

УДК 622.271

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2025-5-29>**ВИКОРИСТАННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ МОБІЛЬНИХ ДРОБАРНО-ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНИХ ПРИБОРІВ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ АДАПТИВНОСТІ ГІРНИЧИХ РОБІТ****Григор'єв Юліан Ігорович,**кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри відкритих гірничих робіт
Криворізького національного університету
ORCID ID: 0000-0002-1780-5759**Григор'єв Ігор Євгенійович,**кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри гірничої справи
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
ORCID ID: 0009-0006-2787-106X**Пилипчук Давид Ігорович,**аспірант
Криворізького національного університету
ORCID ID: 0009-0000-9719-286X**Доброносів Юрій Костянтинович,**кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри металургії та організації виробництва
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
ORCID ID: 0009-0001-9608-3386

У статті розглянуто науково-технічні основи використання спеціальних мобільних дробарно-перевантажувальних пристроїв як ключового елемента адаптивних транспортно-технологічних систем відкритих гірничих робіт. Вихідною передумовою дослідження є необхідність підвищення гнучкості та стабільності функціонування екскаваторно-автомобільних комплексів у складних гірничо-геологічних і техніко-економічних умовах сучасних кар'єрів. Проведено критичний аналіз розвитку систем внутрішньокар'єрного дроблення та конвеєрного транспорту, який показав обмежену адаптивність класичних схем до динамічних змін виробничих параметрів. Запропоновано концепцію впровадження мобільних дробарно-перевантажувальних агрегатів, що поєднують функції буферного накопичення, первинного дроблення та перевантаження гірничої маси. Методологічно дослідження спирається на комплекс загально-аналітичних, гірничотехнічних та розрахункових методів, які дозволили оцінити вплив впровадження спеціальних мобільних дробарно-перевантажувальних пристроїв на продуктивність, енергоефективність і організаційну стійкість комплексу. Порівняльне моделювання двох варіантів роботи екскаваторно-автомобільного комплексу – базового та з використанням мобільного перевантажувача – підтвердило, що інтеграція даних пристроїв забезпечує підвищення коефіцієнта використання екскаваторів, зменшення простоїв автосамоскидів і можливість оптимізації структури парку техніки без втрати продуктивності. Практичний результат полягає у створенні передумов для формування адаптивних схем відкритих гірничих робіт, здатних гнучко реагувати на зміни геометрії борту, параметрів рудного тіла та ринкових умов. Отримані результати визначають напрям подальших досліджень, пов'язаних із розробленням алгоритмів оптимального просторового переміщення розглянутих технічних засобів та їх інтеграцією у системи адаптивного керування гірничодобувними кластерами.

Ключові слова: мобільний дробарно-перевантажувальний пристрій, спеціальна гірничо-технічна екскаваторно-автомобільний комплекс, адаптивність, транспортно-технологічна система, відкриті гірничі роботи.

Hryhoriev Yulian, Hryhoriev Ihor, Pylypchuk Davyd, Dobronosov Yurii. Use of special mobile crushing and handling devices as a tool for increasing the adaptability of mining operations

The article considers the scientific and technical foundations of the use of special mobile crushing and reloading devices as a key element of adaptive transport and technological systems of open-pit mining. The initial premise of the study is the need to increase the flexibility and stability of the functioning of excavator-automobile complexes in the complex mining-geological and technical and economic conditions of modern open-pits. A critical analysis of the development of intra-pit crushing and conveyor transport systems has been carried out, which has shown the limited adaptability of classical schemes to dynamic changes in production parameters. A concept for the introduction

of mobile crushing and reloading units that combine the functions of buffer accumulation, primary crushing and reloading of the mining mass has been proposed. Methodologically, the study is based on a complex of general analytical, mining engineering and calculation methods, which allowed assessing the impact of the introduction of special mobile crushing and reloading devices on the productivity, energy efficiency and organizational stability of the complex. Comparative modeling of two variants of the excavator-automobile complex operation – basic and using a mobile loader – confirmed that the integration of these devices provides an increase in the utilization rate of excavators, a decrease in dump truck downtime and the possibility of optimizing the structure of the equipment fleet without loss of productivity. The practical result is to create prerequisites for the formation of adaptive schemes of open-pit mining operations, capable of flexibly responding to changes in the geometry of the side, ore body parameters and market conditions. The results obtained determine the direction of further research related to the development of algorithms for optimal spatial movement of the considered technical means and their integration into adaptive control systems for mining clusters.

