

І.І. Максимов, к.т.н., доц.

Р.В. Слободянюк, аспір.

ДВНЗ «Криворізький національний університет»

Аналіз впливу розміщення точки зведення гірничої маси на сумарний об'єм автотранспортної роботи

Метою даної роботи є подальша розробка методологічної основи для визначення координат оптимальної точки звозу гірничої маси та дослідження впливу на оптимальну точку звозу просторового розташування екскаваторних вибоїв.

У статті надано огляд сучасних досліджень, в яких для мінімізації логістичних процесів застосовуються алгоритми з використанням точки Ферма-Торрічеллі. У роботі використані методи математичної оптимізації та аналітичної геометрії. Універсальну аналітичну формулу визначення координат точки Ферма-Торрічеллі для трикутника встановити неможливо через невизначеність деяких проміжних операцій. Розв'язання задачі приводить до системи ірраціональних рівнянь, які не мають однозначної відповіді. Але рішення можливо отримати для симетричної фігури. В даній роботі проаналізоване положення оптимальної точки для деяких симетричних фігур, для яких одна з координат відома (наприклад $y_S = 0$). Встановлені закономірності впливу продуктивності екскаваторних вибоїв на положення точки Ферма-Торрічеллі. Доведено, що коли продуктивність одного з екскаваторів в 1,7 рази більша за продуктивність інших, то точка Ферма-Торрічеллі зміщується до округи цього екскаватору.

Виконані дослідження спрямовані в першу чергу на оптимізацію кар'єрного автомобільно-залізничного транспорту. Розглядаючи оптимізацію транспортної роботи для групи з трьох екскаваторів, очевидно, що, переміщуючи гірничу масу від двох екскаваторів в область третього екскаватора, що має велику продуктивність, ми тим самим визначаємо оптимальне положення екскаваторного перевантажувального пункту і екскаваторного забою з «нульовою» відстанню транспортування гірничої маси автотранспортом. З ростом глибини кар'єрів залізничний транспорт втрачає свою ефективність переважно не через менший в порівнянні з автомобільним транспортом подоланий ухил, а через необхідність заморожувати ділянку борту кар'єра для розміщення екскаваторних перевантажувальних пунктів. Усунувши вищезгаданий недолік, можна істотно підвищити ефективність кар'єрного транспорту. В роботі розглянуто новий спосіб формування і експлуатації екскаваторного перевантажувального пункту.

Розміщення перевантажувального пункту в оптимальній точці дозволяє знизити обсяг транспортної роботи на 10–30 %.

Ключові слова: перевантажувальний пункт; точка Ферма-Торрічеллі; мінімізація транспортної роботи.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими практичними завданнями. З метою мінімізації транспортної роботи при плануванні і проектуванні кар'єрів постає необхідність визначення раціональної точки зведення гірничої маси. Це завдання виникає при обґрунтуванні раціонального положення перевантажувального складу комбінованого кар'єрного транспорту. Аналіз проектних рішень щодо розвитку в кар'єрі системи комбінованого транспорту показує, що положення перевантажувальних пунктів часто негативно впливає на динаміку гірничих робіт [1–7]. Це пов'язано з тим, що у багатьох випадках застосовуються конструктивні рішення щодо перевантажувальних пунктів, які вже не відповідають умовам глибоких кар'єрів. Такий підхід до розвитку транспортної схеми кар'єру призводить до неоптимальних технічних рішень, що знижує економічну ефективність гірничих робіт. В теорії гірничої справи немає загального і повного рішення задачі оптимізації параметрів та положення перевантажувального пункту (тимчасового відвалу), що забезпечує мінімум транспортної роботи кар'єрних автосамоскидів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В гірничій справі (та багатьох інших галузях) актуальною є задача знаходження оптимальної точки зведення гірничої маси (оптимальне розташування перевантажувального пункту), що забезпечує мінімізацію сумарного об'єму перевезень (S – точка Ферма-Торрічеллі). Протягом 350 років було запропоновано кілька методів знаходження оптимальної точки, але вони мають деякі недоліки і не є універсальними. В роботі [8] проведено детальний аналіз геометричних методів (запропоновані в XVII–XIX ст.) та проаналізований вплив форми та розмірів трикутника на зміну положення точки S , наведені формули координат точки S для чотирикутника. Аналогічні формули для трикутника встановити неможливо через невизначеність деяких проміжних

операцій (невизначеність знаку при знаходженні квадратного кореня; формули змінюються для точок «ліворуч» або «праворуч», «зверху» або «знизу»).

