

## ОРГАНІЗАЦІЯ РОБІТ З ВІДПРАЦЮВАННЯ НЕРУДНИХ РОДОВИЩ КРУТИМИ ВИЙМАЛЬНИМИ ШАРАМИ

В. Симоненко<sup>1\*</sup>, Л. Гриценко<sup>2</sup>, О. Черняєв<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Кафедра відкритих гірничих робіт, Національний гірничий університет, Дніпропетровськ, Україна

<sup>2</sup>Інститут з проектування гірничих підприємств, Національний гірничий університет, Дніпропетровськ, Україна

\*Відповідальний автор: e-mail [ipgpnmu@ukr.net](mailto:ipgpnmu@ukr.net), тел. +380562470215, факс: +380562470215

## ORGANIZATION OF NON-METALLIC DEPOSITS DEVELOPMENT BY STEEP EXCAVATION LAYERS

V. Symonenko<sup>1\*</sup>, L. Hrytsenko<sup>2</sup>, O. Cherniaiev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Opencast Mining Department, National Mining University, Dnipropetrovsk, Ukraine

<sup>2</sup>Institute for the Design of Mining Enterprises, National Mining University, Dnipropetrovsk, Ukraine

\*Corresponding author: e-mail [ipgpnmu@ukr.net](mailto:ipgpnmu@ukr.net), tel. +380562470215, fax: +380562470215

### ABSTRACT

**Purpose.** To determine rational technological scheme of extracting mineral resources in the steep excavation layer in non-metallic hard minerals quarries while delivering rock mass from the quarry to the surface processing complex by mobile conveyors' system with crushing complex.

**Methods.** For scientific, theoretical and practical studies we used analytical, graphical and statistical research methods.

**Findings.** Based on previous studies of non-metallic deposits systematization, we worked out a rational technological scheme for extracting mineral resources in the steep excavation layer in non-metallic quarries while delivering rock mass from the quarry to the surface processing complex by mobile conveyor's system with crushing complex. The results of these studies are reflected in identified dependences between parameters of the development system which allowed to determine the efficiency of utilizing the selected technological scheme of extracting mineral resources in the steep excavation layer.

**Originality.** New dependences between parameters of the development system in basic non-metallic quarries have been determined, such as: changes in the general mileage of a front loader related to productivity of quarries and the average distance transportation of minerals related to productivity of quarries.

**Practical implications.** The results of this research will be used for practical applications in the design of mining companies extracting raw materials for production of crushed stone.

**Keywords:** quarry of the first stage, steep excavation layer, crushing and sorting plant, mobile crushing unit, mobile transfer conveyor

### 1. ВСТУП

Розробка нових передових, удосконалених еколого- й енергозберігаючих технологій видобутку і переробки твердої нерудної мінеральної сировини при відкритому способі розробки родовищ нині набуває важливого значення для вітчизняної та світової науки і практики. Одним з напрямків таких технологій відкритої розробки зазначених родовищ є освоєння і впровадження у практичне виробництво технології відпрацювання корисної копалини – крутими виймальними шарами, що забезпечує ефективне ведення гірничих робіт з мінімальним коефіцієнтом розкриття, меншими відведеннями (за загальною площею) родючих земель та можливістю вже на початкових етапах освоєння

родовищ виконувати внутрішньокар'єрне складування відходів гірничого виробництва. При цьому, організація виконання видобувних робіт в кар'єрах при транспортуванні порід конвеєрними системами з попереднім роздільненням їх на пересувних дробильних вузлах, що забезпечує значне збереження природного екологічного стану навколишніх територій, ще недостатньо досліджена й висвітлена у науково-технічній літературі (Vertu & Pistocchi, 2003).

Особливої уваги при вирішенні поставленої мети заслуговують роботи, виконані під керівництвом відомих закордонних та вітчизняних науковців: Дребенштедта (Drebenstedt, Ritter, Suprun, & Agafonov, 2015), Жао (Zhao & Liu, 2013; Peng, Ji, Zhao, Ren,

2013), Лондоно (Londono, Knights, & Kizil, 2012), Гуменика (Gumenik, Lozhnikov, & Maevskiy, 2012), Горової (Gorova, Pavlychenko, Borysovs'ka, & Krups'ka, 2013) та інших.

