

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 629.353.065:[622.684:330.131.5]

К. М. РАЗУМОВА<sup>1</sup>, О. А. ТЕМЧЕНКО<sup>2</sup>, С. В. МАКСИМОВ<sup>3</sup>, О. С. МАКСИМОВА<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Каф. «Організація авіаційних робіт та послуг», Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, Київ, Україна, 03058, тел. +38 (044) 406 60 45, ел. пошта kategorya.razumova@npp.nau.edu.ua, ORCID 0000-0001-6385-2823

<sup>2</sup>Каф. «Економіка та підприємництво», Державний університет економіки і технологій, вул. Медична, 16, Кривий Ріг, Україна, 50005, тел. +38 (097) 214 88 69, ел. пошта temchenko\_oa50@ukr.net, ORCID 0000-0003-0020-2430

<sup>3</sup>Каф. «Автомобільний транспорт», Криворізький національний університет, вул. В. Матусевича, 11, Кривий Ріг, Україна, 50027, тел. +38 (098) 559 51 26, ел. пошта max\_ser\_vlad@ukr.net, ORCID 0000-0002-9932-1511

<sup>4</sup>Каф. «Автомобільний транспорт», Криворізький національний університет, вул. В. Матусевича, 11, Кривий Ріг, Україна, 50027, тел. +38(097) 738 71 23, ел. пошта maxlenser@ukr.net, ORCID 0000-0001-7253-0105

### Дослідження впливу тривалості вантажно-розвантажувальних робіт на ефективність використання технологічного автотранспорту на залізничних кар'єрах

**Мета.** Найпоширенішим видом технологічного транспорту на відкритих гірничих розробках є автомобільний – це автосамоскиди вантажопідйомністю від 45 до 220 т. Об'єм перевезень гірничої маси із застосуванням автотранспорту на підприємствах залізничної промисловості становить понад 350 млн т на рік, або 27 % від загального об'єму відкритих гірничих розробок у галузі. Більшість українських залізничних кар'єрів великої потужності змушені працювати в умовах інтенсифікації гірничих робіт, постійного заглиблення та ускладнення гірничо-геологічних умов. Зі збільшенням глибини кар'єрів спостерігається збільшення в 1,3–1,7 рази об'єму перевезень відносно до об'ємів відвантаженої гірничої маси і, як наслідок, зниження ефективності використання технологічного автотранспорту. Метою цієї роботи є проаналізувати вплив на ефективність використання кар'єрних автосамоскидів БелАЗ часу виконання навантажувально-розвантажувальних робіт, що дасть можливість розробити управлінські заходи щодо впровадження ефективних транспортних технологій, спрямованих на зниження витрат під час видобутку залізної руди відкритим способом та цілеспрямовано впливати на ці виробничі процеси. **Методика.** Для вирішення поставлених завдань було використано методи техніко-економічного, кореляційно-регресійного, факторного та ситуаційного аналізу (для дослідження процесів експлуатації кар'єрних автосамоскидів на гірничодобувних підприємствах). Для формалізації методів підвищення ефективності використання техніки та транспортних технологій було використано методіку оперативного врахування гірничотехнічних умов експлуатації кар'єрних автосамоскидів на гірничодобувних підприємствах. Для проведення оцінки економічної ефективності запропонованої системи управління видобувною діяльністю кар'єрних автосамоскидів було запропоновано метод порівняльного економічного аналізу. **Результати.** Отримані результати практично впроваджено в реальних умовах експлуатації кар'єрних автосамоскидів та визначено економічний ефект від реалізації запропонованих заходів. **Наукова новизна.** У процесі дослідження було обґрунтовано та формалізовано методики, які дозволяють проводити оцінювання ефективності експлуатації кар'єрних автосамоскидів на підставі оперативного моніторингу умов їх експлуатації. **Практична значимість.** Обґрунтовано форми функціонального зв'язку та отримано аналітичні залежності між показниками, що характеризують ефективність використання кар'єрних автосамоскидів у процесі проведення технологічних перевезень залізної руди, та часом виконання вантажно-розвантажувальних робіт. Ця залежність дозволяє визначити резерви підвищення ефективності роботи автосамоскидів та економічний ефект від реалізації запропонованих заходів.

**Ключові слова:** кар'єрні автосамоскиди; вантажно-розвантажувальні роботи; простоті; продуктивність; умови експлуатації; факторний аналіз; економічна ефективність

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

**Вступ**

Сьогодні в Україні основні об'єми видобутку залізних руд здійснюють на п'яти гірничозбагачувальних комбінатах Кривого Рогу. Це – ПРАТ «Північний ГЗК», ПРАТ «Центральний ГЗК», ПРАТ «Південний ГЗК», Гірничий дивізіон ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» та ПРАТ «Інгулецький ГЗК». Загальний видобуток ведуть на одинадцяти кар'єрах із певними гірничотехнічними умовами.

Результати багаторічних спостережень і досліджень, проведених на гірничорудних підприємствах, показують, що основні витрати на відкритих розробках припадають на навантажувальні й транспортні операції, що особливо збільшилися в останні роки через зростання просторових розмірів кар'єрів [7, 10].

Видобуток залізних руд можна здійснювати із застосуванням різних транспортних технологій: екскаваторно-залізничної, екскаваторно-автомобільної, або комбінованої. У зв'язку з тим, що на більшості кар'єрів сьогодні глибина видобутку становить понад 300 м (глибина кар'єру ПРАТ «ІнГЗК» – 436 м), технологічні перевезення залізної руди здійснюють переважно кар'єрними автосамоскидами великої вантажопідйомності незважаючи на те, що це один із найбільш витратних способів транспортування як з урахуванням капітальних вкладень, так і в плані експлуатаційних витрат. Це пояснюється тим, що основними перевагами автомобільного транспорту є: незалежність його від зовнішніх джерел енергії, спрощення процесу формування технологічних схем перевезення руди, скорочення довжини транспортних комунікацій, можливості подолання крутих підйомів, мобільність. За цієї схеми руду доставляють автомобільним транспортом від вибоїв на концентраційні горизонти, де перевантажують на конвеєри (у рамках циклічно-поточної технології) або залізничний транспорт і вивозять на поверхню для подальшого збагачення. Переважну більшість рухомого складу в технологічних автомобільних перевезеннях становлять кар'єрні самоскиди виробництва «БЕЛАЗ – ХОЛДИНГ» серії 7513 вантажопідйомністю 130–136 т.

Однією з основних проблем, що виникають під час перевезення руди в кар'єрах, є наявність

простоїв транспорту в очікуванні навантаження й розвантаження і, як наслідок, недостатня ефективність використання навантажувальних засобів та автосамоскидів. Як основні шляхи вирішення зазначеної проблеми можна виділити такі: ретельний вибір моделі автосамоскида відповідно до технічних характеристик навантажувального засобу; розвиток систем контролю завантаження великовантажних автосамоскидів; використання нових систем керування процесом експлуатації кар'єрного автотранспорту.

Дослідженнями встановлено, що ефективність використання кар'єрного автомобільного транспорту залежить від багатьох експлуатаційних та організаційних факторів, які практично всі піддаються оцінці й аналізу, а відповідно, і результати такого аналізу можна застосувати для розробки заходів, спрямованих на підвищення ефективності використання технологічного автомобільного транспорту.

Основними показниками, що визначають рівень ефективності технологічних перевезень, більшість авторів визнають продуктивність і собівартість транспортування гірничої маси. Аналіз показує, що фактичні витрати на технологічні перевезення 1 т залізної руди на гірничо-збагачувальних комбінатах Кривого Рогу складають близько 30 грн за собівартості 1 т. км у 8–9 грн.

