

УДК 622.271

В.І. ПАХОМОВ, канд. техн. наук, доц., І.В. ГІРІН, М.Г. ПРИСТИНСЬКИЙ, старші викладачі
Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСКАВАТОРНО-АВТОМОБІЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ НА КАР'ЄРАХ КРИВБАСУ

Мета. Метою роботи є комплексне дослідження сталого стану транспортування гірничої маси при відкритому способі видобутку корисних копалин гірничо-металургійних комплексів Кривбасу з зазначенням проблем, які потрібно вирішити для підвищення виробничої потужності технологічного кар'єрного автотранспорту.

Методи дослідження. У роботі виконано аналітичні дослідження з використанням вітчизняних статистичних показників стосовно подальших перспектив оптимізації екскаваторно-автомобільних комплексів великої потужності. Застосовано комплексний підхід, що включає узагальнення і аналіз літературних джерел і досліджень в галузі автомобільного кар'єрного транспорту. Використано комплекс методів: узагальнення матеріалів раніше виконаних робіт; експертний аналіз; аналіз досвіду розробки розкривних порід і залізних руд в умовах Кривбасу; методи прикладної математики і математичної статистики; техніко-економічний аналіз з використанням вартісних параметрів.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

в критерії прийняття рішень щодо розподілу самоскидів по пунктах навантаження врахований запропонований в роботі параметр аналітичної залежності взаємозв'язку коефіцієнтів використання часу екскаватора і автосамоскидів;

обґрунтовані залежності оптимальної кількості закріплених за екскаватором автосамоскидів від відстані перевезення гірничої маси і, відповідно, оптимальної величини при цьому коефіцієнта використання часу екскаватора, що відрізняється тим, що її використання мінімізує втрати від простоїв обладнання для різної кількості працюючих самоскидів, а також дозволяє формувати набір оптимальних значень параметрів пріоритетності екскаваторів.

Практична значимість. Дослідження, проведені в даній роботі, дають можливість моделювання та оптимізації різних ситуацій при застосуванні екскаваторно-автомобільних комплексів з урахуванням специфіки технологічних факторів і гірничо-технічних умов конкретних підприємств. Використання запропонованих аналітичних досліджень дає можливість підвищити експлуатаційну продуктивність екскаваторно-автомобільних комплексів за рахунок зняття простоїв обладнання і в результаті цього збільшити продуктивність кар'єра в цілому.

Результати. За рахунок проведених аналітичних досліджень характеристик екскаваторно-автомобільних комплексів отримані залежності оптимальної кількості закріплених за екскаватором автосамоскидів від відстані перевезення гірничої маси. Встановлено, що при оптимальній кількості закріплених автосамоскидів забезпечується максимальна продуктивність забійного екскаватора Розглянуті можливі напрямки досліджень, впровадження результатів яких дозволило б досягти підвищення виробничої потужності екскаваторно-автомобільних комплексів при відкритому способі розробки родовищ корисних копалин.

Ключові слова: екскаваторно-автомобільний комплекс, кар'єрний автотранспорт, перевезення гірничої маси.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-76-81

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями Завдання скорочення витрат шляхом більш ефективного використання і самоскидів, й екскаваторів у складі екскаваторно-автомобільних комплексів є першочерговим завданням диспетчеризації кар'єрного автотранспорту. Диспетчеризація є динамічним процесом, що вимагає безперервного моніторингу маршрутів, типорозміру та місця розташування кар'єрних самоскидів і екскаваторів з метою знаходження раціонального розподілу. Застосовуючи диспетчеризацію, можна розраховувати або на підвищення продуктивності екскаваторно-автомобільного комплексу з наявним парком техніки, або на забезпечення бажаної продуктивності з меншою кількістю техніки. Ця мета досягається шляхом скорочення простоїв і поліпшення тим самим використання техніки. Кар'єрні самоскиди продуктивні лише тоді, коли перевозять гірську масу, а вантажні машини - коли завантажують гірську масу в самоскид. Простої характеризують непродуктивне використання техніки і повинні бути оптимізовані, тобто зведені до мінімуму.