Key words: mobile crushing and loading device, special mining equipment, excavator-automobile complex, adaptability, transport and technological system, open-pit mining operations.

Вступ. На сьогоднішній день відкрита розробка родовищ корисних копалин відбувається в умовах одночасного ускладнення гірничо-геологічних, техніко-економічних та екологічних вимог. Поглиблення кар'єрів, залучення до розробки руд із зниженим вмістом корисного компонента та посилення природоохоронних обмежень зумовлюють необхідність істотного зниження питомих витрат на транспортування гірничої маси та підвищення енергоефективності технологічних схем. За результатами численних досліджень, витрати на навантаження й переміщення порід у великих кар'єрах становлять до 40–50 % загальних експлуатаційних витрат, причому ця частка зростає зі збільшенням глибини розробки та довжини плеча транспортування [1].

Традиційний екскаваторно-автомобільний комплекс, що історично став «золотим стандартом» відкритих гірничих робіт, зберігає ключові переваги у вигляді високої мобільності, відносної простоти впровадження та здатності працювати за складної конфігурації борту. Водночас саме дискретний характер циклу «виймка – завантаження – транспортування – розвантаження» та жорстка взаємозалежність режимів роботи екскаватора й автосамоскидів формують вузьке місце усієї системи «кар'єр – транспорт – переробка». Значна частка часу витрачається на маневрування рухомого складу у зоні вибою, очікування під навантаженням, а також на ліквідацію наслідків неузгодженості продуктивності окремих ланок комплексу [2].

У цих умовах особливої актуальності набуває концепція адаптивних відкритих гірничих робіт, під якою доцільно розуміти здатність технологічної системи підтримувати цільові показники обсягів видобутку, якості рудопотоку, собівартості та безпеки при істотних коливаннях зовнішніх і внутрішніх факторів. Для досягнення такої адаптивності однієї лише оптимізації маршрутів руху автосамоскидів або модернізації окремих машин недостатньо; потрібні структурні рішення, що змінюють саму архітектуру транспортно-технологічної схеми [3].

Одним із таких рішень є впровадження спеціальних мобільних дробарно-перевантажувальних

пристроїв, які поєднують функції буферного бункера, первинної дробарки та перевантажувальної станції. Конструктивно такі агрегати виконуються на гусеничному або колісному шасі, мають приймальний бункер, високонадійний пластинчастий або стрічковий живильник, вузол дроблення та відвантажувальний орган для подачі гірничої маси на конвеєр чи в кузов автосамоскида. Їх розглядають як мобільні трансферні точки, що формують проміжну ланку між виймально-навантажувальними агрегатами та магістральними транспортними системами.

У цьому контексті метою статті є наукове обґрунтування використання спеціальних мобільних дробарно-перевантажувальних пристроїв як інструменту формування адаптивних транспортно-технологічних схем відкритих гірничих робіт та оцінка їх впливу на техніко-економічні й безпекові показники функціонування кар'єрів.

Аналіз досліджень та публікацій. У світовій практиці протягом останніх десятиліть інтенсивно розвиваються системи внутрішньокар'єрного дроблення та конвеєрування, які дозволяють частково або повністю замінити важкий автомобільний транспорт стаціонарними чи пересувними дробильними агрегатами та конвеєрними лініями. Водночас класичні схеми часто розглядаються як відносно «жорсткі» з погляду адаптивності: розміщення дробарок та траси конвеєрів задається на тривалий період, що обмежує можливості швидкої переналаштуваності системи при зміні гірничо-геологічних умов або кон'юнктури ринку [4, 5].

Попередні дослідження, присвячені застосуванню мобільних бункерів-перевантажувачів у складі екскаваторно-автомобільних комплексів, показали, що введення буферної ланки дозволяє суттєво зменшити простої екскаватора, вирівняти коефіцієнт заповнення кузовів та підвищити безпеку маневрування автосамоскидів у призабійному просторі. Однією з перших конструкцій подібних бункерів-дозаторів було технічне рішення, наведене на рис. 1.