У науково-технічній літературі питанню підвищення ефективності експлуатації великовантажного кар'єрного автотранспорту останнім часом приділено значну увагу. До досліджень із цієї тематики варто віднести роботи А. А. Адамчука [1], Ю. П. Астаф'єва [2], В. В. Ауліна [3], М. В. Дадонова [4], Г. І. Кириченка [5, 6], А. А. Кулешова [7], О. Н. Ларина [8], С. В. Максимова [9], Ю. А. Монастирського [10, 11].

Аналіз цих робіт дозволяє виділити декілька головних напрямів підвищення ефективності експлуатації великовантажних самоскидів, які використовують на залізничних кар'єрах: удосконалення технології виконання гірничих робіт; обґрунтування раціональних параметрів і схем розкриття родовища й транспортної системи; поліпшення вантажо-розвантажувальних робіт за рахунок скорочення простоїв обладнання; оновлення парку технологічного автотранспорту шляхом заміни застарілих транспор-

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

тних засобів новими; удосконалення ремонтної бази та впровадження нових методів і засобів для діагностики, технічного обслуговування й ремонту рухомого складу; поліпшення стану технологічних трас, що дозволяє максимально повно використати тягово-динамічні властивості автосамоскида.

Побудовані під час дослідження теоретичні моделі не повною мірою описують процес перевезень. Шляхи вирішення такої проблеми розглядав у своїх дослідженнях О. В. Осипов. Він відзначив, що для підвищення ефективності й системної стабільності на ринку транспортних послуг під час доставки вантажів повинна бути забезпечена максимальна координація й інтеграція всіх ланок транспортного процесу, що беруть участь у формуванні й управлінні основними й допоміжними матеріальними й пов'язаними з ними потоками. Учений проаналізував процес перевезення руди в цілому і його складових частин, виявив характер взаємозв'язку багатьох параметрів транспортно-технологічної схеми процесу перевезень. На підставі аналізу рівня ефективності перевезень руди великовантажними кар'єрними самоскидами було виявлено неефективність наявої методики планування графіків перевезень і запропоновано шляхи її вдосконалення.

У роботі О. Н. Ларина [8] проаналізовано фактори, що впливають на формування умов експлуатації кар'єрного транспорту. Їх поділено на дві групи:

- 1) фактори, що істотно впливають на транспортний процес;
- 2) фактори, що практично не впливають на процес перевезення вантажів.

До факторів, що істотно впливають на транспортний процес, належать гірничотехнічні, технологічні, дорожньо-транспортні, кліматичні.

До другої групи факторів віднесено режим роботи кар'єру й транспорту та економічні показники – вартість устаткування, транспортних комунікацій, гаражного господарства, вартість їхнього утримування й обслуговування, трудомісткість вантажно-транспортного й допоміжного процесів, зарплата основного й обслуговуючого персоналу, вартість пально-мастильних матеріалів, шин та ін.

Усі перелічені фактори залежно від можливості управління ними з боку гірничо-

збагачувального підприємства можна поділити на дві групи:

1) Які залежать від організації роботи кар'єру: кліматичні й географічні умови, фізико-механічні властивості розроблюваних порід, висота кар'єру над рівнем моря, напрямок руху з вантажем.

2) Такі, що можуть змінюватися шляхом проведення різних організаційних заходів: стан і якість доріг, оснащеність і потужність виробничо-технічної бази кар'єру й автотранспортного підприємства, режим роботи екскаваторів і самоскидів, організація навантаження й розвантаження машин, співвідношення екскаваторів і самоскидів, ступінь спрацювання навантажувальних і транспортних машин.

Вплив таких факторів на ефективність використання технологічного автотранспорту оцінено за допомогою кореляційно-регресійного аналізу.

У своїй роботі [7] А. А. Кулешов для оцінки ефективності використання технологічного автотранспорту запропонував технічні засоби контролю завантаження кар'єрних автосамоскидів та часу виконання окремих технологічних операцій. Як такі засоби розглянуто застосування бортових систем контролю завантаження і витрат палива (СКЗІП), які встановлюють на кар'єрних автосамоскидах БелАЗ.

У роботі С. В. Максимова [9] запропоновано показники оцінки економічної ефективності транспортної системи та динамічні критерії оцінки варіантів її розвитку (питомі витрати палива, продуктивність кар'єру за гірничою масою та обсяги транспортної роботи). Вартісним показником оцінки економічної ефективності кар'єрного автотранспорту обрано зведені витрати на транспортування гірничої маси, що припадають на 1 т або 1 м<sup>3</sup> перевезеного вантажу та враховують фактор часу і ринкові умови.

Практична реалізація роботи полягає в розробці модуля оптимізації та автоматичної диспетчеризації системи керування гірничотранспортним комплексом «КАР'ЄР» для забезпечення максимуму ефективності роботи технологічного автотранспорту. Модуль дозволяє перерозподілити маршрути транспортування на основі розв'язання транспортної задачі з врахуванням впливу факторів зовнішнього середовища.

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

**Мета**

Основною метою роботи є обґрунтування форми функціонального зв'язку та отримання аналітичних залежностей між показниками, що характеризують ефективність використання кар'єрних автосамоскидів у процесі проведення технологічних перевезень гірничої маси, та часом виконання вантажно-розвантажувальних робіт на залізничних кар'єрах Кривого Рогу, а також дослідження рівня завантаженості кар'єрних автосамоскидів БелАЗ, визначення характеру впливу на ефективність використання часу виконання таких робіт і чисельної оцінки такого впливу.

**Методика**

Ефективність використання кар'єрних автосамоскидів оцінюють показником годинної продуктивності під час виконання технологічних перевезень. Цей показник розраховують як відношення об'єму перевезеного вантажу або виконаної транспортної роботи за один рейс до часу виконання цього рейсу.

Під час роботи з перевезень гірничої маси в кар'єрі автосамоскид, як правило, витрачає час безпосередньо на навантаження й розвантаження, пересування з вантажем і холостий пробіг у зворотному напрямку під навантаження. За одну поїздку автосамоскид перевозить вантаж, що дорівнює його вантажопідйомності з урахуванням коефіцієнта її використання (що обумовлений характером вантажу або організаційно-технічними умовами його навантаження).

$$W_{\Gamma} = \frac{Q_{\Phi}}{t_{\text{об}}} = \frac{q_{\text{н}} \cdot \gamma_{\text{с}}}{t_{\text{рух}} + t_{\text{пр}}} = \frac{q_{\text{н}} \cdot \gamma_{\text{с}}}{\frac{l_{\text{ів}}}{V_{\text{м}} \cdot \beta} + t_{\text{пр}}} = \frac{q_{\text{н}} \cdot \gamma_{\text{с}} \cdot V_{\text{м}} \cdot \beta}{l_{\text{ів}} + V_{\text{м}} \cdot \beta \cdot t_{\text{н-р}}} \text{ т/год, (1)}$$

де  $W_{\Gamma}$  – годинна продуктивність за поїздку, т/год;  $Q_{\Phi}$  – фактичний обсяг перевезення вантажу за один рейс, т;  $q_{\text{н}}$  – номінальна вантажопідйомність автомобіля, т;  $\gamma_{\text{с}}$  – статичний коефіцієнт використання вантажопідйомності;  $t_{\text{об}}$  – час обігу (тривалість одного рейсу) на маршруті, год;  $t_{\text{рух}}$ ,  $t_{\text{пр}}$  – час руху та простою на маршруті;

$l_{\text{ів}}$  – відстань перевезення вантажу, км;  $V_{\text{м}}$  – середньотехнічна швидкість руху автосамоскида, км/год;  $\beta$  – коефіцієнт використання пробігу;  $t_{\text{н-р}}$  – час навантаження та розвантаження самоскида, год.