Аналіз досліджень і публікацій. Питанням організації, планування і моделювання роботи кар'єрного автотранспорту присвячені роботи вітчизняних і зарубіжних вчених і фахівців, таких як К.Н. Трубецкой, Ю.А. Монастирський, А.А. Кулешов, І.В. Зирянов, Б.Л. Геріке, А.Ф. Клебанов, Ю.В. Стенін, О.Н. Вуєйкова, М.Є. Корягін, А.Б. Логів, а також S. Alarie, C. Burt, M. Gamache і багато інших. Аналіз досліджень показав, що імовірнісна природа вантажно-транспортного процесу ЕАК при вирішенні задачі розподілу кар'єрних самоскидів враховується в них недостатньо. У найбільш поширених диспетчерських критеріях пропонується, як правило, лише один аспект роботи ЕАК (простої тільки екскаваторів або тільки самоскидів). Аналіз наукової літератури з питань техніко-економічної оцінки експлуатації екскаваторно-

автомобільних комплексів, обґрунтування раціональної кількості автосамоскидів в його складі показав, що склалися усталені принципи обґрунтування параметрів ЕАК для екскаваторів циклічної дії. При цьому питання оптимізації відроджувалися постійно, у міру розвитку і вдосконалення основних процесів і механічного устаткування, яке застосовується у кар'єрах. Головне питання, яке слід розв'язати при оптимізації, це вплив гірничотехнічних умов і часу корисного використання автосамоскидів на продуктивність головної машини (з огляду на зміни її конструкції, форми ковша і т.ін.), яка визначає продуктивність екскаваторного-автомобільного комплексу та величину витрат.

Ознайомлення з досвідом роботи кар'єрів, відображеному у періодичній науковій літературі останніх років, виявило відсутність помітних досягнень в області організації виробництва, в справі скорочення простоїв обладнання. Більш того, провідні фахівці в цій галузі відзначають, що на вітчизняних кар'єрах до сих пір використовуються фактично ті ж методи організації відкритих гірських робіт, що і 50 років тому. В результаті рівень використання екскаваторів (у тому числі і високопродуктивних імпортованих) на більшості кар'єрів не зазнав змін і залишається в межах 50-60% календарного часу. Стверджується, що в даному питанні практика значно відстала від теорії організації виробництва і управління [1-9]. Крім того, традиційний спосіб організації навантажувально-транспортного процесу по «зачиненому циклу» призводить і до значних простоїв кар'єрних самоскидів.

Постановка завдання. Недосконалість існуючих способів оптимізації роботи екскаваторно-автомобільного комплексу обумовлена використанням, як правило, емпіричних формул, встановлених для розрахунку продуктивності вже застарілого обладнання, тому заміна або часткове коригування цих залежностей, включаючи методи та інструментарій визначення параметрів процесів, є актуальним завданням. Повсюдний перехід на нове, більш потужне обладнання, як це відбувається в кар'єрах Кривбасу, вимагає перегляду раніше встановлених залежностей, що складають методичну основу оптимізації для забезпечення високоєфективної роботи технологічного обладнання екскаваторного-автомобільного комплексу.

Викладення матеріалу та результати. Відкритий спосіб розробки твердих корисних копалин є переважаючим в усьому світі, зокрема, в Україні і країнах ближнього зарубіжжя. Питома вага відкритого способу видобутку за останні десятиліття в Україні досягла високого рівня (в середньому близько 75%) і, за прогнозами, буде довго зберігатися на цьому рівні. Висока питома вага відкритого способу пояснюється його перевагами перед підземним способом: продуктивність праці вище в 3-4 рази по рудним кар'єрам і в 10-11 разів по вугільним; собівартість продукції нижче в 3-4 рази; терміни будівництва підприємств скорочуються в 2-3 рази [10-17]. Розкривні і видобувні роботи на кар'єрах виконуються переважно екскаваторно-автомобільними комплексами (ЕАК) великої одиничної потужності, продуктивністю від 700 до 1400 тис. м³ на рік [18-25]. Загальна продуктивність ЕАК багато в чому визначається часом завантаження кар'єрних самоскидів і характеристиками їх руху. Крім того, кількість і типорозміри кар'єрних самоскидів і екскаваторів - два найважливіших чинника у визначенні раціональних параметрів відкритих гірських робіт (ВГР). Якщо кількість працюючих одночасно кар'єрних самоскидів і екскаваторів в ЕАК не збалансована, це може привести до їх простоїв і зниження їх продуктивності. Якщо кар'єрних самоскидів більше, ніж потрібно, то вони будуть простоювати у екскаваторів в очікуванні навантаження; якщо менше - будуть простоювати екскаватори в очікуванні роботи. У той же час, навіть якщо кількість кар'єрних екскаваторів і самоскидів в ЕАК збалансована, простої можуть виникати, якщо самоскиди розподіляються між екскаваторами нераціонально, або якщо з конкретними екскаваторами працюють самоскиди різних типорозмірів. Це призводить до суттєвих втрат робочого часу машин, зниження їх продуктивності, невиконання змінного виробітку та, як підсумок, до зниження загальної експлуатаційної продуктивності ЕАК. Разом з тим, навіть невелике збільшення продуктивності ЕАК дозволить заощадити значні кошти за рахунок скорочення капітальних вкладень для придбання і заміни техніки. Отже, від того, наскільки раціонально здійснюється розподіл кар'єрних самоскидів по пунктах навантаження, відповідним маршрутам і пунктам розвантаження, в значній мірі залежить ефективність функціонування ЕАК і гірських робіт в цілому. Відомо, що витрати на транспорт складають на більшості кар'єрів до 50% від загальних витрат. Щоб знизити транспортні витрати, пропонуються різні заходи: підвищення продуктивності і надійності функціональних машин, що становлять ЕАК; дотримання раціонального співвідношення міст-

