

Р.В. Слободянюк, аспір.
М.М. Пижик, к.т.н., доц.

ДВНЗ «Криворізький національний університет»

ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ГІРНИЧИХ РОБІТ З КІЛЬЦЕВОЮ СХЕМОЮ РУХУ КАР'ЄРНИХ АВТОСАМОСКІДІВ

Описується розроблена технологія, що дозволяє при розробці крутоспадних родовищ розширити область використання кільцевої схеми руху автосамоскидів і скоротити у транспортному циклі частку часу, пов'язану з рухом порожнього автосамоскиду. Проведений попередній розрахунок ефективності її використання дозволив підтвердити основні переваги даної схеми переміщення автосамоскидів над існуючою: зменшення необхідної кількості транспортних засобів для забезпечення гірничотransпортних потреб кар'єру, завдяки підвищенню продуктивності роботи автосамоскидів, зменшення витрат на експлуатацію автотранспорту (частина переміщення у порожньому стані відбувається при вимкненому двигуні), надійні вірогідності виникнення аварійних ситуацій (зменшується кількість маневрів зустрічного транспорту, найбільш аварійна ділянка руху автосамоскидів власним ходом – на спуск – майже відсутня у межах кар'єру). За результатами розрахунку відображена закономірність зміни ефективності використання альтернативної схеми за відношенням до базової, що відображає значно вищу її результативність при меншій відстані руху порожнього автосамоскиду між ділянками кільцевої схеми.

Ключові слова: екскаваторно-автомобільний комплекс; кільцева схема руху; переміщення автосамоскиду.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими практичними завданнями. Екскаваторно-автомобільний комплекс на кар'єрах являє собою складну технологічну систему. З поглибленням кар'єрів зростає складність топології кар'єрних автодоріг. Велика частка технологічних доріг є тимчасовою та має критичну ширину. Це ускладнює рух транспорту та спричиняє значні складнощі при переході на більші типорозміри автосамоскидів.

З іншого боку, намітилися складнощі з розвитком та реконструкцією комплексів циклічно-потокової технології (ЦПТ) зі стаціонарними дробильно-перевантажувальними пунктами. Це пов'язано з необхідністю випереджувального проведення розкривних робіт, суттєвими капітальними вкладеннями в конвеєрне та дробарне обладнання, консервацією значних обсягів руди. Альтернативним варіантом є технологія, що передбачає зростання дальності транспортування кар'єрним автотранспортом, однак це призводить до зростання кількості автосамоскидів у комплексі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У 90-х роках минулого сторіччя для використання в кар'єрах була запропонована технологічна схема з кільцевим рухом і попутним навантаженням автосамоскидів [1]. Її ефективність забезпечується за рахунок зменшення у загальній тривалості рейсу частки руху порожнього автосамоскиду. Але у відомому варіанті ця схема має дуже обмежену область використання і на практиці не застосовується. Для ефективного її застосування потрібні особливі гірничо-геологічні та гірничотехнічні умови, в яких сума відстані, яку проїжджає автосамоскид з гірничою масою, більше або дорівнює сумі відстані, яку проїжджає порожній автосамоскид. Наприклад, такі умови створюються під час внутрішнього відвалотворення в глибинній зоні кар'єру, коли пункти розвантаження розкриву розташовані поблизу видобувних вибоїв. Проте у загальному випадку розкривні вибої знаходяться вище видобувних, а пункти вивантаження розкриву розташовані вище пунктів розвантаження руди й умови для ефективного використання способу не створюються.

Постановка завдання. Мета дослідження – вдосконалення технології відкритих гірничих робіт в глибоких залізородних кар'єрах за рахунок комплексного управління структурою і параметрами кар'єрних вантажопотоків. Основним завданням є створення технології, що дозволяє при розробці крутоспадних родовищ розширити область використання кільцевої схеми руху автосамоскидів і скоротити у транспортному циклі частку часу, пов'язану з рухом порожнього автосамоскиду.