В якості довідкових посібників були використані наступні джерела: журнал "Горная техника: каталог-справочник", книги компаній Metso Minerals "Дробление и сортировка" (Фінляндія) та Catterpillar "Добыча, транспортировка и переработка полезных ископаемых" (США), а також книга "Grundlagen der Ergbevegung" (Eumer, Oppermann, Redlich, & Schumann, 2007). У них подані загальні відомості про застосування нового гірничотранспортного обладнання на кар'єрах з видобутку нерудної мінеральної сировини з використанням конвеєрної доставки порід на поверхню та переробки її в кар'єрах на мобільних дробильно-сортувальних комплексах.

Але в наведених виданнях немає даних і опису організації відпрацювання корисної копалини в крутому виймальному шарі при конвеєрній доставці гірничої маси з урахуванням потрібних темпів пониження гірничих робіт.

## 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА

Дослідженнями (Simonenko, 2004; Simonenko & Gritsenko, 2014; Shustov & Dryzhenko, 2016), виконаними в Державному ВНЗ "НГУ", доведена доцільність поетапної розробки родовищ твердих нерудних корисних копалин з відпрацювання сировини крутими виймальними шарами. Зазначена технологія передбачає розподіл території кар'єрного поля на окремі етапи розробки. На першому етапі здійснюється розробка переважно за глибиною з мінімальним відпрацюванням робочого борту в горизонтальному напрямку. При цьому три борти в кар'єрному просторі посуваються до кінцевих контурів, тобто їх поступово погашають. Четвертий борт відпрацьовується за простягненням покладу або ж за довжиною кар'єрного поля. Він формується як тимчасово неробочий з результатом кутом укосу до 50°. Кар'єр першої черги (КПЧ) завершується при досягненні проектної глибини: на пластових покладах – до його підшви, на штокових (в основному магматичного генезису) до 100 м в залежності від розмірів покладу, гідрогеологічних умов, якості корисної копалини та ін.

На другому та інших етапах розробки родовищ (етапи виділяються на терміни до 5 років) гірничі роботи проваджуються лише на одному, робочому борті, який поступово посувається в горизонтальному напрямку за довжиною кар'єрного поля.

Виймання корисної копалини здійснюється у крутому виймальному шарі (КВШ) шляхом розробки порід від верхнього уступу до нижнього з горизонтальним посуванням фронту робіт на ширину КВШ 36–45 м. Тобто після відпрацювання мінеральної сировини по всьому фронту борта на зазначену ширину здійснюється перехід на нижче розташовані уступи. В роботі може знаходитися 1–3 горизонти. Після відробки порід по всій висоті борту на ширину КВШ виконується перехід на верхні добувні уступи для відпрацювання наступного виймального шару.

Розкриті породи складувалися з КПЧ в тим часо- вому приконтурному відвалі на незайнятій площі

кар'єрного поля. Надалі породи переміщуються у вироблений простір КПЧ згідно рекомендацій (Simonenko, 2004): сумісно технологічний та відвальний (з приконтурного відвалу) розкрив у внутрішній відвал.

Розробку нерудних родовищ, що розглядаються, за даними досліджень (Simonenko, 2004; Simonenko & Gritsenko, 2014) потрібно виконувати із застосуванням конвеєрного транспорту для подачі попередньо подрібненої корисної копалини до поверхневого переробного комплексу дробильно-сортувально-го заводу (ДСЗ). За цією технологією досягається екологічно безпечне та ресурсозберігаюче відпрацювання родовищ, значна частина яких розташована поблизу населених пунктів, громадських забудов та інших об'єктів. В кар'єрі функціонують: пересувний дробильний вузол (ПДВ), який обладнаний колосниковою решіткою відсортування негабаритних кусків породи; кілька пересувних конвеєрних перевантажувачів (ПКП); конвеєрний підіймач, який складається з кількох ставів і устанавлюють його в нахилений траншеї бокового борта або ж на спеціальних підтримуючих пілонах. Зазначені пілони змонтовані на міжступних площадках борта.

