

О.М.КОСТЯНСЬКИЙ, канд. техн. наук, НДГРІ, Криворізький національний університет
С.О. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф., Криворізький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВАНТАЖОПОТОКІВ НА ДПП КОНВЕЄРНИХ ПІДЙОМНИКІВ РОБОЧОЇ ЗОНИ ГЛИБОКИХ ЗАЛІЗОРУДНИХ КАР'ЄРІВ

Мета даної роботи спрямована на підвищення завантаження дробильно-перевантажувального пункту автомобільно-конвеєрного транспорту при відкритому видобутку залізної руди шляхом управління формуванням рудопотоків. При цьому повнота завантаження дробильно-перевантажувальних пунктів має вирішальне значення для ефективної роботи всього транспортного комплексу.

Методи досліджень. В роботі використовувалися методи статистично-логічного, каузального і компаративного аналізу й узагальнень щодо визначення закономірностей розвитку кар'єрних рудопотоків та причинних зв'язків і параметричних залежностей в них з урахуванням найбільш впливових факторів на основі удосконалених аналітичних розрахунків, що дозволило обґрунтувати авторську інтерпретацію результатів. За допомогою методу моделювання вивчався процес формування вантажопотоків на дробильно-перевантажувальний пункт (ДПП).

Наукова новизна. При встановленні розрахункових рудопотоків на проєктований ДПП для обґрунтування раціональних границь групи уступів, що обслуговуються ним, використовується аналітична залежність розподілу обсягів руди, обумовлена глибиною закладення горизонту і показано взаємозв'язок між розташуванням видобувних уступів, їх кількістю та завантаженням обслуговуючого ДПП.

Практичне значення. З використанням встановлених залежностей визначено ступінь завантаження дробильно-перевантажувального пункту рудою, а також обсяг сформованого рудопотоку з групи уступів, закріплених за цим ДПП та відстань перевезення до ДПП руди за подальшого поглиблення залізрудного кар'єру.

Результати. З використанням отриманих залежностей легко визначити розрахункове завантаження ДПП рудою, орієнтовну відстань її перевезення до даного ДПП. Запропонований методичний підхід до формування вантажопотоків на наступний ДПП при поглибленні конвеєрного підйомника дозволить оцінити його завантаження та рекомендувати раціональні параметри вантажопотоків для конкретних умов у майбутній період роботи кар'єру.

Враховуючи тенденції щодо формування рудних вантажопотоків на глибоких горизонтах при наступному облаштуванні ДПП, може бути рекомендованим вибір дробарок менших типорозмірів, що дозволить підвищити їх завантаження та знизити висоту перепідйому руди за подальшої розробки залізрудних покладів кар'єром.

Ключові слова: дробильно-перевантажувальний пункт, завантаження, розподіл руди по глибині кар'єру, керування рудопотоком.

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. При постійному збільшенні глибини залізрудних кар'єрів посилюється їх головна проблема – транспортна, так як збільшення глибини розробок викликає зростання відстані перевезення, яка у поєднанні з іншими негативними факторами призводить до неминучого зростання собівартості руди, що видобувається.

Транспортні витрати у собівартості видобутку руди можуть сягати 50-55% і мають стійку тенденцію до збільшення зі зростанням глибини кар'єру. На великих кар'єрах більш високі техніко-економічні показники дозволяє отримати комбінований транспорт, завдяки тому, що кожен із видів транспорту, які входять до комбінації, експлуатується за найбільш вигідних для нього умов. У схемах циклічно-потокової технології (ЦПТ) для доставки корисних копалин на фабрику з глибоких горизонтів кар'єра з міцними скельними породами та рудами при вантажопотоках 10-20 млн т і вище найбільшого розповсюдження набув автомобільно-конвеєрний транспорт (АКТ), конкурентоздатність якого зростає зі збільшенням площі і глибини кар'єру.

При цьому на формування внутрішньокар'єрних вантажопотоків значний вплив має розподіл руди в просторі кар'єру. Цей фактор необхідно по-новому враховувати під час планування продуктивності транспортних комплексів глибоких кар'єрів.

Аналіз досліджень і публікацій. Широкого застосування у теперішній час набула комбінація автомобільного та конвеєрного транспорту [1]. Досвід експлуатації транспортних схем із застосуванням ЦПТ на глибоких залізрудних кар'єрах показує, що ця технологія дозволяє скоротити кількість автосамоскидів, які обслуговують рудопотоки. При цьому, як правило, для транспортування конвеєром крупнокускової гірничої маси на перевантажувальних пунктах необхідно здійснювати її попереднє подрібнення [1]. Тому одним з головних елементів комплексу ЦПТ є дробильно-перевантажувальні пункти (ДПП).

