

УДК 622.271.3

© А.А. Адамчук, О.О. Шустов

**СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ВИБОРУ НОВИХ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ  
ДЛЯ РОБОТИ НА ГЛИБОКИХ КАР'ЄРАХ**

© A. Adamchuk, O. Shustov

**SYSTEM APPROACH TO SELECTION OF A NEW TRANSPORT MEANS  
FOR WORKING IN DEEP MINES**

**Мета.** Розроблення методики достатнього обґрунтування параметрів перспективних засобів транспорту для роботи в умовах відкритої розробки родовищ корисних копалин на глибоких кар'єрах та розрахунку економічного ефекту від впровадження нових технологічних рішень.

**Методика дослідження** полягає в огляді та систематизації досвіду використання відомих транспортних засобів на відкритих гірничих роботах, аналізу підходів щодо їх вибору та теоретичного обґрунтування нової методики, що враховує ключові технологічні параметри відкритої розробки родовищ та техніко-економічні показники гірничотранспортних внутрішньокар'єрних систем.

**Результати дослідження.** Надано класифікацію транспортних засобів для роботи в умовах відкритої розробки родовищ за ступенем поширеності, досвідом використання та впровадженням у виробництво. Виділено три групи транспортних засобів: поширені, малопоширені та перспективні. Запропоновані різні підходи до обґрунтування доцільності застосування гірничотранспортних внутрішньокар'єрних схем транспорту, в ланки яких входить обладнання з різних запропонованих класифікаційних груп. Розроблена методика оцінки переваг нових транспортних засобів, в основі якої лежать методи системного підходу, аналогій, техніко-економічного аналізу та логічних інженерних рішень. Виділено три умови переходу на новий вид транспорту: економічну, технологічну та екологічну.

**Наукова новизна.** Відображені системні зв'язки між умовами вибору доцільних транспортних засобів для відкритої розробки та визначено ступінь їх впливу на параметри відкритих гірничих робіт. На прикладі кар'єрів № 1, 3 та 4 ПАТ «Центральний гірничозбагачувальний комбінат» встановлено залежності економічних показників нової гірничотранспортної системи від технологічних параметрів транспортних засобів та їх техніко-економічних показників.

**Практичне значення.** Розроблена методика дозволяє з достатньою точністю обґрунтувати доцільність переходу на новий вид транспорту та розраховувати економічний ефект від впровадження нових технологічних рішень. Для умов кар'єрів № 1, 3 та 4 ПАТ «Центральний гірничозбагачувальний комбінат» встановлено, що за економічною умовою загальний ефект від впровадження Патенту України № 123290 за весь термін експлуатації складе 3,8, 3,56 та 2 млн. доларів США відповідно, за технологічною умовою – 51,22, 29,81, 41,58 млн. доларів США, за екологічною – 781, 469, 676 тис. доларів США.

**Ключові слова:** *гірничий транспорт, глибокий кар'єр, системний підхід, метод аналогій, технологічні параметри транспорту, відкрита розробка родовищ корисних копалин, техніко-економічні показники*

**Вступ.** На теперішній час глибина низки кар'єрів Кривбасу становить 450 м. Виконаними проектами передбачено вести гірничі роботи на глибині 650-800 м. Підраховані до розробки запаси до глибини понад 1000 м [1]. Зарубіжний досвід вказує на можливість роботи і на більших глибинах. Так, запроєктовані кар'єри з видобутку мідної руди: Чукікамата та Ескондіда (Чилі) глибиною 850 м і 645 м відповідно, Бінгем Каньон (США, Юта) – 1210 м, Сибайський міднорудний кар'єр (РФ, Башкірія) – 500 м, Токепала (Перу) – 615 м. Проте поглиблення гірничих робіт супроводжується суттєвим збільшенням об'єму виконання гірничо-капітальних робіт у зв'язку із рознесенням бортів кар'єру. Причому об'єм виймання порід розкриття зростає в геометричній прогресії відносно глибини кар'єру [2]. Таким чином, в умовах поглиблення кар'єру, собівартість видобутку корисної копалини буде різко збільшуватися, а частка вартості транспортування складає 50-70 % від загальної і зростатиме зі збільшенням глибини кар'єру [1].