ПДВ з системою ПКП розташовані на концентраційних горизонтах через кілька (2–3) уступів. В одночасному відпрацюванні знаходяться від одного до трьох уступів у КВШ. Концентраційним горизонтом є нижній уступ, на якому ведеться відвантаження корисної копалини при відпрацюванні КВШ. По мірі пониження фронту гірничих робіт у КВШ необхідно переносити також і концентраційний горизонт. При цьому постає задача обґрунтування раціонального варіанту організації роботи по відпрацюванню уступів у взаємозв'язку з перенесенням за глибиною ПДВ і системи кар'єрних ПКП.

Досліджується два можливі варіанти організації гірничих робіт (Рис. 1):

– варіант I – з поступовим пересипанням порід корисної копалини на породоскатах з вищерозташованих горизонтів на нижні та на концентраційний горизонт (Рис. 1а);

– варіант II – з прямою доставкою порід по площадках і з'їздах з вищерозташованих горизонтів на концентраційний горизонт (Рис. 1б).

В обох варіантах організації гірничих робіт передбачається в якості виймально-навантажувально-транспортного обладнання застосування фронтальних колісних навантажувачів.

З початком відпрацювання корисної копалини в КВШ колісний навантажувач першого уступу групи виймає породи і переміщує їх до породоскату. Пороdosкат функціонує під укосом другого уступу за межею блоку підірваних порід цього горизонту. Після накопичення корисної копалини з першого уступу під укосом другого уступу виконується переміщення порід тими ж колісними навантажувачами з породоскату другого уступу під укіс третього до його породоскату. В подальшому колісні навантажувачі, перемістившись на третій уступ, виймають корисну копалину та доставляють її безпосередньо в бункер ПДВ. Після подрібнення порід гірничої маса за допомогою системи ПКП поступає на підіймальний конвеєр і подається ним до поверхневого комплексу ДСЗ для подальшої переробки.

