

С.В. ФІЛАТОВ, канд. техн. наук, доц., І.В. ГІРІН ст. викладач,  
С.О. ЖУКОВ, В.С. ГІРІН, доктори техн. наук, професори  
Криворізький національний університет

## МАКСИМІЗАЦІЯ ВІДПОВІДНОСТІ ЗОВНІШНІХ ТА ВНУТРІШНІХ ФАКТОРІВ РУХУ ВЕЛИКОВАНТАЖНИХ КАР'ЄРНИХ АВТОСАМОСКИДІВ ЯК МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ ЇХ РОБОТИ

У статті наведено результати досліджень щодо зменшення коефіцієнту опору кочення великовантажного кар'єрного автосамоскида за рахунок застосування нового поперечного профілю кар'єрної автодороги. Розкрито механізм впливу профілювання поверхні руху на енергетичні показники руху автосамоскида, а також – характер зміни плями контакту колеса з дорогою в залежності від характеристик гуми та умов її деформування. Наведено діючі технічні умови на повний комплект тягового обладнання великовантажного кар'єрного автосамоскида а також методи визначення швидкості руху останнього з урахуванням зміни параметрів поперечного профілю кар'єрного шляху. Зазначено, в якому напрямку зосереджуються наукові пошуки авторів: не тільки удосконалення запропонованих у попередні періоди методів і методик, але і самих підходів щодо пояснення механізму деформування великорозмірної гумової шини максимально навантаженого колеса при русі поверхнею змінного поперечного профілю з різними деформаційними та фрикційними характеристиками. Представлено методику проведення досліджень та їх результати, а також подано блок-схему основних реальних напрямків технічно можливого та технологічно доцільного підвищення швидкості руху усереднено типового великовантажного кар'єрного автосамоскида. Автори зосередили увагу на дослідженні впливу на параметри руху великорозмірного колеса характеру кривизни утворюючих профілю дороги, на відміну від досліджених раніше прямолінійних утворюючих. Доведено, що на експлуатаційну швидкість кар'єрного автосамоскида найбільш суттєво впливають: кут поперечного, відповідного колісним парам, центральносиметричного нахилу поверхні та ширина автодороги, а також значно залежні від цього коефіцієнти опору кочення та зчеплення шин. Запропонована методика дозволяє значно розвинути теоретичне обґрунтування експериментально підтвердженої гіпотези про зменшення коефіцієнту опору кочення при ввігнутому профілі кар'єрної автодороги. Також зменшення коефіцієнта опору кочення дає можливість знизити величину тяги та потужності на ведучих колесах великовантажного кар'єрного автосамоскида, що підвищує машинний ресурс для виконання додаткових обсягів перевезень. Оскільки транспортну роботу можна виконувати з меншими показниками потужності двигуна самоскида, то це в свою чергу забезпечує і зменшення енерговитрат - об'ємів пального на транспортування заданих обсягів гірничої маси.

**Ключові слова:** кар'єр, профіль дороги, кар'єрний автосамоскид, опір руху, великорозмірні колеса.

**Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями.** Зі збільшенням глибин залізрудних кар'єрів неминуче зростає собівартість руди, в якій основною зростаючою складовою є питома частка витрат на транспортування гірничої маси. Швидкість руху великовантажного кар'єрного автосамоскида є основним параметром його роботи, що визначає продуктивність, паливну економічність та знос основних його вузлів, агрегатів, систем та деталей.

Тому така актуальність транспортної проблеми глибоких кар'єрів обумовлює пошук її вирішення в напрямі формування комплексних підходів, які полягають в максимальному узгодженні зовнішніх і внутрішніх чинників транспортних процесів: власне машинних, дорожніх, а також - загальнокар'єрних.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Наукові основи використання автомобільного транспорту на залізрудних кар'єрах і його взаємозв'язку з іншими технологічними процесами закладалися в працях Ржевського В.В. [1,2], Шешко Ю.Ф. [2], Васильєва М.В. [3], М.В. Мельникова [4], П.І. Томакова [5], Новожилова М.Г. [6] та ін.