Самохідний бункер-дозатор для обслуговування автосамоскидів розглянуто в патенті [6], де запропоновано конструкцію, що забезпечує кероване, дозоване та синхронне завантаження

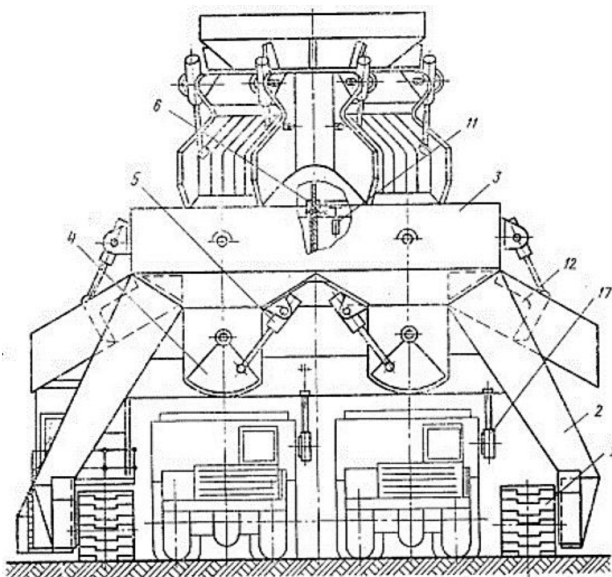


Рис. 1. Загальний вигляд бункера дозатора:
1 – візок гусеничного ходу; 2 – портал; 3 – акумулюючі ємності; 4, 8 – затвори;
5, 9 – приводи затворів; 6 – опори; 7 – пуски гірської маси; 10 – приймальна воронка;
12 – бічні пуски; 13 – бічні затвори; 14 – приводи бічних затворів

двох автомобілів одночасно із запобіганням переповненню приймальних ємностей (рис. 1). Над парою бункерних ємностей розміщується завантажувальний вузол лійкоподібної форми, нижня частина якого виконана у вигляді багатогранної обичайки з системою лотків. Кожен лоток оснащується індивідуальним приводним затвором, кількість яких відповідає числу попарно розташованих бункерних секцій.

Усередині самих ємностей встановлюються датчики рівня заповнення, сигнали від яких подаються на приводи затворів, що дає змогу автоматизувати процес припинення або відновлення подачі гірничої маси залежно від досягнутого рівня завантаження.

Наведений на рис. 2 перевантажувач являє собою самохідний гусеничний агрегат, змонтований на металевій рамі, на якій розташовано приймальний бункер із вбудованим живильником та конвеєрним трактом для подальшого транспортування гірничої маси. Над приймальним бункером встановлено підйомну платформу ножичного типу з перекидним кузовом, що приймає породу безпосередньо з автосамоскида і після підйому на необхідну висоту здійснює розвантаження у стаціонарний бункер перевантажувача, виконуючи функцію буферної ланки. На виході з бункера матеріал через живильник надходить на стрічковий конвеєр, який може бути обладнаний відвантажувальною стрілою для подачі породи на наступну ланку транспортної системи або у відвал. На рамі

також розміщено силову установку з гідросистемою приводу ходової частини, підйомного механізму та робочих органів, а також блок керування, що забезпечує маневреність перевантажувача в кар'єрному просторі та стабільність його роботи в різних режимах навантаження.

Логічним розвитком цієї ідеї є доповнення перевантажувальної функції операцією первинного дроблення безпосередньо в кар'єрі, що дає можливість не лише роз'єднати у часі й просторі цикли роботи екскаватора та транспорту, а й радикально змінити схему формування та транспортування рудопотоків.

Спеціальні мобільні дробарно-перевантажувальні пристрої здатні виконувати роль «адаптерів» між дискретним потоком автотранспорту і безперервними конвеєрними лініями, забезпечуючи гнучке перенаправлення потоків гірничої маси залежно від поточної гірничо-геологічної ситуації, стану бортів, графіка роботи переробних потужностей і вимог до якості сировини [7-8]. Зміна положення такого пристрою в межах робочої зони, варіювання режимів його роботи та комбінація з різними схемами складування і рекультивациі відкривають можливості для реалізації адаптивних сценаріїв розкриття й відпрацювання глибоких горизонтів без різкого зростання транспортного плеча.