**Стан питання.** Основним критерієм визначення доцільності використання гірничого обладнання, зокрема транспортних засобів, є витрати на розробку 1 т гірничої маси. У зв'язку із цим, практика гірничих робіт в умовах глибоких кар'єрів направлена на необхідність вдосконалення існуючих транспортних внутрішньокар'єрних систем через кожні 7 – 10 років [3], а перенесення перевантажувальних пунктів здійснювати через кожні 90-105 м [4].

Фактори переходу на нові види транспорту прийнято поділяти на ті, що залежать від нього й на ті, що залежать стану гірничих робіт у кар'єрі. До перших відносять погіршення показників роботи застосованого транспорту зі збільшенням глибини розробок через кожні 100-150 м, до других – корегування параметрів транспортної системи та її зміна на більш досконалу [5]. При виборі нової гірничотранспортної схеми, як правило, будують складну динамічну економіко-математичну модель, яка з позицій системного підходу описує найбільш істотні кількісні та якісні взаємозв'язки кар'єрного транспорту з гірничотехнічними умовами розробки родовища і параметрами кар'єру, вантажним, відвальним і дробильно-збагачувальним комплексами, вимогами ринку за спеціальними алгоритмами рішення задачі [3]. Проте при обґрунтуванні принципово нових засобів транспорту та систем розробки, в яку вони входять, відсутня низка даних щодо технологічних параметрів та техніко-економічних характеристик нового обладнання, що спричиняє необхідність застосування методу аналогій та логічних інженерних рішень. Тому розроблення нової методики вибору перспективних засобів транспорту на глибоких кар'єрах є доцільною науково-практичною задачею.

**Метою проведення досліджень** є розроблення методики достатнього обґрунтування параметрів перспективних засобів транспорту для роботи в умовах відкритої розробки родовищ корисних копалин на глибоких кар'єрах та розрахунку економічної ефективності від впровадження нових технологічних рішень.

**Класифікація засобів транспорту.** Для подальшого проведення аналізу параметрів гірничотранспортної систем всі види засобів транспорту за ступенем поширеності та досвідом експлуатації можна умовно розділити на три категорії: поширені, малопоширені та перспективні (табл.).

Таблиця

Класифікація засобів внутрішньокар'єрного транспорту за поширеністю в умовах розробки родовищ крутого падіння

<b>Поширені</b>	<b>Малопоширені</b>	<b>Перспективні</b>
Автомобільний транспорт, залізничний транспорт, похилий конвейер та їх комбінації	Крутопохилий стрічковий конвеєр (з притисковою стрічкою), скіповий підйом, канатна дорога	Стрічково-візковий конвеєр, трубчатий конвеєр, автомобільний гусеничний транспорт

До поширених засобів транспорту слід віднести такі, досвід експлуатації яких в умовах відкритої розробки родовищ досліджений в достатній мірі, а інформація щодо їх техніко-економічних показників відображена у вигляді статистичних даних та паспортів їх роботи. При порівнянні та дослідженні параметрів гірничотранспортних систем, в яких застосовуються поширені засоби транспорту, доцільно використовувати метод техніко-економічного аналізу.

До малопоширених засобів транспорту слід віднести такі, досвід експлуатації яких в умовах відкритої розробки родовищ є на окремих підприємствах, а інформація щодо техніко-економічних показників засобів транспорту має місце лише для гірничо-геологічних умов цих підприємств. При порівнянні та дослідженні параметрів гірничотранспортних систем, в яких застосовуються хоча б один малопоширений засіб транспорту, доцільно використовувати методи техніко-економічного аналізу та аналогій.