У раніше виконаних дослідженнях [2-3] вирішувалися питання вдосконалення ЦПТ, досліджувався вплив спільної роботи кар'єрного автотранспорту та ДПП для встановлення раціональних параметрів ЦПТ методами імітаційного моделювання [4], зокрема – вплив обсягу бункера перед дробаркою крупного подрібнення на роботу рухомого складу автотранспорту.

Для дослідження зміни середньої відстані транспортування при місячному та тижнево-добовому плануванні роботи автотранспорту було побудовано імітаційну модель, що враховує розташування у просторі кар'єру екскаваторних блоків, та пунктів доставки гірничої маси, відстань транспортування гірничої маси [5].

Однак, задачу щодо визначення раціональної завантаженості ДПП неможливо вирішити, спираючись лише на розрахунок спільної роботи технологічного кар'єрного автотранспорту та ДПП для різних умов, можливих у період експлуатації розглянутого перевантажувального пункту. Для обґрунтованої відповіді на це питання потрібно враховувати розподіл за глибиною кар'єру обсягів гірничої маси, що транспортується з видобувних горизонтів на ДПП ЦПТ [6], оскільки від цих вантажопотоків залежить власне продуктивність ДПП.

Будь-яка оптимізація починається зі встановлення аналітичної залежності у розмірному вигляді. Подання завдання в обмеженому діапазоні зміни параметрів дозволяє вельми прості апроксимації вихідних зв'язків між гірничо-технологічними факторами [7,8]. При цьому етап спрощення полягає у заміні суворих параметричних функцій на апроксимації у вигляді алгебраїчних залежностей.

Постановка задачі. Для кар'єрів, що розробляють похилі та круті поклади з використанням транспортних комплексів з конвеєрними підйомниками з декількома ДПП, внаслідок збільшення висоти робочої зони часто виникає питання про повноту завантаження кожного ДПП та необхідність розподілу кар'єрних вантажопотоків між окремими ДПП. Істотно впливає на завантаження ДПП такий фактор, як відповідність обсягів гірничої маси, що транспортується, продуктивності ДПП.

Повнота завантаження кожного ДПП має суттєве значення для ефективної роботи всього комплексу АКТ, внаслідок значних обсягів (до 30 млнт) гірничої маси, що видається за допомогою комплексу на поверхню з робочих горизонтів кар'єру. Причому, вдосконалення роботи однієї ланки забезпечує покращення роботи всього комплексу АКТ.

Це диктує необхідність прогнозування розрахункової продуктивності кожного ДПП конвеєрного підйомника з урахуванням вантажопотоків з групи уступів, що ним обслуговуються, відокремлених умовними межами по висоті рудної робочої зони.

Параметри транспортних вантажопотоків АКТ визначаються кількістю обслуговуваних окремим ДПП горизонтів робочої зони (від чого залежить продуктивність ДПП), відстанню доставки вийнятої гірничої маси (руди) автотранспортом до ДПП, розміщенням за глибиною відносно ДПП груп рудних горизонтів, що ним обслуговуються та іншими параметрами, які в значній мірі впливають на продуктивність ДПП в комплексі АКТ, що конкретно актуалізує питання прогнозування завантаження ДПП. Його вирішення пов'язане з розподілом руди за глибиною кар'єру. Звернемо увагу й на те, що характер змін погоризонтних обсягів видобутої руди в залежності від глибини видобувного горизонту апроксимується алгебраїчною функцією. У поставленій задачі обмеженням є паспортна продуктивність дробарок ДПП.

Викладення матеріалу та результати. ДПП конвеєрного підйомника в кар'єрі може обслуговувати тільки певну кількість горизонтів рудної робочої зони. В цілому, слід прагнути до того, щоб обсяг видобутку руди з групи уступів, що обслуговуються даним ДПП, приблизно відповідав продуктивності його дробарки. При цьому, паспортна продуктивність дробарки ДПП не повинна бути меншою за обсяг вантажопотоку з групи уступів, яку обслуговує даний ДПП. Варіанти формування групи з уступів відрізняються між собою кількістю уступів, їх розташуванням відносно робочої зони кар'єру, сумарними обсягами руди вийнятої з горизонтів, що належать до даної групи, а також – відстанню її перевезення до ДПП і можуть порівнюватись за цими показниками.

