кут укосу внутрішнього відвалу, град.

При визначенні обсягу розрізної траншеї з урахуванням ширини обводненої частини застосовувався вираз:

$$V_{TP} = H_K \cdot \frac{B_M + B_K}{2} \cdot \left(L_K + H_K \frac{(\operatorname{ctg} \beta_T + \operatorname{ctg} \gamma)}{2} \right), \text{ м}^3. \quad (3)$$

Дослідження виконувались відповідно до проектних параметрів кар'єра Мотронівського ГЗК: глибина кар'єру 62 м; довжина кар'єра понизу – 1900 м; ширина обводненої частини розрізної траншеї розглядалася в межах 50 – 250 м. Кути укосів бортів і відвалів приймалися згідно безпечним значенням розробки розсипних родовищ з урахуванням фізико-механічних властивостей. Результати досліджень зі встановлення впливу ширини обводненої частини розрізної траншеї на її площу і об'єм наведені на рис. 2.

Згідно з отриманими результатами досліджень (рис. 2), збільшення ширини обводненої частини розрізної траншеї від 100 до 200 м, при включенні в технологічний процес плаваючої збагачувальної фабрики, призведе до істотного зростання площі траншеї, а також її обсягу. При збільшенні ширини обводненої частини розрізної траншеї в два рази, її обсяг збільшиться в 1,43 рази, в той час, як площа зросте в 1,22 рази. На практиці дана залежність показує, що для використання плаваючої збагачувальної фабрики слід передчасно відпрацювати обсяг розкривних порід у розмірі 16 млн м³, а площа порушених земель збільшиться на 23 га.

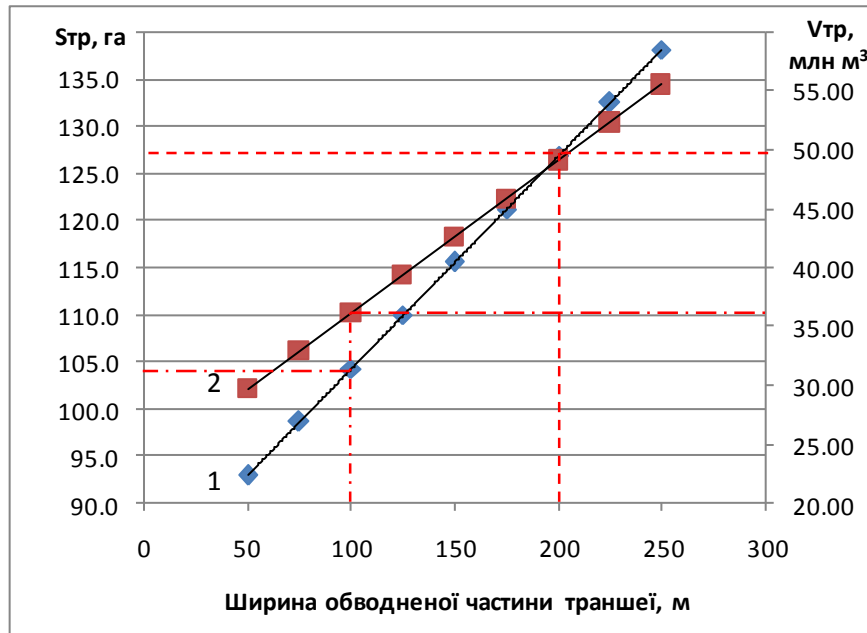


Рис. 2. Залежність площі і обсягу розрізної траншеї від ширини її обводненої частини: 1 – площа траншеї поверху, га; 2 – обсяг розрізної траншеї, млн м³

Дані фактори необхідно враховувати під час визначення ефективності використання плаваючої збагачувальної фабрики при розробці обводнених розсипних родовищ із значною потужністю розкривних порід.

Основною метою використання плаваючої збагачувальної фабрики є скорочення транспортних робіт при доставці корисної копалини на збагачувальну фабрику, що знаходиться на поверхні кар'єру, в якій при існуючій технологічній схемі відбувається мокре збагачення і сепарація частинок важких мінералів.

Під час проведення досліджень були розглянуті потоки гірської маси, що транспортується. При плаваючій збагачувальній фабриці є два потоки: частки важких мінералів і піщано-глиниста суміш. У схемах, коли корисна копалина транспортується на борт кар'єру, також присутні два потоки: корисна копалина і піщано-глиниста суміш, яку направляють зі збагачувальної фабрики у хвостосховище.

