

© Б.Ю. Собко¹, А.Є. Михайленко²¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна² ПрАТ «Полтавський ГЗК», Горішні Плавні, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ ГІРНИЧОГО ОБЛАДНАННЯ ПРИ ФОРМУВАННІ ВІДВАЛІВ НА ЗАЛІЗОРУДНОМУ КАР'ЄРІ

© B. Sobko¹, A. Mykhailenko²¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine² FERREXPO POLTAVA MINING, Horishni Plavni, Ukraine

DETERMINATION OF THE OPTIMAL NUMBER OF MINING EQUIPMENT WHEN FORMING STOCKPILES IN AN IRON ORE OPEN-CAST MINE

Мета. Визначення оптимальної кількості гірничого обладнання при формуванні відвалів скельних розкривних порід для умов залізрудних кар'єрів.

Методологія. При виконанні роботи застосовані аналітичний, статистичний, графоаналітичний методи досліджень.

Результати досліджень. Проведений аналіз застосування на глибоких залізрудних кар'єрах процесів відвалоутворення, що впливають на ритмічність роботи кар'єра ефективність гірничого підприємства в цілому. При цьому визначено, що на сучасних залізрудних кар'єрах застосовують в більшості бульдозерне відвалоутворення. Наведено переваги застосування бульдозерного відвалоутворення при переміщенні скельних розкривних порід на відвал автосамоскидами. Визначено необхідні об'єми відвальних ємностей для умов кар'єру Полтавського ГЗК. Встановлено вплив потужності бульдозерного обладнання на його необхідну кількість в залежності від об'ємів складування розкривних порід. Отримані результати дозволяють стверджувати, що найбільш оптимальним серед бульдозерного обладнання, що застосовується на кар'єрі Полтавського ГЗК є бульдозер марки *CAT D10T*.

Наукова новизна. Проведені дослідження дозволили встановити залежності необхідної кількості бульдозерного обладнання від об'ємів розкривних порід, що необхідно розмістити у відвалі. Отримані залежності описуються рівняннями першого порядку з високим ступенем точності.

Практичне значення. Результати досліджень дозволили обґрунтувати раціональну кількість сучасного бульдозерного обладнання при формуванні відвалів скельних гірських порід. Результати дослідження можуть бути використані на кар'єрах з видобутку скельних гірських порід, де застосовується бульдозерне відвалоутворення.

Ключові слова: глибокі залізрудні кар'єри, розкривні гірські породи, гірничотранспортне обладнання, зовнішні відвали, бульдозерне відвалоутворення.

Вступ. Україна займає одне з передових місць за запасами корисних копалин, які є основою розвитку багатьох галузей держави. Залізна руда, при цьому, є одним з основних та найважливіших корисних копалин. Рівень її споживання характеризує ступінь індустріального розвитку країни. За рахунок зростання

споживання металів видобуток залізних руд розглядається як один з основних показників матеріального прогресу людства [1–5].

Полтавський ГЗК є потужним високопродуктивним комбінатом в Україні та країн Європи з видобутку залізних руд, які слугують сировиною для металургійної галузі. Комбінат діє на базі запасів залізистих кварцитів Горішнє-Плавнинського і Лавриківського родовищ. Дані родовища розробляються одним кар'єром.

В кар'єрі Полтавського ГЗК розробляють залізні руди, що представлені магнетитовими та кумінгтоніто – магнетитовими кварцитами з загальним вмістом заліза відповідно 34 % та 27 %. Руди відрізняються тонкою вкрапленістю, складним характером заляганням рудних та нерудних матеріалів і є складним об'єктом для збагачення з одержанням якісних залізорудних концентратів. Забезпеченість ГЗК запасами при проєктній продуктивності – понад 50 років.

На кар'єрі комбінату середній коефіцієнт розкриву складає 0,7–0,9 м³/т. При цьому, проєктні об'єми розробки розкривних порід в середньому складають від 3 до 4,5 млн м³/рік. Великі об'єми порід розкриву обумовлюють значні витрати гірничого підприємства як на розробку розкриву так і на організацію та процес відвалоутворення.