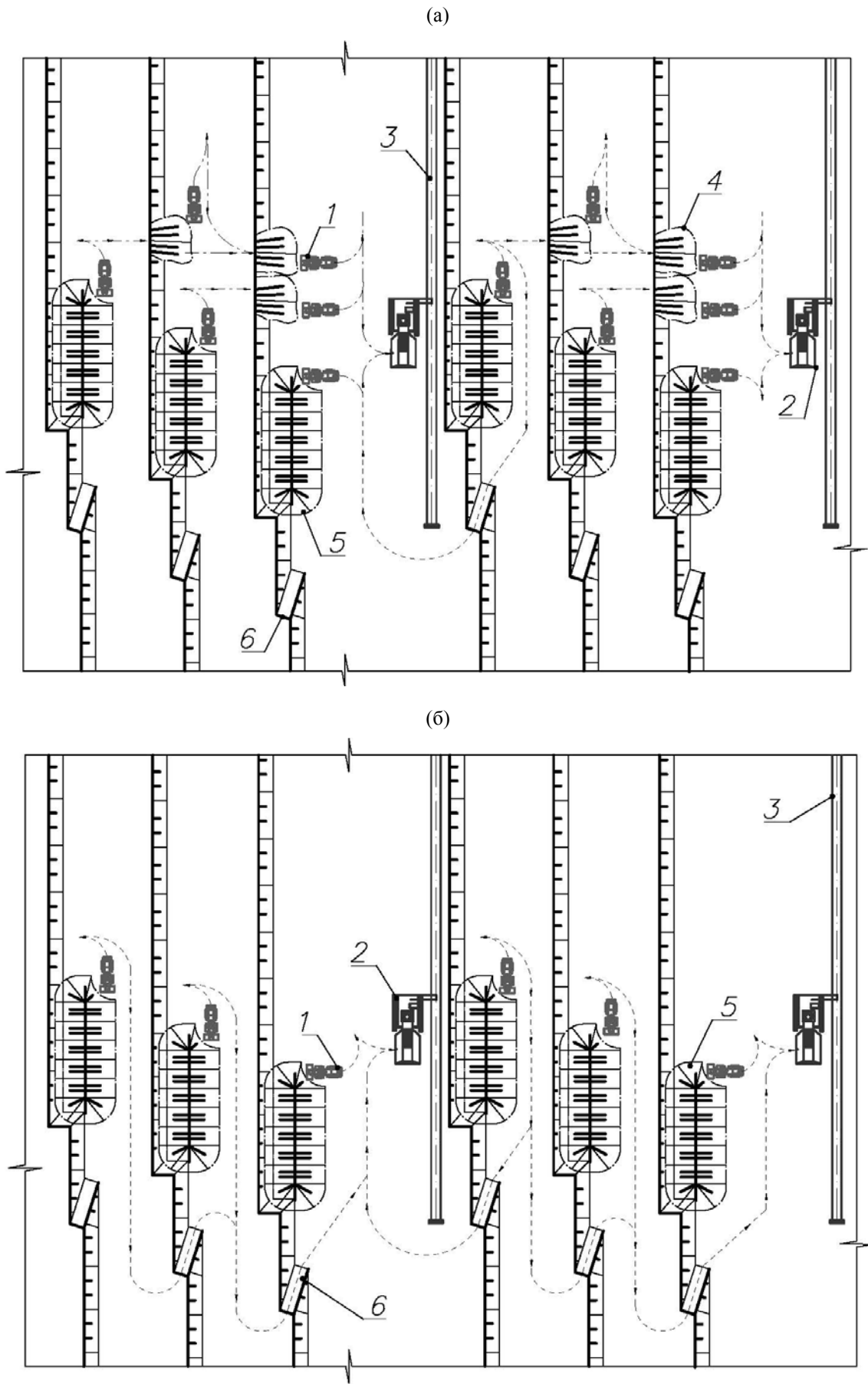


Рисунок 1. Відпрацювання родовищ твердих нерудних корисних копалин: (а) за варіантом I; (б) за варіантом II; 1 – колісний навантажувач; 2 – пересувний дробильний вузол; 3 – вібійний конвеєр; 4 – переєккавоана гірничча маса; 5 – розвал гірниччої маси; 6 – ковзні з їзди

Породи другого уступу подібним чином колісним навантажувачем по площадці цього уступу переміщується до породоскату під укіс третього уступу. Потім від зазначеного породоскату колісним навантажувачем гірнича маса подається в бункер ПДВ концентраційного горизонту аналогічно породам першого уступу.

Варіант I організації відпрацювання порід в КВШ реалізується наступним чином (Рис. 1а).

З вибою третього уступу корисна копалина колісними навантажувачами подається до бункера ПДВ. Після завершення відпрацювання першого уступу на ширину виймального шару 36 – 45 м по всьому фронту гірничих робіт на цьому горизонті колісні навантажувачі переміщуються на четвертий уступ, де виконується підготовка корисної копалини до виймання в межах КВШ. Відпрацювання та доставка корисної копалини до ПДВ виконується колісними навантажувачами.

Коли гірничі роботи на 2-му уступі будуть завершені й обладнання ПДВ та ПКП переміститься на площадку 6-го уступу, а колісні навантажувачі 2-го переводяться на 5-й, організація гірничих робіт по відпрацюванню КВШ здійснюється аналогічно з вищеописаним порядком. Тобто усі переміщення будуть здійснюватися по горизонтальним напрямкам з поуступним пересипанням порід по породоскатах на 4, 5 і 6-му уступах.

Варіант II організації робіт з відпрацювання порід в КВШ передбачає пряму доставку корисної копалини колісними навантажувачами до приймального бункера ПДВ від вибоїв 1, 2 і 3-го уступів (Рис. 1б). При цьому, транспортування порід виконується до бункера ПДВ, розташованого на концентраційному горизонті.

Після відпрацювання порід в КВШ на 1 і 2-му уступах гірничі роботи переміщують відповідно на 4 і 5-й уступи. З їх вибоїв корисна копалина доставляється по площадках і з'їздах 4 і 5-го уступів на 3-й уступ до ПДВ. Після відпрацювання першої групи уступів концентраційний горизонт переноситься із 3-го уступу на 6-й. До ПДВ на 6-му уступі гірнича маса з вибоїв 4, 5 і 6-го горизонтів доставляється аналогічно з вищеописаною організацією.