Викладення основного матеріалу. Основною ідеєю розробленої технології є використання принципу кільцевого руху автосамоскидів. Для застосування цієї організації руху кар'єрних автосамоскидів пропонується використати пристрій для спуску порожніх автосамоскидів в кар'єр. На пристрій для спуску з денної поверхні в кар'єр порожніх автосамоскидів пропонується використати наступну схему: рудний вибій–пункт розвантаження руди–розкривний вибій–відвал розкривних порід – пристрій для спуску з денної поверхні в кар'єр порожніх автосамоскидів.

© Р.В. Слободянюк, М.М. Пижик, 2016

На рисунку 1 показаний умовний переріз кар'єру з відображенням стадій роботи автотранспорту згідно з кільцевою схемою руху, транспортні комунікації містять дороги на поверхні та всередині кар'єру, відвальні автошляхи та спусковий пристрій, що розташований на неробочому борті кар'єру. На рисунку 2 – умовний переріз кар'єру з відображенням стадій роботи автотранспорту згідно з кільцевою схемою руху, транспортні комунікації містять дороги на поверхні та всередині кар'єру, відвальні автошляхи та спусковий пристрій, що розташований у шахтному стволі під бортом кар'єру. На схемі стрілками показано порядок переміщення автосамоскидів протягом циклу їх роботи.

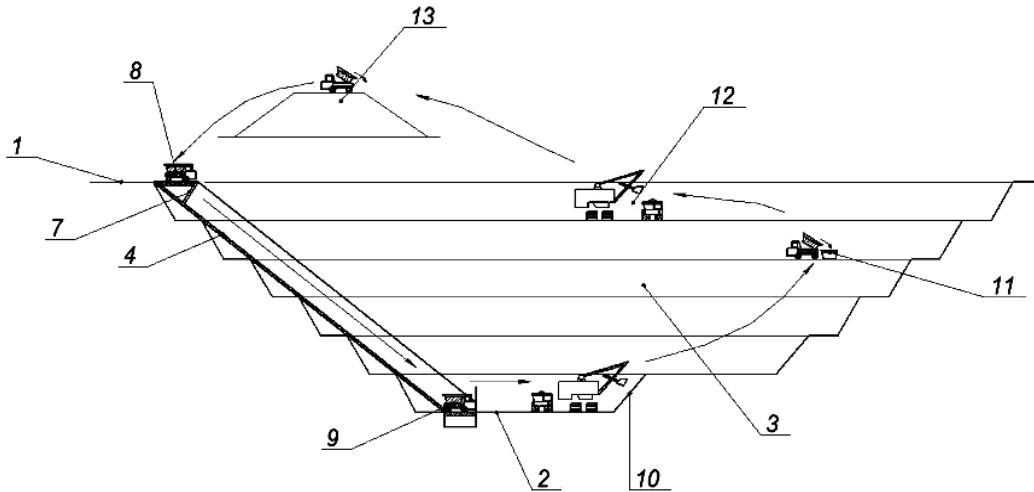


Рис. 1. Технологічна схема з використанням пристрою для спуску в кар'єр порожніх автосамоскидів, що розташований у похилій траншеї