Крім перерахованих робіт для встановлення порівняльної ефективності різних видів транспорту, пов'язаних з цим питань проектування кар'єрів та стійкості породних масивів є багато досліджень В.Ф. Бизова[7], Ю.П. Астаф'єва[8], О.С. Пригунова та ін.

На особливу увагу заслуговують праці З.Л. Сироткіна [9], В.Л. Яковлева О.О. [10], А.А. Белятинського [11] та ін.

Розрахункові показники основних видів кар'єрного транспорту, раціональне сполучення потужностей навантажувального і транспортного устаткування й обґрунтування їхніх параметрів знайшли відображення в роботах К.Є. Віницького [12].

У ряді робіт визначаються область застосування, схем різних видів транспорту і приводяться розрахунки основних параметрів, а також ряду техніко-економічних показників кар'єрного транспорту [13-15].

Розрахунок основних параметрів транспортного устаткування і техніко-економічних показників значною мірою доповнює монографія М.В. Васильєва, Б.В. Фадєєва, С.Л. Фісенко.

**Постановка завдання.** Раціональна швидкість руху - це така швидкість, за якої спостерігається найменша собівартість перевезень за весь період експлуатації автосамоскида. В той же час мінімальна собівартість перевезень забезпечується при максимально можливій у даних умовах продуктивності великовантажного автосамоскида.

За критерій оптимізації експлуатації великовантажного кар'єрного автосамоскида приймається його максимальна продуктивність за весь період експлуатації. Це можна забезпечити лише за рахунок підтримки найбільш можливої допустимої швидкості за умови повного дотримання правил безпеки при транспортуванні залізної руди.

Оскільки технічна швидкість великовантажного автосамоскида оговорюється паспортними даними заводу-виробника, то залишається підвищувати тільки експлуатаційну, найреальнішим з рішень чого є зменшення коефіцієнта опору кочення.

Враховуючи стан означеної проблеми та виявлені протягом виконаних теоретичних і експериментальних вишукувань тенденції щодо результативності поперечного профілювання кар'єрних автодоріг, автори зосередили увагу на дослідженні впливу на параметри руху великорозмірного колеса характеру кривизни утворюючих профілю, на відміну від досліджених раніше прямолінійних утворюючих.

**Викладення матеріалу та результати.** У Криворізькому національному університеті протягом багатьох років велися інтенсивні дослідження й експерименти щодо пошуку шляхів досягнення зазначеного. Одним з нетрадиційних підходів до вирішення проблеми було використання впливу поперечного профілю автодороги на параметри руху великовантажного кар'єрного автосамоскида.

Виконані експерименти переконливо довели вірність попередніх припущень і тому зараз постає питання щодо промислового впровадження розробленого рішення, яке включає в себе не тільки методи теоретичного обґрунтування характеристик зазначеного профілю, але й технологію профілювання поверхні руху транспортних бєрм кар'єрів.

Яка ж природа явища і чому мова йде саме про кар'єрні великовантажні автосамоскиди, а не про автомобілі загального користування?

Як показав аналіз результатів виконаних досліджень і спостережень в натурних умовах, основним фактором, який зумовлює зміну показників режиму руху колеса великого діаметру, в тому числі і значення коефіцієнту опору кочення, є особливості деформування гумової шини, зовнішнім проявом чого можна розглядати зміну форми й орієнтації плями контакту її з поверхнею руху. Внаслідок того, що автомобільні колеса мають розвал та сходження, саме ввігнутий поперечний профіль поверхні руху забезпечує максимальну відповідність орієнтації цих плям контакту напряму руху автосамоскида в енергетичному відношенні. За цих умов зміна фіксованих показників суттєво відрізняється при спостереженні за рухом звичайних автомобілів і великовантажних, що пояснюється близькістю деформативних характеристик самої гуми їхніх шин, але різними пропорціями останніх і зовнішніми умовами деформування.

