

УДК 622.271

DOI 10.20535/2079-5688.2017.34.110487

О.О. Фролов, д-р техн. наук, проф., **М.І. Соколовська**, асп., **Л.В. Краморенко**, інж., **В.А. Кононович**, студ. (КПІ ім. Ігоря Сікорського)

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕКСКАВАТОРНО-АВТОМОБІЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ КАР'ЄРІВ

O.O. Frolov, M.I. Sokolovska, L.V. Kramorenko, V.A. Kononovich (National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»)

OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF EXCAVATOR-TRUCK COMPLEX IN QUARRY

Виконано аналіз існуючих досліджень щодо визначення найбільш доцільного співвідношення параметрів екскаваторно-автомобільного комплексу при розробці родовищ корисних копалин відкритим способом. Отримана аналітична залежність оптимального співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида і об'ємом ковша екскаватора для досягнення максимально можливої продуктивності екскаваторно-автомобільного комплексу на кар'єрах.

Ключові слова: кар'єр; екскаваторно-автомобільний комплекс; об'єм кузова автосамоскида; об'єм ковша екскаватора.

Выполнен анализ существующих исследований по определению наиболее целесообразного соотношения параметров экскаваторно-автомобильного комплекса при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом. Полученная аналитическая зависимость оптимального соотношения между объемом кузова автосамосвала и объемом ковша экскаватора для достижения максимально возможной производительности экскаваторно-автомобильного комплекса на карьерах.

Ключевые слова: карьер; экскаваторно-автомобильный комплекс; объем кузова автосамосвала; объем ковша экскаватора.

The analysis of existing studies to determine the most appropriate ratio of the parameters of the excavator- truck complex during the development of mineral deposits by the open method is performed. The obtained analytical dependence of the optimal relationship between the volume of the body of a dump truck and the volume of an excavator bucket to achieve the maximum possible productivity of an excavator-truck complex in quarries.

Keywords: career; excavator-truck complex; the volume of the body of a dump truck; the volume of a bucket of an excavator.

Вступ. Видобування корисних копалин на потужних кар'єрах здійснюється зазвичай із застосуванням технологічних комплексів, в основу яких покладено переміщення гірничої маси автотранспортом. Комплекс обладнання, що складає структуру комплексної механізації, формується на їхній якісній і кількісній взаємодії. Основним обладнанням в загальному

їхній якісній і кількісній взаємодії. Основним обладнанням в загальному технологічному процесі видобутку є навантажувальні і транспортні машини [1]. В таких технологічних комплексах гірнична маса навантажується мехлопатами або навантажувачами у автосамоскиди і перевозиться до приймальних пунктів.

На кінцевий результат роботи екскаваторно-автомобільного комплексу впливає основний його параметр – співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида V_a і об'ємом ковша екскаватора E . Оскільки навантаження і транспортування в кар'єрі являють собою єдиний технологічний процес, який забезпечується різним обладнанням єдиного комплексу, то зазначені параметри машин повинні бути тісно пов'язані між собою. Крім цього, умови спільної роботи комплексу такого обладнання впливають на вантажопідйомність автосамоскиду і конструктивні особливості його кузова [2].

Аналіз досліджень і публікацій. Раціональне поєднання ємності ковша екскаваторів з ємністю кузова транспортних засобів в роботі [3] дослідив М. В. Васильєв. Він зазначає, що мінімальним співвідношенням між об'ємами кузова автосамоскиду V_a та ковшем екскаватора-мехлопати E слід вважати 4:1, а максимальним – не більше ніж 6:1-7:1

Водночас, в роботі [4] рекомендується вибирати співвідношення між ємністю кузова автосамоскиду і ємністю ковша екскаватора таким чином, щоб при відстані транспортування до 1,6 км кількість циклів екскаватора при навантаженні автосамоскиду знаходилося в межах від 3 до 5.

П. І. Томаковим [5] досліджено вплив співвідношення ємностей кузова автосамоскиду і ковша екскаватора V_a/E на вартісні показники відкритої розробки і встановлені раціональні його значення в залежності від відстані транспортування L . Зокрема при $L=1-1,5$ км співвідношення $V_a/E = 4-6$, при $L=1,5-5$ км – $V_a/E=6-10$, при $L=5-8$ км – $V_a/E=8-12$.

А.А. Кулешов [6] при розрахунку навантажувально-транспортного циклу виходить з технологічної узгодженості параметрів екскаваторно-автомобільного комплексу, тобто рівних відносних продуктивностей екскаватора і автосамоскида.