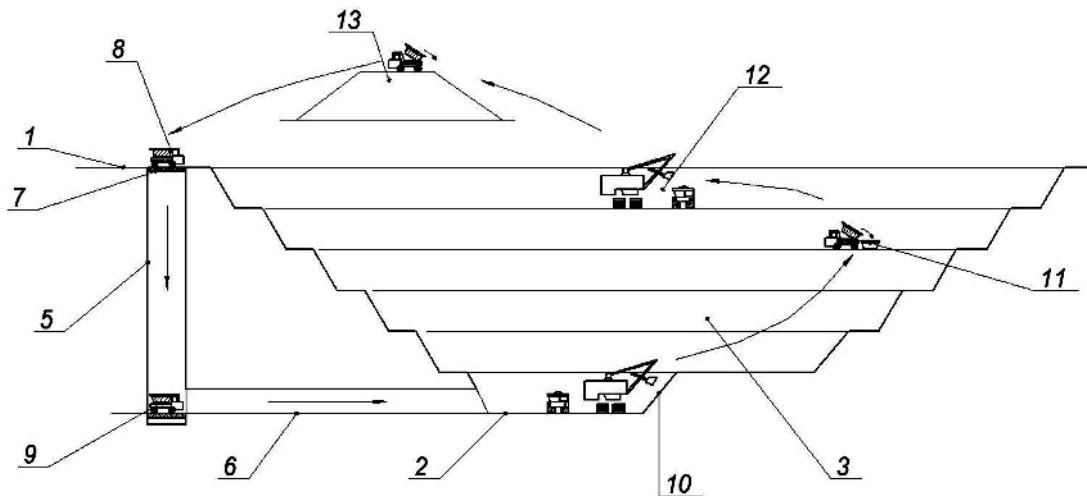


Рис. 2. Технологічна схема з використанням пристрою для спуску в кар'єр порожніх автосамоскидів, що розташований у шахтному стволі

Технологія гірничих робіт реалізується наступним чином. Почергово відпрацьовуються горизонти кар'єру з утворенням розкривних та видобувних уступів, здійснюється поглиблення кар'єру з формуванням між поверхнею (1) та нижнім (2) горизонтом кар'єру (3) транспортних комунікацій. Для організації в кар'єрі кільцевого руху транспортних засобів на його неробочому борті у похилій траншеї (4), або у вертикальному стволі (5), що з'єднаний з кар'єром автомобільною штольнією (6), споруджується пристрій (7) для спуску автосамоскидів, з верхнього положення (8) у нижнє (9). Внаслідок цього, після навантаження автосамоскиду у видобувному вибої (10), руху до місця розвантаження (дробарка циклічно-потоківної технології або перевантажувальний майданчик), розвантаження (11), переміщення до найближчого доступного розкривного вибою (12), навантаження розкривними породами, транспортування порід до відвалу (13), розвантаження на відвалі, руху до спускової установки на поверхні кар'єру (8) відбувається переміщення автосамоскиду спусковим пристроєм (7) на нижній горизонт (9) кар'єру і рух до вільного видобувного вибою (10).

Існують два варіанти розташування спускового пристрою: на неробочому борті кар'єру у похилій траншеї та під неробочим бортом кар'єру у шахтному стволі, вибір яких здійснюється на підставі порівняння техніко-економічних показників.

Виконаємо оцінку підвищення продуктивності кар'єрних автосамоскидів і зниження питомої витрати паливо-мастильних матеріалів для наступних гірничо-технічних умов: середня відстань транспортування руди і розкривних порід $L_{\text{рудн}} = L_{\text{розкр}} = 2,5$ км, глибина кар'єру (спуску) – $H_{\text{спуску}} = 300$ м, вантажопідйомність автосамоскиду $Q_a = 120$ т, ємність кузова автосамоскиду $V_k = 47$ м³, середня швидкість переміщення у порожньому $v_{\text{пор}}$ та вантажному $v_{\text{вант}}$ стані становить 25 і 22 км/год., відповідно, коефіцієнт розгону-гальмування автосамоскиду $K_{\text{рл}} = 1,11$, коефіцієнт технічної готовності $K_{\text{т.г.}} = 0,8$, об'єм ковша екскаватора $E_k = 10$ м³, час циклу 40 с, коефіцієнт екскавації $K_e = 1,2$, коефіцієнт наповнення ковша екскаватора $K_{\text{н.к}} = 0,8$, насипна щільність гірничих порід $\gamma = 3$ т/м³.

Для перевезення руди, вага якої дорівнює Q_a , автосамоскид має пройти відстань – $L_{\text{тр.руд}} = 2 * L_{\text{рудн}}$, розкривних порід – $L_{\text{тр.розкр}} = 2 * L_{\text{розкр}}$. Схема організації робіт за загальноприйнятою технологією наведена на рисунку 3. Розрахунок роботи автотранспорту виконаний за загальноприйнятою методикою [3].