Відстань перевезення руди автосамоскидами по транспортним комунікаціям з глибоких горизонтів кар'єру до ДПП залежить, як від розташування самого ДПП у просторі кар'єру, так і від розподілу обсягів руди відносно ДПП по глибині. Відстань перевезення руди до ДПП розраховується (за відсутності звітних даних) через середньозважену висоту її підйому від групи

уступів до ДПП, яка в свою чергу розраховується по прогнозованому розподілу видобутку руди з уступів, задіяних до транспортування з них руди на даний ДПП.

Для вирішення задачі встановлюється характер аналітичної залежності, що описує зміни обсягів видобутку руди залежно від глибини розташування горизонту її видобутку, та коефіцієнти рівняння.

Використовуючи досвід застосування апроксимації в гірничій справі [9], приймаємо, що апроксимуюча залежність, яка описує зміну величини обсягів V_i руди від глибини закладення горизонту x , має вигляд, тис. м³

$$V_i = a \cdot x^2 + b \cdot x + c, \quad (1)$$

де V_i – обсяг виїмки руди з i -горизонту, тис. м³; x – глибина закладення горизонту (порядковий номер уступу, рахуючи зверху вниз).

Визначимо невідомі коефіцієнти рівняння параболи, гілки якої спрямовані донизу, тобто $a < 0$, за такими даними: площа (S) параболи (рис.1), обмежена точками перетину її дуги з віссю абсцис x_1 і x_2 , приймається чисельно рівною продуктивності кар'єру по руді. Різниця між точками перетину параболи із віссю абсцис, тобто проміжок $x_2 - x_1 = f$ приймається відповідно висоті рудної робочої зони кар'єру.

Таким чином, використовуючи відомі показники (S, f), встановимо для даної залежності коефіцієнти рівняння, за допомогою якого можна визначити прогнозований розподіл погоризонтних обсягів видобутку руди (рис.1).

Одне з рівнянь може бути отримано як залежність, що визначає площу (S) параболи, яка утворюється кривою самої параболи, гілки якої спрямовані вниз, та віссю абсцис.

Рис.1. Визначення коефіцієнтів рівняння, що описує прогнозований розподіл погоризонтних обсягів видобутку руди, залежно від глибини розташування горизонту

При цьому скористаємося роботами з геометрії, де, завдяки застосуванню теоретичних положень механіки до геометрії, визначено площу параболи [10-13].

Інше рівняння отримаємо, приймаючи, що довжину параболи отримано як різницю між абсцисами крайніх точок, тобто $x_2 - x_1 = f$ (рис.1), яка відповідає різниці по глибині між першим і останнім (верхнім і нижнім) горизонтами рудної робочої зони (рахуючи кількість уступів) кар'єру. Таким чином, задавшись продуктивністю кар'єру (S), висотою рудної зони (f), згідно з [10-13] визначимо площу параболи, яка дорівнює

$$S = 2/3 \cdot (1/2 \cdot f \cdot H_B) = f \cdot abc/3, \quad (2)$$

де S – площа параболи, чисельно відповідна плановій продуктивності кар'єру по руді, тис. м³; $f = x_2 - x_1$ – висота рудної робочої зони (кількість уступів), $H_B = AK$ – висота трикутника, утвореного дотичними до крайніх точок параболи $C(x_1)$ і $D(x_2)$.

Відповідно до іншої аналогічної залежності [10-13], площа тієї ж частини параболи дорівнює,

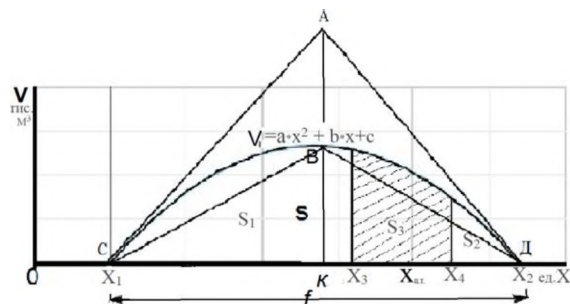
$$S = 4/3 \cdot (1/2 \cdot f \cdot H_m) = 2 \cdot f \cdot H_m/3, \quad (3)$$