В роботах [8, 9] авторами запропонований універсальний градієнтний метод знаходження точки S для довільної кількості точок n з однаковою або різною продуктивністю. Спочатку за простими формулами знаходимо координати центру ваги (початкова точка), і знаходимо об'єм автотранспортних перевезень для обраної точки та восьми сусідніх з нею (в різних напрямках, на відстані $\pm \Delta x$; $\pm \Delta y$), з дев'яти точок обираємо точку з найменшим об'ємом перевезень і т.д. до остаточного знаходження оптимальної точки S .

Постановка завдання. Метою даної статті є дослідження особливостей впливу продуктивності екскаваторних вибоїв на положення оптимальної точки звезення при кількості екскаваторних вибоїв, що дорівнює 3, та обґрунтування отриманих результатів з точки зору подальшого вдосконалення комбінованого автомобільно-залізничного транспорту.

Викладення основного матеріалу. Запропоновані та розроблені раніше методи не дають змоги проаналізувати характер зміни сумарного об'єму перевезень зі зміною положення (координат) точки звезення, не встановлена залежність координат оптимальної точки S від параметрів трикутника (при $n=3$, або многокутника, при $n>3$). Аналогічні методи приводять до системи ірраціональних рівнянь, які не дають однозначної відповіді (причини наводились вище). В даній роботі проаналізоване положення оптимальної точки для деяких симетричних фігур, для яких одна з координат відома (наприклад $y_S = 0$). Розглянемо рівнобедрений трикутник з розміщенням центру системи координат в середині основи трикутника (рис. 1).

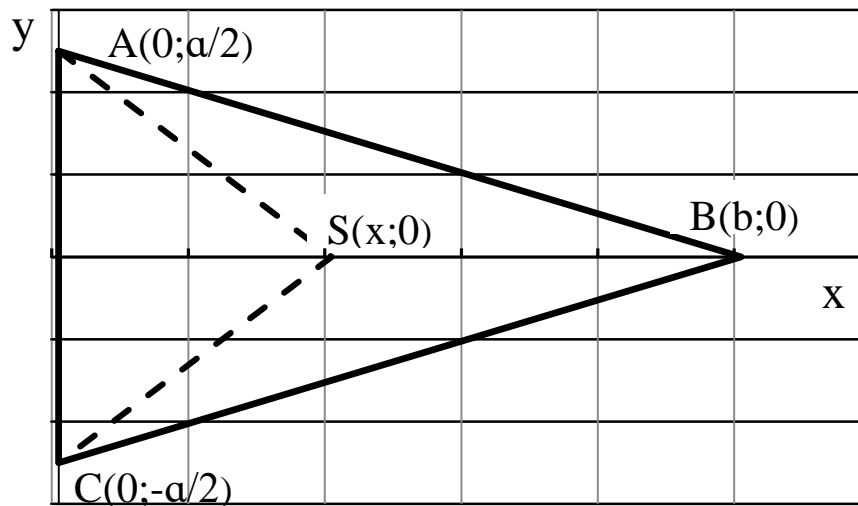


Рис. 1. Схема для знаходження оптимальної точки звезення для рівнобедреного (симетричного) трикутника ($AB=BC$)

Якщо продуктивність забоїв однакова (Q), то сумарна транспортна робота дорівнює:

$$F(x) = Q \left[2\sqrt{\frac{a^2}{4} + x^2} + (b-x) \right] \Rightarrow \min ; \quad (1)$$

Знаходимо похідну, прирівнюємо до нуля і одержуємо рівняння:

$$\frac{2x}{\sqrt{\frac{a^2}{4} + x^2}} - 1 = 0 ; \quad (2)$$

Остаточо знаходимо:

$$x = \frac{a\sqrt{3}}{6} ; \quad (3)$$

Одержане значення відповідає геометричному розв'язку [8] і дорівнює половині радіуса кола, описаного навколо рівностороннього трикутника Наполеона, побудованого «ліворуч» на стороні $AC=a$. Підтверджується висновок [8], що положення оптимальної точки залежить тільки від параметра a і не залежить від відстані b , на якій знаходиться точка B . При віддаленні точки B вздовж осі Ox положення оптимальної точки не змінюється.