Попри наявність зарубіжного досвіду використання мобільних дробарно-перевантажувальних станцій, у вітчизняній практиці відкритих гірничих робіт вони поки що залишаються епізодичним рішенням, а методичні підходи до їх проектування здебільшого орієнтовані на мінімізацію витрат при фіксованих умовах відпрацювання. Недостатньо дослідженим залишається саме аспект підвищення адаптивності гірничих робіт: здатність подібного комплексу підтримувати цільові показники видобутку та якості рудопотоку при зміні глибини кар'єру, геометрії борту, структури рудного тіла та ринкових параметрів.

Перевантажувальний пристрій, наведений на рис. 3, являє собою проміжну ланку між

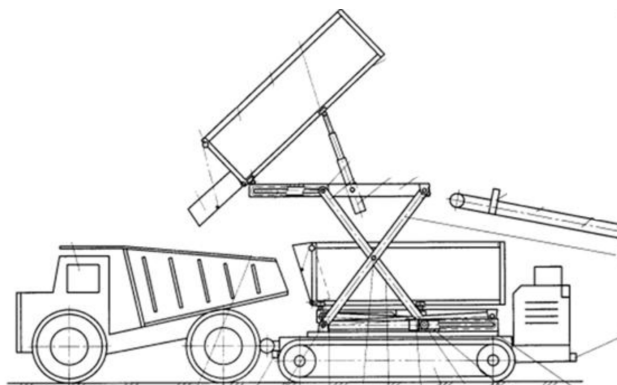


Рис. 2. Комплекс завантаження автосамоскидів з X-подібними тягам



Рис. 3. Екскаваторно-автомобільний комплекс, обладнаний спеціальним бункером-перевантажувачем

виймальною технікою та транспортом і оснащується бункером, корисний об'єм якого, як правило, у кілька разів (орієнтовно до 2,5 разів) перевищує місткість застосовуваних у кар'єрі автосамоскидів [9].

Гірнична маса безперервно надходить у цей бункер від механічної лопати й уже звідти дозвано передається до рухомого складу, що дає змогу розвести в часі цикли «виїмка – навантаження – транспортування» та перетворити екскаватор із елемента, жорстко прив'язаного до прибуття чергової машини, на відносно автономне джерело потоку гірничої маси. Фактично продуктивність лопати починає визначатися не наявністю вільного самоскида під навантаження, а лише залишковим обсягом бункера, який виконує роль буфера й згладжує коливання у роботі транспортної ланки. Розміщення бункера на гусеничному ході забезпечує високу маневреність і дає змогу оперативно змінювати його положення відповідно до зміщення фронту гірничих робіт, підтримуючи оптимальну схему під'їзду самоскидів і скорочуючи «холості» переміщення. У сукупності це підвищує адаптивність усього комплексу: з'являється можливість гнучко реагувати на зміну гірничо-геологічних умов, нерівномірність прибуття транспорту та тимчасові відмови окремих машин, чого значно важче досягти у традиційних системах з внутрішньокар'єрними дробарками та конвеєрними лініями, просторове розташування яких практично фіксоване.

Методи та методики дослідження. Методика дослідження спирається на комплекс загальнонаукових і спеціальних методів досліджень. На теоретичному етапі застосовано критичний аналіз, порівняння та узагальнення вітчизняних і зарубіжних публікацій, нормативних документів та патентних матеріалів щодо використання спеціального технічного забезпечення. На прикладному рівні використано розрахунково-аналітичні методи гірничотехнічних та транспортних розрахунків для визначення продуктивності,

тривалості циклів, завантаженості автопарку, паливно-енергетичних витрат і параметрів потоків гірничої маси для базових і альтернативних схем. Оцінювання ефективності впровадження мобільного бункера здійснювалося на основі техніко-економічного аналізу варіантів розвитку комплексу в умовах глибоких залізородних кар'єрів із використанням фактичних виробничих даних, статистичного аналізу показників безпеки та елементів експертного оцінювання. Інтерпретація результатів дослідження виконувалася за допомогою графоаналітичних методів щодо визначення впливу впровадження перевантажувача на продуктивність, економічні показники та рівень промислової безпеки.