Автори роботи [7] пропонують оптимальне співвідношення V_a/E визначати з урахуванням фактичного ресурсу несучої системи автосамоскида при його навантаженні екскаватором. Дослідивши поєднання автосамоскида БелАЗ-75211 з екскаваторами, які мають різну ємність ковша, вони прийшли до висновку, що максимальна річна продуктивність автосамоскида досягається при $V_a/E=5$.

В [8] зазначено, що при навантаженні скельних порід співвідношення V_a/E повинно задовольняти умові $V_a/E \geq 2$. Розрахунки показують, що оптимальне його значення при невеликій відстані транспортування (1-2 км) складає 4-6, а при збільшенні відстані транспортування до 5 і 7-8 км воно складає 6-10 і 8-10 відповідно.

Автори роботи [9] відмічають, що відношення ємності кузова автосамоскида до ємності ковша екскаватора повинне бути не менше 4-5 і не більше 10-12. В роботі [10] пропонується визначати раціональну ємність ковша

екскаватора в залежності від вантажопідйомності автосамоскиду і заданої годинної продуктивності комплексу.

Мета та завдання. Аналіз літературних джерел свідчить про те, що серед дослідників немає єдиного погляду щодо визначення раціонального співвідношення параметрів екскаваторно-автомобільного комплексу. Тому метою роботи є встановлення найбільш оптимального співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида і об'ємом ковша екскаватора для досягнення максимальної продуктивності екскаваторно-автомобільного комплексу при розробці родовищ корисних копалин відкритим способом.

Результати досліджень. З метою встановлення взаємозв'язку продуктивності екскаватора з продуктивністю автосамоскидів розглянемо їхні продуктивності. Продуктивність екскаватора при навантаженні гірничої маси у автосамоскид, згідно [11], визначається за формулою

$$Q_e = \frac{60k_3}{t_n + t_o} q_a k_q, \text{ Т/ГОД}, \quad (1)$$

де t_n – середня тривалість навантаження автосамоскида, хв; t_o – тривалість обміну автосамоскидів під завантаження, хв; k_3 – коефіцієнт зниження продуктивності через нерівномірність навантажувально-транспортних операцій; q_a – вантажопідйомність автосамоскиду, т; k_q – коефіцієнт використання вантажопідйомності.

З урахуванням тривалості навантаження автосамоскида екскаватором, формулу (1) можна представити у вигляді

$$Q_e = \frac{60k_3}{t_{\text{ц}} \frac{q_a}{q_e} + t_o} q_a k_q, \text{ Т/ГОД}. \quad (2)$$

де $t_{\text{ц}}$ – середня тривалість циклу екскавації породи, хв; n_k – кількість ковшів екскаватора в кузові автосамоскида, шт; q_e – маса гірничої маси в ковші екскаватора, т.

З (2) випливає, що для досягнення максимальної продуктивності екскаватора, необхідно зменшувати тривалість обміну автосамоскидів під завантаження t_o . Якщо припустити, що t_o буде наближатися до нуля або $t_o=0$, то формула набуде вигляду

$$Q_{e.\text{max}} = \frac{60k_3}{t_{\text{ц}}} q_e k_q, \text{ Т/ГОД}, \quad (3)$$

тобто продуктивність екскаватора буде визначатися тільки його технічними характеристиками.

Відносне зменшення продуктивності екскаватора при навантаженні гірничої маси у автосамоскид в цьому разі буде становити

$$Q_{\text{відн.е}} = \frac{Q_e}{Q_{e.\text{max}}} = \frac{t_{\text{ц}} \frac{q_a}{q_e}}{t_{\text{ц}} \frac{q_a}{q_e} + t_o}. \quad (4)$$

Згідно [11] експлуатаційна продуктивність автосамоскиду при навантаженні його екскаватором визначається за формулою

$$Q_a = \frac{60k_3}{t_{\text{ц}} \frac{q_a}{q_e} + t_o + t_p} q_a k_q, \text{ т/ГОД}, \quad (5)$$

де t_p – середня тривалість рейсу автосамоскиду без врахування навантажувально-обмінних операцій, хв.

