

УДК 622.271

О.О. ФРОЛОВ, д-р техн. наук, проф., М.І. СОКОЛОВСЬКА, аспірантка,
 А.В. ХОМЕНЮК, студент, Національний технічний університет України
 "Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського"

ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ УЗГОДЖЕНОСТІ ПАРАМЕТРІВ ЕКСКАВАТОРНО-АВТОМОБІЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ

Мета. Метою роботи є встановлення оптимального співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида і об'ємом ковша екскаватора для забезпечення правильної організації робіт екскаваторно-автомобільного комплексу і ефективного його використання в часі.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети роботи використано методи комплексного аналізу – для узагальнення та аналізу досягнень теорії і практики в сфері узгодженості параметрів екскаваторно-автомобільних комплексів та аналітичний – для встановлення найбільш ефективного співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида та об'ємом ковша екскаватора.

Наукова новизна. Вирішення поставленої задачі складає актуальність роботи. Наукова новизна результатів полягає в тому, що отримана розрахункова формула для визначення найбільш ефективного співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида та об'ємом ковша екскаватора з точки зору досягнення екскаваторно-автомобільним комплексом максимально можливої продуктивності.

Практична значимість. Отримані аналітична і графічна залежності пов'язують параметри екскаваторно-автомобільного комплексу з тривалістю рейсу автосамоскида. Це дозволяє планувати гірничо-транспортні роботи таким чином, щоб максимально ефективно використовувати виймально-навантажувальне обладнання і автотранспорту в часі, що працює в кар'єрі.

Результати. Встановлено, що раціональне співвідношення ємності кузова автосамоскида до ємності ковша екскаватора є найважливішою умовою, що забезпечує високопродуктивне використання екскаваторів і автотранспорту при мінімальній вартості гірничотранспортних робіт. Серед науковців немає єдиного погляду на метод визначення найбільш доцільного співвідношення параметрів екскаваторно-автомобільного комплексу і кількісних його характеристик. Отримана аналітична залежність раціонального 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 з урахуванням тривалості виконання рейсу.

Ключові слова: кар'єр, гірнична маса, екскаваторно-автомобільний комплекс, структура комплексної механізації, об'єм кузова автосамоскида і об'єм ковша екскаватора.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами. Розробка потужних родовищ корисних копалин здійснюється із застосуванням технологічних комплексів, в основу яких покладено переміщення гірничої маси транспортними засобами. Формування комплексів обладнання, що складає структуру комплексної механізації, ґрунтується на їхній якісній і кількісній взаємодії з обладнанням суміжних процесів. Провідним обладнанням в загальному технологічному процесі, з якими пов'язуються параметри, продуктивність та кількість устаткування інших ланок вантажопотоків, є, зазвичай, навантажувальні і транспортні машини [1].

При технологічних комплексах з використанням автотранспорту гірнична маса навантажувється мехлопатами або навантажувачами у автосамоскиди і перевозиться до приймальних пунктів. Розкрив поступає на зовнішні відвали, а корисна копалина – до технологічного комплексу. В теорії і практиці експлуатації екскаваторно-автомобільних комплексів велика роль відводиться вивченню впливу на кінцевий результат роботи комплексу основного його параметра – 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, указані параметри машин повинні бути тісно пов'язані між собою з урахуванням динаміки змін умов протікання процесу. Крім цього, умови спільної роботи комплексу «екскаватор-автосамоскид» впливають на вантажопідйомність автосамоскиду і конструктивні особливості його кузова [2].

Сумісність параметрів вантажонесучих ємностей навантажувальної і транспортної ланок комплексу визначається наступними факторами [3]:

технологічними: зручністю розвантаження породи з ковша; максимальним використанням вантажопідйомності автосамоскиду; забезпеченням заданої продуктивності комплексу;

технічними: обмеженням динамічних навантажень на вузли конструкції автосамоскиду;

економічними: при різних поєднаннях вказаних параметрів змінюється поєднання співвідношення між елементами навантажувально-транспортного циклу, що призводить до зміни ступеня використання екскаватора і автосамоскиду і, отже, до різних сумарних затрат на навантаження і транспортування 1 т гірничої маси.

Аналіз досліджень і публікацій. При встановленні раціонального поєднання місткості ковша забійних екскаваторів з місткістю кузова транспортних засобів М.В. Васильєв вказує, 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 [4].