Це стає повністю зрозумілим та навіть очевидним на прикладі поняття і сенсу масштабу моделювання при створенні й дослідженні фізичних моделей. Тобто, при схожості фізичних параметрів матеріалів різномасштабних моделей, геометричні та питомі сили - змінюються радикально. Саме з цих причин значний ефект проявляє себе тим слабше, чим меншим є розмір шини автомобіля і навантаження на неї. Тому сьогодні говорити про ефективність та перспективність корисного використання розглянутого ефекту стосовно автомобілів загального користування - не має сенсу. Тим більше, що дане рішення - поперечне профілювання доріг - не є реальним в умовах інтенсивності руху, маневрування та динамічно мінливих швидкостей автомобілів на дорогах загального користування, на відміну від відносно більш статичних і переважно сталих режимів руху самоскидів кар'єрних.

Основним фактором, що впливає на профіль дороги, а звідси - й на швидкість руху великовантажного кар'єрного автосамоскида, є підвищений нагрів тягових електричних двигунів, встановлених у задніх колісних редукторах. На більшості сучасних великовантажних кар'єрних автосамоскидів застосовується електромеханічна трансмісія з дизель-електричним приводом і саме такими тяговими колісними електродвигунами. Так, наприклад, згідно діючих технічних

умов, на повний комплект тягового обладнання для великовантажного кар'єрного автосамоскида ТУ 16-739.105-82 воно повинне забезпечувати:

нормальний тяговий режим з довгостроковою реалізацією динамічного фактору при поздовжньому ухилі кар'єрної автодороги в 65 %;

з реалізацією чотирьохвилинного динамічного фактору при поздовжньому ухилі кар'єрної автодороги у 100 %;

з реалізацією протягом 5 секунд динамічного фактору до 220 %;

безперервне електродинамічне гальмування порожнього автосамоскида, а також підгальмування протягом 1-1,5 хвилин завантаженого автосамоскида зі швидкістю 20-30 км/год. на ухилі у 80 %.

Для визначення швидкості руху великовантажного автосамоскида можна застосувати три методи: графоаналітичний, статистичний і метод, заснований на моделюванні процесу руху великовантажного автосамоскида.

Перший метод є досить відомим і застосовується при проектуванні кар'єрів, але на гірничих підприємствах при розрахунках продуктивності великовантажного автосамоскида його не використовують. Графоаналітичний метод дає не точні показники швидкості на 20-30 %, тому, що не враховує перехідні режими руху великовантажного автосамоскида. При використанні потужних та дорогих автомобілів цей метод не може бути застосованим. Він використовується тільки у порівнянні різноманітних моделей однотипних автосамоскидів.

Для визначення параметрів швидкості руху кар'єрного автосамоскида необхідно використовувати статистичний метод, який базується на проведенні хронометражних спостережень і результатів експериментальних досліджень, або метод моделювання процесу руху автосамоскида.

Останній метод поки що не набув широкого застосування у проектній практиці щодо гірничовидобувних підприємств, але, враховуючи його високу точність і доступність, у перспективі, на наше переконання, метод моделювання процесу руху великовантажного автосамоскида буде застосовуватися на більшості кар'єрів України й світу.

Життєздатність цього перспективного методу обґрунтовано застосуванням нового покоління великовантажних кар'єрних автосамоскидів з електромеханічною трансмісією, які у майбутньому будуть домінувати на відкритих гірничих роботах, а також - застосуванням сучасних комп'ютерних засобів і програмного забезпечення, якими можна адекватно моделювати рух великовантажного автосамоскида з оперативною інформативною візуалізацією процесу. Саме в даному напрямку зосереджуються на сьогодні наукові пошуки авторів щодо широкого впровадження розробленого рішення. А це, насамперед, - не тільки удосконалення запропонованих у попередні періоди методів і методик, а де в чому - і самих підходів щодо пояснення, принаймні - трактування самого механізму деформування великорозмірної гумової шини максимально навантаженого колеса при русі поверхнею змінного поперечного профілю з різними деформативними та фрикційними характеристиками.

