

УДК 622.271.452: 681.5.015.23

Слободянюк Р. В., аспірант,
Пижик М.М., канд. техн. наук, доцент
(Державний ВНЗ «КНУ»)

МЕТОДИКА ОПТИМІЗАЦІЇ ЕКСКАВАТОРНО-АВТОМОБІЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ТИМЧАСОВИХ ВІДВАЛІВ

Слободянюк Р. В., аспірант,
Пыжик Н. Н., канд. техн. наук, доцент
(Государственное ВУЗ «КНУ»)

МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ ЭКСКАВАТОРНО-АВТОМОБИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВРЕМЕННЫХ ОТВАЛОВ

Slobodyanyuk R.V., Doctoral Student,
Pyzhyk N.N., Ph. D. (Tech.), Associate Professor
(State HEI "KNU")

METHODOLOGY OF SHOVEL-TRUCK SYSTEM OPTIMIZATION IN THE TEMPORARY DUMPS

Анотація. Технологія внутрішнього відвалоутворення широко розповсюджена на глибоких залізородних кар'єрах. У більшості випадків, при прийнятті рішення про її використання, гірничо-технічна ситуація аналізується вузько, не враховуючи комплексного впливу внутрішнього відвалу на систему вантажопотоків кар'єру. Дослідження проводиться з метою підвищення ефективності роботи екскаваторно-автомобільного комплексу при використанні тимчасових внутрішніх відвалів.

У статті описується аналіз сучасних умов функціонування і перспектив подальшого розвитку екскаваторно-автомобільних комплексів глибоких залізородних кар'єрів. Розглядаються характерні особливості технології внутрішнього відвалоутворення, гірничо-геологічні та гірничо-технічні умови, що визначають область її застосування.

Розроблено методику аналізу транспортної системи кар'єру з алгоритмом обґрунтування раціональної області використання технологічних схем з внутрішнім відвалоутворенням, кільцевим рухом та попутним навантаженням кар'єрних автосамоскидів. В запропонованому варіанті перевірка доцільності використання здійснюється у кілька етапів. Спочатку використовується система оптимізаційних моделей для визначення необхідної кількості транспорту для виконання планового завдання та оцінки транспортних можливостей існуючого парку кар'єрних автосамоскидів. Потім перевіряється можливість зменшення транспортної роботи завдяки створенню внутрішнього відвалу у оптимальному місці простору кар'єру. У кінці, створюється імітаційна модель для перевірки ефективності процесу функціонування екскаваторно-автомобільного комплексу у змінених умовах. Застосування методології дозволить значно підвищити якість інженерних рішень по використанню внутрішнього відвалоутворення на глибоких залізородних кар'єрах.

Ключові слова: екскаваторно-автомобільний комплекс; кільцева схема руху; переміщення автосамоскиду, внутрішній відвал, лінійна оптимізація.

Вступ. Експлуатаційно-автомобільний комплекс глибокого кар'єру – складна система, що включає екскаватори, автосамоскиди та розгалужену мережу кар'єрних автодоріг, що з'єднують вибої і пункти доставки гірської маси, розташовані як в кар'єрі, так і на денній поверхні. Мережа кар'єрних автодоріг має складну топологію, вантажонапруженість на окремих її ділянках періодично змінюється, відображаючи особливості календарного розподілу гірничої маси по робочих горизонтах. З поглибленням кар'єрів відбувається ускладнення системи транспортних комунікацій, значна частина яких має критичну ширину і призводить до погіршення умов руху транспорту та появи труднощів при переході на автосамоскиди більшої вантажопідйомності.

На ряді глибоких кар'єрів виникли об'єктивні проблеми, пов'язані з подальшим розвитком комплексів циклічно-потокової технології. В одних випадках це призвело до відмови від подальшого використання циклічно-потокової технології (кар'єр №1 ЦГЗК, кар'єр Полтавського ГЗК), в інших – до припинення більш глибокого введення в кар'єр комплексів ЦПТ на базі дробарок ККД і перегляду проектних рішень (Першотравневий та Ганнівський кар'єри Північного ГЗК, кар'єр ІнГЗК). Всі з наведених змін спричинили зростання дальності транспортування автомобільним транспортом.