Результати. В ході дослідження було виконано поетапне порівняння двох схем функціонування екскаваторно-автомобільного комплексу в типовому глибокому залізородному кар'єрі: традиційної (варіант 1), у якій екскаватор безпосередньо навантажує автосамоскиди, та альтернативної (варіант 2), де між виймальною машиною й транспортом введено мобільний бункер-перевантажувач. Для заданого річного вантажопотоку, довжини транспортного плеча й прийнятого режиму роботи спочатку визначається експлуатаційна продуктивність одного екскаватора у зміну, добу та за рік, після чого за річним завданням на видобуток розраховується необхідний робочий і інвентарний парк екскаваторів у кожній схемі. Далі було виконано оцінювання параметрів роботи автотранспорту: на основі складових тривалості рейсу (навантаження, розвантаження, маневри, очікування, рух по трасі) визначається час одного циклу самоскида, його змінна, добова та річна продуктивність, а також потрібна кількість машин з урахуванням коефіцієнта технологічної готовності. Порівняння отриманих показників дозволяє кількісно оцінити, наскільки включення мобільного бункера-перевантажувача підвищує завантаженість екскаваторів, зменшує простої автосамоскидів та дає змогу скоригувати структуру парку техніки без зниження цільового річного обсягу видобутку. Узагальнені числові результати цих розрахунків наведені в таблиці 1.

Отримані нами результати добре узгоджуються з результатами окремих зарубіжних досліджень, зокрема роботи [10], де вплив мобільного бункера-перевантажувача на ефективність екскаваторно-автомобільного комплексу аналізується у форматі трьох сценаріїв його впровадження. У першому сценарії розглядається підключення бункера до вже наявного парку автосамоскидів без зміни кількості машин; у другому – парк автосамоскидів цілеспрямовано скорочується до рівня, достатнього лише для повного завантаження екскаватора, що працює в парі з перевантажувачем;

Таблиця 1
Розрахункові показники екскаваторно-автомобільного комплексу глибокого кар'єру

Показник	Варіант 1 (базовий)	Варіант 2
Річний вантажопотік, м ³	10 300 000	10 300 000
Коефіцієнт використання екскаватора	0,7	0,9
Добова продуктивність екскаватора, м ³ /добу	11 452	17 178
Необхідна кількість робочих екскаваторів, од.	2,6	1,7
Час завантаження автосамоскида, с	206	90
Час маневрування, с	110	45
Час очікування під навантаженням, с	148	90
Повний цикл рейсу, с (хв)	1 454 (24,2)	1 215 (20,25)
Кількість рейсів автосамоскида за зміну, од.	22	28
Добова продуктивність автосамоскида, м ³ /добу	1 577,2	1 920
Необхідна кількість робочих автосамоскидів, од.	18,7	15,3
Кількість мобільних бункерів-перевантажувачів, од.	0	3

у третьому – автотранспортна ланка, навпаки, підсилюється шляхом збільшення кількості самоскидів до рівня, який дозволяє максимально реалізувати потенційну продуктивність комплексу. Показово, що в усіх трьох випадках моделювання фіксується позитивний техніко-економічний ефект, але з різним акцентом: у першому варіанті основним результатом стає зростання випуску гірничої маси приблизно на 26,4 % за рахунок інтеграції бункера в існуючу технологічну схему, що одночасно забезпечує зниження експлуатаційних витрат орієнтовно на 40%. Цей обережний підхід доцільний у ситуаціях, коли нарощування парку самоскидів неможливе, але є потреба підвищити продуктивність. Другий варіант демонструє, що довантаження системи за рахунок мобільного перевантажувача дозволяє вивести з експлуатації три автосамоскиди, зберігши при цьому невелике, але все ж позитивне зростання видобутку на рівні близько 4,2 %, тобто частково монетизувати підвищену ефективність за рахунок оптимізації структури парку машин. Третій сценарій, орієнтований на