де $H_m = BK$ – висота трикутника, вписаного в дугу параболи, вершина якого (точка B) одночасно є екстремумом функції $V_i = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$. Величину H_m можна визначити як $H_m = (c - b^2/4a)$. Тоді, з урахуванням значення H_m , площа S (рівняння 3) параболи (1) складе

$$S = 2/3 \cdot (c - \frac{b^2}{4a}) \cdot f \quad (4)$$

Для вирішення задачі встановлюється характер аналітичної залежності, що описує зміни обсягів видобутку руди залежно від глибини розташування горизонту її видобутку. Обидві формули (2) і (4) визначають одну й ту саму величину S – площу. Прирівнявши ці формули, отримаємо

$$1/3 \cdot f \cdot abc = 2/3 \cdot (c - b^2/4a) \cdot f \quad (5)$$



У точках перетину гілок параболи (див. рис.1) з віссю абсцис- x_1 і x_2 значення $V_i = ax^2 + bx + c = 0$. Розв'язавши рівняння, знайдемо x_1 та x_2 . Їхня різниця $(x_2 - x_1)$ дорівнює величині f (кількість уступів рудної робочої зони), тому маємо, одиниць

$$x_2 - x_1 = f = \frac{\sqrt{b^2 - 4ac}}{a} \quad (6)$$

Отриманий вираз після зведення у квадрат підставляємо у формулу (4), звідки знаходимо коефіцієнт a

$$a = -\frac{6 \cdot S}{f^3} \quad (7)$$

Підставивши значення коефіцієнта a у формулу (2) знайдемо вирази, що визначають коефіцієнти b та c

$$c = -\frac{f^2}{2 \cdot b}; b = -\frac{f^2}{2 \cdot c} \quad (8)$$

Площа S параболи знаходиться через інтеграл

$$S = \int_{x_1}^{x_2} (a \cdot x^2 + b \cdot x + c) dx = \frac{a \cdot f^3}{3} + \frac{b \cdot f^2}{2} + c \cdot f \quad (9)$$

З формули (9) знаходимо коефіцієнт c і прирівнюємо його до раніше отриманого значення коефіцієнта з виразу (8). Підставивши в отриману формулу значення коефіцієнта a (7), отримаємо рівняння

$$f^2 \cdot b^2 - 6 \cdot S \cdot b - f^3 = 0 \quad (10)$$

Розв'язавши рівняння (10), знаходимо коефіцієнт b , після чого, підставивши у формулу (8) значення коефіцієнта b , визначимо коефіцієнт c

$$b = \frac{3 \cdot S + \sqrt{9 \cdot S^2 + f^5}}{f^2}; c = -\frac{f^4}{2 \cdot (3 \cdot S + \sqrt{9 \cdot S^2 + f^5})} \quad (11)$$

В результаті, знаючи коефіцієнти a, b, c , отримаємо рівняння, що описує розподіл погоризонтних обсягів руди (1) в залежності від глибини закладання горизонту x , тис. м³

$$V_i = -\frac{6 \cdot S}{f^3} x^2 + \frac{3 \cdot S + \sqrt{9 \cdot S^2 + f^5}}{f^2} x - \frac{f^4}{2 \cdot (3 \cdot S + \sqrt{9 \cdot S^2 + f^5})} \quad (12)$$

Отримана залежність дозволить спрогнозувати на розрахунковий період розподіл обсягів руди по глибині та на його основі визначити обсяг перероблюваної ДПП руди і відстань її доставки на ДПП автотранспортом.

Вплив на транспортні рудопотоки глибини видобувних горизонтів, з яких руда транспортується на ДПП в залізорудному кар'єрі, розглянуто на прикладі, наближеному до умов кар'єру ІнГЗК, з якого руда на поверхню доставляється із застосуванням ЦПТ: автомобільним транспортом – до ДПП на концентраційні горизонти: -60, -180, -240, -300 м, де відбувається крупне дроблення дробарками ККД 1500/180 [14]. Потім – подається підземними конвеєрними трактами «Західний» та «Східний» на збагачувальну фабрику. При цьому для розробки цілика під ДПП на гор.-240м, його заплановано демонтувати. Руда видобувається [14] на горизонтах в інтервалі від гор.-60 м до -420 м.

У черговому проекті [15] набула подальшого розвитку система ЦПТ: у даному проекті передбачався ДПП на горизонті -300 м з будівництвом далі ДПП на горизонті -360 м (рис.2), в результаті чого скоротиться відстань перевезення гірничої маси автосамоскидами на 10%, що дає змогу підприємству зменшити собівартість транспортування [16].

Досвід експлуатації більшості технологічних комплексів ЦПТ засвідчує наявність резервів ефективності їх використання. Як підтверджує виконаний аналіз [18], більшість дробильно-конвеєрних комплексів ЦПТ ГЗК працюють із завантаженням 70-85% від проектної потужності. Основні причини цього – значна віддаленість ділянки видобувної робочої зони, що обслуговується від концентраційних горизонтів.