В роботі [5] пропонується визначити раціональну ємність ковша екскаватора в залежності від вантажопідйомності автосамоскиду q_a і заданої годинної продуктивності комплексу Q за формулою, м³

$$E = \frac{q_a t_u}{\left(\frac{60q_a}{Q} - t_s\right) \gamma k_e}, \quad (1)$$

де t_u – час циклу екскаватора, хв; t_s – час заміни навантаженого автосамоскиду порожнім, хв; γ – щільність породи у цілику, т/м³; k_e – коефіцієнт екскавації.

Однак, зазначена формула відноситься лише до процесу навантаження і не враховує вплив протяжності маршруту. Економічна сторона навантажувально-транспортного процесу тут не розглядається.

Автори роботи [6] пропонують оптимальне співвідношення V_a/E визначити 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 роботі [7] 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 $3 \leq n_u \leq 5$. При більших відстанях кількість циклів може бути збільшено.

П. І. Томаковим [8] 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 – $V_a/E=8-12$.

В.В. Ржевський [9] в своїх працях, щодо оптимального вибору співвідношення ємностей кузова автосамоскиду і ковша екскаватора посиляється на дослідження П. І.Томакова.

Автор роботи [3] при розрахунку і аналізі елементів навантажувально-транспортного циклу виходить з технологічної узгодженості параметрів екскаваторно-автомобільного комплексу, тобто рівностей відносних продуктивностей екскаватора і автосамоскида. На підставі цього отримана формула для визначення оптимального значення вагового модуля (співвідношення вантажопідйомності автосамоскида до маси породи в ковші).

В [9] зазначено, що при навантаженні скельних порід співвідношення V_a/E повинно задовільняти умові $V_a/E \geq 2$. На практиці воно змінюється від 2 до 10. 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 [11] відмічають, що як показує практика і проведені дослідження, відношення ємності кузова автосамоскида до ємності ковша екскаватора повинне бути не менше 4-5 і не більше 10-12.

Постановка завдання. Наведений аналіз літературних джерел свідчить про те, що раціональне співвідношення об'єму кузова автосамоскида до об'єму ковша екскаватора є найважливішою умовою, що забезпечує високопродуктивне використання екскаваторів і автотранспорту при мінімальній вартості гірничотранспортних робіт. Однак серед дослідників немає єдиного погляду на метод визначення раціонального співвідношення параметрів екскаваторно-автомобільного комплексу і кількісних його характеристик. Тому метою роботи є встановлення найбільш ефективного співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида і об'ємом ковша

екскаватора для забезпечення правильної організації робіт екскаваторно-автомобільного комплексу і максимального використання його в часі.

Викладення матеріалу та результати. Для встановлення якісного взаємозв'язку продуктивності комплексу обладнання циклічної дії з продуктивністю транспортних машин розглянемо їхні продуктивності.

Згідно [9] годинна продуктивність екскаватора при навантаженні гірничої маси у автосамоскид визначається за формулою

$$Q_e = \frac{60k_3}{t_n + t_o} q_a k_q, \text{ т/год}, \quad (2)$$

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.

Оскільки тривалість навантаження автосамоскида екскаватором дорівнює

$$t_n = t_{ц} n_k \text{ або } t_n = t_{ц} \frac{q_a}{q_e}, \quad (3)$$

де $t_{ц}$ – середня тривалість циклу екскавації породи, хв; n_k – кількість ковшів екскаватора в кузові автосамоскида, шт; q_e – маса гірничої маси в ковші екскаватора, т, то формулу (2) можна представити у вигляді

$$Q_e = \frac{60k_3}{t_{ц} \frac{q_a}{q_e} + t_o} q_a k_q, \text{ т/год}. \quad (4)$$

Аналіз виразу (4) показує, щоб досягти 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 (4) буде мати вигляд, т/год

$$Q_{e.\max} = \frac{60k_3}{t_{ц}} q_e k_q, \quad (5)$$

тобто продуктивність екскаватора буде визначатися тільки його технічними характеристиками.