Оскільки в кожній схемі є по два потоки з різними за довжиною трубопроводами, яка також змінюється в міру посування фронту гірничих робіт, пропонується використовувати показник обсягу транспортної роботи (м³·м) для оцінки ефективності кожної зі схем. Даний показник також враховує різні обсяги гірської маси в різних потоках.

При визначенні обсягу транспортної роботи під час розробки видобувних уступів земснарядями з переміщенням корисних копалин на збагачувальну фабрику, а піщано-глинистої суміші в хвостосховище, що знаходиться у внутрішньому відвалі кар'єра, використовувався вираз:

$$\sum_{i=1}^n W_{CP} = \sum_{i=1}^n V_M (L_K + L_{Pi}) + \sum_{i=1}^n V_{SC} (L_{Pi} + L_O - D_T), \text{ м}^3 \cdot \text{м}. \quad (4)$$

де V_M – річна продуктивність кар'єра, млн м³ / рік; L_P – загальна довжина посування фронту гірничих робіт, м; V_{SC} – обсяг піщано-глинистої суміші, яка транспортується у хвостосховище, млн м³ / рік; L_O – довжина відвального фронту, м;

D_T – безпечна відстань від фронту гірничих робіт до хвостосховища, розташованого у внутрішньому відвалі, м.

Слід зазначити, що при виконанні досліджень безпечна відстань D_T приймалася рівною трьом закладанням укосів відвалу ($3H_0 \cdot \text{ctg } \beta_0$). У розрахунках прийнято значення 500 м (рис. 1).

Для визначення обсягу роботи з транспортування при плаваючій збагачувальній фабриці також розглянуто два трубопроводи. Перший з'єднує плавучу фабрику з фабрикою на борту кар'єра, в якій виконується доводочна сепарація твердих мінералів, а другий – з хвостосховищем, що знаходиться на поверхні внутрішнього відвалу. Розрахунок обсягу транспортної роботи для даної технологічної схеми виконувався за виразом:

$$\sum_{i=1}^n W_{FCP} = \sum_{i=1}^n V_T (L_K + L_{Pi}) + V_{SC} (L_K + L_O + D_T), \quad \text{м}^3 \cdot \text{м}. \quad (5)$$

де V_T – річний обсяг частин твердих мінералів, млн м^3 / рік.

При виконанні розрахунків враховувалося, що в початковий період розробки родовища (до 6 року з урахуванням річного посування фронту гірничих робіт 147 м), хвостосховище формується за межами кар'єрного поля, тому відстань транспортування піщано-глинистої суміші визначалася окремо.

Під час виконання досліджень приймалися наступні параметри: річний обсяг важких мінералів – 135 тис. м^3 ; річний обсяг піщано-глинистої суміші – 2,565 млн м^3 ; корисних копалин 2,7 млн м^3 ; величина посування фронту гірничих робіт 147 м. Результати виконаних досліджень наведені на рис. 3.