З урахуванням гірничотехнічних, дорожніх та кліматичних умов, а також при поступовому впровадженні у проектну практику систем автоматичного проектування, моделювання руху великовантажного кар'єрного автосамоскида в залежності від його вантажопідйомності буде одним із основних процесів при розробці родовищ корисних копалин відкритим способом. Крім того, багатьма дослідженнями, проведеними за останні роки різноманітними компаніями, дозволили виявити закономірності від різноманітних факторів і описати їх відповідними математичними рівняннями.

Експлуатаційна швидкість великовантажного кар'єрного автосамоскида є кількісною і якісною характеристикою ефективності процесу транспортування залізної руди на відкритих гірничих роботах. Ця швидкість призначається керівництвом підприємства з урахуванням техніки безпеки при транспортуванні залізної руди, а також тягово-швидкісними, динамічними та навантажувальними характеристиками цих автосамоскидів.

Оскільки кар'єрні автодороги відносяться до внутрішніх автошляхів, розташованих в межах гірничо-видобувних підприємств, і забезпечують виконання технологічних процесів гірничих робіт з виключно внутрішніми вантажопотоками, ізолюваними від міських мереж, то зазначене їх поперечне профілювання значно спрощується в організаційному плані, а відтак - підвищення експлуатаційної швидкості руху великовантажних кар'єрних автосамоскидів стає повністю реальним, тим більше, що не вимагає значних додаткових, не лише капітальних, але й

поточних витрат, є всі підстави стверджувати, що в разі упровадження ці витрати окупляться протягом уже першого року, позитивно впливаючи на показники технологічних процесів транспортування руд та порід розкриття. Блок-схему основних напрямків підвищення швидкості руху кар'єрних автосамоскидів представлено на рис. 1.



**Рис. 1.** Основні напрямки можливого підвищення швидкості руху великовантажного кар'єрного автосамоскида залежно від зовнішніх та внутрішніх факторів: 1 - максимально повна адаптація системи розробки кар'єру; 2 - оптимізація граничних горизонтів в межах глибин автоперевезень; 3 - зміна висоти уступу; 4 - забезпечення буровибуховими роботами відповідності самоскиду характеристик гірської маси та її стану; 5 - оптимізація технологічних комплексів за параметрами навантажувального і транспортного обладнання; 6 - зменшення висоти підйому вантажу шляхом оптимізації розміщення складів та концентраційних горизонтів; 7 - зменшення опору кочення; 8 - підвищення коефіцієнту зчеплення коліс з дорогою; 9 - поліпшення гальмівних якостей; 10 - застосування раціональних методів водіння; 11 - підвищення мотивації праці водіїв; 12 - підвищення потужності двигуна; 13 - збільшення ККД трансмісії; 14 - поліпшення аеродинамічних якостей; 15 - оснащення автомобілів сучасними засобами позиціонування; 16 - удосконалення систем спостереження; 17 - удосконалення системи диспетчеризації кар'єрного транспорту; 18 - раціональне формування та перерозподіл загальних вантажопотоків; 19 - формування однотипних вантажопотоків у структурі загальнокар'єрного; 20 - зменшення кількості автосамоскидів; 21 - упровадження комп'ютеризованих АСУТП та відповідного сучасного ПЗ; 22 - зміна відстані транспортування; 23 - зменшення кута підйому доріг; 24 - збільшення радіусів поворотів; 25 - збільшення ширини доріг; 26 - профілювання кар'єрних автодоріг