кості кузовів кар'єрних самоскидів і ковшів екскаваторів; використання циклічно-поточної технології; застосування тролейовозів для скорочення робочих циклів.

Гостро стоїть завдання оптимізації технологічних процесів і на гірничорудних підприємствах Кривбасу, що є важливим стратегічним напрямком їх розвитку в існуючих економічних умовах. Під оптимізацією розуміється процес вибору за прийнятним критерієм найкращого варіанту з усіх можливих, при якому гарантується досягнення найвищого позитивного ефекту. Для всього екскаваторно-автомобільного комплексу такий результат досягається максимальною продуктивністю при мінімальних витратах. Продуктивність за зміну кожного конкретного забійного екскаватора і кар'єрного автосамоскида визначається величиною коефіцієнта використання робочого часу екскаватора і автосамоскида. У екскаваторно-автомобільному комплексі коефіцієнт використання робочого часу екскаватора прямо пропорційно залежить від кількості закріплених до нього автосамоскидів. А коефіцієнт використання робочого часу автосамоскидів залежить від простоїв у забійного екскаватора і від відстані перевезення гірничої маси. Таким чином, оптимізаційна задача зводиться до визначення оптимальної кількості автосамоскидів, що забезпечують найвищу продуктивність забійного екскаватора при різній величині відстані перевезення гірничої маси. Дослідження взаємозв'язку коефіцієнтів використання часу екскаватора і автосамоскидів проводилися на кар'єрах ПРАТ «ПівніГЗК» з використанням аналітичної залежності (1)

$$K_{уз} = \frac{K_{об}}{1 + K_{об}} n \cdot K_{иа}, \quad (1)$$

де $K_{об} = t_{зан} / t_{омс}$ - коефіцієнт оборотності автосамоскиду; n - кількість закріплених автосамоскидів за одним екскаватором; $K_{иа}$ - коефіцієнт використання часу автосамоскидів; $t_{зан}$ - час зайнятості екскаватора на навантаженні одного автосамоскида, визначається підсумовуванням тривалості маневрів автосамоскиду і тривалості навантаження (для автосамоскида БелАЗ-75131 тривалість маневрів дорівнює 1,1 хвилини, а тривалість навантаження екскаватора ЕКГ-8И дорівнює 4,95 хвилини); $t_{омс}$ - тривалість відсутності автосамоскида, визначається підсумовуванням часу руху навантаженого і порожнього автосамоскиду і тривалості його розвантаження, яка для автосамоскида БелАЗ-75131 дорівнює 2,2 хвилини.

Як очевидно, коефіцієнт оборотності автосамоскиду залежить від відстані перевезення гірничої маси і середньотехнічної швидкості автосамоскида БелАЗ-75131, яка для Аннівського кар'єра «ПівніГЗК» дорівнює 15,9 км / год. Встановлено такі значення: при відстані перевезення 1 км - $K_{об} = 0,53$; при 1,4 км - $K_{об} = 0,45$; при 1,9 км - $K_{об} = 0,33$; при 2,5 км - $K_{об} = 0,27$; при 3,65 км - $K_{об} = 0,19$; при 4,5 км - $K_{об} = 0,15$. З використанням отриманих значень в подальших дослідженнях були отримані залежності коефіцієнта використання часу екскаватора і автосамоскидів від кількості закріплених за одним екскаватором автосамоскидів (рис.1 та 2).