Рис. 3. Стандартна схема руху автосамоскидів

При кільцевій схемі з використанням спускового пристрою (рис. 4) відстань між пунктами навантаження та розвантаження гірничої маси також прийнята за 2,5 км. Шлях, що долає один автосамоскид, складає:

$$L_{\text{езеїї}} = L_{\text{дбї}} + L_1 + L_{\text{дїїї}} + L_2 + L_3, \quad (1)$$

де L_1, L_2, L_3 – відстані проміжних переміщень порожнього автосамоскиду, відповідно, між: місцем розвантаження руди та розкривним вибоєм; місцем розвантаження розкривних порід та спусковим пристроєм; спусковим пристроєм та рудним вибоєм.

Альтернативна схема організації руху кар'єрних автосамоскидів з використанням пристрою для спуску кар'єрних автосамоскидів наведена на рисунку 4.

Положення верхнього та нижнього пунктів спускового пристрою (автосамоскидів) визначається за умови мінімізації холостих пробігів кар'єрних автосамоскидів за період експлуатації спускового пристрою в даному положенні. У міру розвитку гірничих робіт передбачається періодичне перенесення спускового пристрою на нове місце.

Відповідно до розрахунку, за умов спуску на глибину 300 м з основною швидкістю переміщення платформи з порожнім автосамоскидом 4 м/с, часом встановлення–виїзду автосамоскиду з пристрою $t = 2 * 60$ с = 120 с – пропускна здатність становить 18 автосамоскидів/год.

Пристрій для спуску автосамоскидів обладнаний двома платформами: при спуску платформи з порожнім автосамоскидом, друга платформа піднімається у верхнє положення. Внаслідок роботи електричного двигуна спускового пристрою у гальмівному режимі відбувається генерація електроенергії, що за даних умов складає приблизно 10–12 літрів умовного палива на 1 спуск автосамоскиду.

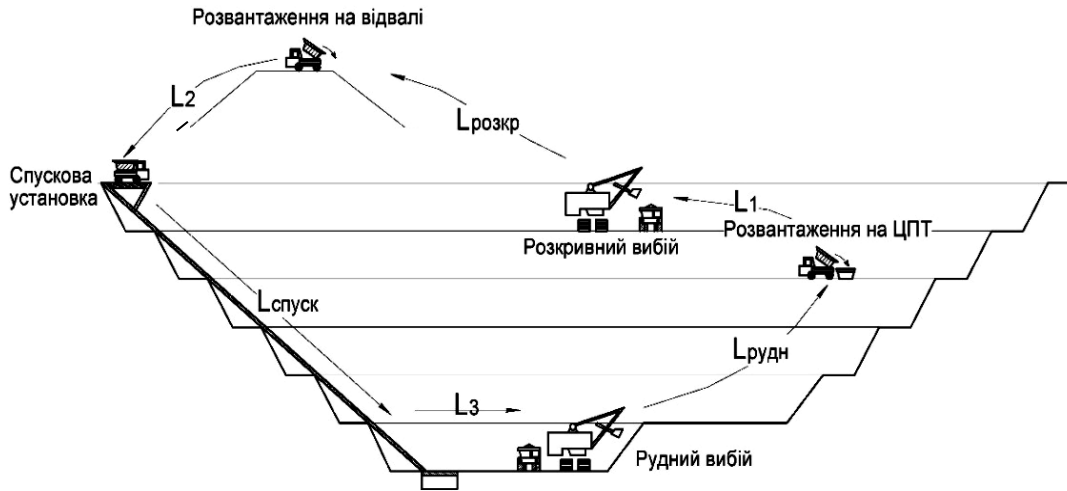


Рис. 4. Кільцева схема руху автосамоскидів з використанням спускового пристрою

У розрахунку часу рейсу автосамоскиду врахований час на спускання у кар'єр порожнього автосамоскиду.