Визначимо розрахункову відстань перевезення руди автотранспортом від видобувних горизонтів до задіяного ДПП за нескладною формулою: $L=k \cdot h/i \cdot 1000$, де: L – відстань перевезення руди автотранспортом, км; h – висота підйому руди автосамоскидами до ДПП; k – коефіцієнт розвитку траси; i – ухил шляху, тис.

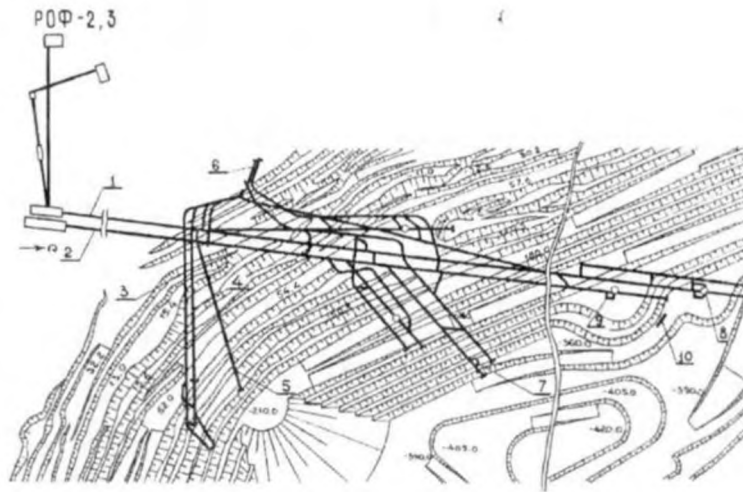


Рис.2. Схема розкриття кар'єру ІнГЗК похилими стволами, обладнаними конвеєрними підйомниками: 1, 2 – магістральні похилі стволи «Західний» і «Східний»; 3– вентиляційні штольні; 4 – конвеєрна штольня; 6 – ствол шахти "Вентиляційна"; 7, 8, 9 –дроби́льно-перевантажувальні пункти гор. -240 м, -360 м, -300 м [17]

Висоту підйому h руди до ДПП знаходимо як різницю відміток центрів мас- $x_{ц.т}$ групи уступів, що відпрацьовуватимуться на даний ДПП, і позначки x_3 – місця розташування самого ДПП, тобто $h=x_{ц.т}-x_3$, м.

Центр мас ($x_{ц.т}$) криволінійної ділянки (рис.1, заштрихована частина), обмеженої вищеведеним рівнянням $V_1=a \cdot x^2+b \cdot x+c$, віссю X і вертикальними лініями x_3, x_4 (відповідає групі уступів, руду з яких перероблятиме ДПП, розташований на уступі x_3), дорівнює: $x_{ц.т}=M_3/S_3$, де M_3 – статичний момент площі плоскої фігури S_3 , який знаходиться за формулою, м³

$$M_3 = \int_{x_3}^{x_4} x(a \cdot x^2 + b \cdot x + c) dx = -\frac{1.5S}{f^3} \cdot (x_4^4 - x_3^4) + \frac{3 \cdot S + \sqrt{9S^2 + f^5}}{3 \cdot f^2} (x_4^3 - x_3^3) - \frac{f^4}{4 \cdot (3S + \sqrt{9S^2 + f^5})} (x_4^2 - x_3^2) \quad (13)$$

Площа криволінійної ділянки (рис.1, заштрихована частина), що дорівнює об'єму видобутої руди з уступів, які обслуговуються даним ДПП, тис.м³

$$S_3 = \int_{x_3}^{x_4} (a \cdot x^2 + b \cdot x + c) dx \quad (14)$$

Підставивши M_3 і S_3 в формулу визначення положення центру мас ($x_{ц.т}$) ділянки, обмеженої координатами x_3, x_4 на осі X (рис.1), отримаємо, од.

$$x_{ц.т.} = \frac{\frac{a}{4} \cdot (x_4 + x_3) \cdot (x_4^2 + x_3^2) + \frac{b}{3} \cdot ((x_4 + x_3)^2 - x_4 \cdot x_3) + \frac{c}{2} \cdot (x_4 + x_3)}{\frac{a}{3} \cdot ((x_4 + x_3)^2 - x_4 \cdot x_3) + \frac{b}{2} \cdot (x_4 + x_3) + c} \quad (15)$$