вації праці водіїв; 12 - підвищення потужності двигуна; 13 - збільшення ККД трансмісії; 14 - поліпшення аеродинамічних якостей; 15 - оснащення автомобілів сучасними засобами позиціонування; 16 - удосконалення систем спостереження; 17 - удосконалення системи диспетчеризації кар'єрного транспорту; 18 - раціональне формування та перерозподіл загальних вантажопотоків; 19 - формування однотипних вантажопотоків у структурі загальнокар'єрного; 20 - зменшення кількості автосамоскидів; 21 - упровадження комп'ютеризованих АСУТП та відповідного сучасного ПЗ; 22 - зміна відстані транспортування; 23 - зменшення кута підйому доріг; 24 - збільшення радіусів поворотів; 25 - збільшення ширини доріг; 26 - профілювання кар'єрних автодоріг

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Отже, на експлуатаційну швидкість кар'єрного автосамоскида найбільш суттєво впливають: кут поперечного, відповідного колісним парам, центральносиметричного нахилу поверхні та ширина автодороги, а також значно залежний від цього коефіцієнт опору кочення та зчеплення шин.

Запропонована методика дозволяє значно розвинути теоретичне обґрунтування експериментально підтвердженої гіпотези про зменшення коефіцієнту опору кочення при ввігнутому профілі кар'єрної автодороги, який складає 0,026 порівняно з цим коефіцієнтом при русі автосамоскида дорогою з випуклим профілем, який за цих умов зростає до 0,044 й вище.

Роблячи підсумок, можна сказати, що вже на даному етапі поглиблених досліджень усе більш конкретно проглядаються не тільки теоретичні результати, але й практична їх перспективність, адже зі зменшенням коефіцієнту опору кочення коліс великовантажного кар'єрного автосамоскида підвищується його швидкість, яка впливає на продуктивність перевезень.

Також зменшення коефіцієнта опору кочення дає можливість знизити величину тяги та потужності на ведучих колесах великовантажного кар'єрного автосамоскида, що підвищує машинний ресурс для виконання додаткових обсягів перевезень. Оскільки транспортну роботу можна виконувати з меншими показниками потужності двигуна самоскида, то це в свою чергу забезпечує і зменшення енерговитрат - об'ємів пального на транспортування заданих обсягів гірничої маси.

Подальші дослідження варто присвятити поглибленому дослідженню закономірностей взаємодії коліс великовантажного кар'єрного автосамоскида зі шляхом, профільованим нелінійними утворюючими.

#### Список літератури

1. Ржевский В.В. Научные основы проектирования карьеров. - М.: Недра, 1977. - 598 с.
2. Астахов А.С. Динамические методы оценки эффективности горного производства. - М.: Недра, 1973. - 271 с.
3. Шешко Е.Ф., Ржевский В.В. Основы проектирования карьеров. - М.: Недра, 1977. - 355 с.
4. Васильев М.В., Смирнов В.П., Кулешов А.А. Эксплуатация карьерного автотранспорта. - М.: Недра, 1979. - 280 с.
5. Мельников Н.В., Фадеев Б.В. К решению научных и технических проблем глубоких карьеров // Физико-технические горные проблемы: Сб. - М.: Наука, 1971. - С. 5-10.
6. Томаков П.И. Структура комплексной механизации карьеров с техникой цикличного действия. - М.: Недра, 1976. - 232 с.

7. Новожилов М.Г., Бондарь С.А., Дриженко Ю.А. Область применения перспективных видов транспорта на глубоких карьерах // Горн. журн. - 1972. - № 12. - С. 34-37.
8. Бызов В.Ф., Мартыненко В.П., Станков А.П. Железородная промышленность глазами международных экспертов. - Кривой Рог: Минерал, 1995. - 35 с.
9. Астафьев Ю.П., Полищук Г.К., Горлов Н.И. Планирование и организация погрузочно-транспортных работ на карьерах. - М.: Недра, 1986. - 168 с.
10. Сироткин З.Л., Альтшулер В.М., Казарез А.Н. Надежность карьерных автосамосвалов. - М.: Недра, 1974. - 72 с.
11. Яковлев В.Л. Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров. - Новосибирск.: Наука. Сиб. отделение, 1989. - 240 с.
12. Белятынский А.А. и др. Проектирование автомобильных дорог с учетом экономии энергоресурсов / А.А. Белятынский, Л.В. Василенко, А.М. Романюха. - К.: Будівельник, 1990. - 104 с.
13. Виницкий К.Е. Оптимизация технологических процессов на открытых горных разработках. - М.: Недра, 1976. - 280с.
14. Тымовский Л.Г. Комбинированный транспорт на карьерах. - М.: Госгортехиздат, 1963. - 120 с.
15. Жуков С.А., Филатов С.В., Гирич В.С. Состояние карьерного транспорта, пути его обновления и модернизации // Гірничя електромеханіка та автоматика. - Дніпропетровськ: НГУ, 2002. - №68. - С. 64-66.
16. Автомобільні двигуни / І.І. Тимченко, Ю.Ф. Гутаревич, К.Є. Долганов, М.Р. Муджобасв / За ред. І.І. Тимченка. - Х.: Основа, 1995. - 464 с.