Розглянемо аналогічну задачу при умові, що продуктивність точки B більша (або менша) від точок A і C та складає $K \cdot Q$, де K -деякий коефіцієнт. Тоді рівняння (2) прийме вигляд:

$$\frac{2x}{\sqrt{\frac{a^2}{4} + x^2}} - K = 0; \quad (4)$$

Остаточо знаходимо :

$$x = \frac{a}{2} \times \frac{K}{\sqrt{4 - K^2}}; \quad (5)$$

При $K=1$ продуктивність точок A ; B ; C однакова, одержуємо значення (3). При $K=2$ (продуктивність точки B вдвічі перевищує продуктивність точок A та C) одержуємо $x \rightarrow \infty$. Виходячи з фізичного та геометричного змісту задачі, оптимальною точкою зведення буде точка B . Цей висновок співпадає з висновками інших дослідників, які були одержані за допомогою моделей трикутників.

На моделі відмічалось (у масштабі) положення точок A ; B ; C . Через отвори на шнурках підвішували гіри та шнурки зв'язували (т. S). Положення вузла відповідає положенню оптимальної точки зведення [10–11]. Якщо вагу гіри, що відповідає точці B , збільшити вдвоє, то вузол «провалюється» в точку B (т. B оптимальна). В роботі [9] цей висновок доводиться геометричними методами. У цьому висновку легко переконатись, якщо у чотирикутника дві з вершин необмежено наближаються до спільної точки, то при цьому точка перетину діагоналей наближається до цієї зведеної точки (точка перетину діагоналей для чотирикутника є точкою Ферма-Горрічеллі). Аналогічний висновок випливає з формули (5) та є більш строгим доведенням.

Підставляємо в формулу (5) значення $x=b$ і знаходимо коефіцієнт K , при якому точка B буде оптимальною:

$$b = \frac{a}{2} \times \frac{K}{\sqrt{4 - K^2}}; \rightarrow K = \frac{2b}{\sqrt{b^2 + \frac{a^2}{4}}}; \quad (6)$$

Для рівностороннього трикутника ABC $b = \frac{a\sqrt{3}}{2}$ і одержуємо $K = \sqrt{3} \approx 1,73$.

Точка B буде оптимальною при її продуктивності $Q\sqrt{3}$ (на 73 % перевищує продуктивність точок A і C). При віддаленні точки B величина коефіцієнта K збільшується, при $b=2a$ $K=1,95$. На рисунку 2 наведено графік функції (6), який відображає характер збільшення коефіцієнта K при віддаленні точки B .

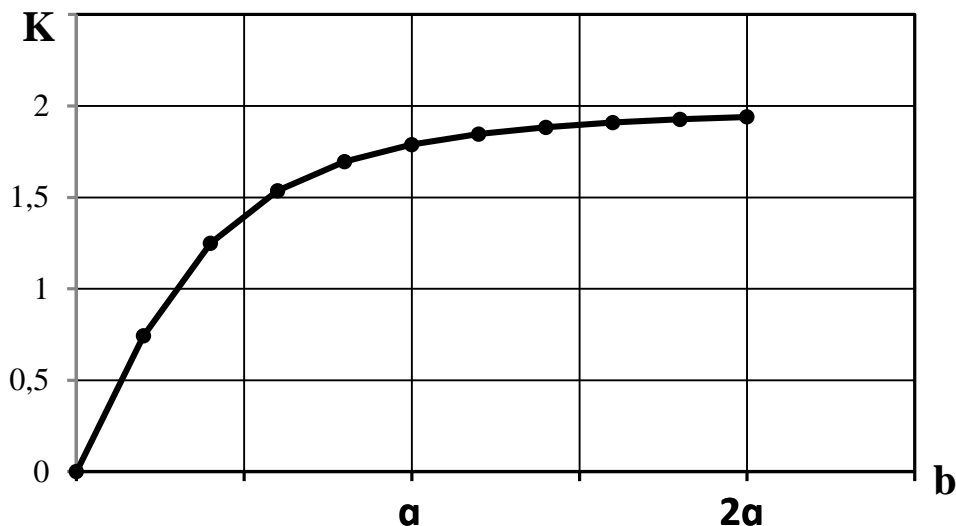


Рис. 2. Графік зміни параметра K при віддаленні точки B

На рисунку 3 наведений графік функції (1) – сумарного об'єму перевезень. З графіка видно, що найменше значення об'єму перевезень буде при розміщенні перевантажувального пункту в оптимальній точці (Ферма-Горрічеллі) при $x = \frac{a\sqrt{3}}{6}$. При збільшенні x сумарний об'єм перевезень збільшується, а при $x > a$ збільшення пропорційне відстані x .