Паралельно з цим, на глибоких залізрудних кар'єрах розширюється область використання внутрішнього відвалоутворення [2], яке фактично завжди є тимчасовим. Його застосування дозволяє мінімізувати транспортну роботу, необхідну для виконання запланованого обсягу гірничих робіт. Через розташування внутрішніх відвалів у межах перспективного контуру кар'єру затримка з їх переєкспацією призводить до зниження виробничої потужності кар'єру по руді.

Таким чином, в сучасних умовах зростає залежність техніко-економічних показників відкритої розробки від ефективності організації процесу транспортування автосамоскидами. При цьому, умови роботи кар'єрного автотранспорту в багатьох випадках є істотно більш жорсткими, ніж передбачено класичними положеннями теорії відкритої розробки.

Аналіз останніх досліджень. У роботі [1] розглянуті актуальні умови експлуатації автомобільного транспорту на глибоких кар'єрах України і ближнього зарубіжжя. Наводяться приклади транспортування гірської маси кар'єрними автосамоскидами на відстані, що перевищують 5 км.

Поетапна розробка родовища є умовою [2,3] застосування у залізрудному кар'єрі внутрішнього відвалоутворення. Використання цієї технології дозволяється [2,3] у разі, якщо проектом передбачено тимчасове розміщення розкривних порід з подальшим їх переміщенням, у міру розвитку в кар'єрі гірничих робіт, до постійного місця складування, або при можливості постійного складування розкривних порід у виробленому до проектної глибини просторі діючого кар'єру. Проектом визначаються терміни існування та порядок перенесення тимчасових відвалів у міру просування гірничих робіт.

Відповідно до [3] визначені наступні принципові технологічні схеми розробки крутоспадних родовищ з внутрішнім відвалоутворенням: при постійному

складуванні розкривних порід в попередньо створеному, виробленому до проектної глибини просторі діючих кар'єрів; з підземним відпрацюванням тимчасово законсервованих запасів корисних копалин; складування розкривних порід у виробленому просторі кар'єрів, які затоплені водою.

Аналіз принципів схем показав, що в їх основі – сприятливі для розміщення внутрішнього відвалу гірничо-геологічні умови. Характерною особливістю технології є те, що за відсутності виробленого простору розкривні породи з тимчасових відвалів при посуванні фронту гірничих робіт переміщують у зовнішні відвали. У цьому випадку тимчасові приконтурні відвали виконують функцію перевантажувального складу при комбінованих видах кар'єрного транспорту. При проектуванні необхідно передбачати переміщення внутрішньокар'єрних тимчасових відвалів на черговий рудний цілик або у постійний відвал на відпрацьованій ділянці родовища. Недоліком положення [3] є відсутність оцінки ризику втрати кар'єром продуктивності по руді.

Тобто, постає задача узагальнення фактів використання в гірничій промисловості технології внутрішнього відвалоутворення, аналізу і зіставлення гірничо-технічних і гірничо-геологічних умов, в яких приймається рішення про його використання, параметри та терміни.

Постановка завдання. Мета дослідження – удосконалення технології відкритих гірничих робіт в глибоких залізородних кар'єрах за рахунок оптимізації положення тимчасових відвалів і параметрів кар'єрних вантажопотоків. Ідея дослідження полягає у розробці системи імітаційних та лінійних оптимізаційних моделей екскаваторно-автомобільного комплексу, що дозволить обґрунтувати розширення раціональних меж використання внутрішніх відвалів та технологічних схем транспортування з кільцевим рухом і попутним навантаженням кар'єрних автосамоскидів.

При виконанні роботи вирішуються завдання:

- аналізу гірничотехнічних умов роботи залізородних кар'єрів;
- розробки системи лінійних оптимізаційних та імітаційних моделей і методики моделювання роботи екскаваторно-автомобільного комплексу та кар'єрних вантажопотоків;
- розробки методики оптимізації кар'єрних вантажопотоків з урахуванням положення тимчасового відвалу та організації кільцевої схеми руху автосамоскидів.