Для параметрів 4-х типів базових кар'єрів нерудних корисних копалин (Simonenko, Mostyka, & Chernyayev, 2002) розрахована середня відстань перевезення порід колісними навантажувачами та їх загальний пробіг в вантажному напрямку (Рис. 2, 3).

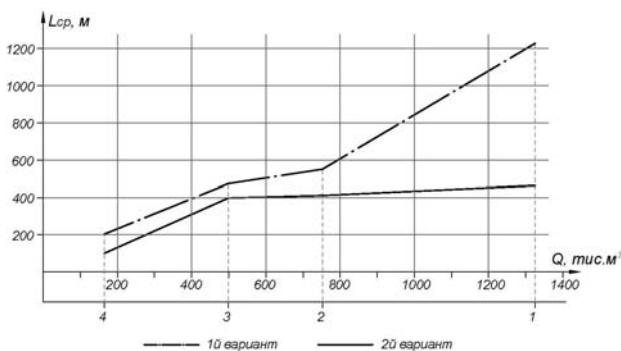


Рисунок 2. Графік зміни середньої відстані транспортування корисної копалини від вибою до пересувного дробувзла на базових нерудних кар'єрах

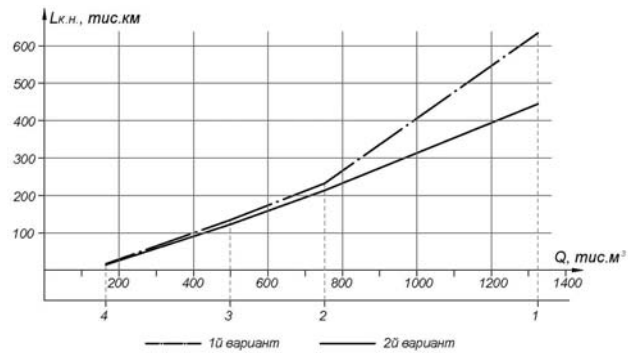


Рисунок 3. Графік зміни пробігу колісного навантажувача від вибою до пересувного дробувзла на базових нерудних кар'єрах

### 3. ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень можна стверджувати, що впровадження на нерудних кар'єрах технологічної схеми із застосуванням породоскатів та виконанні виймально-транспортних робіт колісними навантажувачами дозволить суттєво зменшити витрати на транспортування корисної копалини від вибою до пересувного дробильного вузла.

Середня відстань переміщення гірничої маси від вибою до ПДВ у варіанті 1 на кар'єрах 1 і 2-го типів менша в 1.4 і 2.6 разів відповідно, а на кар'єрах 3 і 4-го типів – у 1.2 і 2.0 рази (Рис. 2).

Річний пробіг колісних навантажувачів у вантажному напрямку (від вибою до ПДВ) при реалізації варіанту 2 буде більшим на 6.5 і 29 % в кар'єрах 1 і 2-го типів та 9.5 і 1.7 % в кар'єрах 3 і 4-го типів відповідно (Рис. 3). Отже, витрати паливо-мастильних матеріалів колісними навантажувачами при організації гірничих робіт за варіантом 1 на нерудних кар'єрах будуть значно меншими.

З урахуванням відомого співвідношення, що в собівартості одиниці продукції транспортні роботи досягають 70%, можна беззаперечно стверджувати про переваги застосування технологічної схеми за варіантом I.

У Державному ВНЗ “НГУ” розроблено робочий проект відпрацювання Одарівського родовища мігматитів, у якому обгрунтовано та впроваджено технологічну схему ведення гірничих робіт з використанням породоскатів та сучасного мобільного обладнання (колісних навантажувачів, пересувних дробильних вузлів, міжступних конвеєрних перевантажувачів), і встановлено крок перенесення концентраційного горизонту за економічними показниками, що становить 24 м. Це забезпечує зменшення витрат на транспортування 1 т корисної копалини на 70% в порівнянні з відпрацюванням родовища за варіантом II.