Показник ефективності використання кар'єрного самоскида можна визначити за формулами:

$$W_{\Gamma} = \frac{q_{\text{н}} \cdot \gamma_{\text{с}} \cdot V_{\text{м}} \cdot \beta}{l_{\text{ів}} + V_{\text{м}} \cdot \beta \cdot t_{\text{н-р}}} \text{ т/год; (2)}$$

$$W_{\Gamma} = \frac{q_{\text{н}} \cdot \gamma_{\text{с}} \cdot V_{\text{м}} \cdot \beta \cdot l_{\text{ів}}}{l_{\text{ів}} + V_{\text{м}} \cdot \beta \cdot t_{\text{н-р}}} \text{ т} \cdot \text{км/год. (3)}$$

Таким чином, показник продуктивності кар'єрного самоскида, або ефективності його роботи, залежить від трьох основних факторів: відстань перевезення вантажів, середньотехнічна швидкість руху автосамоскида та час його простоїв під навантаженням і розвантаженням. У разі збільшення часу навантаження та розвантаження автосамоскида показники (2) і (3), що характеризують ефективність його використання (виробіток), однозначно зменшуються. За зростання швидкості руху автосамоскида обидва показники ефективності його використання однозначно збільшуються. У випадку зростання відстані перевезень показник виробітку у тоннах (2) зменшується, а показник виробітку у тонно-кілометрах (3) збільшується. Причому характер зміни цих залежностей – нелінійний.

Вплив тривалості простою автосамоскида під вантажно-розвантажувальними операціями на його продуктивність для різних відстаней перевезення можна виявити аналітичним або графічним методом. Як приклад у табл. 1 наведені розрахункові дані продуктивності автосамоскида БелАЗ –75131 на відстанях перевезення вантажу 2,5 і 5,0 км за різної тривалості простоїв під вантажно-розвантажувальними операціями (середній нормативний час цих операцій становить 7–8 хвилин), а на рис. 1 – графічна інтерпретація результатів таких розрахунків. Середньотехнічна швидкість руху взята 15 км/год, що обумовлено «Положенням про технічне обслуговування, діагностування і ремонт кар'єрних автосамоскидів БелАЗ» [12, 14].

Таблиця 1

**Залежність продуктивності кар'єрного автосамоскида від відстані перевезення і часу простою під вантажно-розвантажувальними операціями**

Table 1

**Dependence of career dump truck productivity on transportation distance and downtime under loading and unloading operations**

Відстань перевезення вантажів, км	Продуктивність кар'єрного автосамоскида БелАЗ–75131 (т.км) під час простоїв під навантаженням – розвантаженням (хв)					
	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
2,5	780,0	750,0	722,2	696,4	672,4	650,0
$\Delta W = W_t - W_{t-1}$	–	–30,0	–27,8	–25,8	–24,0	–22,4
5,0	866,7	847,8	829,8	812,5	795,9	780,0
$\Delta W = W_t - W_{t-1}$	–	–18,8	–18,0	–17,3	–16,6	–15,9

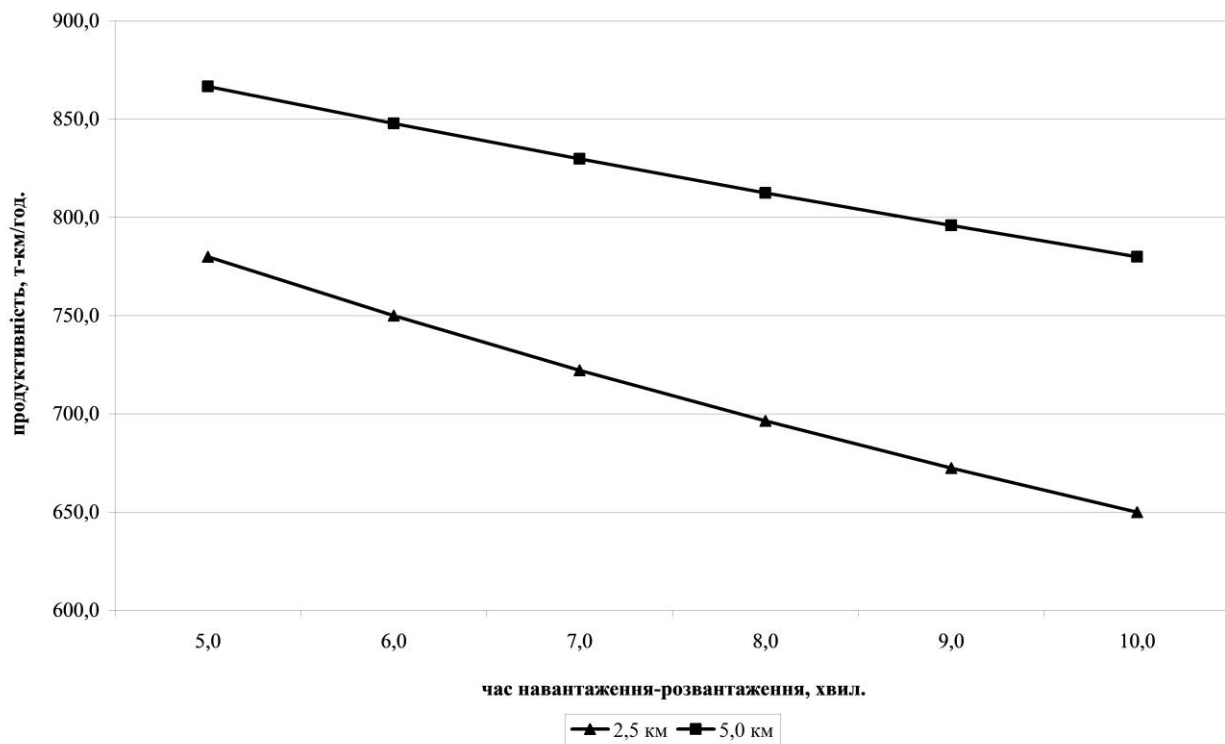


Рис. 1. Графік зміни продуктивності автосамоскидів залежно від часу простою під операціями навантаження – розвантаження та відстані перевезення гірничої маси

Fig. 1. Change schedule of dump trucks productivity depending on downtime under loading and unloading operations and transportation distance of rock mass

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

## Результати

Розв'язання задачі оптимізації часу навантажувально-розвантажувальних операцій на залізничних кар'єрах під час транспортування залізної руди передбачає аналіз практичного стану цього питання [13, 16–20].

Основним видом технологічного автотранспорту на залізничних кар'єрах Кривого Рогу є автосамоскид БелАЗ 7513 вантажопідйомністю 130 т (на діагональних шинах) та 136 т (на радіальних шинах). Геометричний об'єм платформи 45,45 м<sup>3</sup>, із «шапкою» 2:1 – 71,17 м<sup>3</sup>.

Норми часу навантаження – розвантаження включають для навантажувальних операцій середній час навантаження автосамоскида, час встановлення автосамоскида під навантаження залежно від схеми під'їзду (наскрізна, кільцева, комбінована або тупикова) та час очікування навантаження, а для операцій розвантаження – час встановлення автосамоскида під розвантаження, час підйому кузова, спорожнення платформи та її опускання. Середній час заванта-

ження автосамоскида, рекомендований виробником для різних видів навантажувальної техніки, наведено на рис. 2 і рис. 3 [14].

Аналіз динаміки зміни цих нормативів показує, що в разі збільшення ковша фронтального навантажувача на 1 м<sup>3</sup> норма часу на вантажно-розвантажувальні операції автосамоскида БелАЗ 7513 зменшується на 2,5 сек., а за такого ж збільшення ковша кар'єрного екскаватора – на 9,6 сек.