Функція (1) має похилу асимптоту $y=Q(x+b)$, що свідчить про пропорційне зростання об'єму перевезень ($x > a$). Ефективність вибору оптимальної точки зведення розглянемо на прикладі рівностороннього трикутника. При зведенні гірничої маси в одну з вершин трикутника сумарний об'єм перевезень дорівнює $2aQ$. При розміщенні точки зведення посередині однієї з сторін (т. O , рис.1)

сумарний об'єм складає $a \times Q \left(1 + \frac{\sqrt{3}}{2}\right) \approx 1,87 a \times Q$ (зменшується на 6,7 %), а при виборі оптимальної точки Ферма-Торрічеллі — $a \times Q \sqrt{3} \approx 1,73 a \times Q$ (зменшується ще на 7,2 %).

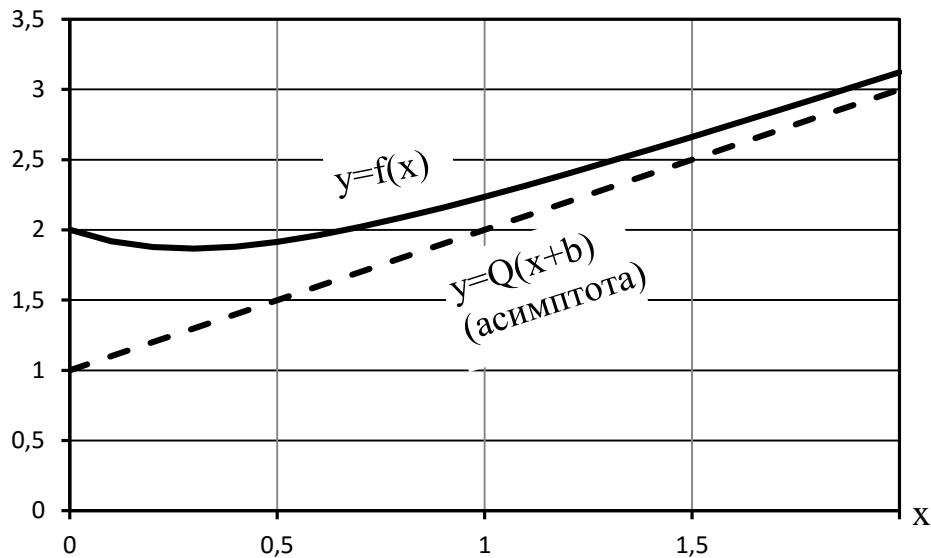


Рис. 3. Зміна сумарного об'єму транспортної роботи при переміщенні точки зведення вздовж осі OX

Аналогічне дослідження характеру зміни сумарної автотранспортної роботи проводилося для випадку, коли продуктивність точки В вдвічі більша, ніж у точок А і С. Формула (1) приймає вигляд:

$$F(x) = Q \left[2 \sqrt{\frac{a^2}{4} + x^2} + 2(b-x) \right]$$

При цьому оптимальною точкою зведення (Ферма-Торрічеллі) буде точка В.

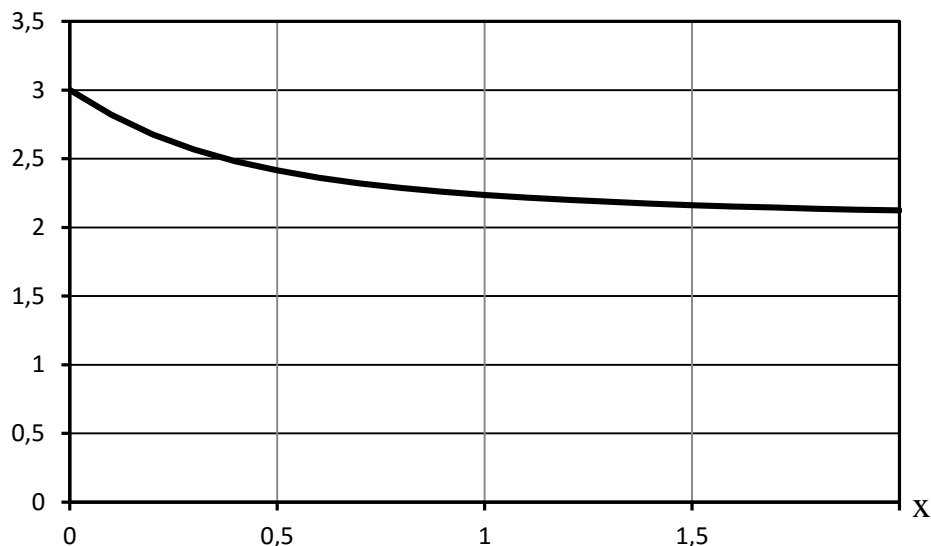


Рис. 4. Зміна сумарного об'єму перевезень при двократному перевищенні продуктивності точки В

Аналіз графіка 4 показує, що при переміщенні точки зведення з точки О в точку В сумарний об'єм транспортних перевезень зменшується на 30 %.