Підвищення техніко-економічних показників гірничого виробництва забезпечується постійним вдосконаленням технології і управління, вибором оптимального комплексу основного обладнання як на розкривних, видобувних роботах в кар'єрі так і при відвалоутворенні.

Відвальні роботи при розробці родовищ являються трудомістким процесом. Від своєчасного та якісного виконання відвальних робіт багато в чому залежить ритмічність роботи кар'єра в цілому.

Дана робота, що спрямована на удосконалення бульдозерного відвалоутворення в умовах залізорудних кар'єрів з застосуванням сучасного гірничого обладнання є своєчасною та актуальною.

Основна частина. На кар'єрі Полтавського ГЗК розкривні породи представлені наносами (піски, суглинки та глини) і скельними породами (сланці, кварцити, амфіболіти, граніти і гранодіорити). Підлягають також тимчасовому складуванню неокислені кварцити в обсягах, що видобуваються понад тієї кількості, що поставляється на збагачувальну фабрику.

Розкривні породи передбачається розміщуватися в основному у зовнішніх відвалах розташованих уздовж східного і західного бортів кар'єру, а також у внутрішніх відвалах, розташованих у виробленому просторі кар'єру. Внутрішнє відвалоутворення передбачається на Лавриківській ділянці родовища, а також тимчасове складування розкривних порід на ділянці кар'єра обмеженому маркшейдерськими осями +30 – +50.

У зв'язку зі значною протяжністю розкритого рудного тіла ще в 1993 році було прийнято рішення використати північну частину виробленого простору кар'єру для розміщення тимчасового відвалу порожніх порід на позначці мінус 90 м.

Південна межа відвалу визначалася з умови забезпечення протяжності фронту рудою, що дозволяє забезпечити річну продуктивність кар'єру рудою обсягом 34 млн т. У зв'язку з прийнятим рішенням, у внутрішній відвал планувалося

щорічно вивозити автосамоскидами розкривні скельні породи в обсягах близько 2,5 млн м³, що дозволяє скоротити відстань транспортування автомобільним транспортом, перенести витрати на переміщення розкривних порід у зовнішні відвали на пізніший період, а також раціонально використовувати земельне відведення і знизити забруднення навколишнього середовища.

Внутрішній відвал ділить кар'єр на дві ділянки: південну, що розробляє Горішньо-Плавнинське родовище, і північну, що розробляє Лавриківське родовище, нині до горизонту мінус 90 м.

У зв'язку зі значною глибиною та протяжністю південної ділянки, гірничі роботи на ній ведуться крутими шарами, з тимчасовою консервацією та подальшою розконсервацією ділянок бортів.

Рельєф під зовнішніми Західними і Східними відвалами практично рівний, ускладнений певними ділянками знижень, часто заболоченими. Поверхня характеризується абсолютними відмітками 66,5 м (на півночі) – 68,5 м (на півдні).

За сукупністю природних факторів, зазначених у СНіП 1.02.07-87 "Інженерні вишукування для будівництва" відвали належать до першої (простої) категорії складності інженерно-геологічних умов.

Однак для забезпечення безпечної експлуатації відвалів і їх стійкості в нижні яруси відвалів слід складувати скельні породи, в верхні – піщано-глинисті.

Проектна відмітка Східного залізничного відвалу +168 м, Західного відвалу (автовідвал Західний, Північно-західний залізничний відвал) +178 м. Результуючий кут по Східним і Західним відвалам складе 15°. Кути укосів ярусів відвалу складають 30°. Кількість відвальних тупиків по Східному відвалу 2–3, по Західному залізничному відвалу 4–5. Протяжність тупиків становить 1–2,5 км. Приймальна здатність тупика 2,0 млн м³.

Розрахункова потреба кар'єра, що розробляє Горішнє-Плавнинське і Лавриківське родовища в відвальних ємностях з урахуванням залишкового коефіцієнта розпушення становить:

$$Q_6 = 940,1 \cdot 1,2 = 1128 \text{ млн м}^3.$$

В Західний відвал передбачається також розмістити 25,5 млн м³ розкривних порід (м'яких порід розкриву в розпушеному вигляді) з кар'єру.