До перспективних засобів транспорту слід віднести такі, досвід експлуатації яких в умовах відкритої розробки родовищ відсутній, проте є досвід їх експлуатації в інших сферах промисловості, або засоби транспорту принципово нової конструкції, а інформація щодо техніко-економічних показників засобів транспорту присутня лише для інших сфер застосування. При порівнянні та дослідженні параметрів гірничотранспортних систем, в яких застосовуються хоча б один перспективний засіб транспорту, доцільно використовувати метод аналогій.

Наприклад, трубчатий конвеєр для умов внутрішньокар'єрного транспортування при веденні відкритих гірничих робіт натепер не застосовується, проте має місце досвід його використання для транспортування гірничої маси в умовах пересіченої місцевості [6]. Однак, через здатність долати ухили понад 30°,

радіус заокруглення 300 м та меншу кількість втрат вантажу трубчатий конвеєр є перспективним для розробки родовищ відкритим способом.

**Дослідження параметрів системи.** На ефективність використання того чи іншого гірничотранспортного обладнання впливає низка факторів серед яких: геометричні параметри кар'єру, його продуктивність з видобутку руди та виймання порід розкриття, умови залягання родовища, термін його експлуатації та ін. Всі вони мають відмінні властивості і різною мірою впливають на вартість ведення гірничих робіт.

В таких умовах необхідно застосовувати системний підхід до вирішення задач вибору засобів внутрішньокар'єрного транспорту. Проте прогнозування змін умов гірничих робіт заскладне або неможливе, особливо у випадку використання малопоширених або перспективних засобів транспорту. Тому гірничотранспортна система або її частина при розробці родовищ корисних копалин відкритим способом має враховувати найважливіші умови: економічну, технологічну й екологічну.

Економічна умова вибору гірничотранспортної системи полягає в тому, що собівартість транспортування 1 м<sup>3</sup> гірничої маси новою системою ( $C_{нов}$ , грн) має бути меншою, або дорівнювати собівартості транспортування гірничої маси технікою, що застосовувалась раніше ( $C_{ст}$ , грн):

$$C_{нов.} \leq C_{ст.} \quad (1)$$

$$C_{ст/нов} = f(Q, L, t_u, v, G, Q_n, Q_e, Q_m, t_i, C_i, Z...A) \quad (2)$$

Економічна умова враховує техніко-економічні показники за певний період часу існування системи серед яких продуктивність системи ( $Q$ ), відстань транспортування ( $L$ ), час циклу ( $t_u$ ), швидкість руху ( $v$ ), вантажопідйомність ( $G$ ), питома витрата палива ( $Q_n$ ), електроенергії ( $Q_e$ ), мастил ( $Q_m$ ), строк придатності ( $t_{ni}$ ) та вартість ( $C_i$ ) шин, конвеєрних стрічок, роликів, розмір заробітної плати ( $Z$ ), амортизації ( $A$ ), та ін. Економічний ефект за цією умовою розраховується наступним чином:

$$E_E = C_{ст.} - C_{нов.} \quad (3)$$

Підходи до розрахунку економічної ефективності систем значною мірою відрізняються один від одного в залежності від застосовуваних засобів транспорту. Розрахунок параметрів систем із поширеними засобами транспорту має відповідати вимогам норм технологічного проектування [7]. При розрахунку параметрів системи із використанням малопоширених і перспективних засобів транспорту допускається враховувати тільки ті параметри, що змінюються.

Однак економічна умова вибору транспортної системи не враховує ступінь її впливу на інші системи у внутрішньокар'єрному просторі. Характер впливу на інші системи, як правило полягає в розмірі додаткових гірничо-капітальних робіт, пов'язані зі введенням транспортних засобів із новими технологічними

параметрами. У зв'язку з цим, при переході на новий вид транспорту слід враховувати його технологічні параметри.