Викладення основного матеріалу. Відпрацювання крутоспадних залізородних родовищ здійснюється за поетапною системою розробки (push-back), яка передбачає створення в кар'єрі декількох робочих зон, розділених ділянками тимчасово неробочого борту. Використання даного способу розробки дозволяє мінімізувати і стабілізувати у часі обсяги розкривних робіт. Проте, по мірі доопрацювання етапів, які знаходяться в експлуатації, і залученні в розробку нових етапів (крутих шарів, черг) спостерігається періодичне переміщення по висоті розкривних і видобувних робочих зон кар'єру. При пониженні глибини проведення гірничих робіт, сукупна відстань транспорту-

вання зростає; при переході на новий етапний контур – зменшується.

Це призводить до періодичних коливань у транспортній роботі і виникнення ситуації, коли розрахункового парку автосамоскидів стає недостатньо.

У таких умовах виникає необхідність у створенні в кар'єрі тимчасових внутрішніх відвалів, завданням яких є зменшення обсягу транспортних робіт, необхідної для виконання планового завдання з розкривних та видобувних робіт.

Максимізувати ефект від створення тимчасових відвалів, стабілізуючих транспортну роботу кар'єру, можливо за рахунок оптимізації їх місцеположення у просторі кар'єру і цілеспрямованого створення умов, необхідних для реалізації кільцевої схеми руху автосамоскидів.

Кар'єр – складна ймовірнісна технологічна система, функціонування якої підпорядковується законам теорії масового обслуговування. На основі методології імітаційного моделювання можливо побудувати модель, що враховує фактичну і оптимізовану топологію кар'єрних автодоріг, структуру і параметри кар'єрних вантажопотоків, технічні характеристики і кількість виймально-навантажувального та транспортного обладнання.

Завдяки накопиченню значного об'єму статистичних даних функціонування гірничотранспортного обладнання, з'явилась можливість проаналізувати сучасний стан екскаваторно-автомобільних комплексів кар'єрів і, шляхом створення і використання актуальних імітаційних моделей, віднайти потенційну можливість для підвищення загальної ефективності роботи комплексу та розробити нові схеми організації вантажопотоків.

Теорія кар'єрних вантажопотоків була створена у роботах В. В. Ржевського, М. В. Васильєва, В. Л. Яковлева, В. С. Хохрякова, М. Г. Новожилова, Б. А. Сімкіна, Дж. В. Уайта, Ю. П. Астаф'єва, М. С. Четверика, А. Ю. Дриженка та інших видатних науковців. З використанням методів імітаційного моделювання були знайдені рішення складних задач кар'єрного транспорту у працях І. Тана, С. В. Литвинова, О. В. Максимова, В. М. Каплана, В. Теноріо, Р. Фараджі, В. А. Галкіна, Р. В. Рамані та ін.

Разом з тим, у дослідженнях українських та закордонних науковців ряд аспектів даної проблеми є недостатньо висвітленим. Потребують вирішення питання впливу на ефективність екскаваторно-автомобільного комплексу та систему вантажопотоків кар'єру використання тимчасових внутрішніх автомобільних відвалів, а також типізації і класифікації технологічних схем з кільцевим рухом автосамоскидів, з метою розширення меж їх застосування на глибоких залізородних кар'єрах.

У 90-х роках минулого сторіччя для використання в кар'єрах була запропонована технологічна схема з кільцевим рухом і попутним навантаженням автосамоскидів [7]. Її ефективність забезпечується за рахунок зменшення у загальній тривалості рейсу частки часу руху порожнього автосамоскиду. Але у відомому варіанті ця схема має дуже обмежену область використання і на практиці не застосовується.

Поставлене у дослідженні завдання вирішується, виходячи з умови вико-

нання кар'єром запланованого обсягу видобувних і розкривних робіт, але обмеження по кількості кар'єрних автосамоскидів і можливій транспортній роботі не дозволяють доставити весь розкрив до планових пунктів доставки (зовнішніх бульдозерних відвалів, екскаваторних перевантажувальних пунктів), і частина розкривних порід розміщується в тимчасовому відвалі до моменту, коли перерозподіл обсягів робіт в кар'єрі не дозволить наявним парком автосамоскидів вивезти гірську масу у зовнішній відвал.

Вибір майданчика для розміщення внутрішнього відвалу заснований на комплексному обліку гірничо-геологічних особливостей родовища, гірничо-геометричних особливостей кар'єрного простору і порядку розвитку черг кар'єру у межах гірничого відводу.