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

$$Q_{\text{відн.е}} = \frac{Q_e}{Q_{e.\max}} = \frac{t_{ц} \frac{q_a}{q_e}}{t_{ц} \frac{q_a}{q_e} + t_o}. \quad (6)$$

Експлуатаційна продуктивність автосамоскидів при навантаженні його екскаватором визначається з виразу, т/год

$$Q_a = \frac{60k_3}{t_{ц} \frac{q_a}{q_e} + t_o + t_p} q_a k_q, \quad (7)$$

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

З (7) видно, що продуктивність автосамоскидів буде збільшуватися зі зменшенням кількості навантажених ковшів екскаватора, а максимальне значення продуктивності буде у випадку, коли $n_k = q_a/q_e = 1$, тобто, т/год

$$Q_{a.\max} = \frac{60k_3}{t_{ц} + t_o + t_p} q_a k_q. \quad (8)$$

Відносне зменшення продуктивності автосамоскидів становить

$$Q_{\text{відн.а}} = \frac{Q_a}{Q_{a.\max}} = \frac{t_{ц} + t_o + t_p}{t_{ц} \frac{q_a}{q_e} + t_o + t_p}. \quad (9)$$

Згідно [3] 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), тобто їхні графічні залежності зміни від q_a/q_e будуть перетинатися в певній точці.

Відповідно до наведеного, прирівняємо формули (6) і (9) та представимо отриманий вираз відносно співвідношення q_a/q_e

$$t_{\text{ц}}^2 \left(\frac{q_a}{q_e} \right)^2 - t_{\text{ц}}^2 \frac{q_a}{q_e} - t_o(t_{\text{ц}} + t_o + t_p) = 0. \quad (10)$$

Приведемо (10) до класичного виду квадратного рівняння

$$ax^2 + bx + c = 0, \quad (11)$$

де $x = \frac{q_a}{q_e}$; $a = t_{\text{ц}}^2$; $b = t_o t_{\text{ц}}$; $c = -t_o t_p$.

Розв'язавши рівняння (11), отримаємо наступний вираз

$$\frac{q_a}{q_e} = \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{1 + 4 \frac{t_o(t_{\text{ц}} + t_o + t_p)}{t_{\text{ц}}^2}} \right). \quad (12)$$

Вантажопідйомність автосамоскиду визначається за формулою

$$q_a = V_a \frac{\gamma}{k_p}, \quad (13)$$

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.

Маса гірничої маси в ковші екскаватора становить

$$q_e = E \frac{k_n}{k_p} \gamma, \quad (14)$$

де E – об'єм ковша екскаватора, м^3 ; k_n – коефіцієнт наповнення ковша.

Враховуючи (13) та (14), формула (12) остаточно набуде вигляду

$$\frac{V_a}{E} = \frac{1}{2} k_n \left(1 + \sqrt{1 + 4 \frac{t_o(t_{\text{ц}} + t_o + t_p)}{t_{\text{ц}}^2}} \right). \quad (15)$$

На підставі наведеної формули побудована залежність між співвідношенням V_a/E та середньою тривалістю рейсу автосамоскиду для різних значень коефіцієнту наповнення ковша екскаватора, який в свою чергу характеризує тип гірничої породи, що виймається (рис. 1).

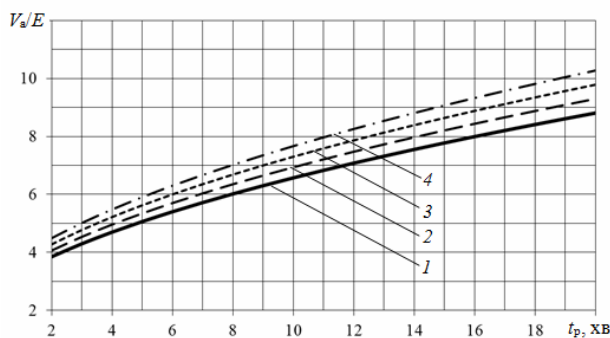


Рис. 1. Залежність між співвідношенням V_a/E та середньою тривалістю рейсу автосамоскиду t_p для різних значень коефіцієнту наповнення ковша екскаватора: 1 – $k_n=0,9$; 2 – $k_n=0,95$; 3 – $k_n=1,0$; 4 – $k_n=1,05$

Середня тривалість циклу екскавації породи прийнята $t_{\text{ц}}=0,5$ хв, середня тривалість обміну автосамоскидів під завантаження становить $t_o=1$ хв.

Аналіз графічних залежностей показує, що збільшення тривалості рейсу, а отже відстані транспортування, викликає необхідність

переглядати співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида і об'ємом ковша екскаватора, тобто змінювати обладнання. В іншому випадку необхідно заздалегідь планувати гірничо-транспортні роботи так, щоб місця перевантаження або розвантаження гірничої маси були розміщені на відстані, при якій максимально ефективно використовувався екскаваторно-автомобільний комплекс, тобто співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида і об'ємом ковша екскаватора було оптимальним.