### ВДЯЧНІСТЬ

Дана робота виконана в рамках розробки робочого проекту відпрацювання Одарівського родовища мігматитів, розробленого за госпдоговірною тематикою №110027, виконаною Інститутом з проектування гірничих підприємств Державного ВНЗ “НГУ”, а також у рамках виконання науково-дослідних робіт за держ-

бюджетною тематикою “Розробка технологічних, управлінських рішень, нормативної документації, системи екологічного моніторингу щодо природоохоронної діяльності гірничих підприємств” (№ держреєстрації 0112U000875) та “Розробка екологічнобезпечних технологій ведення гірничих робіт з урахуванням потреб в ліквідації та консервації гірничодобувних підприємств” (№ держреєстрації 0115U002301).

## REFERENCES

- Berry, P., & Pistocchi, A. (2003). A Multicriterial Geographical Approach for the Environmental Impact Assessment of Open-Pit Quarries. *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, 17(4), 213-226. <https://doi.org/10.1076/ijsm.17.4.213.17476>
- Drebenstedt, C., Ritter, R., Suprun, V., & Agafonov, Y. (2015). Cyclical-and-Continuous Method and in-Pit Crushing Operation Experience in the World. *Gornyi Zhurnal*, 81-87. <https://doi.org/10.17580/gzh.2015.11.17>
- Eumer, W., Oppermann, S., Redlich, R., & Schumann, M. (2007). *Grundlagen der Ergbewegung*. Bonn: Kirrschbaum Verlag GmdH.
- Gorova, A., Pavlychenko, A., Borysovs'ka, O., & Krups'ka, L. (2013). The Development of Methodology for Assessment of Environmental Risk Degree in Mining Regions. *Mining of Mineral Deposits*, 207-209. <https://doi.org/10.1201/b16354-38>
- Gumenik, I., Lozhnikov, A., & Maevskiy, A. (2012). Methodological Principles of Negative Opencast Mining Influence Increasing due to Steady Development. *Geomechanical Processes during Underground Mining: School of Underground Mining 2012*, 45-49. <https://doi.org/10.1201/b13157-9>
- Londoño, J.G., Knights, P.F., & Kizil, M.S. (2013). Modelling of In-Pit Crusher Conveyor alternatives. *Mining Technology*, 122(4), 193-199. <https://doi.org/10.1179/1743286313y.0000000048>
- Peng, C., Ji, D., Zhao, L., & Ren, F.H. (2013). Study on Limit Height and its Stability of Open-Pit Dump Based on Base-ment Bearing Mechanism. *Applied Mechanics and Materials*, (405-408), 177-181. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.405-408.177>
- Simonenko, V. (2004). Osobennosti oblasti primeneniya na nerudnykh kar'yerakh tekhnologii poetapnoy razrabotki s vnutrikar'yernym skladirovaniem otkhodov gornogo proizvodstva. *Razrabotka Rudnykh Mestorozhdeniy*, (25), 150-153.
- Simonenko, V., & Gritsenko, L. (2014). Otsinka tekhnologii vidpratsiuvannia nerudnykh kar'ieriv z pidtrymanniam bezpeky v zmenshenii sanitarno-zakhysnii zoni. *Metallurgicheskaya i Gornorudnaya Promyshlennost'*, (1), 80-85.
- Simonenko, V., Mostyka, A., & Chernyaev, A. (2002). Sistematizatsiya granitnykh i kamennykh kar'yerov dlya issledovaniya resursosberegayushchey tekhnologii ikh razrabotki. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (27), 47-51.
- 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>
- Zhao, L., & Liu, M. (2013). Operation and Maintenance of Coal Conveying System Screening and Crushing Coal Machinery in Thermal Power Plant. In *International Asia Conference on Industrial Engineering and Management Innovation (IEMI2012) Proceedings*, 731-740. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-38445-5\\_75](https://doi.org/10.1007/978-3-642-38445-5_75)

## ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

**Мета.** Визначити раціональну технологічну схему відпрацювання гірських порід у крутому виймальному шарі на нерудних кар'єрах твердих (скельних) корисних копалин при доставці гірничої маси з кар'єра до поверхневого переробного комплексу системою внутрішньокар'єрних пересувних конвеєрів з дробильним вузлом.