Загальна потреба в відвальних ємностях складе:

$$Q_6 = 1128 + 25,5 = 1153,5 \text{ млн м}^3.$$

У зв'язку з тим, що частину скельних порід передбачається переробляти на щебінь для будівельних потреб (40 млн м³ за весь період роботи комбінату), а також використовувати для наросування дамб хвостосховища (40 млн м³ протягом всього терміну експлуатації кар'єра), складування їх в відвали не потрібно. Також у вироблений простір кар'єру (Лавриківська ділянка) передбачається закладувати близько 420 млн м³ скельних порід розкриву з ділянки Горішнє-Плавнинського родовища. Отже, потрібна відвальна ємність становить близько - 660,0 млн м³.

Таким чином, відвальних ємностей достатньо для складування розкривних порід кар'єра.

Об'єми розкривних порід, що складається у відвалах, та породи, що поставляються для власних потреб і на дамби хвостосховища, за періодами роботи кар'єра наведені в таблиці.

Таблиця

Відвали для розкривних порід	млн м ³
Східний відвал	28,0
Північно-західний відвал	36,5
Північно-західний бульдозерний відвал	55,5
Західний бульдозерний відвал	50,0
Кар'єрне переміщення, підсипка доріг і колій	15,0
Дамби хвостосховищ, виробництво щебеню	10,5
Разом	195,5

Зовнішні відвали багатоярусні, висота відвальних ярусів, в основному становить 20 м (1-й ярус Західного відвалу і всі яруси Східного залізничного відвалу), на окремих ділянках досягає 30 м (другий, третій і четвертий яруси Західного відвалу).

За способом відвалоутворення зовнішні відвали є:

- Північно-західний – залізничний; Східний – залізнично-екскаваторний;
- Західний, Північно-західний і Північно-східний – периферійні, автомобільно-бульдозерні.

Відвали пов'язані з кар'єром залізничними коліями і автодорогами.

Північно-західний відвал сформовано 3 ярусами з розміщенням на них 3 відвальних тупиків, на Східному відвалі – 3 яруси з двома відвальними тупиками.

Загальна площа, яку займають відвалами, становить понад 1700 га.

Відомо, що загальна кількість відвальних ділянок встановлюється в залежності від об'ємів розкривних порід, що необхідно розмістити у відвалі, прийнятої схеми розвитку відвалу та кількості бульдозерів, що зайняті при формуванні відвалу. В свою чергу необхідна кількість бульдозерів, що необхідно для роботи на відвалі залежить від їх потужності та продуктивності.

В наш час на відвалах Полтавського ГЗК застосовують наступні типи бульдозерів CAT D6R, D8R, D9T, D9R, Komatsu D475A-5. Загальний вигляд роботи бульдозера Cat D8R на відвалі Полтавського ГЗК наведено на рис. 1.

В роботі наведено дослідження необхідної кількості бульдозерів *Cat D8R* та *CAT D10T* для формування периферійного відвалу від об'ємів розкривних порід, що необхідно розмістити у відвалах для умов залізничного кар'єру Полтавського ГЗК.

Визначимо продуктивність бульдозера за зміну при формуванні периферійного відвалу та переміщенні породи під укіс за відомою формулою:

$$Q' = \frac{3600 \cdot T_{зм} \cdot V \cdot K_y \cdot K_{\Pi} \cdot K_B}{K_P \cdot T_{\Pi}}, \text{ м}^3/\text{зм},$$

де: $T_{зм}$ – термін зміни – 12 год, V – об’єм породи в розпушеному стані, що переміщується бульдозером.

$$V = \frac{l \cdot h \cdot a}{2} = \frac{5 \cdot 1,3 \cdot 1,86}{2} = 5,1 \text{ м}^3,$$