Порівняння графіків (рис. 3, 4) показує, що при збільшенні продуктивності точки В кардинально змінюється характер сумарної транспортної роботи.

Виконані дослідження спрямовані в першу чергу на оптимізацію кар'єрного автомобільно-залізничного транспорту. Розглядаючи оптимізацію транспортної роботи для групи з трьох екскаваторів, очевидно, що переміщуючи гірничу масу від двох екскаваторів в область третього екскаватора, що має велику продуктивність, ми тим самим визначаємо оптимальне положення екскаваторного перевантажувального

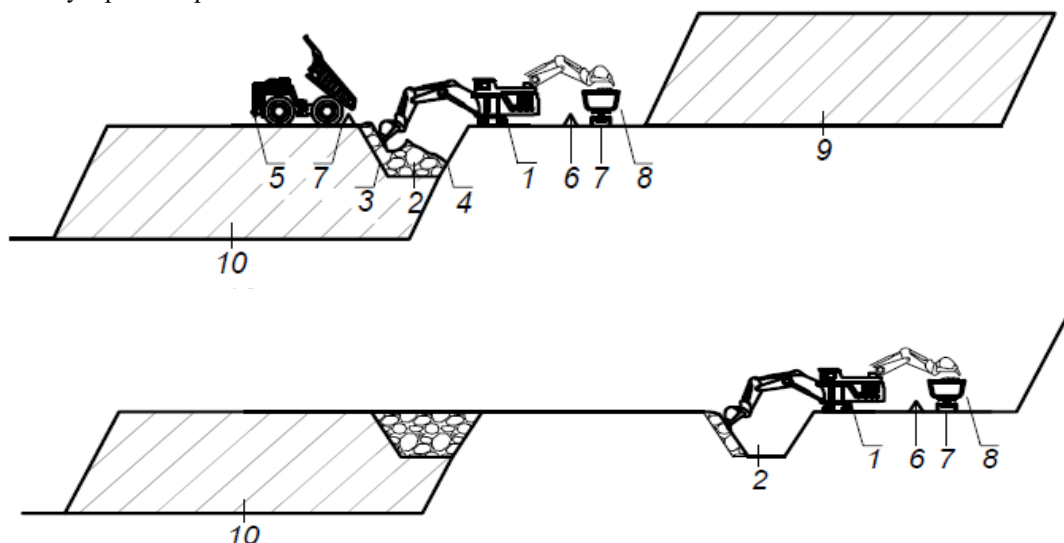
пункту і екскаваторного забою з «нульовою» відстанню транспортування гірничої маси автотранспортом (тобто екскаватора, працюючого на другу ланку комбінованого кар'єрного транспорту – на залізничний транспорт). З ростом глибини кар'єрів залізничний транспорт втрачає свою ефективність переважно не через менший в порівнянні з автомобільним транспортом подоланий ухил, а через необхідність заморожувати ділянку борту кар'єра для розміщення екскаваторних перевантажувальних пунктів. Усунувши вищезгаданий недолік, можна істотно підвищити ефективність кар'єрного транспорту. В роботі [12] запропоновано новий спосіб формування і експлуатації екскаваторного перевантажувального пункту.

Недоліки перевантажувальних пунктів, обладнаних канатними екскаваторами, полягають в тому, що протягом експлуатації перевантажувального пункту виникає перетин автомобільного і залізничного транспорту, що призводить до зниження продуктивності автосамоскидів, а розвантаження автосамоскидів на рівні вище установки екскаватора не дозволяє сумістити в часі і просторі роботи з завантаження і розвантаження, що призводить до збільшення довжини і ширини перевантажувального пункту, до зниження продуктивності екскаватора і збільшення відстані транспортування гірничої маси автосамоскидами. Для розміщення перевантажувального пункту необхідно законсервувати ділянку борту кар'єру, що знижує продуктивність кар'єра по гірничій масі. Розроблена технологія забезпечує зниження негативного впливу перевантажувальних пунктів на динаміку гірничих робіт, підвищення продуктивності автосамоскидів за рахунок усунення додаткового підйому гірничої маси автосамоскидами і перетину автомобільних і залізничних доріг, зменшення площі, необхідної для розташування на борту кар'єра перевантажувального пункту (рис. 5).