Найважливіший фактор – детальний аналіз гірничо-геологічних особливостей родовища. Зміщення рудних блоків уздовж тектонічних розломів, зміна кута падіння рудних тіл (наприклад, перехід з деякої глибини з пологого залягання на круте) при відповідному положенні щодо борту кар'єру можуть створювати майданчики, зручні для розміщення внутрішніх відвалів. Системи з'їздів і транспортних берм, що у розглянутий період часу не експлуатуються, також є перспективними ділянками. На ряді кар'єрів для зменшення пікових обсягів транспортної роботи відомі приклади збільшення висоти огорожувальних валів уздовж кар'єрних доріг. Наявність зсувонебезпечної ділянки на борту кар'єру і створення для її утримання скельного контрфорсу також є прикладом тимчасового внутрішнього відвалу. При поетапній системі розробки його ефективно розмістити в просторі перспективного етапу (як прибортовий відвал), або одного з робочих етапів, гірничі роботи в межах якого характеризуються невисокою інтенсивністю.

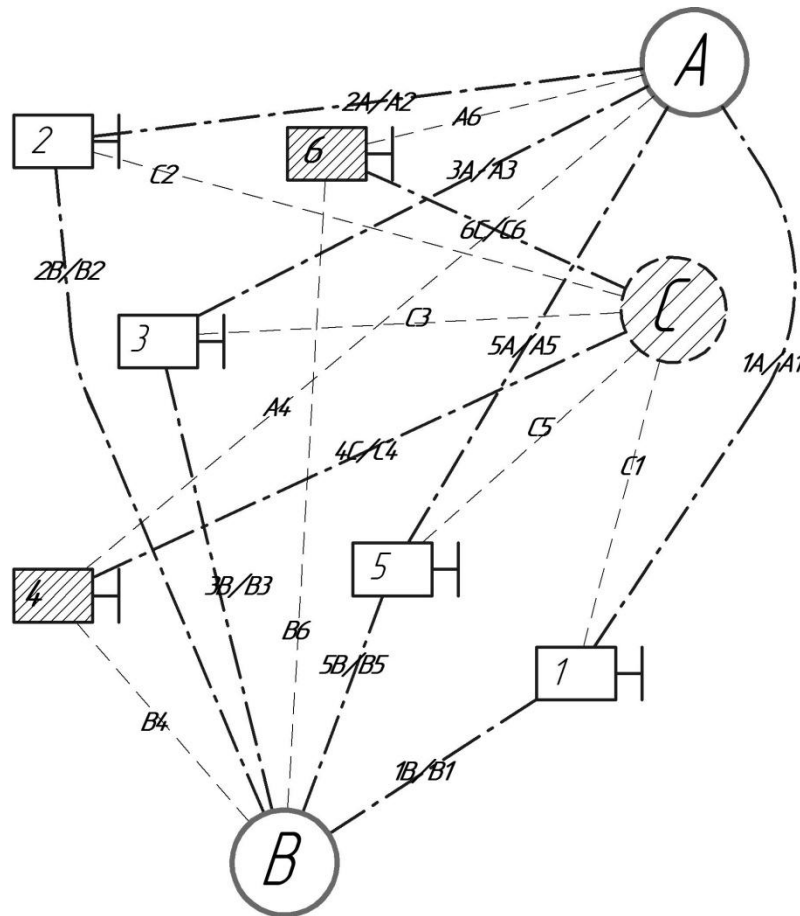
Важливою особливістю технології є можливість, при відповідному розміщенні тимчасового відвалу, організації руху автосамоскидів по кільцевій схемі з попутним навантаженням, що призведе до скорочення холостого пробігу і збільшення продуктивності автосамоскидів.

Завдання можна умовно розділити на два етапи. На першому – з використанням методів лінійного програмування для заданого календарного розподілу гірської маси по горизонтах, відомого положення пунктів доставки гірської маси, визначаються схеми і інтенсивності руху транспорту по кар'єрних автодорогах та необхідна кількість автосамоскидів для виконання планового завдання. У разі недостатньої кількості автосамоскидів, наявної у підприємства, необхідно визначити оптимальне місце розташування компенсаційного тимчасового відвалу. У разі надмірної кількості автосамоскидів визначається обсяг переєкскавації у зовнішній відвал з раніше створеного компенсаційного тимчасового відвалу. Умовна схема розташування пунктів навантаження та доставки приведена на рисунку 1.