Рис. 1. Загальний вигляд роботи бульдозера *Cat D8R* на відвалі Полтавського ГЗК

де: l – довжина відвалу бульдозера (5,0 м); h – висота відвалу бульдозера (1,3 м); a – ширина призми переміщеного ґрунту,

$$a = \frac{h}{\operatorname{tg} f} = \frac{1,3}{0,7} = 1,7 \text{ м},$$

де: f – кут природного укосу розпушеної породи (30–40 град.); K_y – коефіцієнт, що враховує ухил на ділянці роботи бульдозера $K_y = 1,3$; K_{Π} – коефіцієнт, що враховує втрати породи при переміщенні, $K_{\Pi} = 0,2$; K_B – коефіцієнт використання бульдозера в часі, $K_B = 0,8$; K_P – коефіцієнт розпушення породи, $K_P = 1,3$; T_{Π} – тривалість робочого одного циклу, с.

$$T_{\Pi} = \frac{11}{V_1} + \frac{12}{V_2} + \frac{11+12}{V_3} + t_n + t_p, \text{ с},$$

де: 11 – довжина шляху різання ґрунту, м; 12 – відстань транспортування ґрунту, м; V_1 – швидкість переміщення бульдозера при різанні ґрунту 0,5 м/с; V_2 – швидкість руху бульдозера з ґрунтом, 0,8 м/с; V_3 – швидкість холостого ходу, 1,5 м/с; t_n – час на перемикання швидкостей, 7 с; t_p – час на один розворот бульдозера, 8 с.

$$T_{\text{ц}} = \frac{30}{0,85} + \frac{30}{1,45} + 7 + 8 = 53 \text{ с},$$

тоді продуктивність бульдозера *Cat D8R* буде становити:

$$Q' = \frac{3600 \cdot 12 \cdot 5,1 \cdot 1,2 \cdot 0,7 \cdot 0,8}{1,35 \cdot 53} = 1724 \text{ м}^3/\text{зм}.$$

Визначимо кількість автосамоскидів, що розвантажуються на відвалі протягом години:

$$N_o = \frac{P_K K_{H.P.}}{P_a} = \frac{1442 \cdot 1,2}{90} = 19,$$

де: P_K – годинна продуктивність кар'єра по розкриву, м^3 ; $K_{H.P.}$ – коефіцієнт нерівномірності роботи кар'єра, що враховує пікові навантаження, $1,2 \div 1,5$; P_a – об'єм гірничої маси, що перевозиться автосамоскидами за рейс, м^3 .

Число автосамоскидів, що розвантажуються одночасно:

$$N_{A.O.} = N_o \frac{t_{P.M.}}{60} = 19 \cdot \frac{1,6}{60} = 1,$$

довжина фронту розвантаження:

$$L_P = N_{A.O.} l_n = 1 \cdot 20 = 20 \text{ м},$$

де, l_n – ширина смуги по фронту, що займає автосамоскид при маневруванні, $l_n = 18 \div 20 \text{ м}$.

Кількість ділянок, на яких одночасно здійснюється розвантаження автосамоскидів:

$$N_{y.P.} = \frac{L_P}{60 \div 80} = \frac{20}{60} = 0,33.$$

Число резервних ділянок:

$$N_{y.PEZ} = (0,5 \div 1,0) N_{y.P.} = 1 \cdot 0,33 = 0,33.$$

Загальна кількість ділянок:

$$N_y = N_{y.P.} + N_{y.PEZ} = 2 \cdot 0,33 = 1.$$

Загальна довжина відвального фронту:

$$L_o = (60 \div 80) N_y = 70 \cdot 1 = 70 \text{ м},$$

або $L_o = (2,5 \div 3,0) L_P$, м.

Тоді кількість бульдозерів, зайнятих на формуванні відвалу буде становити:

$$N_{B.P.} = \frac{Q_b T_{CM}}{Q'} = \frac{500 \cdot 12}{1724} = 3,5 \text{ од.},$$

де Q_b – годинний об'єм розкривних порід, який необхідно розмістити у відвалі, $\text{м}^3/\text{год}$.