інтенсивне нарощування виробництва, передбачає, навпаки, додаткове введення в роботу шести автосамоскидів, що в поєднанні з бункером-перевантажувачем приводить до різкого збільшення продуктивності комплексу (на 65,7 %) за рахунок скорочення простоїв, підвищення коефіцієнта використання вантажопідйомності та більш повного завантаження екскаватора. Таким чином, наведені в [10] результати переконливо демонструють, що мобільний бункер-перевантажувач може бути інструментом підвищення адаптивності системи – від консервативного підвищення ефективності без змін у парку техніки до агресивного сценарію нарощування виробництва зі свідомою реконфігурацією автотранспортної ланки.

Висновки. У статті обґрунтовано, що спеціальні мобільні дробарно-перевантажувальні пристрої доцільно розглядати як повноцінні елементи транспортно-технологічної системи кар'єру, які підвищують її здатність адаптуватися до змін гірничо-геологічних, організаційних та ринкових умов. Розглянута в роботі концепція спеціального мобільного дробарно-перевантажувального агрегату, який поєднує функції буферного бункера, первинного дроблення та перевантаження на конвеєр чи автотранспорт, дозволяє розірвати пряму залежність «екскаватор – самоскид», згладити нерівномірність надходження гірничої маси та створити гнучкі точки підключення до безперервних транспортних ліній. Кількісне порівняння варіантів організації роботи екскаваторно-автомобільного комплексу із залученням мобільних бункерів-перевантажувачів показало можливість або скорочення парку гірничотранспортного обладнання без втрати обсягів видобутку, або істотного приросту продуктивності за незмінної кількості машин, а також зменшення простоїв і підвищення ступеня використання виймально-навантажувальної техніки. Подальші дослідження доцільно спрямувати на уточнення робочих і технічних параметрів даних технічних засобів, вивченню їх надійності у тривалій експлуатації, розробленню алгоритмів їх оптимального розміщення в просторі кар'єру та включення задач керування спеціальними мобільними дробарно-перевантажувальними пристроями до загальної системи оптимізації режимів гірничих робіт на рівні гірничо-видобувного кластера.

ЛІТЕРАТУРА:

- Osanelo M., Paricheh M. In-pit crushing and conveying technology in open-pit mining operations: a literature review and research agenda. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2020. Т. 34, № 6. С. 430–457. DOI: 10.1080/17480930.2019.1565054
- Tavakoli Mohammadi M. R., Hashemi S. A., Moosakazemi S. F. Review of the in-pit crushing and conveying (IPCC) system and its case study in copper industry. *Proceedings of the First World Copper Congress*. 2011. 15 с.
- Григор'єв Ю., Луценко С., Григор'єв І., Рибалкіна І. Систематизація інструментів адаптації гірничих підприємств до змін економічного середовища. *Геотехнічна механіка*. 2024. Вип. 169. С. 171–179. URL: <http://jnas.nbu.gov.ua/article/UJRN-0001543007>.

4. Nunes R. A., Delboni H. Jr., de Tomi G., Infante C. B., Allan B. A decision-making method to assess the benefits of a semi-mobile in-pit crushing and conveying alternative during the early stages of a mining project. *REM – International Engineering Journal*. 2019. Т. 72, № 2. С. 285–291. DOI: 10.1590/0370-44672018720109
5. Babii K., Chetveryk M., Perehudov V., Kovalov K., Kiriia R., Pshenychnyi V. Features of using equipment for in-pit crushing and conveying technology on the open pit walls with complex structure. *Mining of Mineral Deposits*. 2022. Т. 16, № 4. С. 96–102. DOI: 10.33271/mining16.04.096
6. Самоходный бункер-дозатор для загрузки самосвалов : пат. 625993 СССР : МПК B65G 67/06 / В. И. Нестеренко, Е. Е. Новиков, И. С. Писаренко, А. Г. Скороход ; заявл. 25.10.1976 ; опубл. 30.09.1978, Бюл. № 36 № 2415913.
7. Abbaspour H., Drebenstedt C. Truck–shovel vs. in-pit crushing and conveying systems in open pit mines: a technical evaluation for selecting the most effective transportation system by system dynamics modeling. *Logistics*. 2023. Т. 7, № 4. С. 92. DOI: 10.3390/logistics7040092
8. Bernardi L., Kumral M., Renaud M. Comparison of fixed and mobile in-pit crushing and conveying and truck-shovel systems used in mineral industries through discrete-event simulation. *Simulation Modelling Practice and Theory*. 2020. Т. 103. Стаття № 102100. DOI: 10.1016/j.simpat.2020.102100
9. Zimmermann, E., Kruse, W. Mobile crushing and conveying in quarries – a chance for better and cheaper production. *Proceedings of the 8th International Symposium Continuous Surface Mining*. 2006. С. 481–487.
10. Nguyen, H. Determination of shovel–truck productivities in open-pit mines. 2019. URL: https://www.researchgate.net/publication/308305875_DETERMINATION_OF_SHOVEL_-TRUCK_PRODUCTIVITIES_IN_OPEN_-PIT_MINES