Технологічна умова переходу на новий вид транспорту полягає в тому, що нова система має мати такі технологічні параметри транспорту, які задовольняють умовам його експлуатації в умовах відкритої розробки родовищ корисних копалин, при чому обсяги виймання гірничої маси при новій системі ( $V_{нов}$ , млн. м<sup>3</sup>) будуть не більші, ніж об'єми виймання при продовженні роботи за старою схемою ( $V_{ст}$ , млн. м<sup>3</sup>).

$$V_{нов.} \leq V_{ст.} \quad (4)$$

$$V_{ст/нов} = f(a, l, R...i) \quad (5)$$

Технологічна умова враховує технологічні параметри системи серед яких ширина ( $a$ ), довжина ( $l$ ), радіус повороту/заокруглення транспортних засобів системи ( $R$ ), керівний ухил шляхів ( $i$ ), та ін. Всі ці параметри впливають на необхідний об'єм виймання порід розкриття, який відображається на вартості видобування корисних копалин. Економічний ефект за цією умовою розраховується наступним чином:

$$E_T = C_{ст} V_{ст} - C_{нов} V_{нов} . \quad (6)$$

Величину  $C_{ст}$  припускається приймати згідно з відомими статистичними даними [8] підприємства, для якого ведеться розрахунок. Вразі відсутності статистичних даних приймається середньозважена величина. При розрахунку параметрів системи із використанням перспективного засобу транспорту та неможливості обґрунтування її за економічною умовою, припускається розрахунок економічного ефекту за формулою:

$$E_T = C_{ст} (V_{ст} - V_{нов} ) . \quad (7)$$

Проте технологічна й економічна умови не враховують ступеню впливу на навколишнє середовище. Екологічна умова пов'язана із кількома аспектами серед яких об'єм викидів шкідливих газів, величина площі порушених земель, ступінь забруднення підземних вод та ін. Всі аспекти враховуються окремо, можуть бути виражені у витратах на виплати за нанесення шкоди навколишнього середовища, або мати описовий характер.

Об'єм викиду шкідливих газів залежить від об'єму витрат пального, забруднення підземних вод залежить від їх ступеню мінералізації, об'єму виробленого простору кар'єру та величини водоприпливу [9]. На площу земель, що порушується відкритими гірничими роботами впливає об'єм виймання порід розкриття та відстань від верхньої бровки борту кар'єру до межі земельного відводу, що необхідна для проїзду гірничої техніки.

Всі три умови взаємопов'язані (рис. 1). Витрати на виймання порід розкриття впливають на собівартість виймання корисної копалини. Додаткове рознесення бортів кар'єру призводить до порушення додаткових площ земель гірничими виробками й відвалами. За шкоду навколишньому середовищу підприємс-

тво, відповідно до чинного законодавства [10], зобов'язане виплачувати кошти, які враховуються в собівартості кінцевої продукції.

На підставі розрахунків за умовами вибору засобів транспорту, методом логічних інженерних рішень обирається доцільна система внутрішньокар'єрного транспорту й виноситься достатнє обґрунтування цього рішення, виражене в описі переваг і недоліків порівнюваних систем за трьома умовами вибору.