Для виявлення фактичного стану справ з ефективності вантажного-розвантажувальних операцій на залізничних кар'єрах Кривого Рогу було проаналізовано роботу 20 автосамоскидів на п'яти кар'єрах ТОВ «МЕТІНВЕСТ ХОЛДІНГ» (два кар'єри ПРАТ «ПівніЗК», два кар'єри ПРАТ «ЦГЗК» та кар'єр ПРАТ «ІнГЗК»). Для цього використано данні бортової системи контролю завантаження (СКЗіП), якою оснащено кожен автосамоскид БелАЗ. У цілому проаналізовано 1 648 рейсів.

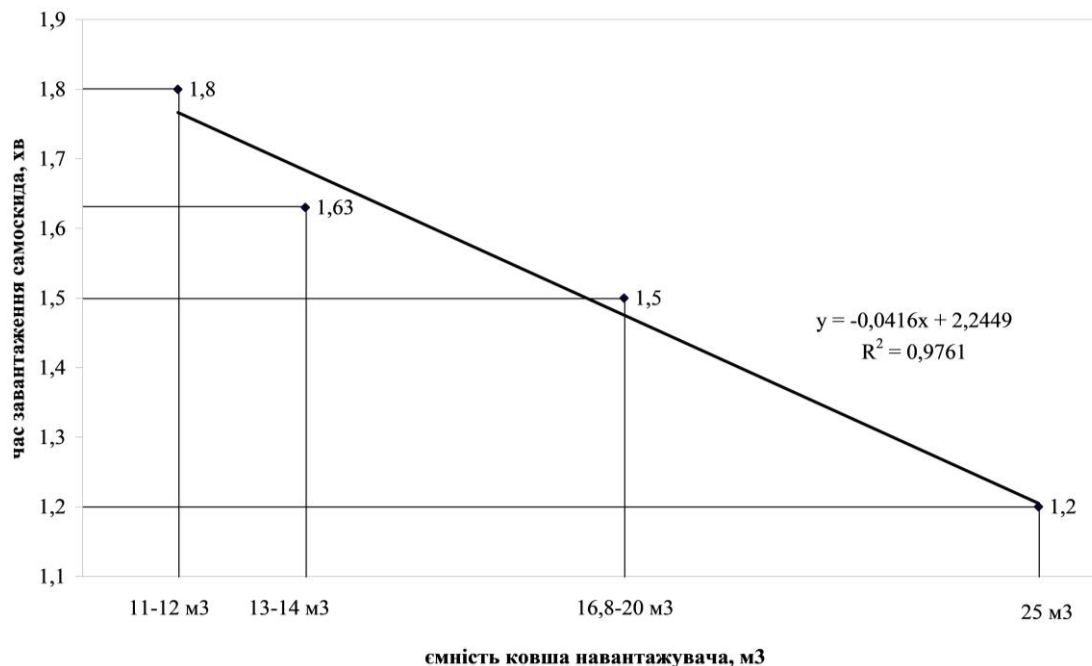


Рис. 2. Норми простою самоскида БелАЗ–7513 під час навантаження його фронтальним навантажувачем з ємністю ковша 11–25 м<sup>3</sup>

Fig. 2. Standard rates of downtime of BELAZ 7513 dump truck when loading by its front loader with a bucket capacity of 11–25 m<sup>3</sup>

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

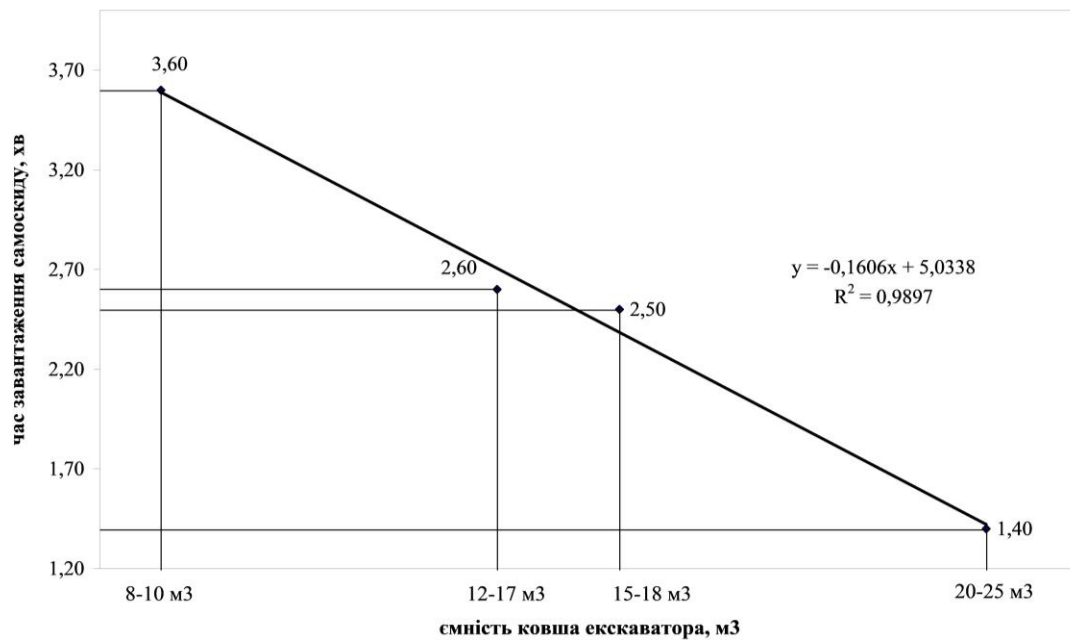


Рис. 3. Норми простою самоскида БелАЗ–7513 під час навантаження його кар'єрним екскаватором з ємністю ковша 8–25 м³

Fig. 3. Standard rates of downtime of BELAZ 7513 dump truck when loading by its mine excavator with a bucket capacity of 8-25 m³

Завантаження автосамоскидів на цих кар'єрах здійснюють переважно кар'єрними екскаваторами з ємністю ковша 8–10 м³. Повна

норма часу на весь комплекс операцій навантаження автосамоскида в цих умовах складає 5,2 хв, а розвантаження – 2,0 хв (рис. 4 та 5).

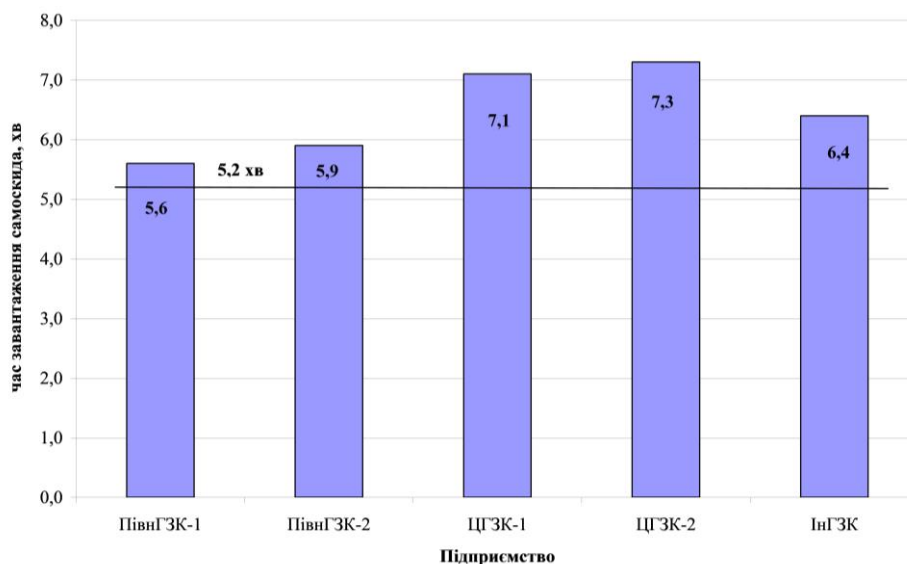


Рис. 4. Затрати часу на завантаження одного середньооблікового самоскида за один рейс, хвилини