Аналіз (5) показує, що продуктивність автосамоскидів буде збільшуватися зі зменшенням кількості навантажених ковшів екскаватора, а максимальне значення продуктивності буде при $n_k = q_a/q_e = 1$, тобто

$$Q_{a.\text{max}} = \frac{60k_3}{t_{\text{ц}} + t_o + t_p} q_a k_q, \text{ т/ГОД}. \quad (6)$$

Відносне зменшення продуктивності автосамоскидів становить

$$Q_{\text{відн.а}} = \frac{Q_a}{Q_{a.\text{max}}} = \frac{t_{\text{ц}} + t_o + t_p}{t_{\text{ц}} \frac{q_a}{q_e} + t_o + t_p}. \quad (7)$$

Згідно [6] повна технологічна узгодженість у роботі екскаваторно-транспортного комплексу настане у тому випадку, коли відносні значення продуктивностей екскаватора і автосамоскида будуть рівні між собою (так зване математичне очікування даного процесу). Тому прирівнюємо формули (4) і (7) та отримаємо вираз відносно співвідношення q_a/q_e :

$$t_{\text{ц}}^2 \left(\frac{q_a}{q_e} \right)^2 - t_{\text{ц}}^2 \frac{q_a}{q_e} - t_o (t_{\text{ц}} + t_o + t_p) = 0. \quad (8)$$

За результатами розв'язання (8), яке має вигляд квадратного рівняння, маємо [12]

$$\frac{q_a}{q_e} = \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{1 + 4 \frac{t_o (t_{\text{ц}} + t_o + t_p)}{t_{\text{ц}}^2}} \right). \quad (9)$$

Якщо представити вантажопідйомність автосамоскиду формулою

$$q_a = V_a \frac{\gamma}{k_p}, \quad (10)$$

де V_a – місткість кузова автосамоскида, м^3 ; γ – щільність гірничої маси, $\text{т}/\text{м}^3$; k_p – коефіцієнт розпушеної гірничої маси в кузові автосамоскида, та масу гірничої маси в ковші екскаватора виразом

$$q_e = E \frac{k_{\text{н}}}{k_p} \gamma, \quad (11)$$

де E – об'єм ковша екскаватора, м^3 ; $k_{\text{н}}$ – коефіцієнт наповнення ковша, то формула (9) набуде вигляду

$$\frac{V_a}{E} = \frac{1}{2} k_n \left(1 + \sqrt{1 + 4 \frac{t_o(t_{ц} + t_o + t_p)}{t_{ц}^2}} \right). \quad (12)$$

На рис. 1, згідно (12), представлена залежність між співвідношенням V_a/E та середньою тривалістю рейсу автосамоскиду для різних значень коефіцієнту наповнення ковша екскаватора, які характеризують тип гірничої маси [8]. Середня тривалість циклу екскавації породи прийнята $t_{ц}=0,5$ хв, середня тривалість обміну автосамоскидів під завантаження становить $t_o=1$ хв.