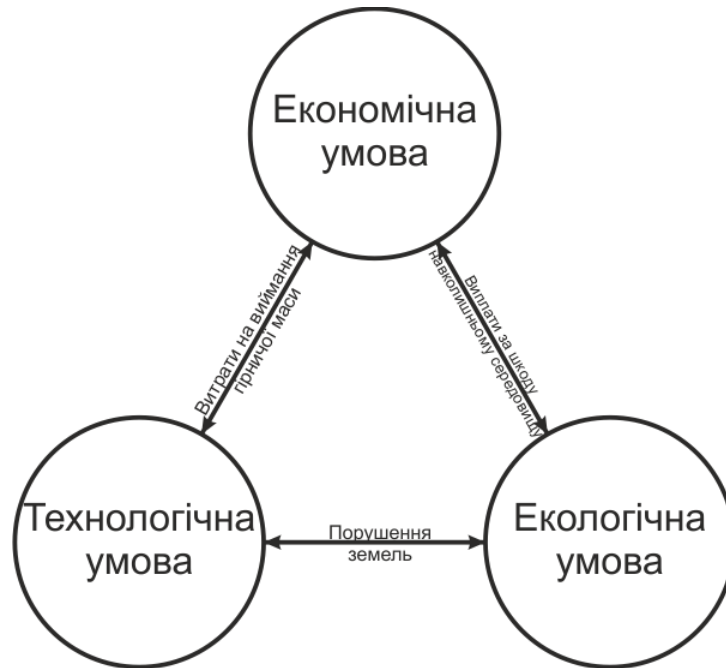


Рис. 1. Взаємозв'язок умов вибору схем внутрішньокар'єрного транспорту

**Економічний ефект.** В якості прикладу розрахунку техніко-економічних параметрів за запропонованою методикою виконаємо обґрунтування доцільності впровадження Патенту України № 123290 «Пристрій для розвантаження автосамоскидів у бункер» для кар'єрів ПАТ «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат». Згідно з винаходом, передбачено наскрізний проїзд автосамоскидів над приймальним отвором по спеціальним розвантажувальним мостам [11].

В результаті розрахунків за запропонованою методикою встановлено, що для умов кар'єрів № 1, 3 та 4 ПАТ «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат» встановлено, що за економічною умовою загальний ефект від впровадження Патенту України № 123290 за весь термін експлуатації експлуатації складе 3,8, 3,56 та 2 млн. доларів США відповідно (див. рис. 2), за технологічною умовою – 51,22, 29,81, 41,58 млн. доларів США (див. рис. 3), за екологічною – 781, 469, 676 тис. доларів США (див. рис. 4).

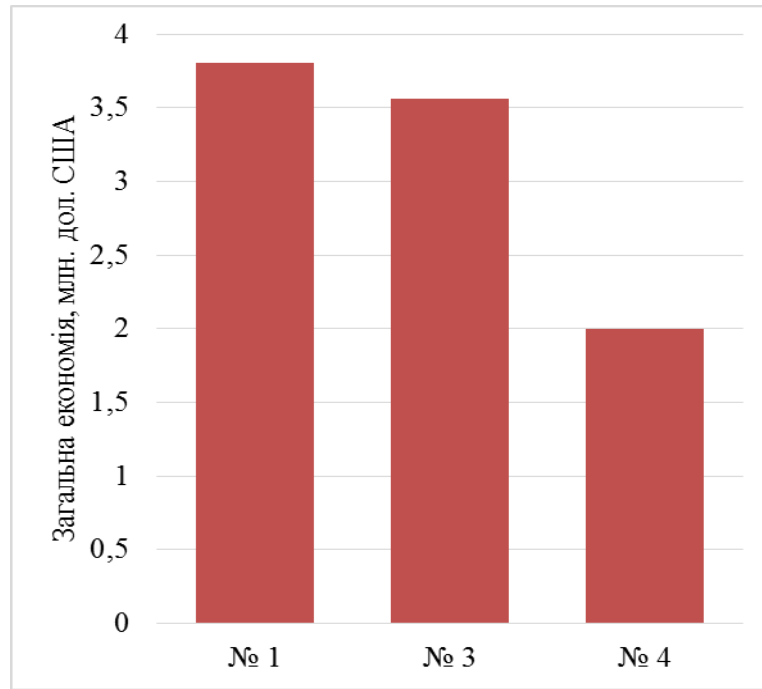


Рис. 2 Загальний економічний ефект від впровадження Патенту України № 123290 в виробництво на кар'єрах № 1, № 3 та № 4 Центрального гірничо-збагачувального комбінату за економічною умовою