Fig. 4. Time spent on loading one average dump truck per one run, minutes

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

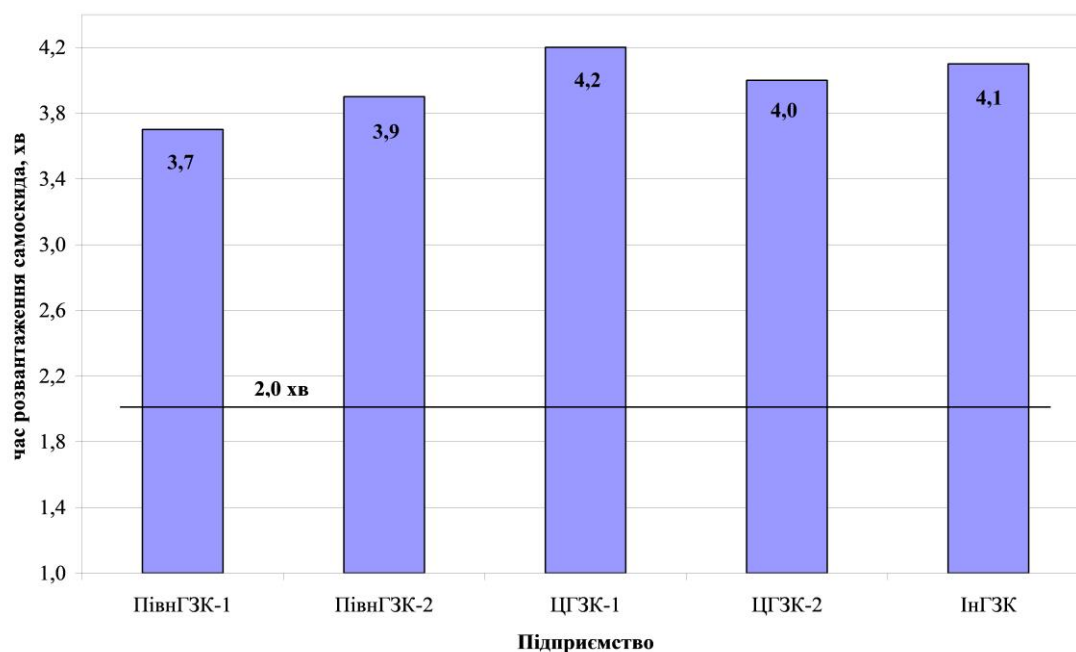


Рис. 5. Затрати часу на розвантаження одного середньооблікового самоскида за один рейс, хвилини

Fig. 5. Time spent on unloading one average dump truck per one run, minutes

Перевищення часу операцій навантаження понад норму склало на ПрАТ «ПівнГЗК» 0,4–0,6 хв. (9,6 %), на ПрАТ «ЦГЗК» – 1,9–2,1 хв. (38,5 %), на ПрАТ «ІнГЗК» – 1,2 хв. (23,1 %). Перевищення часу операцій розвантаження понад норму склало на ПрАТ «ПівнГЗК» 1,7–1,9 хвил. (90,0 %), на ПрАТ «ЦГЗК» – 2,0–2,2 хв. (у два рази), на ПрАТ «ІнГЗК» – 2,1 хв. (теж у два рази). Тобто час операцій розвантаження на всіх кар'єрах майже в два рази перевищує норму.

Дані про використання робочого часу одного середньооблікового самоскида на гірничо-збагачувальних комбінатах за період січень–червень 2021 року представлено в табл. 2. За показниками видно, що основні витрати робочого часу припадають на рух автосамоскида – 92,2 %. 7,8 % робочого часу займають операції навантаження – розвантаження. Причому втрати часу на цих операціях складають 2,6 % робочого часу автосамоскидів (рис. 6).

Вибір типу автотранспорту для технологічних перевезень обумовлений раціональним

співвідношенням об'єму кузова самоскида й місткістю ковша екскаваторів, що працюють у складі єдиного вантажно-транспортного комплексу. Важливим результатом ефективно виконаної операції є завантаження автосамоскида на рівні його номінальної вантажопідйомності – 130–136 т. Чинні норми часу передбачають завантаження автосамоскида за вісім циклів екскавації (ковшів). Для гірських порід категорії міцності V ( $\rho = 3,3 \text{ т/м}^3$ ) коефіцієнт розпушення гірничої маси становить 1,6, коефіцієнт наповнення ковша «пряма лопата» – 0,9, а коефіцієнт екскавації – 0,56 [13]. У цих умовах екскаватор із місткістю ковша  $8 \text{ м}^3$  за 8 циклів завантажить 118 т, а з місткістю ковша  $10 \text{ м}^3$  – 148 т. Важливим є рівномірне завантаження кар'єрних автосамоскидів без недовантажень і перевантажень, що суттєво підвищує продуктивність робіт, безпеку експлуатації та збільшує термін служби техніки. Для цього використовують бортову систему контролю завантаження автосамоскиду до функцій якої входить: точне вимірювання ваги перевезеного вантажу



## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

автосамоскидом (похибка близько 3 %); видача світлових сигналів машиністові екскаватора про досягнення оптимального завантаження на зовнішні світлодіодні панелі, що забезпечують

видимість у будь-яких умовах; відображення параметрів завантаження для водія на інформаційному дисплеї.

Таблиця 2

**Аналіз використання робочого часу одного середньооблікового самоскида на гірничо-збагачувальних комбінатах за період січень-червень 2021 року**

Table 2

**Analysis of the use of working time of one medium-sized dump truck at mining and processing plants for the period January-June 2021**

№	Витрати часу	годин	%
1	Корисний час, витрачений на навантаження	29	3,2
2	Корисний час, витрачений на розвантаження	18	2,0
3	Втрати часу під час завантаження	16	1,8
4	Втрати часу під час розвантаження	7	0,8
5	Рух порожнього самоскида	356	39,8
6	Рух навантаженого самоскида	468	52,4
	Усього	894	100,0

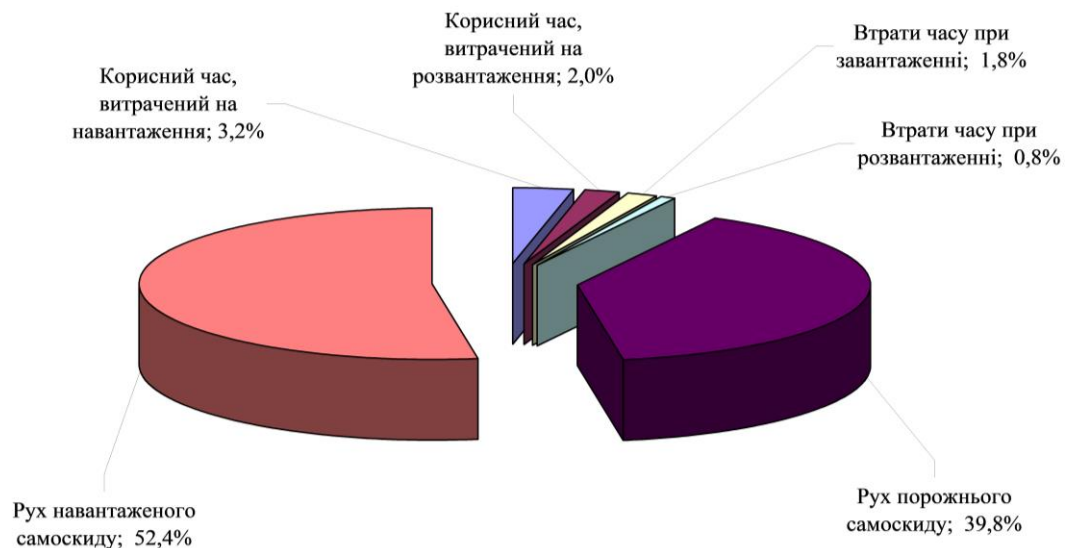


Рис. 6. Витрати робочого часу одного середньооблікового самоскида

Fig. 6. Costs of working time of one average dump truck

Однак нерівномірність заповнення ковша екскаватора призводить до того, що або збільшується час операцій навантаження, або вага завантаженої гірничої маси не відповідає номі-

нальній вантажопідйомності автосамоскида. Дані про рівень середнього завантаження автосамоскидів на кар'єрах за період спостереження наведено у табл. 3.