**Методика.** Для отримання наукових теоретичних та практичних досліджень застосовувалися аналітичний, графічний та статистичний методи досліджень.

**Результати.** На основі проаналізованих даних із систематизації нерудних родовищ було проведено дослідження з визначення раціональної технологічної схеми відпрацювання корисної копалини у крутому виймальному шарі на нерудних кар'єрах твердих корисних копалин (на основі базових кар'єрів) при доставці гірничої маси з кар'єра до поверхневого переробного комплексу системою внутрішньокар'єрних пересувних конвеєрів з дробильним вузлом. Результати наведених досліджень відображені у встановлених залежностях між параметрами системи розробки, на основі яких визначено ефективність застосування обраної технологічної схеми відпрацювання гірських порід у крутому виймальному шарі.

**Наукова новизна.** Встановлено нові залежності між параметрами системи розробки на базових нерудних кар'єрах, а саме: зміни загального пробігу колісного навантажувача від виробничої потужності підприємства та середньозваженої відстані транспортування корисної копалини від виробничої потужності підприємства.

**Практична значимість.** Отримані результати наведених досліджень будуть використовуватись для практичного застосування під час проектування гірничих підприємств із видобутку сировини для виготовлення щебе-невої продукції.

**Ключові слова:** кар'єр першої черги, крутий виймальний шар, дробильно-сортувальний завод, пересувний дробильний вузол, пересувний конвеєрний перевантажувач

## ABSTRACT (IN RUSSIAN)

**Цель.** Определить рациональную технологическую схему отработки горных пород в крутом выемочном слое на нерудных карьерах твердых (скальных) полезных ископаемых при доставке горной массы с карьера к поверхностному перерабатывающему комплексу системой внутрикарьерных передвижных конвейеров с дробильным комплексом.

**Методика.** Для получения научных теоретических и практических исследований применялись аналитический, графический и статистический методы исследований.

**Результаты.** На основе проанализированных данных по систематизации нерудных месторождений было проведено исследование по определению рациональной технологической схемы отработки полезного ископаемого в крутом выемочном слое на нерудных карьерах твердых полезных ископаемых (на основе базовых карьеров) при доставке горной массы с карьера к поверхностному перерабатывающему комплексу системой внутри-карьерных передвижных конвейеров с дробильным узлом. Результаты приведенных исследований отражены в установлении зависимостей между параметрами системы разработки, на основе которых определена эффективность применения выбранной технологической схемы отработки горных пород в крутом выемочном слое.

**Научная новизна.** Установлены новые зависимости между параметрами системы разработки на базовых нерудных карьерах, а именно: изменение общего пробега колесного погрузчика от производственной мощности предприятия и средневзвешенного расстояния транспортировки полезного ископаемого от производственной мощности предприятия.

**Практическая значимость.** Полученные результаты приведенных исследований будут использоваться для практического применения при проектировании горных предприятий по добыче сырья для изготовления щебеночной продукции.

**Ключевые слова:** карьер первой очереди, крутой выемочный слой, дробильно-сортировочный завод, передвижной дробильный узел, передвижной конвейерный перегружатель

## ARTICLE INFO

Received: 18 August 2016

Accepted: 30 November 2016

Available online: 30 December 2016

## ABOUT AUTHORS

Volodymyr Symonenko, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Opencast Mining Department, National Mining University, 19 Yavornytskoho Ave., 5/39, 49005, Dnipropetrovsk, Ukraine. E-mail: [ipgpnmu@ukr.net](mailto:ipgpnmu@ukr.net)

Leonid Hrytsenko, Senior Researcher of the Institute for the Design of Mining Enterprises, National Mining University, 19 Yavornytskoho Ave., 7/408a, 49005, Dnipropetrovsk, Ukraine. E-mail: [l\\_h87@ukr.net](mailto:l_h87@ukr.net)

Oleksii Cherniaiev, Senior Researcher of the Institute for the Design of Mining Enterprises, National Mining University, 19 Yavornytskoho Ave., 7/408a, 49005, Dnipropetrovsk, Ukraine. E-mail: [chernyaev\\_aleksey82@mail.ua](mailto:chernyaev_aleksey82@mail.ua)