Цільова функція моделі лінійної оптимізації

$$F(N_a) = \sum_{i=1}^{NF} \sum_{j=1}^{NU} P_{ij} (T_{ij} + S_{ij}) + \sum_{j=1}^{NU} \sum_{i=1}^{NF} P_{ji} T_{ji} + NF \rightarrow \min$$

де N_a – кількість автосамоскидів, од.; NF – кількість пунктів навантаження (вибоїв), що обмежують продуктивність автосамоскидів та інтенсивність транспортного потоку, од. Виходячи з умови максимального забезпечення вибоїв транспортним обладнанням, додатково приймається по 1 авто на кожен з вибоїв; NU – кількість пунктів розвантаження, що не обмежують продуктивність автосамоскидів або інтенсивність транспортного потоку, од.; P_{ij} – інтенсивність транспортного потоку на маршруті ij , авто/хв; T_{ij} – середній час руху по маршруту ij , хв; S_j – середній час розвантаження у відповідному місці j , хв.



1-6 - порядкові номери працюючих екскаваторів; А,В – місця розвантаження розкривних порід і руди (С); основною штрихпунктирною лінією зображені можливі маршрути автотранспорту у двох напрямках (вантажний та порожній), тонкою штриховою – у порожньому напрямі

Рисунок 1 - Приклад схеми екскаваторно-автомобільного комплексу:

На другому етапі на основі відомого положення вибоїв, пунктів доставки гірської маси, з використанням імітаційного моделювання виконується дослі-

дження роботи екскаваторно-автомобільного комплексу і уточнюється положення тимчасового відвалу з урахуванням організації кільцевого руху.

Висновки. У дослідженні виконано аналіз технологічних схем з внутрішнім відвалоутворенням. Проаналізовані ділянки кар'єрного простору, раціональні для розміщення компенсційних тимчасових відвалів. Розроблено попередню методику розрахунку і обґрунтування раціональної області використання технологічних схем з внутрішнім відвалоутворенням, кільцевим рухом та попутним навантаженням кар'єрних автосамоскидів. У подальших дослідженнях будуть визначені закономірності, що пов'язують параметри кар'єрних вантажопотоків, схему організації руху транспорту і структуру екскаваторно-автомобільного комплексу кар'єру, з параметрами, положенням і терміном служби тимчасових внутрішніх автомобільних відвалів, що дозволять підвищити ефективність відкритих гірничих робіт.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Карьерный автотранспорт стран СНГ в XXI веке / П.Л.Мариев, А.А.Кулешов, А.Н.Егоров, И.В.Зырянов. — СПб.: Наука, 2006. — 387 с.
2. Открытая разработка крутопадающих месторождений с внутренним отвалообразованием / А.Г.Шапарь, В.Т.Лашко, А.В.Романенко, В.Е. Киковка. — Киев: Наукова думка, 1982. — 115 с.
3. Положення про проектування внутрішнього відвалоутворення та складування відходів виробництва в залізородних і флюсових кар'єрах / А. Шапар, П. Копач, В. Романенко [та ін.]. - Дніпропетровськ: Мінерал. —2004. —50с.
4. White, J.W. Automated open pit truck dispatching at Tyrone / J.W.White, M.J.Arnold, J.G. Clevenger // Engineering and Mining Journal, 1982. -N 6, pp. 76-84.
5. Ramani, R.V. Haulage system simulation analysis in surface mining / R.V. Ramani.— Surface Mining, SME publications, 1990. - pp. 724-742
6. Tan, Y., Miwa, K., Chinbat, U., Takakuwa, S. (2012), Operations modeling and analysis of open pit copper mining using GPS tracking data. Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2012. Berlin, Germany, December 2012. – pp.1309-1320.
7. Астафьев Ю.П. Модель маршрутизации автосамосвалов при работе с внутрикьерными пунктами разгрузки. -В сб.:Развитие теории открытых горных работ. –М: МГИ, 1991, С.98-103.
8. Ercelebi, S. G. and Bascetin, A. Optimization of shovel-truck system for surface mining / S. G. Ercelebi, A. Bascetin // The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2009. – vol. 109. – pp. 433-439.
9. Czaplicki, J. Shovel-Truck Systems: Modelling, Analysis and Calculations / J.Czaplicki. The Netherlands: CRC Press, 2008. – 170 p.
10. Селюков А. В. Гистограммный способ определения местоположения емкости для внутреннего отвала при открытой угледобыче в Кемеровской области // Вестник МГТУ — М.: 2016. №1-1 - 2016. – С. 40-46.
11. Слободянюк Р.В. Розробка імітаційної моделі екскаваторно-автомобільного комплексу кар'єру / Р.В. Слободянюк // Геотехнічна механіка: зб. наук праць — Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ, 2015. –Вип. 123. — С. 213-222.
12. Kennedy, B.A. (ed.) Surface Mining. - 2nd edition. - Colorado, United States: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME), 1990. - 1206 p.
13. Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. Частина 1. Гірничі роботи: СОУ-Н МПП 73.020-078-1:2007 [Чинний від 01.04.2007] / Укргіпроруда. – Офіц. вид. – К.: Міністерство промислової політики України, 2007. – 224 с. (Нормативний документ Міністерства промислової політики України. Стандарт).