Висновки та напрямок подальших досліджень. За результатами проведених досліджень встановлено, що вибір раціонального співвідношення ємності кузова автосамоскида до ємності ковша екскаватора при розробці родовищ корисних копалин відкритим способом є найважли-

вішою умовою, яка забезпечує високопродуктивне використання екскаваторів і автотранспорту при мінімальній вартості гірничотранспортних робіт.

Серед науковців немає єдиного погляду на метод визначення найбільш доцільного співвідношення параметрів екскаваторно-автомобільного комплексу відкритих гірничих робіт і кількісних його характеристик. Отримана аналітична залежність по визначенню необхідного 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 з урахуванням тривалості виконання рейсу.

Співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида і об'ємом ковша екскаватора коливається в межах від 4 до 10 й більше при зміні тривалості транспортування від 2 до 20 хв і більше.

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

Подальші дослідження будуть спрямовані на більш детальне вивчення тривалості транспортування гірничої маси в конкретних гірничо-геологічних умовах кар'єру, як основного параметра, який визначає оптимальне співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида і об'ємом ковша екскаватора.

Список літератури

1. **Ржевский В.В.** Технология и комплексная механизация открытых горных работ. Учебник, изд. 3, перераб. и доп. / В.В. Ржевский. – М.: Недра, 1980. – 631 с.
2. **Маринов П. Л.** Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы / П. Л. Маринов, А. А. Кулешов, А. Н. Егоров, И. В. Зырянов. СПб: Элмор, 2004. — 427 с.
3. **Кулешов А.А.** Мощные экскаваторно-автомобильные комплексы карьеров / А.А. Кулешов. – М.: Недра, 1980. – 317 с.
4. **Васильев М.В.** Автомобильный транспорт карьеров / **М.В. Васильев, З.Л. Сироткин, В.П. Смирнов.** – М.: Недра, 1973. – 280 с.
5. **Флаксенберг П.** Погрузка и транспорт на карьерах. Перевод с англ./ П. Флаксенберг. – М.: Недра, 1967. – 160 с.
6. **Хорешок А.А.** Определение оптимального соотношения сопряженных параметров карьерных экскаваторно-автомобильных комплексов / **А.А. Хорешок, Д.В. Стенин.** // Вестник Кузбасского государственного технического университета. КузГТУ. – 2007. – №5. – С. 3 - 4.
7. **Бишоп Т.М.** Автомобильный транспорт. Перевод с англ. / Т.М. Бишоп. – М.: Недра, 1971. – 142 с.
8. **Томаков П. И.** О формировании экскаваторно-автотранспортных комплексов карьеров / П. И. Томаков // Горный журнал. – 1970. – №12, с.20-23.
9. **Ржевский В.В.** Открытые горные работы. часть II. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. 4-е издание, перераб. и доп. / **В.В. Ржевский.** – М.: Недра, 1985. – 549 с.
10. **Томаков П.И.** Технология, механизация и организация открытых горных работ / **П.И. Томаков, И.К. Наумов.** М.: Недра, 1986. -312 с.
11. **Научные основы проектирования карьеров** / [Под общей редакцией **В.В. Ржевского, М.Г. Новожилова, Б.П. Юматова** и др.]. – М.: Недра, 1971. – 600 с.

Рукопис подано до редакції 12.04.17

УДК 622.8: 331.452: 519.6

Н.Н. НАЛИСЬКО, канд. техн. наук, доц.

Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕЗОПАСНЫХ РАССТОЯНИЙ ПРИ АВАРИЙНЫХ ВЗРЫВАХ ШАХТНОЙ АТМОСФЕРЫ С УЧЕТОМ МЕСТА РАСПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА ВОСПЛАМЕНЕНИЯ И ХАРАКТЕРА ГОРЕНИЯ

Цель. Повышение безопасности аварийных работ в горных выработках при угрозе возникновения взрывов шахтной атмосферы путем учета влияния места инициирования взрыва и режима горения в расчете безопасных расстояний. Математическое моделирование процесса закипания и горения загазированного участка рудничной атмосферы в горной выработке.

Методы исследования. Анализ и обобщение теоретических исследований, численное моделирование газодинамического процесса детонационного горения газовоздушной смеси, включая модель химической кинетики горе-