Рукопис подано до редакції 22.03.16

УДК 622.807:502.175

М.Ф. ЄВДОКИМЕНКО, Є.В. ФРАНЦЕВ, М.В. БОНДАР, М.К. КУРІНОВА,  
НДІБПГ ДВНЗ «Криворізький національний університет»

## **МОНІТОРИНГ ТА ПРОГНОЗ СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ МАСОВИХ ВИБУХІВ У ЗАЛІЗОРУДНИХ КАР'ЄРАХ КРИВ БАСУ**

Викиди забруднюючих речовин під час проведення масових вибухів є залповими, тобто за короткий час у повітря викидається значна кількість забруднювачів. При цьому виникає небезпека перевищення гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин на межі санітарно-захисної зони та на межі житлової забудови. При визначенні місця відбору проб враховується місце розташування блоку, що підривається, параметри буро-вибухових робіт, напрям вітру, відстань до цього блоку. Крім визначення концентрацій забруднюючих речовин, що утворюються під час проведення масових вибухів, НДІБПГ КНУ проводить моніторинг природоохоронних заходів, які підприємство застосовує для боротьби з викидами. Важливим аспектом попередження забруднення атмосферного повітря при масових вибухах є прогнозні розрахунки приземних концентрацій на межі СЗЗ перед проведенням вибухів. Знання наслідків масового вибуху дозволить оперативно відкоригувати технологію ведення вибухових робіт у частині застосування заходів з пілогазоподавлення. Для вирішення цього питання необхідно розробити модель прогнозних розрахунків стану атмосферного повітря під час проведення масових вибухів на підставі комп'ютерних програм, затверджених Мінприроди України. В цьому випадку визначаються еквівалентні максимальні разові викиди (ЕМРВ) забруднюючих речовин, приведені до двадцятихвилинного інтервалу осереднення, величини яких можна використати як вихідні дані для програми розрахунків розсіювання ЕОЛ. Як показують результати розрахунків, вони мають досить велику збіжність з фактичними приземними концентраціями, отриманими шляхом вимірювань на підфакельних постах.

**Ключові слова:** масовий вибух, моніторинг, забруднюючі речовини, приземні концентрації, прогнозні розрахунки.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Викиди забруднюючих речовин під час проведення масових вибухів у кар'єрах є залповими, тобто за короткий час у повітря викидається значна кількість забруднювачів. При цьому виникає небезпека перевищення гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин на межі санітарно-захисної зони та на межі житлової забудови. Непоодинокі скарги жителів прилеглих до кар'єрів житлових масивів на забруднення повітря масовими вибухами підтверджують наявність проблеми та необхідність її вирішення. Тому суворе дотримання технології вибуху, а також моніторинг стану атмосферного повітря під час проведення масових вибухів є практичним завданням для виробничників та екологічних служб міста.

НДІБПГ КНУ протягом багатьох років займається вимірюванням вмісту в атмосферному повітрі забруднюючих речовин, що викидаються під час масових вибухів. Вимірювання проводяться на підфакельних постах на межі санітарно-захисної зони та житлової забудови прилеглих