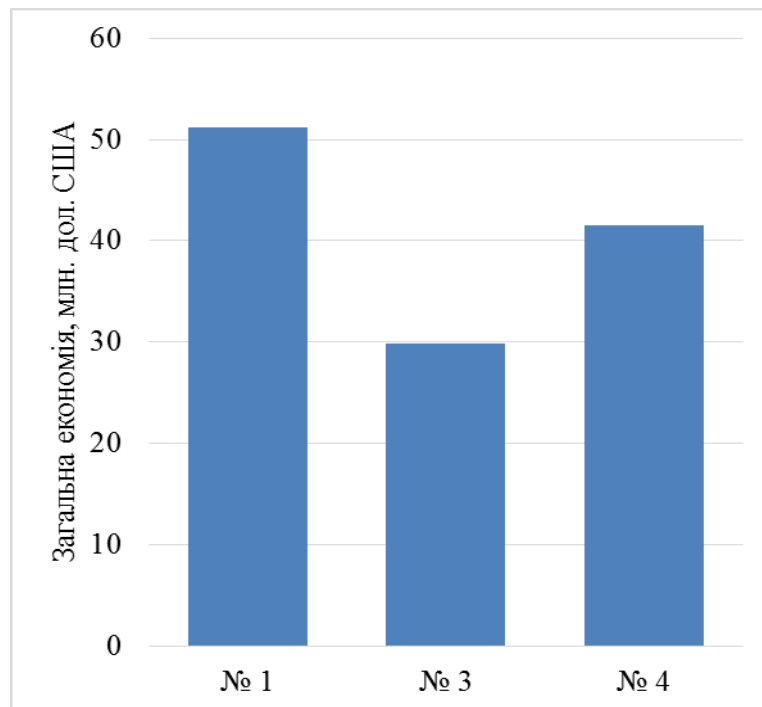


Рис. 3. Загальний економічний ефект від впровадження Патенту України № 123290 в виробництво на кар'єрах № 1, № 3 та № 4 Центрального гірничо-збагачувального комбінату за технологічною умовою

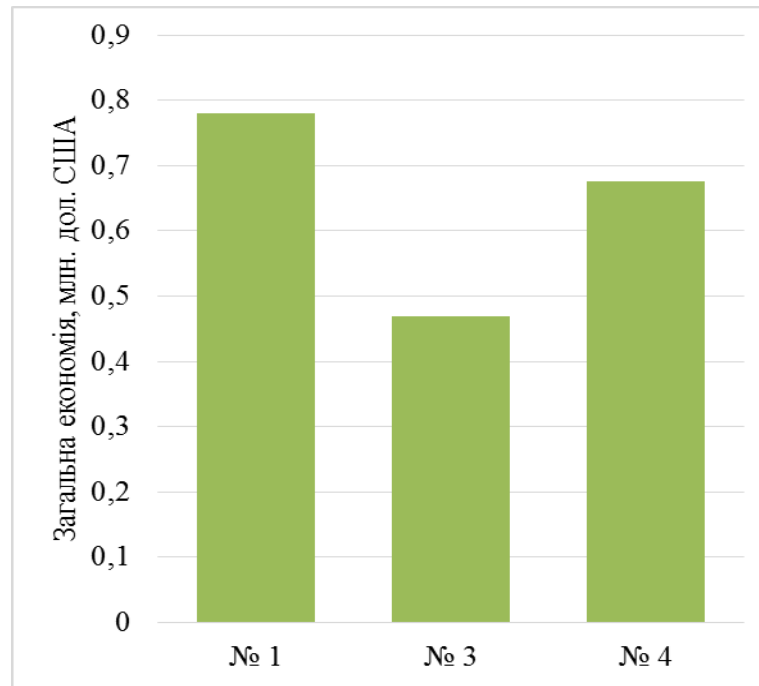


Рис. 4. Загальний економічний ефект від впровадження Патенту України № 123290 в виробництво на кар'єрах № 1, № 3 та № 4 Центрального гірничо-збагачувального комбінату за екологічною умовою



Рис. 5. Структура загальної економії від впровадження Патенту України № 123290 в виробництво на кар'єрах Центрального гірничо-збагачувального комбінату за відповідними умовами (млн. дол. США)

З діаграми на рис. 5 видно, що найбільш значний економічний ефект від впровадження Патенту України № 123290 спостерігається за технологічною умовою. Це спричинено тим, що транспортна система із використанням пристрою для розвантаження автосамоскидів у бункер характеризується меншими



технологічними параметрами, за рахунок чого з'являється можливість зменшити рознесення борту кар'єру на 35,4 м та скоротити об'єм виймання додаткових гірських порід та витрати розміром 122,61 млн. дол. США.

