

С.О. Жуков, д.т.н., проф.
В.В. Перегудов, к.т.н., доц.
С.В. Філатов, к.т.н., асист.
Криворізький технічний університет

ВПЛИВ ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФІЛЮ КАР'ЄРНИХ АВТОДОРІГ НА ОПІР РУХУ ВЕЛИКОВАНТАЖНИХ АВТОСАМОСКИДІВ

Наведена характеристика сучасного стану кар'єрного транспорту і шляхи підвищення його ефективності при зміні поперечного профілю доріг.

Кар'єрний автомобільний транспорт є домінуючим при відкритому способі видобування корисних копалин.

Оскільки кар'єрні дороги мають змінний профіль, великотоннажні автомобілі працюють в досить складних умовах, а тому підвищення ефективності роботи кар'єрного автомобільного транспорту становить актуальну наукову і практичну задачу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій [1], [2], [3], [4], [5], [6], в яких започатковано розв'язання даної проблеми, свідчить, що більшість досліджень присвячена удосконаленню конструкцій автомобілів, проектуванню автомобільних доріг, оцінці стану автомобільного транспорту і розробці шляхів його оновлення і модернізації, підвищенню ефективності роботи автосамоскидів при розробці крутонападаючих покладів корисних копалин та вирішенню інших аналогічних задач. Разом з тим недостатньо здійснені дослідження ефективності роботи кар'єрного транспорту та його зношування в залежності від зміни профілю кар'єрних доріг, що і обумовило необхідність здійснення даних досліджень.

Метою досліджень слугувало вивчення впливу поперечного профілю кар'єрних автодоріг на опір руху великовантажних автосамоскидів та ефективність їх роботи.

Головною відмінністю кар'єрних автомагістралей є робота під дією значних навантажень, що сприймаються транспортними бермами і дорожнім покриттям при високій інтенсивності та сталості транспортного потоку. У залежності від вантажопідйомності рухомого складу навантаження їх складає від 12 т (КрАЗ-356Б) до 180 т (БелАЗ-7521) і більше.

Облаштованість і транспортно-експлуатаційні якості кар'єрних і під'їзних комунікацій повинні забезпечувати найбільшу продуктивність і економічність роботи великовантажних автосамоскидів у кар'єрі, що є можливим лише у випадку, якщо дорожні умови будуть повною мірою відповідати габаритам нового покоління великовантажних кар'єрних автосамоскидів, їхнім ваговим параметрам і тягово-динамічним якостям. Виходячи з цього, повинні визначитися елементи плану і профілю кар'єрних і під'їзних комунікацій. Будь-яке погіршення їхнього стану, порушення функціонального зв'язку шляху з автомобілем призводить до зниження швидкості і продуктивності автосамоскида, зниження безпеки руху і транспортування гірської маси, підвищення витрат пального, знос двигуна і ходової частини, шин, а в цілому – до підвищення собівартості перевезень і безпосередньо мінеральної продукції.

Крім того, розбита, нерівна поверхня руху зумовлює різке підвищення вертикальних коливань транспортного засобу, що рухається нею, і як наслідок, – динамічних навантажень з його боку на масив гірських порід, на якому розташована транспортна берма. Ці навантаження нерідко досягають критичного рівня, адже навіть при існуючому парку рухомого складу маса завантажених кар'єрних автосамоскидів вимірюється сотнями тонн. Разом з тим, внаслідок інтенсифікації гірничих робіт при зростанні глибин кар'єрів та хронічного відставання розкривних робіт на більшості гірничо-збагачувальних комбінатів, спостерігається різке звуження транспортних берм та підвищення кутів відкосів відкритих гірничих виробок. У той же час тривалі, багаторазові і надзвичайно інтенсивні динамічні впливи на приконтурні зони кар'єру, зумовлені масовими технологічними вибухами, знеміцнюють породу в уступах і значно знижують їх стійкий стан.