Таблиця 3

## Середня вантажопідйомність кар'єрного самоскида за гірничо-збагачувальними підприємствами за період спостереження, т

Table 3

## Average load capacity of the mining dump truck at the mining and processing enterprises for the period of observation, t

Підприємство	Період спостереження						Стандартне відхилення
	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	
«ІнГЗК» ЦТА	129	132	130	128	127	133	2,32
«ПівнГЗК» ГТЦ–1	128	127	130	126	124	128	2,04
«ПівнГЗК» ГТЦ–2	128	127	125	129	130	128	1,72
«ЦГЗК» ГТЦ–1	126	128	125	127	127	129	1,41
«ЦГЗК» ГТЦ–2	124	125	124	126	128	127	1,63

Як бачимо, найбільша нерівномірність завантаження автосамоскидів у кар'єрі ПрАТ «ІнГЗК» та ГТЦ–1 ПрАТ «ПівнГЗК», де середньоквадратичне відхилення середнього рівня завантаження складає відповідно 2,32 та 2,04. На інших кар'єрах завантаження автосамоскидів більш рівномірне, але значно менше за їх номінальну вантажопідйомність.

Аналіз показує, що вага перевезеного вантажу за одну поїздку на кар'єрах Кривого Рогу коливається в межах від 89 до 168 т. Середній вантаж, який перевозять за один рейс на всіх підприємствах, складає 127,5 т, що значно менше за заявлену вантажопідйомність автосамоскида – 130–136 т.

Завантаження самоскида слід здійснювати відповідно до його номінальної вантажопідйомності, зазначеної в паспорті. Недовантаження (перевезення вантажу менше за 130 т) призводить до збільшення собівартості транспортування гірничої маси. Недопустиме і перевантаження, що призводить до зниження технічного ресурсу автосамоскида. Правила технічної експлуатації (КЕ 75131.0275-17) допускають (як виняток в окремих випадках) перевищення номінальної вантажопідйомності в межах 10 % (до 149 т). Кількість таких випадків не повинна перевищувати 10 % від числа всіх рейсів за розглянутий період. У виняткових випадках при-

пустими разові перевищення номінальної вантажопідйомності в межах від 10 до 20 % (150–163 т). Категорично заборонені навіть одиничні випадки перевищення номінальної вантажопідйомності в 20 % (понад 163 т).

Розподіл рейсів у діапазоні вантажопідйомності за ступенем ефективності її використання представлено в табл. 4.

Найбільш ефективно використовують автосамоскиди на ПРАТ «ІнГЗК», де кількість рейсів з ефективним завантаженням складає 65,0 %. Однак тут допускають і перевантаження автосамоскидів понад установлену норму. Найменш ефективно використовуються автосамоскиди в ГТЦ–1 ПРАТ «ПівнГЗК» – лише 58,0 % виконаних рейсів. Найменший рівень перевантаження автосамоскидів в ГТЦ–2 ПРАТ «ЦГЗК».

Упровадження організаційно-технічних заходів в операції навантаження – розвантаження під час видобутку залізної руди на п'яти кар'єрах ТОВ «МЕТІНВЕСТ ХОЛДИНГ», із метою доведення часу їх виконання до нормативного рівня, дасть можливість за тих же умов перевезти більше вантажу (гірничої маси), а відповідно – знизити собівартість перевезень. Економічний ефект від реалізації таких заходів і буде визначатися розміром економії, розрахованої на основі аналізованих показників.

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Обробка результатів спостережень за 6 місяців 2021 року показала, що втрати часу на операціях навантаження – розвантаження на один середньообліковий автосамоскид склали: на ПрАТ «ІнГЗК» – 23 год. на ПрАТ «ПівнГЗК» – 19 год, на ПрАТ «ЦГЗК» 25 год. За даними підприємств, годинна продуктивність кар’єрних самоскидів складає відповідно 256, 230 та 228 т/год. Виходячи з цього, можна визначити втрати об’ємів перевезень одним самоскидом за рік за формулою:

$$Q_{\text{рік}} = \Delta t_{\text{н-р}} \cdot W_m \cdot 2, \text{ т}, \quad (4)$$

де  $\Delta t_{\text{н-р}}$  – втрати часу на операціях навантаження – розвантаження на один обліковий самоскид за аналізований період, год;  $W_m$  – виробіток кар’єрного самоскида, т/год.

Результати розрахунків наведено в табл. 5.

Річний економічний ефект розраховано за середньою собівартістю перевезення гірничої маси на кар’єрах Кривбасу – 12,2 грн/т.

Таблиця 4

**Аналіз використання вантажопідйомності одного середньооблікового самоскида за період січень–червень 2021 року**

Table 4

**Analysis of the use of carrying capacity of one medium-sized dump truck for the period January-June 2021**

Рівень завантаження самоскида, %	Підприємство				
	ПівнГЗК-1	ПівнГЗК-2	ЦГЗК-1	ЦГЗ-2	ІнГЗК
Неефективне завантаження (менше 130 т)	24,0	8,0	25,0	23,0	10,0
Допустиме перевантаження до 10 % (137–139 т)	10,0	13,0	6,0	7,0	11,0
Перевантаження від 10 до 20 % (150-163 т)	6,0	13,0	4,0	8,0	9,0
Недопустиме перевантаження >20 % (> 163 т)	2,0	3,0	3,0	1,0	5,0
Ефективне завантаження самоскида (130–136 т), Усього, %	58,0	63,0	62,0	61,0	65,0
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Таблиця 5

**Розрахунок можливих втрат у собівартості перевезень гірничої маси одним середньообліковим самоскидом за рік**

Table 5

**Calculation of possible losses in the cost of transportation of rock mass by one average dump truck per year**

Підприємство	За аналізований період			За рік	
	Втрати часу на навантаження – розвантаження, год	Годинна продуктивність автосамоскида, т/год	Втрати виробництва, т	Втрати виробництва, т	Втрати у собівартості перевезень, тис. грн
ПРАТ «ІнГЗК»	23	256	5 888	11 776	143,7
ПРАТ «ПівнГЗК»	19	230	4 370	8 740	106,6
ПРАТ «ЦГЗК»	25	228	5 700	10 140	123,7

### Наукова новизна та практична значимість

Автори обґрунтували та формалізували методику, яка дозволяє оцінювати ефективність використання кар'єрних самоскидів на підставі оперативного моніторингу умов їх експлуатації, що сприяє підвищенню ефективності роботи гірничорудних підприємств. Обґрунтовано форми функціонального зв'язку та отримано аналітичні залежності між показниками, що характеризують ефективність використання кар'єрних автосамоскидів у процесі технологічних перевезень залізної руди, і часом виконання вантажно-розвантажувальних робіт. Це дозволяє визначити резерви підвищення ефективності їх роботи та економічний ефект під час реалізації розроблених заходів.