Після підстановки виразів a, b і c у формулу (15), отримаємо, одиниці

$$x_{ц.т.} = \frac{-\frac{1.5 \cdot S}{f^3} \cdot (x_4 + x_3) \cdot (x_4^2 + x_3^2) + \frac{3 \cdot S + \sqrt{9 \cdot S^2 + f^5}}{3 \cdot f^2} \cdot ((x_4 + x_3)^2 - x_4 \cdot x_3) - \frac{f^4}{4 \cdot (3 \cdot S + \sqrt{9 \cdot S^2 + f^5})} \cdot (x_4 + x_3)}{-\frac{2 \cdot S}{f^3} \cdot ((x_4 + x_3)^2 - x_4 \cdot x_3) + \frac{3 \cdot S + \sqrt{9 \cdot S^2 + f^5}}{2 \cdot f^2} \cdot (x_4 + x_3) + \frac{f^4}{3 \cdot S + \sqrt{9 \cdot S^2 + f^5}}}$$

Обсяг руди, переробленої ДПП, що знаходиться на уступі x_3 , буде дорівнювати обсягу її видобутку на ділянці, обмеженій координатами x_3, x_4 (рис.1) $S_3=S-S_1-S_2$, де S – площа, утворена кривою параболи і віссю абсцис, обмежена точками x_1, x_2 ; S_1 – площа, утворена кривою параболи, віссю абсцис і вертикальними лініями x_1, x_3-1 ; S_2 –площа, утворена кривою параболи, віссю абсцис, вертикальною лінією x_4 і точкою x_2 . Визначимо площу ділянки S_3 як різницю площі S

та площ ділянок S_1, S_2 суміжних з ділянкою S_3 . Після перетворень отримаємо формулу, що визначає величину площі ділянки S_3 , яка дорівнює обсягу руди, видобутої на горизонтах, закріплених за ДПП, m^3

$$S_3 = \frac{a \cdot (x_4^3 - (x_3 - 1)^3)}{3} + \frac{b \cdot (x_4^2 - (x_3 - 1)^2)}{2} + c \cdot (x_4 - x_3 + 1) \quad (16)$$

Після підстановки a, b і c в рівняння (16), отримаємо, m^3

$$S_3 = \frac{2 \cdot S \cdot ((x_3 - 1)^3 - x_4^3)}{f^3} + \frac{(3 \cdot S + \sqrt{9 \cdot S^2 + f^5}) \cdot (x_4^2 - (x_3 - 1)^2)}{2 \cdot f^2} - \frac{f^4 \cdot (x_4 - x_3 + 1)}{2 \cdot (3 \cdot S + \sqrt{9 \cdot S^2 + f^5})} \quad (17)$$

Продуктивність комплексу ЦПТ становить $S=27$ млн т руди на рік [19] або 8060 тис. m^3 руди. Як приклад, визначимо для умов, наближених до кар'єру ІнГЗК, обсяг руди, що транспортується на ДПП, розташований на гор.-300м, з ділянки S_3 (рис. 1). Пронумеруємо горизонти зверху донизу, приймаючи за точку відліку гор.-60м зі зростанням нумерації до дна кар'єру, тобто до гор.-420м. При цьому ДПП – розташовано на 17-му уступі.

Знайдемо розрахунковий обсяг руди для ДПП, припускаючи, що він обслуговує групу уступів від гор. -300 м до -420м, що визначиться за формулою (17), тис. m^3

$$S_3 = \frac{2 \cdot 8060 \cdot ((17 - 1)^3 - 25^3)}{25^3} + \frac{(3 \cdot 8060 + \sqrt{9 \cdot 8060^2 + 25^5}) \cdot (25^2 - (17 - 1)^2)}{2 \cdot 25^2} - \frac{25^4 \cdot (25 - 17 + 1)}{2 \cdot (3 \cdot 8060 + \sqrt{9 \cdot 8060^2 + 25^5})} = 2405$$

За проектної потужності ДПП 18 млн т/рік, розрахункова завантаженість його при обслуговуванні згаданої групи уступів складе 40-50%. При недозавантаженні рудою ДПП, розташованого в нижній частині робочої зони, за доволі значний проміжок часу можливим буде збільшити його завантаження, збільшивши кількість уступів, що обслуговуються даним ДПП, але тоді зменшиться завантаження рудою ДПП суміжних зі згаданим, що свідчить про можливість оптимізації вантажопотоків.