Враховуючи викладене вище, необхідно шукати шляхи і можливості підвищення ефективності експлуатації великовантажних автосамоскидів перспективних моделей за умов подальшого стійкого зростаючого погіршення гірничотехнічних умов в кар'єрах.

При дальності транспортування понад один кілометр і середньому ухилі 4 % збільшення довжини тимчасових доріг від 100 до 400 м обумовлює зниження продуктивності великовантажних кар'єрних автосамоскидів на 10,3 %, а при дальності понад 2 км – на 6,5 %.

У діапазоні швидкостей руху 8–15 км/год. показники транспортування на тимчасових кар'єрних автодорогах обумовлюються тільки коефіцієнтом опору кочення. Відповідно до норм проектування автомобільних доріг з урахуванням економії енергоресурсів [1] він складає для БелАЗ-540 (27 т) 0,041–0,185, а для Белаз-540А (32 т) 0,044–0,094 у залежності від подовжнього ухилу кар'єрної автодороги, що у 2,5 рази перевищує коефіцієнт опору кочення на постійних автодорогах із транспортом загального користування. Тому таке велике значення має правильний устрій і облаштування транспортних берм покриттям, а також прийняття оптимальних технічних і експлуатаційних параметрів великовантажних автосамоскидів при проектуванні і реконструкції кар'єрних вантажопотоків.

Існуючі кар'єрні автодороги мають велику довжину, більші, у порівнянні з дорогами загального користування, ухили (70–120 ‰), складну трасу в плані з малими радіусами кривих ділянок, обмежену видимість, низькі експлуатаційні показники покриття: рівність, шорсткість, коефіцієнт зчеплення. Майже у всіх кар'єрах рух великовантажних автосамоскидів здійснюється по односмугових двосторонніх автодорогах з незабезпеченою шириною проїжджої частини.

В міру динамічності розвитку кар'єрного простору, зростання відстаней транспортування і висоти підйому гірської маси, зміни параметрів робочої зони кар'єру, розмірів і напрямів вантажопотоків потрібним є періодичне вдосконалювання транспортної системи кар'єру, спрямоване на забезпечення оптимальних умов експлуатації великовантажних автосамоскидів при самостійному чи комбінованому їх використанні. Тому технологія розробки родовища обов'язково містить у собі роботи з формування проїзних поверхонь.

Досвід досліджень транспортної проблеми глибоких кар'єрів показує, що її вирішення є можливим лише на основі корінного перегляду стратегії формування транспортних систем, з урахуванням закономірностей розвитку кар'єрного простору і вантажопотоків, а також досвіду виконання гірничих робіт, виявлених за досить тривалі періоди розробки родовищ.

Аналіз стану автотранспортного парку гірничо-збагачувальних комбінатів на 2001–2002 рр. свідчить про те, що кар'єрні автосамоскиди амортизовані на більшості з них на 60–75 %, а подекуди і на 90–100 %. Це свідчить про необхідність 40–50-відсоткового оновлення рухомого складу в найближчі 2–3 роки. Разом з тим, в усьому світі чітко визначилася тенденція до нарощування вантажопідйомності кар'єрних автосамоскидів (від 100–200 т до 300–500 т і більше). Враховуючи ці обставини, необхідно вже зараз створювати в кар'єрах умови, необхідні для експлуатації автомобілів підвищеної вантажопідйомності. Такі автомобілі мають і більші габарити, і відповідно, вимагають більш широких кар'єрних доріг, що в умовах глибоких кар'єрів є вкрай проблематичним і збитковим. У зв'язку з цим в Криворізькому технічному університеті (КТУ) протягом 1995–2001 рр. велися науково-дослідницькі роботи, спрямовані на вирішення означеної проблеми.