### Висновки

Таким чином, у роботі встановлено, що внаслідок порушення норм часу на виконання вантажно-розвантажувальних операцій під час технологічних перевезень гірничої маси

в залізничних кар'єрах Кривого Рогу втрачають від 38 до 50 год на рік у розрахунку на один середньообліковий автосамоскид. Ліквідація таких втрат дозволила б отримати економічний ефект від 106,6 до 143,7 тис. грн на один автосамоскид на рік. Крім того, порушення режиму вантажно-розвантажувальних операцій під час технологічних перевезень, призводить до недовантаження автосамоскидів до номінальної вантажопідйомності, що також супроводжується зниженням ефективності їх використання та втратами об'ємів перевезеної гірничої маси.

Подальші дослідження буде спрямовано на визначення стратегії щодо впровадження ефективних транспортних технологій та вдосконалення операцій навантаження – розвантаження гірничої маси під час технологічних перевезень у залізничних кар'єрах Кривого Рогу з метою доведення часу їх виконання до нормативного рівня та забезпечення завантаження кар'єрного автосамоскида на рівні заявленої вантажопідйомності незалежно від впливу людського фактора (машиніста екскаватора).

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адамчук А. А., Шустов О. О. Системний підхід до вибору нових засобів транспорту для роботи на глибоких кар'єрах. *Збірник Наукових Праць НГУ*. 2018. № 54. С. 8–18.
2. Астафьев Ю. П., Полищук Г. К., Горлов Н. И. *Планирование и организация погрузочно-транспортных работ на карьерах*. Москва : Недра, 1986. 168 с.
3. Аулін В. В., Голуб Д. В., Біліченко В. В., Замуренко А. С. Формування показників оцінки ефективності транспортного процесу перевезень. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2020. Т. 1, № 11. С. 4–10. DOI: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2020-11-1-4-10>
4. Дадонов М. В. *Повышение эффективности работы карьерного автомобильного транспорта методами и средствами оперативного управления*. Кемерово, 1999. 189 с.
5. Кириченко Г. І., Стрелко О. Г., Бердниченко Ю. А., Петриковець О. В., Павлюк Є. І. Сучасні тенденції розвитку мультимодальної системи перевезення вантажів. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія : технічні науки*. 2019. Т. 30 (69). Ч. 2, № 3. С. 148–153. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/26>
6. Кириченко Г. І., Стрелко О. Г., Бердниченко Ю. А., Петриковець О. В., Кириченко О. А. Моделювання сценаріїв переміщення вантажів у ланцюгах доставки. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2016. № 12. С. 32–37. DOI: <https://doi.org/10.15802/tst2016/85882>
7. Кулешов А. А., Семенов М. А. Эффективность и перспективы применения бортовых систем контроля загрузки и учета работы карьерных автосамосвалов. *Горные машины и автоматика*. 2000. № 3. С. 35–38.
8. Ларин О. Н., Вуейкова О. Н. Факторный анализ производительности карьерного автотранспорта Сарбайского карьера АО «ССГПО». *Транспорт : наука, техника, управление*. 2011. № 1. С. 29–32.

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

9. Максимов С. В., Монастирська О. Ю. Застосування динамічного підходу до використання критерію економічної ефективності автотранспортної системи кар'єру. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2012. № 6 (177). С. 26–30.
10. Монастырский Ю. А. Определение причин потерь рабочего времени экскаваторно-автомобильных комплексов на Петровском карьере ОАО «ЦГОК». *Университетские новинки*. 2011. № 94. С. 293–297.
11. Монастырский Ю. А., Веснин А. В., Таран И. А. Статистический анализ показателей работы карьерных автосамосвалов, как ресурс повышения эффективности их эксплуатации. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. 2010. № 11–12. С. 66–70.
12. *Положення про технічне обслуговування, діагностування і ремонт кар'єрних автосамоскидів «БЕЛАЗ»*. Жодіно : ВАТ «БЕЛАЗ», 2013. 31 с.
13. Полтавець М. А., Омельченко О. Д. Наукові основи комплексної механізації та автоматизації навантажувально-розвантажувальних транспортно-складських робіт при взаємодії з рухомим складом та макрологістичні системи поточних ліній і комплексів. *Наукоємні технології*. 2016. № 3 (31). С. 308–314.
14. *Технические и эксплуатационные характеристики выпускаемой продукции* : справочник. Минск : «Бенлстан», 2014. 496 с.
15. Adamchuk A., Shustov O., Panchenko V., Slyvenko M. Substantiation of the method of determination the open-cast mine final contours taking into account the transport parameters. *Collection of Research Papers of the National Mining University*. 2019. Vol. 59. P. 21–32. DOI: <https://doi.org/10.33271/crpnmu/59.021>
16. Malisa M. T., Genc B. Mine planning and optimisation techniques applied in an iron ore mine. *Springer Series in Geomechanics and Geoengineering*. 2020. P. 103–110. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-33954-8\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-33954-8_11)
17. Moldabayev S. K., Adamchuk A. A., Toktarov A. A., Aben Y., Shustov O. Approbation of the technology of efficient application of excavator-automobile complexes in the deep open mines. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020. № 4. P. 30–38. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-4/030>
18. Moldabayev S. K., Aben Y., Kasymbayev E. A., Sarybayev N. O. Complete cyclical-and-continuous technology equipment for intermodal vehicle–conveyor–rail transport. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2019. Vol. 7. P. 158–173. DOI: <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-07-0-158-173>
19. Shustov O., Dryzhenko A. Organization of dumping stations with combined transport types in iron ore deposits mining. *Mining of Mineral Deposits*. 2016. Vol. 10. Iss. 2. P. 78–84. DOI: <https://doi.org/10.15407/mining10.02.078>
20. Vuyeykova O., Sladkowski A., Stolpovskikh I., Akhmetova M. Rationalization of road transport park for the carriage of mining rocks in the open mines. *Transport Problems*. 2016. Vol. 11. Iss. 1. P. 79–85. DOI: <https://doi.org/10.20858/tp.2016.11.1.8>

K. M. RAZUMOVA<sup>1</sup>, O. A. TEMCHENKO<sup>2</sup>, S. V. MAKSYMОВ<sup>3</sup>, O. S. MAKSYMОВА<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Dep. «Organization of Aviation Works and Services», National Aviation University, Lubomyra Husara Ave., 1, Kyiv, Ukraine, 03058, tel. +38 (044) 406 60 45, e-mail [kateryna.razumova@npp.nau.edu.ua](mailto:kateryna.razumova@npp.nau.edu.ua), ORCID 0000-0001-6385-2823

<sup>2</sup>Dep. «Economics and Entrepreneurship», State University of Economics and Technology, Medychna St., 16, Kryvyi Rih, Ukraine, 50005, tel.+38 (097) 214 88 69, e-mail [temchenko\\_oa50@ukr.net](mailto:temchenko_oa50@ukr.net), ORCID 0000-0003-0020-2430

<sup>3</sup>Dep. «Road Transport», Kryvyi Rih National University, V. Matusevycha St., 11, Kryvyi Rih, Ukraine, 50027, tel. +38 (098) 559 51 26, e-mail [max\\_ser\\_vlad@ukr.net](mailto:max_ser_vlad@ukr.net), ORCID 0000-0002-9932-1511

<sup>4</sup>Dep. «Road Transport», Kryvyi Rih National University, V. Matusevycha St., 11, Kryvyi Rih, Ukraine, 50027, tel. +38 (097) 738 71 23, e-mail [maxlenser@ukr.net](mailto:maxlenser@ukr.net), ORCID 0000-0001-7253-0105