REFERENCES

1. Maryev, P.L., Kuleshov, A.A., Egorov, A.N. and Zyrianov, I.V. (2006), *Karernyi avtotransport stran SNG v XXI veke* [Open pit automobile transport of CIS countries in XXI century], Nauka, Sankt-Peterburg, Russia.

2. Shapar, A.G., Lashko, V.T., Romanenko, A.V. and Kikovka V.E. (1982), *Otkrytaya razrabotka krutopadayushchikh mestorozhdeniy s vnutrennim otvaloobrazovaniem* [Open pit mining of steep deposits with internal dumping NASU: In-t problem prirodopolzovaniya i ekologii], Naukova dumka, Kyiv, USSR.
3. Shapar, A., Kopach, P., Romanenko, V., Lashko, V., Bondarenko, V. et al (2004), *Polozhennya pro proektuvannya vnutrishnogo vidvaloutvorenniya ta skladuvannya vidkhodiv virobnytstva v zalizorudnykh i flyusovykh karyerakh* [Regulations on internal dumping design and storage of waste in iron ore and flux open pits], Mineral, Dnipropetrovsk, Ukraine.
4. White, J.W., Arnold, M.J. and Clevenger, J.G. (1982), "Automated open pit truck dispatching at Tyrone", *Engineering and Mining Journal*, no. 6, pp. 76-84.
5. Ramani, R.V. (1990), "Haulage system simulation analysis in surface mining", *Surface Mining, SME publications*, pp. 724-742.
6. Tan, Y., Miwa, K., Chinbat, U., Takakuwa, S., (2012), "Operations modeling and analysis of open pit copper mining using GPS tracking data", *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, Berlin, Germany, December 2012, pp.1309-1320.
7. Astafiev, J.P. (1991), "Model of haul trucks routing during the work with the in-pit reloading points", *Razvitye teorii otkrytykh gornykh rabot*, pp 98-133
8. Ercelebi, S. G. and Bascetin, A. (2009), "Optimization of shovel-truck system for surface mining", *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, vol. 109, pp. 433-439.
9. Czaplicki, J. (2008), "Shovel-Truck Systems: Modelling, Analysis and Calculations", CRC Press, The Netherlands.
10. Selyukov, A. V. (2016), "The histogram method of locating the capacity for internal dump at open pit coal mines in the Kemerovo region", *Bulletin of Moscow State Technical University*, no. 1-1-2016, pp.40-46.
11. Slobodyanyuk, R.V. (2015), "The simulation model of an excavator-and-truck complex for the opencast mines", *Geo-Technical Mechanics*, vol. 123, pp. 213-222.
12. Kennedy, B.A. (ed.) (1990), "Surface Mining", 2nd edition, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME), Colorado, United States.
13. Ukraine Ministry of Industrial policy (2007), *10.1.05411357.006:2007. Normy tekhnologichnogo proektuvannya girnychodobuvnykh pidpryemstv iz vidkrytym sposobom rozrobky rodovysykh korysnykh kopalyn. Chast 1: Normatyvnyi document Ministerstva promyslovoi polityky Ukrainy. Standart* [10.1.05411357.006:2007. Norms of technological design of mining open pit mining of minerals. Part 1. Mining works: Regulatory Document Ukraine Ministry of Industrial policy], Ukraine Ministry of Industrial policy, Kiev, Ukraine.