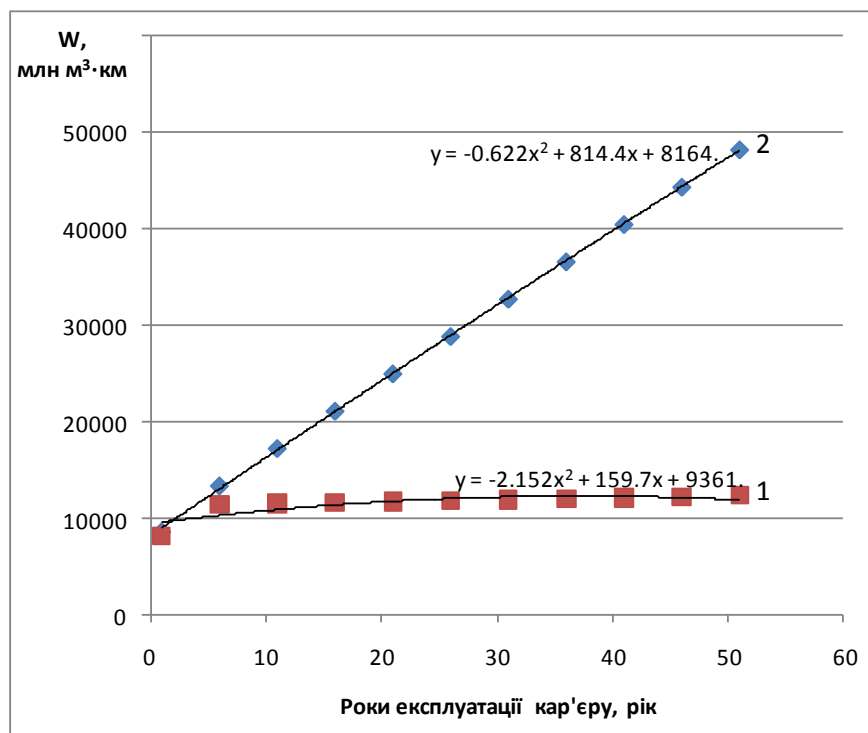


Рис. 3. Зміна обсягу транспортної роботи при розробці обводненого розсипного родовища з використанням збагачувальної фабрики за роками:
1 – плаваючої; 2 – стаціонарної

Аналіз встановлених результатів досліджень (рис. 3) показує, що існуюча технологічна схема розробки з розміщенням збагачувальної фабрики на борту кар'єра має істотну динаміку збільшення обсягу транспортних робіт у міру посування фронту гірничих робіт. Це пояснюється тим, що весь обсяг корисної копалини транспортується на збагачувальну фабрику, яка знаходиться в районі розташування капітальної траншеї, а після збагачення, 95% цього обсягу необхідно назад перемістити в хвостосховище, яке буде віддалятися від фабрики з посуванням фронту гірничих робіт.

Застосування плаваючої збагачувальної фабрики дозволяє значно зменшити обсяг транспортування гірської маси до 5% від обсягу корисної копалини, а відокремлений піщано-глинистий суміш направляти у хвостосховище трубопроводом з постійною довжиною.

Порівняння параметрів обсягу транспортних робіт двох технологічних схем показує, що застосування плаваючої збагачувальної фабрики дає можливість досягти стабільних показників, в той час як транспортування всього обсягу корисної копалини на збагачувальну фабрику, розташовану на борту кар'єра призведе до щорічного збільшення транспортних робіт на 10%, а на момент доопрацювання кар'єра в п'ять разів.

Виконані дослідження, а також результати попередніх робіт [1], дозволяють визначити параметри гірничо-транспортного комплексу кар'єра Мотронівського ГЗК при використанні плаваючої збагачувальної фабрики (табл. 1).

Таблиця 1

Загальні показники системи розробки кар'єра Мотронівського ГЗК при застосуванні плаваючої збагачувальної фабрики

Параметри системи розробки	1 рік розробки родовища		25 рік розробки родовища		50 рік розробки родовища	
	розкривні роботи	видобувні роботи	розкривні роботи	видобувні роботи	розкривні роботи	видобувні роботи
Кількість уступів, од.	5	1	5	1	5	1
Кількість екскаваторів, од.	4/2	–	4/2	–	4/2	–
Кількість автосамоскидів, од.	17	–	17	–	17	–
Кількість земснарядів, од.	–	3	–	3	–	3
Обсяг транспортної роботи, млн м ³ ·км	–	8,2	–	11,8	–	12,3
Площа зовнішнього хвостосховища, га		0		37		74

Висновки. Виконані дослідження зі встановлення параметрів розрізної траншеї при включенні в технологічний процес плаваючої збагачувальної фабрики

показали, що основним недоліком цієї схеми є збільшення площі та об'єму розрізної траншеї. При цьому площа траншеї збільшується в 1,22 рази у в порівнянні з існуючою технологічною схемою і досягає 127 га. У той же час обсяг траншеї збільшується в 1,43 рази, що призводить до необхідності передчасного відпрацювання 16 млн м³ розкривних порід.

Перевагою технологічної схеми з використанням плаваючої збагачувальної фабрики є істотне зменшення обсягу транспортної роботи за рахунок зменшення об'ємів гірської маси, яку необхідно переміщати на збагачувальну фабрику, розташовану на борту кар'єра. Таким чином, досягається зниження обсягу транспортних робіт на 0,8 млн м³ · км/рік, а на момент погашення робіт у кар'єрі, даний показник зменшиться на 40 млн м³ · км.