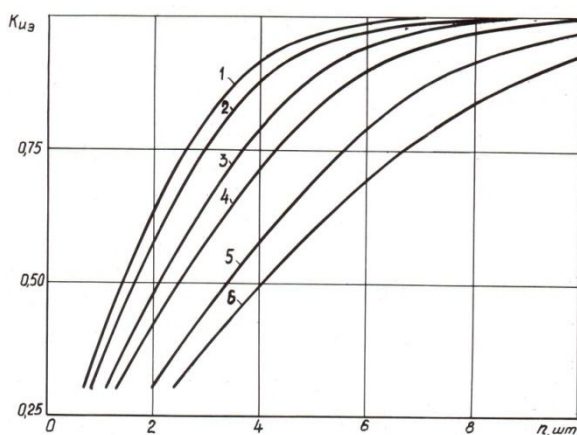


Рис. 1. Залежність коефіцієнта використання екскаватора $K_{уз}$ від кількості обслуговуваних автосамоскидів n : 1 - $K_{об} = 0,53$; 2 - $K_{об} = 0,45$; 3 - $K_{об} = 0,33$; 4 - $K_{об} = 0,27$; 5 - $K_{об} = 0,19$; 6 - $K_{об} = 0,15$

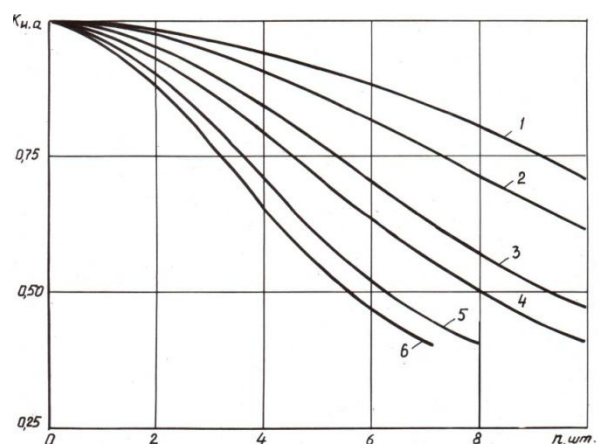


Рис. 2. Залежність коефіцієнта використання автосамоскидів $K_{иа}$ від їх кількості під екскаватором, що їх обслуговує: 1 - $K_{об} = 0,15$; 2 - $K_{об} = 0,19$; 3 - $K_{об} = 0,27$; 4 - $K_{об} = 0,33$; 5 - $K_{об} = 0,45$; 6 - $K_{об} = 0,53$

На підставі отриманих залежностей для умов ПРАТ «ПівнГЗК» розроблена номограма для визначення раціональних значень $K_{уз}$ та $K_{иа}$ при заданій відстані перевезень гірської маси і кількості закріплених за екскаватором автосамоскидів (рис.3).

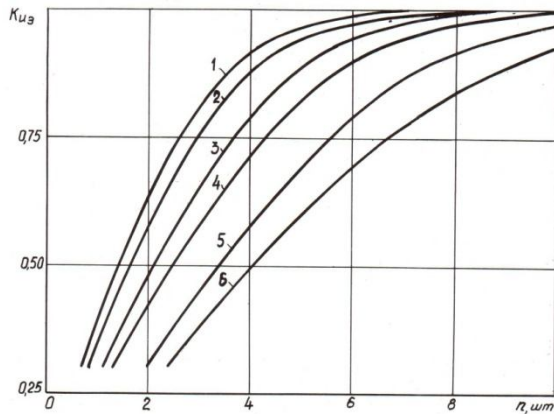


Рис. 3. Номограма для визначення $K_{об}$, $K_{уз}$, $K_{иа}$ при заданій величині l та кількості автосамоскидів n

Для кар'єрного екскаватора, який є більш коштовною гірничою машиною, повинна виконуватися умова $K_{уз} > K_{иа}$, яка забезпечує максимальну його продуктивність. При цьому оптимальну величину $K_{уз}$ і кількість необхідних автосамоскидів при заданій відстані перевезень гірської маси доцільно визначити по наведених витратах однієї машино-зміни екскаваторно-автомобільного комплексу на одну тону переробленої гірської маси (2):

$$Z_{пр} = \frac{C_{ac} + C_{эс} + E \cdot K}{W_{эс} \cdot K_{уз}}, \quad (2)$$

де C_{ac} - вартість машинозміни автосамоскида, грн; $C_{эс}$ - вартість машинозміни екскаватора, грн; $E = 0,15$ - нормативний коефіцієнт; K - капітальні витрати, віднесені на одну машинозміну, визначаються за формулою (3)

$$K = \frac{C_б \cdot n}{M_{см}}, \quad (3)$$

де $C_б$ - балансова вартість автосамоскида, грн; n - кількість автосамоскидів, закріплених за екскаватором; $M_{см}$ - кількість змін роботи автосамоскидів за календарний період.