Гірничі роботи за розробленою технологією виконуються наступним чином (рис. 5). Гідравлічним екскаватором типу обернена лопата (1) проходять приймальну траншею (2). Сформовану приймальну траншею (2) по ширині умовно розділяють на дві ділянки: розвантажувальний борт (3) і завантажувальний борт (4). Заповнення приймальної траншеї (2) гірничою масою здійснюють на розвантажувальному борту (3) автосамоскидами (5). У загальному випадку для недопущення перетину технологічних доріг розвантажувальним бортом (3) є борт приймальної траншеї (2), що розташований ближче до нижчележачих горизонтів кар'єра, завантажувальним бортом (4) – борт приймальної траншеї, що розташований ближче до вищележачих горизонтів кар'єра. Залізничну колію (7) вкладають вздовж завантажувального борта (4) приймальної траншеї (2).

Перевантаження гірничої маси з приймальної траншеї (2) виконують гідравлічним екскаватором (1), який розташовують на завантажувальному борту (4) приймальної траншеї (2) в засоби залізничного транспорту (8), що розташовані на рівні установки гідравлічного екскаватора.

Перевантажувальний пункт експлуатують протягом часу відпрацювання екскаваторної заходки (заходок) вищележачого уступу (8). Після посування гірничих робіт на вищележачому уступі на майданчику, що звільнився, гідравлічним екскаватором типу обернена лопата (1) проходять приймальну траншею (2). Після вводу в експлуатацію переміщеного перевантажувального пункту виконують відпрацювання екскаваторної заходки (заходок) (9) нижчележачого уступу. Для підвищення продуктивності перевантажувального пункту на завантажувальному борту траншеї на безпечній відстані один від одного розташовують два і більше гідравлічних екскаваторів типу обернена лопата. Використання перевантажувального пункту запропонованої конструкції забезпечує підвищення продуктивності гірничотранспортного обладнання та зменшує негативний вплив кар'єрного транспорту на динаміку гірничих робіт.



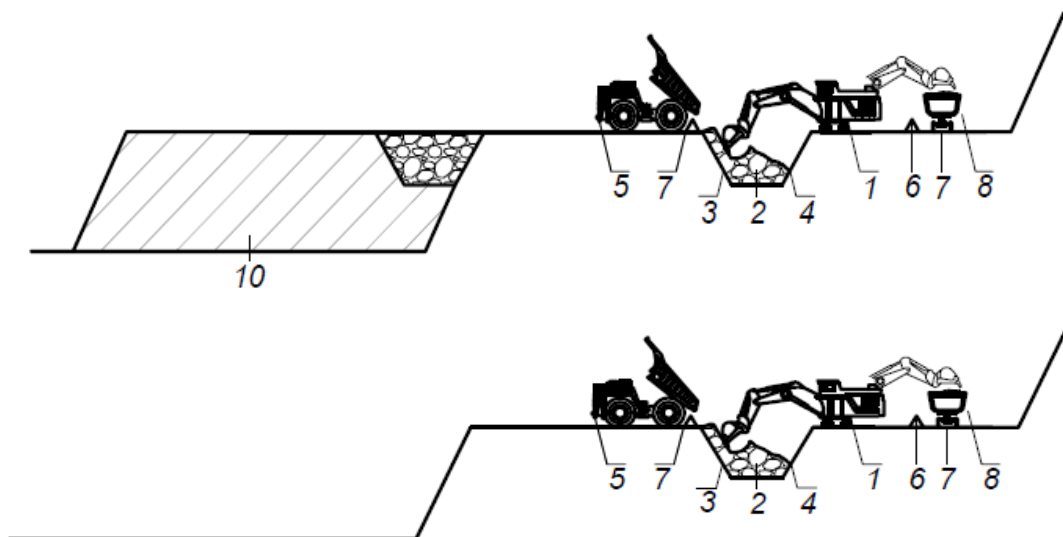


Рис. 5. Схема гірничих робіт при переміщенні перевантажувального пункту

Висновки та напрямок подальших досліджень. Використання спрощеної моделі (рівнобедрений трикутник) дозволило провести аналітичне дослідження, знайти координати оптимальної точки звезення при різній продуктивності трьох точок, з'ясувати характер зміни об'єму перевезень при переміщенні точки звезення. В подальшому планується проведення аналогічних досліджень для більшої кількості точок.