Перелік посилань

1. Собко, Б.Ю., & Ложніков, О.В. (2018). Встановлення параметрів гірничотранспортного комплексу кар'єра при розробці обводнених родовищ з використанням земснарядів. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім. М. Остроградського: Наукові праці КДПУ ім. М. Остроградського*, 6(113), 51-58.
2. Yim, W. W.-S. (2017). Tin Placer Deposits on Continental Shelves. *Handbook of Marine Mineral Deposits*, 27–66.
doi:10.1201/9780203752760-3
3. *Річний звіт компанії Кенмаре* (2006).
4. Q4 & FY 2018 Production Report & FY 2019 Guidance. (2019, January 10). Retrieved March 20, 2019, from <https://www.globenewswire.com/news-release/2019/01/10/1685918/0/en/Q4-FY-2018-Production-Report-FY-2019-Guidance.html>
5. *Річний звіт компанії Кенмаре* (2008).
6. Overview. (2019). Retrieved from <http://www.sierra-rutile.com/overview/>
7. Grande Côte Operations. (2019). Retrieved March 20, 2019, from <http://www.tizir.co.uk/projects-operations/grande-cote-mineral-sands/>

АННОТАЦІЯ

Цель. Установление основных параметров карьера по разработке россыпных обводненных месторождений при включении в технологический процесс плавающей фабрики мокрого обогащения.

Методика исследования. Аналитический метод исследований применялся при установлении основных параметров карьера, которые изменяются в результате использования плавающей обогатительной фабрики. При расчете влияния ширины рабочей площадки обводненного добычного уступа на объем и площадь разрезной траншеи, а также зависимости объема транспортной работы при включении в технологический процесс плавающей фабрики мокрого обогащения, использовался графический метод исследований.

Результаты исследования. Выполненные расчеты по установлению параметров разрезной траншеи при включении в технологический процесс плавающей фабрики мокрого обогащения показали, что основным недостатком является увеличение площади и объема разрезной траншеи. Установлено, что преимуществами предложенной технологической схемы является значительное уменьшение объема транспортной работы за счет снижения объемов горной массы, которую перемещают на обогатительную фабрику, расположенную на борту карьера в районе капитальной траншеи.

Научная новизна. Установлены зависимости изменения площади и объема разрезной траншеи от года разработки карьера при включении в технологический процесс плавающей фабрики мокрого обогащения. Установлена зависимость объема гидротранспортной работы карьера от года его разработки для двух технологических схем, одна из которых предусматривает включение в технологический процесс плавающей фабрики мокрого обогащения.

Практическое значение. Установлена площадь и объем разрезной траншеи при включении в технологический процесс плавающей фабрики мокрого обогащения во время разработки карьера Мотроновский ГОК. Определены объемы гидротранспортной работы для технологических схем разработки обводненного россыпного месторождения с наличием плавающей фабрики мокрого обогащения и при ее отсутствии.

Ключевые слова: *открытая разработка, карьер, траншея, земснаряд, плавучая обогатительная фабрика, гидротранспорт*

ABSTRACT

Purpose. Establishment the main mining and haulage system parameters of the pit during development placer flooded deposits when floating wet concentrator plant is included in the technological process.

Research methodology. Analytical research method was used to establish the main parameters of the pit which change as a result of the floating processing plant use. The determined influence of the mining road and ramp width of the flooded ore bench on the volume and working trench area, as well as the dependence of haulage work volume when a floating wet concentrator plant was included in the technological process a graphical research method was used.

The results. The calculations for determining the working trench parameters when the floating wet concentrator plant was included in the technological process showed that the main shortage is the working trench area and volume increase. It is established that the advantages of the proposed technological scheme is a significant reduction in the haulage work volume by reducing the rock mass volume that must be moved to the processing plant, located on pit surface near the permanent trench.

Scientific novelty. The dependences of changes in the permanent trench area and volume on the trench width at the inclusion floating wet concentrator plant at the mining deposit have been established. The dependence of the pit haulage work volume at the development a flooded ore bench by dredgers for two technological schemes, one of which provides for the inclusion a floating wet concentrator plant in the technological process, has been established.

Practical value. The advantages and disadvantages of floating wet concentrator implementation during the mining flooded placer deposit are established. The working trench area and volume are established when the floating wet concentrator plant was included in the process during the mining pit of Motronovsky MPP. The haulage work volumes for technological schemes at the development flooded placer deposits with the presence of a floating wet concentrator plant and in its absence have been determined.

Key words: *surface mining, pit, trench, dredge, floating concentrator plant, haulage*