Обчислимо центр мас- $x_{y.m.}$ плоскої фігури S_3 , що становить відповідно центр мас групи уступів, які відпрацьовуються на даний ДПП, при $f = 25$, $x_4 = 25$, $S = 8060$ тис. m^3 , один.

$$x_{y.m.} = \frac{-\frac{1,5 \cdot 8060}{25^3} \cdot (25 + 17) \cdot (25^2 + 17^2) + \frac{3 \cdot 8060 + \sqrt{9 \cdot 8060^2 + 25^5}}{3 \cdot 25^2} \cdot ((25 + 17)^2 - 25 \cdot 17) - \frac{25^4 \cdot (25 + 17)}{4 \cdot (3 \cdot 8060 + \sqrt{9 \cdot 8060^2 + 25^5})}}{-\frac{2 \cdot 8060}{25^3} \cdot ((25 + 17)^2 - 25 \cdot 17) + \frac{3 \cdot 8060 + \sqrt{9 \cdot 8060^2 + 25^5}}{2 \cdot 25^2} \cdot (25 + 17) + \frac{25^4}{3 \cdot 8060 + \sqrt{9 \cdot 8060^2 + 25^5}}} = 20,2$$

Відстань перевезення руди до ДПП автомобільним транспортом визначимо, як, км

$$L = \frac{k \cdot (x_{y.m.} - x_3) \cdot h_y}{i \cdot 1000} = \frac{1,05 \cdot (20 - 17) \cdot 15}{0,025 \cdot 1000} = 1,9,$$

де h_y – висота уступу ($h_y=15$ м), м.

Враховуючи вищевикладене, як альтернатива для підвищення завантаженості ДПП на нижніх горизонтах кар'єру, є можливим застосування дробарок меншого типорозміру, наприклад ККД–1200/150, з продуктивністю 680 m^3 /год. [20], що також дозволить зменшити висоту перепідйому руди.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Дослідження завантаження ДПП, а також зміни середньої відстані перевезення руди автотранспортом може бути здійснено за допомогою математичної моделі, що враховує функцію розподілу руди по глибині видобутку і слугуватиме для вивчення формування вантажопотоків на ДПП.

Для оцінки ефективності транспортування АКТ залізорудної сировини з кар'єру доцільним є аналіз прогнозованих вантажопотоків на ДПП АКТ. Хоча, аналітичний розрахунок вантажопотоків руди на ДПП є наближеним, він полегшить вирішення завдання з передпроектного визначення продуктивності чергового ДПП у майбутній період. В цьому зв'язку, при проектуванні чергового ДПП, розташованого на нижніх горизонтах кар'єру, з огляду на його завантаження, може бути застосована дробарка меншого типорозміру, наприклад ККД–1200/150 [20].

Використання встановлених залежностей допоможе обґрунтувати раціональний розподіл руди між окремими ДПП конвеєрного підйомника, якщо кількість ДПП – більша одиниці. При цьому оцінюється кількісно також розрахунковий вантажопотік та ступінь завантаження ДПП.

Запропонований підхід щодо визначення завантаженості ДПП враховує мінімальну кількість необхідних параметрів, що характеризують роботу ЦПТ по транспортуванню руди з робочих горизонтів на поверхню, та може застосовуватись при проектуванні АКТ на більшості залізрудних кар'єрів.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на виявлення закономірних зв'язків між різними техніко-економічними показниками ДПП конвеєрних трактів для вдосконалення оцінки довготривалих періодів їх експлуатації при плануванні наступних черг будівництва ДПП ЦПТ з урахуванням вантажопотоків, а також бажано більш детально обґрунтувати величину використаних в розрахунках коефіцієнтів.