Мінімальна величина транспортної роботи для групи з трьох екскаваторів, один з яких має більш високу продуктивність (вище в 1,5–1,7 рази), забезпечується в тому випадку, якщо точка звезення прагне до круга розташування екскаватора з максимальною продуктивністю. Це правило визначає загальний підхід до поділу кар'єрного простору на зони дії комбінованого транспорту. Мінімальна транспортна робота кар'єрного автотранспорту, як першої ланки автомобільно-залізничного транспорту, буде досягнута, якщо максимальні об'єми гірничої маси автомобільним транспортом будуть перевозитися на мінімальну відстань до перевантажувального пункту залізничного транспорту. Це накладає на оптимальну з точки зору мінімізації транспортної роботи технологію гірничих робіт ряд умов – використання в зоні на межі суміжних ланок комбінованого транспорту більш потужних екскаваторів і можливість роботи другої ланки комбінованого транспорту без заморожування робочого борту кар'єру. Виконання другої умови забезпечується при використанні розробленої конструкції екскаваторного перевантажувального пункту.

У подальших дослідженнях розроблений математичний апарат буде використаний для встановлення закономірностей оптимального розташування перевантажувальних пунктів та тимчасових автомобільних відвалів і формування умов для використання кільцевих схем руху кар'єрних автосамоскидів [13].

Список використаної літератури:

1. Яковлев В.Л. Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров / В.Л. Яковлев. – Новосибирск : Наука СО, 1989. – 240 с.
2. Анализ технологического потенциала периодических колебаний производительности ЦПТ как резерва мультиструктурных грузопотоков / С.А. Федоренко, С.А. Жуков, Ю.М. Навитный, С.В. Ткаличенко // Гірничий вісник. – Вип. 101. – Кривий Ріг. – 2016. – С. 12–18.
3. Вилкул Ю.Г. Обоснование рациональных зон использования карьерных автосамосвалов разной грузоподъемности / Ю.Г. Вилкул, В.К. Слободянюк, И.И. Максимов // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог. – 2008. – № 92. – С. 3–7.
4. Vilkul Y. Optimization of capacity and the number of crushing and transfer stations at the deep open pits / Y.Vilkul, V.Slobodyanyuk, I.Maximov // Metallurgical and Mining Industry. – 2016. – № 4. – Pp. 116–120.
5. Белозеров В.И. Оптимизация вскрытия рабочих горизонтов карьера / В.И. Белозеров // ГИАБ. – М. : Изд-во МГГУ, 2012. – № 6. – С. 88–94.
6. Арсентьев А.И. Законы формирования рабочей зоны карьера : учеб. пособие / А.И. Арсентьев. – Л. : Изд-во ЛГИ, 1986. – 54 с.
7. Дослідження умов та особливостей використання рудоспусків для розкриття глибоких горизонтів залізородних кар'єрів / В.К. Слободянюк, М.М. Данілов, О.В. Письменний, В.С. Саприкін // Вісник ЖДТУ. Серія : Технічні науки. – Житомир : ЖДТУ, 2006. – № 1 (36). – С. 163–171.

8. Слободянюк В.К. Вплив взаємного розташування вибоїв на положення оптимальної точки звозу гірничої маси і аналітичне визначення її координат / В.К. Слободянюк, І.І. Максимов, Р.В. Слободянюк // Вісник ЖДТУ. Серія : Технічні науки. – Житомир : ЖДТУ, 2017. – № 1 (79). – С. 202–208.
9. Максимов І.І. Особливості визначення раціонального положення перевантажувального пункту у кар'єрі / І.І. Максимов, Р.В. Слободянюк // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг : КНУ, 2017. – Вип. 44. – С. 73–79.
10. Протасов В.Ю. Максимумы и минимумы в геометрии / В.Ю. Протасов. – М. : МЦНМО, 2005. – 56 с.
11. Успенский В.А. Некоторые приложения механики к математике / В.А. Успенский. – М. : Физматгиз, 1958. – 48 с.
12. Slobodyanyuk V. Rational use of hydraulic excavators in iron ore pits / V.Slobodyanyuk, Yu.Turchin // Journal of mining and geological sciences ; University of Mining And Geology «St. Ivan Rilski». – 2017. – № 60. – Pp. 21–26.
13. Слободянюк Р.В. Вдосконалення технології гірничих робіт з кільцевою схемою руху кар'єрних автосамоскидів / Р.В. Слободянюк, М.М. Пижик // Вісник ЖДТУ. Серія : Технічні науки. – Житомир : ЖДТУ, 2016. – № 1 (76). – С. 151–157.