За рахунок скорочення часу циклу розвантаження автосамоскидів в бункер зменшується витрата дизельного палива, моторного, трансмісійного, пластичного та спеціального мастил, що дозволяє скоротити витрати на розробку родовищ Велика Глеюватка, Петровське та Артемівське на 9,36 млн. дол. США. За рахунок зменшення об'єму порушення гірського масиву з'являється можливість скоротити земельний відвід на 42 га та зменшити кількість виплат за порушення земель на 1,93 млн. дол. США.

**Висновки.** Розроблена класифікація дозволяє обрати різні підходи до обґрунтування гірничотранспортних внутрішньокар'єрних схем транспорту, в ланки яких входить обладнання з різних запропонованих класифікаційних груп. Розроблена методика, в основі якої лежать методи системного підходу, аналогій, техніко-економічного аналізу та логічних інженерних рішень, дозволяє з достатньою точністю обґрунтовувати доцільність переходу на новий вид транспорту та розраховувати економічний ефект від впровадження нових технологічних рішень.

#### Перелік посилань

1. Дриженко, А.Ю. (2014). *Відкриті гірничі роботи*. Дніпропетровськ: НГУ, 590 с.
2. Anisimov, O.O. (2018). Research on parameters of the working area on an internal dump for developing open pits. *Scientific Bulletin of National Mining University*, (1), 27-34.
3. Короленко, М.К., Перегудов, В.В., Федін, К.А., Романенко, А.В. & Протасов, В.П. (2012) *Совершенствование транспортных схем выдачи руды для условий ОАО «Южный ГОК»*. Кривой Рог: Дионис.
4. 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. <https://doi.org/10.15407/mining10.02.078>
5. Васильев, М.В. (1983). *Транспорт глубоких карьеров*. Москва: Недра, 295 с.
6. Neumann, T., & Minkin, A. (2015). Conti® MegaPipe—A New Dimension in Closed-Trough Belt Technology. In *Proceedings of the 12th International Symposium Continuous Surface Mining-Aachen 2014* (pp. 1-10). Springer, Cham.
7. СОУ-Н МПП 73 020-078-1:2007 (2007). *Нормы технологического проектирования предприятий с открытым способом разработки месторождений полезных ископаемых. Часть 1. Горные работы. Ликвидация горнодобывающих предприятий. Техно-экономическая оценка и показатели*. Киев: Министерство промышленной политики Украины.
8. Бабець, Є.К., Мельникова І.Є., Гребенюк, С.Я., & Лобов, С.П. (2015). *Дослідження техніко-економічних показників гірничовидобувних підприємств України та ефективності їх роботи в умовах змінної кон'юнктури світового ринку залізної руди : монографія*. Кривий Ріг: Вид. Р.А. Козлов.
9. Тимошук, В. І., Тішков, В. В., Шустов, О. О., & Нікіфорова, Н. А. (2011). Моделювання геофільтраційних процесів при відпрацюванні обводненого родовища відкритим способом. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, (36 (2)), 19-27.

10. Постанова, К. М. У. (1997). Про розміри та Порядок визначення втрат сільськогосподарського і лісгосподарського виробництва, які підлягають відшкодуванню” від 17 листопада 1997 р. № 1279//Офіц. вісн. України.–1997.–№ 47. *Офіційний вісник України*, (47), 1.
11. Дриженко, А.Ю., Адамчук, А.А., Шустов, О.О., Молдабаєв, С.К., & Нікіфорова, Н.А. (2018) *Пристрій для розвантаження порід із автосамоскидів у бункер*. Патент № 123290, Україна.

## АННОТАЦІЯ

**Цель.** Разработка методики достаточного обоснования параметров перспективных средств транспорта для работы в условиях открытой разработки месторождений полезных ископаемых на глубоких карьерах и расчета экономического эффекта от внедрения новых технологических решений.