REFERENCES:

1. Osanloo, M., & Paricheh, M. (2020). In-pit crushing and conveying technology in open-pit mining operations: A literature review and research agenda. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 34(6), 430–457. <https://doi.org/10.1080/17480930.2019.1565054>
2. Tavakoli Mohammadi, M. R., Hashemi, S. A., & Moosakazemi, S. F. (2011). Review of the in-pit crushing and conveying (IPCC) system and its case study in copper industry. *Proceedings of the First World Copper Congress*, 15 p.
3. Hryhoriev, Y., Lutsenko, S., Hryhoriev, I., & Rybalkina, I. (2024). Systematyzatsiia instrumentiv adaptatsii hirnychykh pidpriemstv do zmin ekonomichnoho seredovyshcha [Systematization of adaptation tools for mining enterprises to changes in the economic environment]. *Heotekhnichna Mekhanika*, (169), 171–179. Retrieved from <http://jnas.nbu.gov.ua/article/UJRN-0001543007> [in Ukrainian].
4. Nunes, R. A., Delboni, H. Jr., de Tomi, G., Infante, C. B., & Allan, B. (2019). A decision-making method to assess the benefits of a semi-mobile in-pit crushing and conveying alternative during the early stages of a mining project. *REM – International Engineering Journal*, 72(2), 285–291. <https://doi.org/10.1590/0370-44672018720109>
5. Babii, K., Chetveryk, M., Perehudov, V., Kovalov, K., Kiriia, R., & Pshenychnyi, V. (2022). Features of using equipment for in-pit crushing and conveying technology on the open pit walls with complex structure. *Mining of Mineral Deposits*, 16(4), 96–102. <https://doi.org/10.33271/mining16.04.096>
6. Nesterenko, V. I., Novikov, E. E., Pisarenko, I. S., & Skorokhod, A. G. (1978). *Samokhodnyy bunker-dozator dlya zagruzki samosvalov* [Self-propelled bunker-dispenser for loading dump trucks] (Patent No. 625993, USSR, IPC B65G 67/06). Filed October 25, 1976; published September 30, 1978, Bulletin No. 36.
7. Abbaspour, H., & Drebenstedt, C. (2023). Truck–shovel vs. in-pit crushing and conveying systems in open pit mines: A technical evaluation for selecting the most effective transportation system by system dynamics modeling. *Logistics*, 7(4), 92. <https://doi.org/10.3390/logistics7040092>
8. Bernardi, L., Kumral, M., & Renaud, M. (2020). Comparison of fixed and mobile in-pit crushing and conveying and truck-shovel systems used in mineral industries through discrete-event simulation. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 103, 102100. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2020.102100>
9. Zimmermann, E., & Kruse, W. (2006). Mobile crushing and conveying in quarries – A chance for better and cheaper production. *Proceedings of the 8th International Symposium Continuous Surface Mining*, 481–487.
10. Nguyen, H. (2019). *Determination of shovel–truck productivities in open-pit mines*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/308305875_DETERMINATION_OF_SHOVEL_-TRUCK_PRODUCTIVITIES_IN_OPEN_-PIT_MINES

Стаття надійшла: 26.08.2024

Стаття прийнята: 21.09.2025

Опублікована: 10.11.2025