Час рейсу автосамоскиду за стандартної схеми руху (рис. 3):

$$T_p = t_H + t_P + t_{POЗВ} + t_M \quad (2)$$

Кільцева схема з використанням спускового пристрою (рис. 4):

$$T_p = t_{H.PYД} + t_{P.PYД} + t_{POЗB.PYД} + t_1 + t_{H.POЗKP} + t_{P.POЗKP} + t_{POЗB.POЗKP} + t_2 + t_{CПYCK} + t_3 + 2 \times t_M \quad (3)$$

де $t_{H.PYД}$, $t_{H.POЗKP}$ – час навантаження у рудному та розкривному вибоях; $t_{P.PYД}$, $t_{P.POЗKP}$ – час руху у навантаженому стані від рудного та розкривного вибою, до відповідних місць розвантаження (перевантажувальний пункт, відвал); $t_{H.PYД}$, $t_{H.POЗKP}$ – час розвантаження автосамоскиду; $t_{CПYCK}$ – час опускання автосамоскиду у кар'єр за допомогою спускового пристрою; t_M – час на маневри біля вибою, місць розвантаження та упродовж переміщення; t_1, t_2, t_3 – час проміжних переміщень порожнього автосамоскиду, відповідно, між: місцем розвантаження руди та розкривним вибоєм; місцем розвантаження розкривних порід та спусковим пристроєм; спусковим пристроєм та рудним вибоєм.

За отриманим часом рейсу розраховуємо змінну продуктивність автосамоскиду для роботи за традиційною та альтернативною схемами.

Критерієм оцінки ефективності обрано відношення продуктивності автосамоскиду під час роботи за кільцевою схемою до роботи за стандартною схемою залежно від сумарної відстані переміщення у порожньому стані при використанні кільцевої схеми (рис. 3).

Для базової та альтернативної схем організації руху кар'єрних автосамоскидів виконано розрахунок змінної продуктивності. Оскільки ефективність альтернативної схеми залежить від положення у кар'єрі пунктів навантаження і розвантаження гірничої маси, а також пристрою для спуску в кар'єр кар'єрних автосамоскидів, то було розглянуто декілька варіантів, що відрізняються відстанню переміщення порожнього автосамоскиду між суміжними ділянками технологічної схеми, що змінювалась з 1 до 5 км.

Результати розрахунку відображені на рисунку 5. Продуктивність автосамоскидів при кільцевій схемі суттєво перевищує цей показник стандартної схеми транспортування. Закономірно, що при меншій відстані руху порожнього автосамоскиду між ділянками кільцевої схеми, різниця продуктивностей більш суттєва, а ефективність альтернативної схеми – вища, і за даних умов змінюється від 24–25 % при відстані 1000 м до 6–7 % при 3000 м.

Також, відповідно до проведеного розрахунку, при використанні кільцевої схеми економічний ефект зменшення експлуатаційних витрат на паливо та мастильні матеріали складає 4–12 кілограмів умовного палива на рейс, що відбувається, завдяки зменшенню частки переміщення автосамоскиду у порожньому стані у загальній тривалості рейсу.

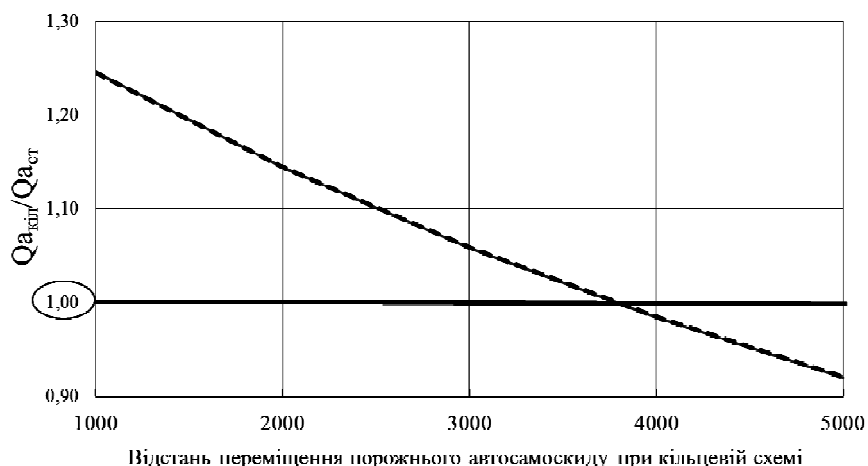


Рис. 5. Відношення продуктивності автосамоскидів у альтернативній схемі до стандартної залежно від відстані переміщення порожнього автосамоскиду між технологічними ділянками кільцевої схеми

Переваги розробленої технології над існуючою полягають у зменшенні необхідної кількості транспортних засобів для забезпечення гірничотранспортних потреб кар'єру (підвищення продуктивності роботи внаслідок зменшення частки порожнього руху у загальній тривалості рейсу), зменшенні витрат на експлуатацію автотранспорту (частина переміщення автосамоскиду у порожньому стані відбувається при вимкненому двигуні), падінні вірогідності виникнення аварійних ситуацій (зменшується кількість маневрів зустрічного транспорту, найбільш аварійна ділянка руху автосамоскидів власним ходом – на спуск, майже відсутня у межах кар'єру).