**Методика исследований** заключается в обзоре и систематизации опыта использования известных транспортных средств для открытых горных работ, анализа ряда подходов к их выбору и теоретическом обосновании новой методики, учитывающей ключевые технологические параметры открытой разработки месторождений и технико-экономические показатели горнотранспортных внутрикарьерных систем.

**Результаты исследований.** Представлена классификация транспортных средств для работы в условиях открытой разработки месторождений по степени распространенности, опыту использования и внедрению в производство. Выделены три группы транспортных средств: распространенные, малораспространенные и перспективные. Предложены различные подходы к обоснованию целесообразности применения горнотранспортных внутрикарьерных систем транспорта, в звенья которых входит оборудование из разных предложенных классификационных групп. Разработана методика оценки преимуществ новых транспортных средств, в основе которой лежат методы системного подхода, аналогий, технико-экономического анализа и логических инженерных решений. Выделены три условия перехода на новый вид транспорта: экономическое, технологическое и экологическое.

**Научная новизна.** Отражены системные связи между условиями выбора целесообразных транспортных средств для открытой разработки и определена степень их влияния на параметры открытых горных работ. На примере карьеров № 1, 3 и 4 ЧАО «Центральный горно-обогатительный комбинат» установлены зависимости экономических показателей новой горнотранспортной системы от технологических параметров транспортных средств и их технико-экономических показателей.

**Практическое значение.** Разработанная методика позволяет с достаточной точностью обосновывать целесообразность перехода на новый вид транспорта и рассчитывать экономический эффект от внедрения новых технологических решений. Для условий карьеров № 1, 3 и 4 ЧАО «Центральный горно-обогатительный комбинат» установлено, что по экономическому условию общий эффект от внедрения Патента Украины № 123290 за весь срок эксплуатации составит 3,8, 3,56 и 2 млн. долларов США соответственно, по технологическому условию – 51,22, 29,81, 41580000. долларов США, по экологическому – 781, 469, 676 тыс. долларов США.

**Ключевые слова:** горный транспорт, глубокий карьер, системный подход, метод аналогий, технологические параметры транспорта, открытая разработка месторождений полезных ископаемых, технико-экономические показатели

## **ABSTRACT**

**Purpose.** To develop a methodology for a sufficient justification of the parameters of prospective transport means for using in conditions of surface mining of mineral deposits at deep mines and calculation of economic effect from implantation of new technological solutions.

**The methods of** the research are the reviewing and systematizing the experience of using known transport means for surface mining operations, analyzing a number of approaches to their selection and theoretical substantiating of a new methodology taking into account the key technological parameters of surface mining and technical and economic indicators of mining transport systems.

**Findings.** The classification of transport means for using in conditions of surface mining of mineral deposits is presented according to the degree of prevalence, experience of use and implantation into industry. There are three groups of transport means: common, minor and prospective. Various approaches to the justification of the mining transport systems, taking into account the units of which include equipment from the various classification groups are proposed. A new methodology of assessing the benefits of new transport means, based on the methods of the system approach, analogies, technical-economic analysis and logical engineering solutions, is developed. There are three conditions for transition to a new transport mean: economic, technological and ecological.

**The originality is** the system connections between the conditions for the selection of transport means of surface mining and the degree of their influence on the parameters of mining operations. On the example of mines №. 1, 3 and 4 of PJSC "Central Mining and Processing Plant", the correlation of economic indicators of the new transport system and the technological parameters of transport means and their technical and economic indicators were established.

**Practical implications.** The developed method allows to justify with reasonable accuracy the expediency of transition to a new transport mean and to calculate the economic effect from implantation of new technological solutions. For conditions of mines №. 1, 3, and 4, PJSC "Central Mining and Processing Plant" established that under the economic condition, the overall effect of the implantation of Patent UA № 123290 for whole period of operation would be 3.8, 3.56 and 2 million US dollars, respectively, according to the technological condition - 51.22, 29.81, 41.58 million. US dollars, on ecological - 781, 469, 676 thousand US dollars.

**Keywords:** *mining, deep mine, system approach, method of analogies, technological transport parameters, surface mining of mineral deposits, technical and economic indicators*