References:

1. Jakovlev, V.L. (1989), *Teorija i praktika vybora transporta glubokih kar'erov*, Nauka SO, Novosibirsk, 240 p.
2. Fedorenko, S.A., Zhukov, S.A., Navitnij, Ju.M. and Tkalichenko, S.V. (2016), «Analiz tehnologicheskogo potenciala periodicheskikh kolebanij proizvoditel'nosti CPT kak rezerva mul'tistrukturnyh gruzopotokov», *Girnichij visnik*, Vol. 101, Krivij Rig, pp. 12–18.
3. Vilkul, Ju.G., Slobodjanjuk, V.K. and Maksimov, I.I. (2008), «Obosnovanie racional'nyh zon ispol'zovanija kar'ernyh avtosamosvalov raznoj gruzopod'emnosti», *Razrabotka rudnyh mestorozhdenij*, No. 92, Krivoj Rog, pp. 3–7.
4. Vilkul, Y., Slobodyanyuk, V. and Maximov, I. (2016), «Optimization of capacity and the number of crushing and transfer stations at the deep open pits», *Metallurgical and Mining Industry*, No. 4, pp. 116–120.
5. Belozarov, V.I. (2012), *Optimizacija vskrytija rabochih gorizontov kar'era*, GIAB, Izd-vo MGGU, No. 6, Moskva, pp. 88–94.
6. Arsent'ev, A.I. (1986), *Zakony formirovanija rabochej zony kar'era*, Izd-vo LGI, Leningrad, 54 p.
7. Slobodjanjuk, V.K., Danilov, M.M., Pys'mennyj, O.V. and Saprykin, V.S. (2006), «Doslidzhennja umov ta osoblyvostej vykorystannja rudospuskiv dlja rozkryttja glybokyh goryzontiv zalizorudnyh kar'jeriv», *Visnyk ZhDTU*, Serija *Tehnichni nauky*, ZhDTU, No. 1 (36), Zhytomyr, pp. 163–171.
8. Slobodjanjuk, V.K., Maksymov, I.I. and Slobodjanjuk, R.V. (2017), «Vplyv vzajemnogo roztashuvannja vyboiv na polozhennja optymal'noi' tochky zvozu girnychoi' masy i analitychne vyznachennja i'i' koordynat», *Visnyk ZhDTU*, Serija *Tehnichni nauky*, ZhDTU, No. 1 (79), Zhytomyr, pp. 202–208.
9. Maksymov, I.I. and Slobodjanjuk, R.V. (2017), «Osoblyvosti vyznachennja racional'nogo polozhennja perevantazhuval'nogo punktu u kar'jeri», *Visnyk Kryvoriz'kogo nacional'nogo universytetu*, KNU, Vol. 44, Kryvyj Rig, pp. 73–79.
10. Protasov, V.Ju. (2005), *Maksimumy i minimumy v geometrii*, MCNMO, Moskva, pp. 88–94.
11. Uspenskiy, V.A. (1958), *Nekotorye prilozhenija mehaniki k matematike*, Fizmatgiz, Moskva, 48 p.
12. Slobodyanyuk, V. and Turchin, Yu. (2017), «Rational use of hydraulic excavators in iron ore pits», *Journal of mining and geological sciences*, University of Mining And Geology «St. Ivan Rilski», No. 60, pp. 21–26.
13. Slobodjanjuk, R.V. and Pyzhyk, M.M. (2016), «Vdoskonalennja tehnologii' girnychych robiv z kil'cevoju shemoju ruhu kar'jernyh avtosamoskydiv», *Visnyk ZhDTU*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 1 (76), ZhDTU, Zhytomyr, pp. 151–157.

Максимов Иван Иванович – доцент кафедри вищої математики, кандидат технічних наук, Криворізького національного університету.

Наукові інтереси:

- математичне моделювання;
- чисельні методи;
- теорія проектування кар'єрів.

Слободянюк Роман Валерійович – аспірант кафедри відкритих гірничих робіт Криворізького національного університету.

Наукові інтереси:

- кар'єрний транспорт;
- імітаційне моделювання.

Тел.: (056) 427–35–36.

E-mail: slobod.roman@gmail.com.

Стаття надійшла до редакції 15.03.2018.