Про авторів

Слободянюк Роман Валерійович, магістр, аспірант, Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет» (ДВНЗ «КНУ»), Кривий Ріг, Україна, slobod.roman@gmail.com.

Пищик Микола Миколайович, кандидат технічних наук, доцент кафедри відкритих гірничих робіт, Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет» (ДВНЗ «КНУ»), Кривий Ріг, Україна, slobod.roman@gmail.com.

About the authors

Slobodyanyuk Roman Valeriiovych, Master of Sciences (M.S.), Doctoral student, State Higher Educational Institution "Kryvyi Rih National University" (SHEI "KNU"), Kryvyi Rih, Ukraine, slobod.roman@gmail.com.

Pyzhyk Mykola Mykolaiovych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Associate Professor of open pit mining department, State Higher Educational Institution "Kryvyi Rih National University" (SHEI "KNU"), Kryvyi Rih, Ukraine, slobod.roman@gmail.com.

Аннотация. Технология внутреннего отвалообразования широко распространена на глубоких железорудных карьерах. В большинстве случаев, при принятии решения о ее использовании, горнотехническая ситуация анализируется узко, не учитывая комплексного воздействия внутреннего отвала на систему грузопотоков карьера. Исследование проводится с целью повышения эффективности работы экскаваторного-автомобильного комплекса при использовании временных внутренних отвалов.

В статье описывается анализ современных условий функционирования и перспектив дальнейшего развития экскаваторно-автомобильных комплексов глубоких железорудных карьеров. Рассматриваются характерные особенности технологии внутреннего отвалообразования, горно-геологические и горнотехнические условия, определяющие область ее применения.

Разработана методика анализа транспортной системы карьера с алгоритмом обоснования рациональной области использования технологических схем с внутренним отвалообразованием, кольцевым движением и попутной погрузкой карьерных автосамосвалов. В предложенном варианте проверка целесообразности использования в конкретных условиях осуществляется в несколько этапов. Сначала используется система оптимизационных моделей для определения необходимого количества транспорта для выполнения планового задания и оценки транспортных возможностей существующего парка карьерных автосамосвалов. Потом, проверяется возможность уменьшения транспортной работы благодаря созданию внутреннего отвала в оптимальном месте пространства карьера. Затем строится имитационная модель экскаваторно-автомобильного комплекса для проверки эффективности процесса его функционирования в изменённых условиях. Применение методологии позволит значительно повысить качество инженерных решений по использованию внутреннего отвалообразования на глубоких железорудных карьерах.

Ключевые слова: экскаваторно-автомобильный комплекс; кольцевая схема движения; перемещения автосамосвала, внутренний отвал, линейная оптимизация.

Abstract. Internal dumping technology is widespread in the deep iron ore open pits. In most cases, when deciding on its usage, mining situation is analyzed narrowly, excluding the complex influence of internal dumps on the open pit's cargo flows system. The purpose of the research is improvement of the shovel-truck system efficiency using the internal temporary dumps.

The analysis is based on the current operating conditions of shovel-truck systems in deep iron ore open pits, characteristics of the internal dumping technology, geological and mining conditions that determine its application scope. Preliminary methodology of open pit transport scheme analysis with the further technique of internal dumping justification is showed in the article. The feature of the method is its ability to define the rational application areas of the technological schemes with internal dumping, ring movement and passing loading of haul trucks.

In the proposed version, it is done in a few steps. Initially, system of optimization models is applied to define the required number of transport to perform the mining plan and to test the existing haul truck fleet transportation possibilities. After it, creation of the optimally located internal dump is checked as an opportunity to reduce the insufficient transport work. Lastly, simulation model is built to check the efficiency of the shovel-truck system in the changed conditions. The use of the methodology will significantly improve the quality of engineering decisions about the internal dumping usage in the deep iron ore open pits.

Keywords: shovel-truck system, ring movement scheme, internal dumping, linear optimization, simulation.

Стаття поступила до редакції 21.11.2016

Рекомендовано до друку д-ром технічних наук Четвериком М.С.