Визначимо інвентарний парк бульдозерів, що необхідні при формуванні відвалів:

$$N_{Б.і.} = K_{РЕЗ} N_{Б.Р.} = 1,3 \cdot 3,5 = 4,55 = 5 \text{ од.},$$

де, $K_{РЕЗ}$ – коефіцієнт резерву, $1,3 \div 1,4$.

Приймаємо 5 бульдозерів *Cat D8R*.

За даною методикою визначаємо необхідну кількість бульдозерів при роботі на відвалі при значеннях $Q_{б.}$ - 750, 1000, 1500, 2000 , м³/год, яка буде, відповідно становити: 6, 8, 13, 15 од.

Визначимо об'єм гірничої маси в розпушеному стані, що переміщується бульдозером *Cat D10T*:

$$V = \frac{l \cdot h \cdot a}{2} = \frac{5,0 \cdot 2,12 \cdot 3,03}{2} = 16,1 \text{ м}^3,$$

де: $l = 5,0$ м; $h = 2,12$ м; a – ширина призми переміщуваної гірничої маси:

$$a = \frac{h}{\text{tgf}} = \frac{2,12}{0,7} = 3,03, \text{ м},$$

де: f – кут природного укосу гірничої маси (30–40 град.).

Тривалість робочого циклу бульдозера *Cat D10T*:

$$T_{ц} = \frac{11}{V_1} + \frac{12}{V_2} + \frac{11+12}{V_3} + t_n + t_p, \text{ с},$$

$$T_{ц} = \frac{20}{0,6} + \frac{20}{1,6} + 8 + 7 = 61, \text{ с},$$

$$Q' = \frac{3600 \cdot 12 \cdot 16,1 \cdot 1,3 \cdot 0,6 \cdot 0,8}{1,35 \cdot 61} = 5270, \text{ м}^3/\text{зм}.$$

Розраховуємо необхідну кількість бульдозерів на відвалі при значеннях $Q_{б.}$ – 500, 750, 1000, 1500, 2000, м³/год.

Необхідна кількість бульдозерів – *Cat D10T* буде становити, відповідно: 1, 2, 3, 4, 5 од.

На рис. 2 наведено графіки залежностей розрахункової кількості бульдозерів для формування периферійного відвалу від об'ємів розкривних порід, що необхідно розмістити у відвалах.

Отримані графіки залежностей описуються лінію першого ступеня з досить високим середньоквадратичним відхиленням, понад 0,9.

З даних графіків, що наведені на рис. 2 видно, що при однакових об'ємах розкривних порід які складається у відвалах, кількість необхідних бульдозерів, що формують відвали також різняться в залежності від їх потужності та продуктивності.

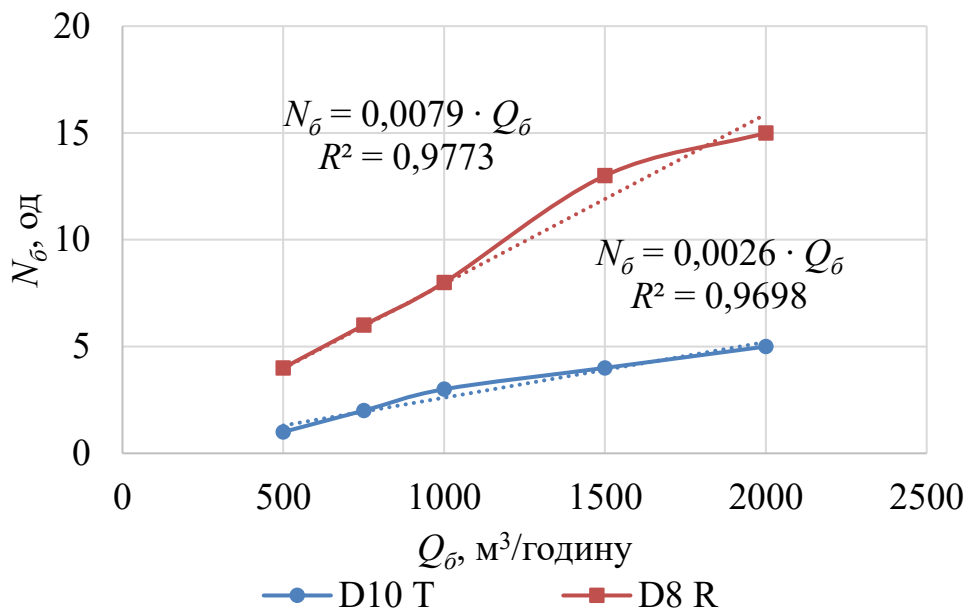


Рис. 2. Графіки залежностей необхідної кількості бульдозерів на відвалі від об'єму розкривних порід