Список літератури

1. **Фролов О.О.** Відкриті гірничі роботи: Ч. I. Процеси відкритих гірничих робіт [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності «Гірництво» / **О.О.Фролов, Т.В.Косенко**// Електронне мережне навчальне видання. КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ .- 2020. – 151 с.
2. **Kolonja B.** Simulation of in-pit crushing system using Auto Mod // **B.Kolonja, R. Stanic, J.Hamovic** 19th World Mining Congress, – New Delhi (India), 2003. – P. 517-531.
3. **Слободянюк В.К.** Особенности оптимизации технологических схем циклично-поточной технологии / **В.К. Слободянюк, И.И. Максимов** // Збірник наукових праць ННУ. – 2010. – № 34, Т. 2. – С. 42-53.
4. **Слободянюк В.К.** Исследование и обоснование рациональных параметров дробильно-перегрузочного пункта / **В.К. Слободянюк, О.Н. Гуренко, А.Л. Ромашков, Р.В. Слободянюк** // Збагачення корисних копалин. Кривий Ріг, - 2010. – Вип. 43(84).
5. **Пищик М.М.** Дослідження залежності відстані транспортування гірничої маси автосамоскидами від гірничо-технічних умов в кар'єрі / **М.М.Пищик, Р.В. Слободянюк**// «Розвиток промисловості та суспільства». Міжнародна науково-технічна конференція ДВНЗ «КНУ». Кривий Ріг. - 2017 р. - С.-6.
6. **Жуков С.О.** Прогнозування змін параметрів вантажопотоків ППП конвеєрних підйомників у наступному періоді їх експлуатації/ **С.О. Жуков, О.М. Костянський**// Вісник КНУ, Вип. 54, 2022 р., Кривий Ріг. С.121-126.
7. **Арсеньев А.Ю.** «Теория подобия в инженерных экономических расчетах». Недра, 1967. - 200 с.
8. **Сердюк Л.Л.** Теория розмірностей, подібності та математичне моделювання: навчальний посібник для студентів та аспірантів вищих навчальних закладів. ПНТУ, Полтава, 2008 – 160 с.
9. **Грищенко Н.В.** Сравнительный анализ методов аппроксимации/ **Н.В.Грищенко, С.А. Семериков, А.А. Харраджян, Е.В.Чернов**// Криворожский государственный педагогический институт. Кафедра информатики и прикладной математики. Друкарня СП Мира. Кривой Рог, 1998- 26 с.
10. **Dijksterhuis E.J. Archimedes.** — 1987. — ISBN 0-691-08421-1. Thomas L. Heath. The Works of Archimedes. — 2nd. — 2011. — ISBN 978-1-4637-4473-1
11. **Luciano Ancora.** Quadrature of the parabola with the square pyramidal number // Archimede. — 2014. — Т. 66, вып. 3.
12. **Архимед** Квадратура параболы. Париж, Les Belles Lettres, 1971 г. (ISBN 2-251-00025-9) - 189 с.
13. **Уоллис Джон**, Arithmetica infinitorum, предложения с XIX по XXIV. [Арифметика бесконечно малых (Источники и исследования по истории математики и физических наук)]// издание 2004 г. Издательство: Springer, - 226 с. Язык: Английский.
14. **Григорьев Ю.И.** Технические решения по отработке Ингулецкого месторождения карьером ЧАО «ИнГок» в границах лицензионной площади/ **Ю.И. Григорьев, М.Д. Миронов, А.В. Дрок** // Геотехнічна механіка, 2016.- №129, С. 116- 121.
15. Комплексный проект поэтапного развития горных работ и переработки минерального сырья до конца отработки Ингулецкого месторождения. Поэтапное развитие горных работ и переработки магнетитовых руд., проект / ГП «ГПИ «Кривбасспроект»; ГИП **Н.В. Корчагин**. – Кривой Рог, 2006. – 63 с.
16. **Крамаренко О.** Новий тракт ЦПТ Ингулецкого ГЗК – один з наймасштабніших проектів за часи незалежності України // 02 вересня 2022 р. <http://krivbass.city/news/view/novij-trakt-tspt-inguletskogo-gzkodin-z-najmasshtabnishih-proektiv-za-chasi-nezalezhnosti-ukraini>. [Електронний ресурс].
17. Криворожский экономический институт (КНЭУ) им. В.Гетьмана. Раздел 3.4.doc Ленточные конвейеры и дробилки. <https://studfile.net/preview/9736700/> [Електронний ресурс]
18. **Федоренко С.О.** Аналіз технологічного потенціалу періодичних коливань продуктивності ЦПТ як резерву мультиструктурних вантажопотоків/ **С.О.Федоренко, С.О.Жуков, Ю.М.Навитний, С.В.Ткаличенко**// Вісник КНУ, Вип. 41, 2016 р., Кривий Ріг, Стр. 126-132.
19. **Валім Колисниченко**/ИнГок направил \$45 млн на строительство комплекса ЦПТ в карьере. 15.06.2021 <https://gmk.center/news/ingok-napravil-45-mln-na-stroitelstvo-kompleksa-cpt-v-karere/> [Електронний ресурс].
20. Техническая характеристика конусных дробилок крупного дробления с гидравлическим регулированием щели. Информационный ресурс: msd.com.ua Мастерская Своего Дела. <https://msd.com.ua/mashinostroenie/tehnicheskaya-kharakteristika-konusnykh-drobilok-krupnogo-drobleniya-s-gidravlicheskim-regulirovaniem-shheli-29/> [Електронний ресурс]

Рукопис подано до редакції 14.04.2023