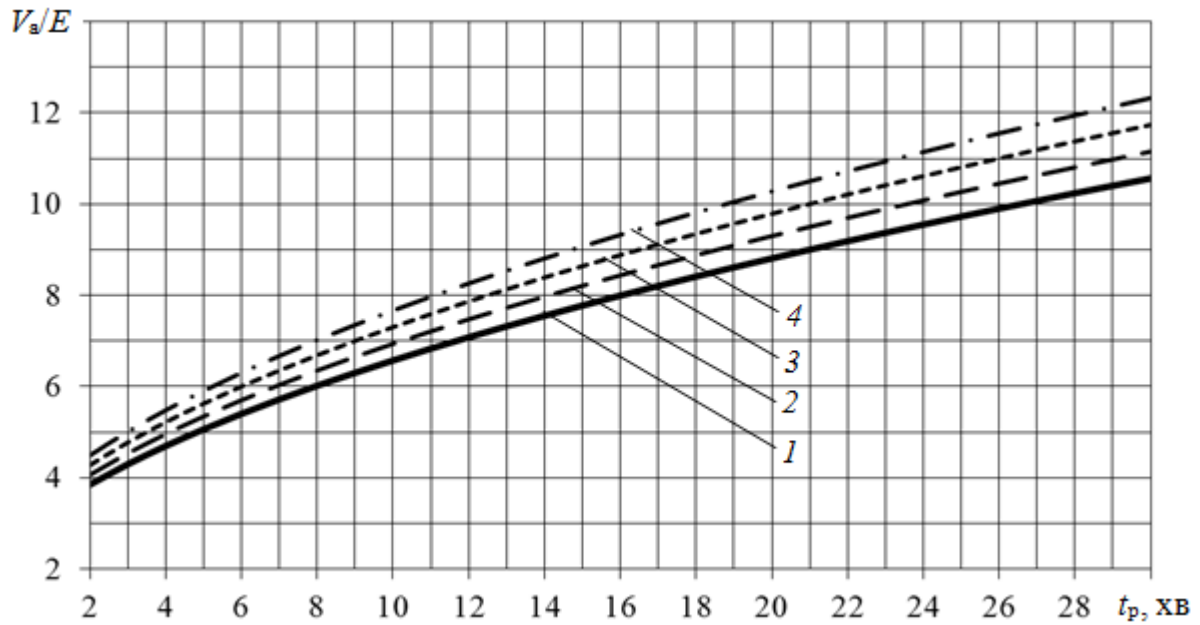


Рис. 1. Залежність між співвідношенням V_a/E та середньою тривалістю рейсу автосамоскиду t_p для різних значень коефіцієнту наповнення ковша екскаватора: 1 – $k_n=0,9$; 2 – $k_n=0,95$; 3 – $k_n=1,0$; 4 – $k_n=1,05$

Аналіз графічних залежностей показує, що при тривалості рейсу 2 хв оптимальне співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида і об'ємом ковша екскаватора в середньому становить 4 для всіх типів порід. При збільшенні тривалості рейсу до 30 хв для $k_n=1,05$ (пісок, супісок) найбільш доцільним буде $V_a/E=12$, а для $k_n=0,9$ (скельні розпушені породи) оптимальною кількістю ковшів в кузові автосамоскида буде 10.

Висновки

За результатами проведених досліджень отримана аналітична залежність по визначенню оптимального співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида і об'ємом ковша екскаватора для досягнення максимально можливої продуктивності екскаваторно-автомобільного комплексу при навантаженні і транспортуванні будь-яких типів гірських порід. Співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида і об'ємом ковша екскаватора коливається в межах від 4 до 12 при зміні тривалості транспортування від 2 до 30 хв відповідно. При незначній тривалості рейсу

кількість ковшів в кузові автосамоскида буде однаковим для всіх типів порід. При збільшенні тривалості рейсу оптимальне співвідношення V_a/E для сипучих порід буде більшою, ніж при транспортуванні розпушених скельних порід.

Отримані результати дозволяють планувати гірничотранспортні роботи таким чином, щоб місця перевантаження або розвантаження гірничої маси були розміщені на відстані, при якій максимально ефективно використовувався екскаваторно-автомобільний комплекс.

Перспективним є подальші дослідження, що спрямовані на більш детальний розгляд особливостей виконання рейсу автосамоскида в конкретних гірничо-геологічних умовах кар'єру та визначення його тривалості, оскільки вона визначає оптимальне співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида і об'ємом ковша екскаватора.

Посилання

- [1] В.В. Ржевский, *Технология и комплексная механизация открытых горных работ*. Москва, СССР: Недра, 1980.
- [2] П. Л. Мариев, А. А. Кулешов, А. Н. Егоров, И. В. Зырянов, *Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы*. Санкт-Петербург, Россия: Элмор, 2004.
- [3] М.В. Васильев, З.Л. Сироткин, В.П. Смирнов, *Автомобильный транспорт карьеров*. Москва, СССР: Недра, 1973.
- [4] Т.М. Бишоп, *Автомобильный транспорт* Москва, СССР: Недра, 1971.
- [5] П. И. Томаков, "О формировании экскаваторно-автотранспортных комплексов карьеров", *Горный журнал* №12, с.20-23, 1970.
- [6] А.А. Кулешов, *Мощные экскаваторно-автомобильные комплексы карьеров*. Москва, СССР: Недра, 1980.
- [7] А.А. Хорешок, Д.В. Стенин, "Определение оптимального соотношения сопряженных параметров карьерных экскаваторно-автомобильных комплексов", *Вестник Кузбасского государственного технического университета*, №5, с. 3-4, 2007
- [8] П.И. Томаков, И.К. Наумов, *Технология, механизация и организация открытых горных работ*. Москва, СССР: Недра, 1986.
- [9] М.Г. Новожилов, В.В. Ржевский, и Б.П. Юматов, *Научные основы проектирования карьеров*. Москва, СССР: Недра, 1971.
- [10] П. Флаксенберг, *Погрузка и транспорт на карьерах*. Москва, СССР: Недра, 1967.
- [11] В.В. Ржевский, *Открытые горные работы. Часть II. Технология и комплексная механизация открытых горных работ*. Москва, СССР: Недра, 1985.
- [12] О.О. Фролов, М.І. Соколовська, А.В. Хоменюк, Обґрунтування технологічної узгодженості параметрів екскаваторно-автомобільного комплексу, *Вісник Криворізького національного університету. Зб. наук. праць*, Вип. 44, с. 3-7, 2017.

Стаття надійшла до редакції 10.05.2017р.