Нормативна змінна продуктивність екскаватора ЕКГ-8 ($W_{эс}$) на руді дорівнює 2273 м³ (7501 т).

Вартість машино-зміни автосамоскида визначається за формулою (4)

$$C_{ac} = W_{ac} \cdot l \cdot C_{ткм} \cdot K_{иа}, \quad (4)$$

де W_{ac} - змінна продуктивність автосамоскида, т; l - відстань перевезення гірничої маси, км; $C_{ткм}$ - собівартість 1 ткм, грн.

Висновки та напрямок подальших досліджень. В результаті виконаних досліджень характеристик екскаваторно-автомобільних комплексів отримані залежності оптимальної кількості закріплених автосамоскидів від відстані перевезення гірничої маси $n_{опт} = f(l)$ та, відповідно, оптимальної величини при цьому коефіцієнта використання часу екскаватора $K_{уз,опт} = f(l)$ (рис.4).

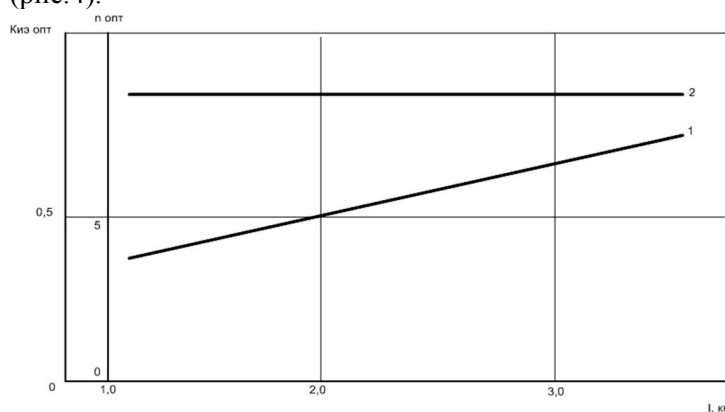


Рис. 4. Залежність оптимальної кількості автосамоскидів під екскаватором $n_{опт}$ та оптимального значення коефіцієнта його використання $K_{уз,опт}$ від відстані перевезення l : 1 - $n_{опт} = f(l)$; 2 - $K_{уз,опт} = f(l)$

Встановлено, що при оптимальній кількості закріплених автосамоскидів величина $K_{уз}$ становить 0,81-0,84. При цьому забезпечується максимальна продуктивність забійного екскаватора.

Список літератури

1. **Мариєв, П.Л.** Карьерная техника ПО «БелАЗ»: Справочник / П.Л. Мариєв, К.Ю. Анистратов. – М. : Горное дело, 2007. – 456 с