Рішення було знайдене при застосуванні принципово нового методичного підходу. Реалізація методу не супроводжується значним розширенням проїзної частини дороги, а досягається за рахунок зміни форми її поверхні. Сутність його полягає в тому, що проїзній частині автодороги надається увігнутий поперечний профіль. При цьому змінюється напружено-деформований стан шини автомобіля і форма плями контакту її з дорожнім покриттям, що забезпечує зменшення зносу шин і витрати паливно-мастильних матеріалів, а також підвищує курсову стійкість автосамоскида, що сприятливо відбивається на безпеці транспортних робіт у стислих умовах відкритих гірничих розробок.

Теоретичне обґрунтування методу вимагає динамічної постановки задачі, урахування всього різноманіття факторів, що впливають на параметри руху великовантажного кар'єрного автосамоскида. У зв'язку з цим реалізація даного заходу є можливою лише на основі застосування сучасних методів математичного моделювання і програмування, засобів електронно-обчислювальної техніки.

Для визначення загальних параметрів системи "автомобіль–дорога" необхідно, насамперед, вдосконалити методіку визначення показників опору кочення при застосуванні увігнутого поперечного профілю транспортної берми, оскільки даний захід не враховується існуючими методами.

Як відомо, на рух великовантажного кар'єрного автосамоскида діють сили опору руху. Згідно з [2] розрізняють основний опір руху W_O , що становить собою опір руху колеса на горизонтальній ділянці автодороги, й додатковий опір руху W_I , що являє собою опір руху колеса на похилій ділянці автодороги, опір повітря W_{II} й опір від кривизни дороги W_{KP} . Останнє для автомобілів даного класу можна не враховувати.

Суму основного опору руху й додаткового від ухилу дороги називають опором дороги W_D . Основний опір руху завжди має місце при русі автомобіля, а додатковий виникає за деяких специфічних умов та характеристик дороги.

На кар'єрних автодорогах додатковий опір руху від їхнього ухилу теж завжди присутній. У деякій літературі до додаткових сил опору руху автомобіля відносять і силу інерції, називаючи її силою опору розгону. Така постановка є некоректною, бо, відповідно до законів динаміки, сила інерції є добутком маси тіла на його прискорення. Таким чином, сила опору розгону – це рівнодіюча усіх сил, а не одна з сил опору руху автомобіля.

Загальний опір руху автомобіля знаходиться за формулою:

$$W_3 = W_O + W_I + W_{II} = W_D + W_{II}, \quad (1)$$

де W_O – основний опір руху, Н; W_I – опір руху від підйому, Н; W_{II} – опір повітря, Н; W_D – опір дороги, Н.

Кожна з сил опору руху може бути вираженою як добуток ваги автомобіля на коефіцієнт опору руху. Таким чином, основний опір руху буде знаходитись за формулою:

$$W_O = G_a \omega_o', \quad (2)$$

де G_a – маса автомобіля, Н; ω_o' – коефіцієнт основного опору руху.

Опір руху від підйому буде знаходитись за формулою:

$$W_I = G_a \sin \beta = G_a \operatorname{tg} \beta = G_a i, \quad (3)$$

де β – кут нахилу дороги; i – ухил автодороги, %.

Підставивши (5.7) й (5.8) у (5.6), отримаємо:

$$W_3 = G_a (\omega_o' + i) + W_{II}. \quad (4)$$

Оскільки ω_o' , i – безрозмірні коефіцієнти, то розмірність W_3 буде такою ж, як і розмірність G_a й W_{II} (Н, кН).

Загальний опір руху великовантажного кар'єрного автосамоскида визначається як сума опору руху і опору підйому. При застосуванні запропонованого ввігнутого поперечного профілю транспортної берми формула (4) матиме вигляд:

$$W_3 = G_a (\omega_o' + i) K + W_{II}, \quad (5)$$

де K – коефіцієнт зменшення опору руху при застосуванні ввігнутого поперечного профілю транспортної берми.