Конкурентні переваги і відмінності розробленої технології:

1. Комбінована транспортна система, що складається з кар'єрних автосамоскидів і пристрою для спуску в кар'єр порожніх автосамоскидів, що забезпечує створення умов, необхідних для організації руху кар'єрних автосамоскидів за кільцевою схемою з мінімальним плечем холостого пробігу і характеризується відсутністю в кар'єрі протилежно спрямованих потоків порожніх і навантажених автосамоскидів.

2. Комбінована транспортна система, що складається з кар'єрних автосамоскидів і пристрою для спуску в кар'єр порожніх автосамоскидів, що забезпечує створення умов для обслуговування одним автосамоскидом упродовж одного транспортного циклу двох екскаваторних вибоїв за наступною схемою: рудний вибій–пункт розвантажування руди– розкривний вибій–відвал розкривних порід–пристрій для спуску з денної поверхні в кар'єр порожніх автосамоскидів.

Висновки і перспективи подальших розвідок. Технічний результат запропонованої технології полягає у зменшенні необхідної кількості кар'єрних автосамоскидів за рахунок підвищення їх експлуатаційної продуктивності внаслідок зменшення частки порожнього руху у загальній тривалості рейсу, зменшенні витрат на експлуатацію автотранспорту (переважна частина переміщення автосамоскиду у порожньому стані відбувається при вимкненому двигуні), зменшенні вірогідності виникнення аварійних ситуацій (зменшується кількість маневрів зустрічного транспорту, найбільш аварійний вид руху автосамоскидів власним ходом – на спуск майже відсутній у межах кар'єру). Застосування пристрою для спуску автосамоскидів дозволяє перейти на більшості ділянок технологічних доріг в кар'єрі на використання одностороннього руху автосамоскидів. Використання пристрою для спуску з денної поверхні в кар'єр порожніх автосамоскидів створює умови, в яких відстань руху кар'єрного автосамоскиду з вантажем перевищує відстань, яку проїжджає порожній автосамоскид за рахунок того, що більшу частину потенційної відстані руху порожнього автосамоскиду він долає за допомогою пристрою для спуску кар'єрних автосамоскидів.

Прийнятний попередній розрахунок потребує подальшого уточнення, частина витрат, що пов'язані з кільцевою схемою, прийняті за песимістичним сценарієм (завищений час маневрів, переміщення спусковим пристроєм автосамоскидів тощо). Це говорить про існуючий потенціал подальшого покращення техніко-економічних показників застосування альтернативної схеми (10–40 %).

Планується більш детально опрацювати конструктивні особливості пристрою для спуску автосамоскидів, розробити техніко-економічну модель роботи автомобільного транспорту в комплексі з пристроєм для спуску порожніх автосамоскидів у кар'єр, проаналізувати гірничо-технічні умови залізородних кар'єрів Кривбасу і визначити область можливого використання запропонованої технології в існуючих кар'єрах.

Список використаної літератури:

1. Астафьев Ю.П. Модель маршрутизации автосамосвалов при работе с внутрикарьерными пунктами разгрузки / Ю.П. Астафьев // Развитие теории открытых горных работ. – М. : МГИ, 1991. – С. 98–103.
2. Веснин А.В. Пути повышения эффективности работы экскаваторно-автомобильных комплексов в сформировавшихся специфических условиях карьеров криворожского региона / А.В. Веснин // Вестник НТУ «ХПИ». – 2014. – № 9 (1052). – С. 113–119.
3. Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. – К. – 224 с.
4. Плютов Ю.А. Расчеты транспортных машин открытых горных разработок : учеб. пособие для практических занятий / Ю.А. Плютов, В.А. Карепов, П.В. Щелконогов. – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – 123 с.
5. Слободянюк Р.В. Определение рационального количества карьерных автосамосвалов / Р.В. Слободянюк // Геотехническая механика : межвед. сб. науч. тр. — Дніпропетровськ : ІГТМ НАНУ, 2012. – Вип. 103. – С. 196–202.
6. Слободянюк Р.В. Розробка імітаційної моделі экскаваторно-автомобільного комплексу кар'єру / Р.В. Слободянюк // Геотехнічна механіка : зб. наук пр. – Дніпропетровськ : ІГТМ НАНУ, 2015. – Вип. 123. – С. 213–222.
7. Справочник. Открытые горные работы / К.Н. Трубецкой, М.Г. Потанов, К.Е. Винуцкий и др. – М. : Горное бюро, 1994. – 590 с.
8. Czaplicki J. Shovel-Truck Systems: Modelling, Analysis and Calculations / J.Czaplicki // CRC Press. – 2008.
9. Surface Mining: Society for Mining, Metallurgy and Exploration. – 2nd edition. – Littleton, Colorado, 1990.
10. Choi Y.S. Multi-Criteria Evaluation and Least Cost Path Analysis for Optimal Haulage Routing in Open-Pit Mines' / Y.S. Choi, H.D. Park, C.Sunwoo. – 2015.

Referenses:

1. Astafiev, J.P. (1991), "Model of haul trucks routing during the work with the in-pit reloading points", in *Razvitye teorii otkrytyh gornih rabot*, MGI, Moscow, pp. 98–133.
2. Vesnin, A.V. (2014), "Ways of increasing to efficiency of the shovel-truck system in the specific conditions of Krivyi Rih region open pits", *Bulletin of NTU "KhPI"*, No. 9 (1052), pp. 113–119.
3. Ministry of Industrial policy of Ukraine (2007), *Normy tekhnolohichnoho proektuvannia hirnychodobuvnykh pidpriemstv iz vidkrytym sposobom rozrobky rodovyshch korysnykh kopalyn Standart [10.1.05411357.006:2007] Standards of the technological design of open pit mining companies*, Ukraine Ministry of Industrial policy, Kyiv, Ukraine.
4. Plytov, J.A. and Karepov, V.A. and Shchelkonohov, P.V. (2008), *Raschetnyy mashin otkrytykh gornyykh razrabotok: ucheb. posobie dlya prakticheskikh zanyatiy* [Calculations of transport machines for open pit mining: studies manual for a practical training], ИПК SFU, Krasnoyarsk, Russia, 123 p.
5. Slobodyanyuk, R.V. (2012), "Determination of the rational number of the haul trucks", *Geo-Technical Mechanics*, Vol. 103, pp. 196–202.
6. 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.
7. Trubetskoy, K.N., Potapov, M.G. and Vinitskiy, K.Ye. (1994), *Spravochnik: Otkrytye Gornye Raboty* [Reference Book: Open pit mining], Gornoye Byuro, Moscow, Russia, 590 p.
8. Czaplicki, J. (2008), *Shovel-Truck Systems: Modelling, Analysis and Calculations*, CRC Press, Boca Raton, FL, 172 p.
9. *Surface Mining* (1990), 2nd ed., Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., Littleton, Colorado.
10. Choi, Y.S., Park, H.D. and Sunwoo, C. (2015), "Multi-Criteria Evaluation and Least Cost Path Analysis for Optimal Haulage Routing in Open-Pit Mines", available at: www.geocomputation.org/2007/6C-Apps_Environment_4/6C4.pdf

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

Наукові інтереси:

– кар'єрний транспорт;

– імітаційне моделювання.
Тел.: (0564) 273–536.
E-mail: slobod.roman@gmail.com.

ПИЖИК Микола Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри відкритих гірничих робіт Криворізького національного університету.

Наукові інтереси:

- комплексне використання природних ресурсів;
- теорія проектування кар'єрів.

Стаття надійшла до редакції 27.04.2016