## Research of Duration Influence of Loading and Unloading Operations on the Use Efficiency of Technological Motor Transport on Open Pit Iron Mines

**Purpose.** The most common type of technological transport in open pit mines is automobile, which uses dump trucks with a capacity of 45 to 220 tons. The rock mass transportation volume with the use of motor transport at the iron ore industry is more than 350 million tons per year, or 27% of the total volume of open pit mines in the indus-

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

try. Most of Ukraine's high-capacity iron mines are forced to work in the conditions of intensification of mining operations, constant deepening and complication of mining and geological conditions. With increasing the depth of mines there is an increase of 1.3-1.7 times the transportation volume relative to the volume of the shipped rock mass and, as a consequence, a decrease in the efficiency of technological vehicles. The purpose of this work is to analyze the influence of using BELAZ open-pit dump trucks during loading and unloading operations on the efficiency. This will allow to develop the management measures to implement effective transport technologies aimed at reducing the cost of open pit iron ore mining and purposefully influence these production processes. **Methodology.** In order to solve the set tasks, the methods of technical-economic, correlation-regression, factor and situational analysis were used (to study the operation of open-pit dump trucks at mining enterprises). In order to formalize the methods of improving the efficiency of equipment and transport technologies, the methodology of operational accounting of mining conditions of open-pit dump trucks operation at mining enterprises was used. To assess the economic efficiency of the proposed management system of mining activities of open-pit dump trucks, a method of comparative economic analysis was proposed. **Findings.** The results of the research are practically implemented in the real conditions of operation of open-pit dump trucks and the economic effect of the implementation of the proposed measures is determined. **Originality.** The obtained results are practically implemented in the real conditions of operation of open-pit dump trucks and the economic effect of the implementation of the proposed measures is determined. **Practical value.** The forms of functional connection are substantiated and analytical dependences between the indicators characterizing the use efficiency of open-pit dump trucks during the technological transportations of iron ore and the time needed for loading and unloading operations are received. This dependency allows determining the reserves for improving the operation efficiency of open-pit dump trucks and the economic effect from the implementation of the measures proposed.

**Keywords:** open-pit dump trucks; loading and unloading operations; downtime; productivity; operating conditions; factor analysis; economic efficiency

## REFERENCES

1. Adamchuk, A. A., & Shustov, O. O. (2018). System approach to selection of a new transport means for working in deep mines. *Collection of research papers of the National Mining University*, 54, 8-18. (in Ukrainian)
2. Astafev, U. P., Polishuk, G. K., & Gorlov, N. I. (1986). *Planirovanie i organizatsiya pogruzochno-transportnykh rabot na karerakh*. Moscow: Nedra. (in Russian)
3. Aulin, V. V., Golub, D. V., Bilichenko, V. V., & Zamurenko, A. S. (2020). Formation of indicators for assessing the efficiency of the transport process. *Bulletin of Mechanical Engineering and Transport*, 1(11), 5-10. DOI: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2020-11-1-4-10> (in Ukrainian)
4. Dadonov, M. V. (1999). *Povyshenie effektivnosti raboty karernogo avtomobilnogo transporta metodami i sredstvami operativnogo upravleniya*. Kemerovo. (in Russian)
5. Kyrychenko, H. I., Strelko, O. H., Berdnichenko, Yu. A., Petrykovets, O. V., & Pavliuk, Ye. I. (2019). Modern trends for the development of a multimodal cargo transport system. *Scientific notes of Taurida National V. I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences*, 30(69), 148-153. DOI : <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/26> (in Ukrainian)
6. Kyrychenko, H. I., Strelko, O. H., Berdnichenko, Yu. A., Petrykovets, O. V., & Kyrychenko, O. A. (2016). Scenarios modeling of cargo movement in the supply chains. *Transport systems and transportation technologies*, 12, 32-37. DOI: <https://doi.org/10.15802/tstt2016/85882> (in Ukrainian)
7. Kuleshov, A. A., & Semenov, M. A. (2000). Effektivnost i perspektivy primeneniya bortovykh sistem kontrolya za-gruzki i ucheta raboty karernykh avtosamosvalov. *Gornye mashiny i avtomatika*, 3, 35-38. (in Russian)
8. Larin, O. N., & Vuykova, O. N. (2011). Factor analysis of the performance Vehicles of Sarbaysky quarry JSC «SSGPO». *Transport: Science, Technique, Management*, 1, 29-32. (in Russian)
9. Maksymov, S. V., & Monastyrskaya, O. U. (2012). Zastosuvannia dynamichnoho pidkhotu do vykorystannia kryteriiu ekonomichnoi efektyvnosti avtotransportnoi systemy karii. *Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*, 6(177), 26-30. (in Ukrainian)
10. Monastyrskiy, Yu. A. (2011). Opredelenie prichin poter rabochego vremeni ekskavatorno-avtomobilnykh kompleksov na Petrovskom karere OAO «TsGOK». *Universitetskie novinki*, 94, 293-297. (in Russian)

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

11. Monastyrskiy, Yu. A., Vesnin, A. V., & Taran, I. A. (2010). Statistical analysis of quarry dump trucks performance parameters as a resource of their exploitation effectiveness improving. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 11-12, 66-70. (in Russian)
12. Polozhennia pro tekhnichne obsluhovuvannia, diahnostuvannia i remont kariernykh avtosamoskydiv «BELAZ». (2013). Zhodino: VAT «BELAZ». (in Ukrainian)
13. Poltavets, M. A., & Omelchenko, O. D. (2016). Scientific bases of complex mechanization and automation of loading and unloading transport and storage works at interaction with a rolling stock and macrologistic systems of current lines and complexes. *Science-Based Technologies*, 3(31), 308-314. (in Ukrainian)
14. *Tekhnicheskie i ekspluatatsionnye kharakteristiki vypuskaemoy produktsii: spravochnik*. (2014). Minsk: «Benlstan». (in Russian)
15. Adamchuk, A., Shustov, O., Panchenko, V., & Slyvenko, M. (2019). Substantiation of the method of determination the open-cast mine final contours taking into account the transport parameters. *Collection of Research Papers of the National Mining University*, 59, 21-32. DOI: <https://doi.org/10.33271/crpnmu/59.021> (in English)
16. Malisa, M. T., & Genc, B. (2020). Mine planning and optimisation techniques applied in an iron ore mine. *Springer Series in Geomechanics and Geoengineering*, 103-110. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-33954-8\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-33954-8_11) (in English)
17. Moldabayev, S. K., Adamchuk, A. A., Toktarov, A. A., Aben, Y., & Shustov, O. (2020). Approbation of the technology of efficient application of excavator-automobile complexes in the deep open mines. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 4, 30-38. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-4/030> (in English)
18. Moldabayev, S. K., Aben, Y., Kasymbayev, E. A., & Sarybayev, N. O. (2019). Complete cyclical-and-continuous technology equipment for intermodal vehicle–conveyor–rail transport. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 7, 158-173. DOI: <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-07-0-158-173> (in English)
19. Shustov, O., & Dryzhenko, A. (2016). Organization of dumping stations with combined transport types in iron ore deposits mining. *Mining of Mineral Deposits*, 10(2), 78-84. DOI: <https://doi.org/10.15407/mining10.02.078> (in English)
20. Vuyeykova, O., Sladkowski, A., Stolpovskikh, I., & Akhmetova, M. (2016). Rationalization of road transport park for the carriage of mining rocks in the open mines. *Transport Problems*, 11(1), 79-85. DOI: <https://doi.org/10.20858/tp.2016.11.1.8> (in English)

Надійшла до редколегії: 10.08.2021

Прийнята до друку: 10.12.2021