Для з'ясування конкретних показників були проведені полігонні випробування щодо з'ясування впливу поперечного профілю кар'єрної автодороги на опір кочення колеса великовантажного кар'єрного автосамоскида. Метою полігонних випробувань було підтвердження гіпотези про вплив ступеня кривизни і форми поперечного профілю кар'єрної автодороги на опір кочення великовантажного кар'єрного автосамоскида.

Застосовуючи методіку фірми BOSCH [3], для визначення коефіцієнта опору кочення шляхом заміру відстаней, на яких зменшувалась швидкість кар'єрного автосамоскида на 5 км/год., і потім, через розрахунок прискорення уповільнення, обчислювались і порівнювались коефіцієнти опору кочення на випуклому та ввігнутому профілях кар'єрної автодороги.

$$\tau = 28,2(a_2 V_1^2 - a_1 V_2^2) \cdot (V_1^2 - V_2^2) 10^3, \quad (6)$$

де a_1 , a_2 – прискорення уповільнення, м/с²; V_1 , V_2 – початкова та кінцева швидкості руху, м/с.

Запропонована методіка дозволяє підтвердити гіпотезу про зменшення коефіцієнта опору кочення при ввігнутому профілі кар'єрної автодороги, який становить 0,026 у порівнянні з коефіцієнтом опору кочення при випуклому профілі – 0,034.

Слід зазначити, що відзначена закономірність виявляється більш чіткіше зі зростанням вантажопідйомності транспортного засобу, в зв'язку з чим її практичне використання є можливим виявляється при експлуатації великовантажних автосамоскидів, що найбільш масово застосовуються в умовах залізничних кар'єрів.

Висновок

Виконані дослідження дали змогу встановити закономірності впливу поперечного профілю кар'єрної автодороги на опір кочення колеса великовантажного кар'єрного автотранспорту. Запропонована методика визначення коефіцієнта опору кочення колеса при ввігнутому профілі кар'єрної автодороги.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Белятинский А.А. и др.* Проектирование автомобильных дорог с учетом экономии энергоресурсов // А.А. Белятинский, Л.В. Василенко, А.М. Романюха. – К.: Будівельник, 1990. – 104 с.
2. *Ренгевич А.А.* Расчет карьерного автомобильного транспорта. – ДГИ, 1979. – 64 с.
3. Robert Bosch GmbH, Stuttgart, 1999. – 896 p.
4. *Беллуцкий Ю.Б., Бызов Б.В., Филатов С.В.* Повышение эффективности работы карьерных автосамосвалов при разработке крутопадающих месторождений полезных ископаемых // Разраб. рудн. месторождений: Респ. межвед. научно-техн. сб. – Кривой Рог: КТУ, 1999. – Вып. 67. – С. 30–32.
5. *Жуков С.А., Филатов С.В., Гирин В.С.* Состояние карьерного транспорта, пути его обновления и модернизации // Гірничя електромеханіка та автоматика. – Дніпропетровськ: НГУ, 2002. – № 68. – С. 64–66.
6. *Беллуцкий Ю.Б., Филатов С.В.* Математическое моделирование деформирования колеса большегрузного автосамосвала на дорогах с различным профилем // Разраб. рудн. месторождений: Респ. межвед. научно-техн. сб. – Кривой Рог: КТУ, 2000. – Вып. 72. – С. 114–116.

ЖУКОВ Сергій Олександрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри гірничого, промислового та цивільного будівництва Криворізького технічного університету.

Наукові інтереси:

- гірництво;
- комплексне освоєння родовищ корисних копалин;
- виробничий менеджмент.

ПЕРЕГУДОВ Володимир Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри маркшейдерії та геодезії Криворізького технічного університету.

Наукові інтереси:

- гірництво;
- буровибухові роботи в кар'єрах.

ФІЛАТОВ Сергій Валентинович – кандидат технічних наук, асистент кафедри автомобілів і автомобільного господарства Криворізького технічного університету.

Наукові інтереси:

- гірництво;
- кар'єрний транспорт.

Подано 18.03.2003