Визначено, що при формуванні відвалів з об'ємом розкривних порід 500 м³/год необхідно чотири бульдозери *Cat D8R*, проти одного – *Cat D10T*. При складуванні гірських порід об'ємом 2 тис. м³ на годину необхідно мати в роботі 15 бульдозерів *Cat D8R* при 5 – *Cat D10T*.

Висновки.

Проведені дослідження дозволили встановити залежності необхідної кількості бульдозерного обладнання від об'ємів розкривних порід, що необхідно розмістити у відвалі.

Результати дослідження можуть бути використані на кар'єрах з видобутку скельних гірських порід, де застосовується бульдозерне відвалоутворення.

Техніко-економічний ефект від реалізації результатів роботи очікується позитивним завдяки підвищенню ефективності роботи при складуванні розкривних гірських порід з застосуванням сучасного бульдозерного обладнання.

Перелік посилань

1. Собко, Б. Ю., Пчолкін, Г. Д., Корсунський, Г. Я., & Ложніков, О. В. (2020). *Технологія відкритої розробки родовищ корисних копалин: навч. посіб.: у 2-х ч. Ч.2. Системи відкритої розробки родовищ*. НТУ "ДП", ТОВ "Копанія "Бульвар".
2. Бизов, В.Ф. (2003). *Проектування гірничих підприємств. Том XIV. Підручник для студентів вищих навчальних закладів за напрямком «Гірництво»*. Мінерал.
3. СОУ-Н МПП 73.020-078-1:2007 *Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. Частина 1. Гірничі роботи. Ліквідація гірничодобувних підприємств. Техніко-економічна оцінка та показники*. (2007). Міністерство промислової політики України.
4. Дриженко, А.Ю. (2011). *Кар'єрні технологічні гірничотранспортні системи*. НГУ.

5. Коробійчук, В.В., Кравець, В.Г., Іськов, С.С., Соболевський, Р.В., Криворучко, А.О., Толкач, О.М., & Шлапак, В.О. (2017). *Виймально-навантажувальні роботи на кар'єрах: навчальний посібник*. ЖДТУ.

ABSTRACT

Purpose. Determination of the optimal number of mining equipment when forming rock overburden dumps for iron ore open-cast mine conditions.

The methods. Analytical, statistical, and graph-analytical research methods were used in the work.

Findings. An analysis was conducted of the application of dump formation processes in deep iron ore open-cast mines, which affect the rhythm of the mining operation and the efficiency of the mining enterprise as a whole. It was determined that bulldozer dump formation is used in most modern iron ore open-cast mines. The advantages of using bulldozer dump formation when moving rock overburden to the dump-by-dump trucks are presented. The required volumes of dump containers for the conditions of the Ferrexpo Poltava Mining open-cast mine were determined. The influence of the power of bulldozer equipment on its required quantity depending on the volumes of overburden storage was established. The results obtained allow us to state that the most optimal bulldozer equipment used in the Ferrexpo Poltava Mining is the CAT D10T bulldozer.

The originality. The conducted studies allowed us to establish the dependence of the required number of bulldozer equipment on the volume of overburden that must be placed in the dump. The obtained dependences are described by first-order equations with a high degree of accuracy.

Practical implementation. The results of the studies allowed us to substantiate the rational number of modern bulldozer equipment when forming rock dumps. The results of the study can be used in rock mining where bulldozer dump formation is used.

Keywords: *deep iron ore open-cast mines, overburden rock, mining transport equipment, external dumps, bulldozer dump formation.*