2. **Ганченко М. В.** Определение границ оптимизации технологических параметров открытых горных работ / Ганченко М. В., А. Н. Акишев, В. А. Бахтин // Горный журнал. 2005. - №7. - С. 77 - 80.
3. **Лель Ю. И.** Методы расчета параметров устойчивой работы автотранспорта глубоких карьеров: дис. д-ра техн. наук / Ю. И. Лель; УГГГА. Екатеринбург, 1999. - 292 с.
4. **Зырянов И. В.** Повышение эффективности систем карьерного автотранспорта в экстремальных условиях эксплуатации: автореф. дис. . д-ра техн. наук / И. В. Зырянов; СПГИ(ТУ). СПб., 2006. - 40 с.
5. **Довженко А. С.** Повышение эффективности карьерного автомобильного транспорта совершенствованием параметров его подсистем с использованием энергетического критерия: автореф. дис. . канд. техн. наук / А. С. Довженко; СПГИ(ТУ). СПб, 1992. - 20 с.
6. **Стенин Ю. В.** Обоснование производительности технологического автомобильного транспорта железорудных карьеров: дис. канд. техн. наук / Ю. В. Стенин; ИГД МЧМ СССР. Свердловск, 1983. - 228 с.
7. **Терехин Е. Ю.** Исследование энергетической эффективности транспортных систем глубоких карьеров: дис. канд. техн. наук / Е. Ю. Терехин; УГГГА. Екатеринбург, 2001. - 206 с.
8. **Бахтурин Ю. А.** Вопросы адаптогенеза транспортных систем карьеров / Ю. А. Бахтурин // Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр. Екатеринбург, 2004. - С. 378 - 388. - (Сб. науч. тр./ИГД УрО РАН. - Вып. 2(92).
9. **Тарасов П. И.** Пути экономии дизельного топлива на карьерном автотранспорте / П. И. Тарасов // Горный журнал. 2006. - № 2. - С. 72 -75.
10. **Егоров А. Н.** Силовые агрегаты карьерных автосамосвалов / А. Н. Егоров, В. Т. Войтов // Горный журнал. 2004. - Специальный выпуск к № 8. - С. 75 - 77.
11. **Кулешов А. А.** Экологические проблемы эксплуатации дизельной техники на карьерах и пути их решения / А. А. Кулешов // Горный журнал. 1994. -№1,- С. 35-40.
12. **Горшков Э. В.** Обоснование рациональных параметров технологического автотранспорта при повышенных уклонах карьерных автодорог: дис. канд. техн. наук / Э. П. Горшков; ИГД МЧМ СССР. -Свердловск, 1984. 178 с.
13. **Егоров А.Н.** Карьерные самосвалы БелАЗ с гидромеханической трансмиссией, Горная промышленность, - 2002. - №6 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.miningmedia.ru/ru/article/transport/1633-karernye-samosvaly-belaz-s-gidromekhanicheskoy-transmissiej>
14. **Потапов М.Г.** Направления развития карьерного транспорта, Горная промышленность,- 2002. - №6[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mining-media.ru/ru/article/transport/1644-napravleniya-razvitiya-karernogo-transporta>.
15. **I. N. Varakin.** Application of ultracapacitors as traction energy sources / I. N. Varakin et al // Thesis of 7th International Seminar on Double Lauer Capacitors and Similar Energy Storage Devices, December 8-10, 1997. Florida: Deerfield Beach, 1997.-P. 87-91.
16. **Спиваковский А. О.** Транспортные машины и комплексы открытых горных работ / А. О. Спиваковский, М. Г. Потапов. М.: Недра, 2003. -383 с.
17. **Wayne K. Schroeder.** Energy regeneration for surface-mine haulage trucks / K. Schroeder Wayne // Mining Magazine. 1993. - Vol. 148. - №6. - P. 456 -463.
18. **Монастырский Ю. А.** Оптимизация параметров экскаваторно-автомобильных комплексов для стесненных условий глубоких карьеров / Ю. А. Монастырский, А. В. Веснин, В. А. Систук // Проблемы и пути эффективной отработки алмазонасных месторождений: междунар. науч.- практ. конф., 11-15 апр. 2011 г.: сб. тезисов докл. – Мирный, 2011. – С. 56
19. **Монастырский Ю.А.** Анализ опыта работы карьерных автосамосвалов на железорудных карьерах ПАО «Центральный горно-обогатительный комбинат» / Ю.А. Монастырский, Т.А. Климов, О.Л. Шитов // Проблемы розвитку транспортних систем і логістики: матер. VI міжнар. наук.-практ. конф., Северодонецьк – Кременчук, 4-7 травня 2015 року: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. – Северодонецьк: ЧНУ ім. В. Даля, 2015. – С. 111-112.
20. **Монастырский Ю.А.** Современное состояние технологического автотранспорта железорудных карьеров / Ю.А. Монастырский, А.С. Вивчарык, И.В. Бондарь, Т.А. Климов // Новітні шляхи створення, технічної експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів: всеукраїнської наук.-практ. конф., 8-11 вер. 2015 р.: збірник тез доповідей. – Одеса, 2015. – С. 165-166.
21. **Захаров А.Ю.** Влияние некоторых факторов на производительность карьерных экскаваторно-автомобильных комплексов / А.Ю. Захаров, А.Ю. Воронов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2014. – №1. – С. 74-76.
22. **Bastos G.S.** Methods for truck dispatching systems for open pit mines // Ph.D. Thesis, Aeronautics Institute of Technology, Brazil. – 2010.
23. **Bastos G.S.** A single-dependent agent approach for stochastic timedependent truck dispatching in open-pit mining / G.S. Bastos, L.E. Souza, F.T. Ramos, C.H. Ribeiro // 14th Int. IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems. – Washington DC, USA, 5-7 Oct 2011. – P. 1057-1062.
24. **Kuo Y.** Highway earthwork and pavement production rates for construction time estimation // Ph.D. Thesis, University of Texas, USA. – 2004.
25. **Brown C.** Autonomous vehicle technology in mining // Engineering and Mining Journal – January 2012 – P. 30-32.

Рукопис подано до редакції 17.04.2018