

© Н.Д. Давіденко<sup>1</sup>, О.О. Анісімов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ДОВЖИНИ ТРАНСПОРТУВАННЯ ГІРНИЧОЇ МАСИ ПРИ ПОГЛИБЛЕННІ КАР'ЄРУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ КРУТОПОХИЛИХ ТРАНШЕЙ

© N. Davidenko<sup>1</sup>, O. Anisimov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

## STUDYING THE CHANGE IN THE LENGTH OF ROCK MASS TRANSPORTATION WHEN DEEPENING A PIT USING STEEPLY INCLINED TRENCHES

**Мета.** Дослідження впливу складових траси розкривних виробок на відстань транспортування при відкритій розробці нерудних родовищ.

**Методологія.** Аналіз існуючих трас розкривних виробок та побудова графічних залежностей складових з урахуванням збільшення ухилу з'їздів, в зв'язку з впровадженням нових типів транспортного обладнання.

**Результати.** Проведено аналіз розкривних трас діючих нерудних кар'єрів, що дозволило виявити особливості впливу складових траси розкривних виробок на відстань транспортування, при застосуванні автомобільного транспорту в кар'єрах. Впровадження крутих траншей з ухилом 20–45% скорочує відстань транспортування по похилій трасі кар'єру в межах зміни ухилу від 10 до 35% на 10–25%; а подальше збільшення ухилу суттєво не впливає на відстань транспортування. При встановленні довжини транспортування, при застосуванні крутопохилих з'їздів необхідно враховувати, що з підвищенням величини ухилу слід підвищувати розмір коефіцієнту подовження траси.

Встановлено, що висота уступів впливає на відстань транспортування та отримані залежності коефіцієнту розвитку траси від висоти уступів на кар'єрах.

**Наукова новизна.** Встановлені залежності між складовими автомобільної траси в кар'єрі та зроблена оцінка їх впливу на відстань транспортування. Впровадження крутих траншей дозволяє значно скоротити відстань транспортування в кар'єрі, одночасно з цим значно підвищується вплив складових траси виробок (ділянок примикання, ухили, повороти) на відстань транспортування гірничої маси при поступовому збільшенні глибини кар'єрів.

**Практичне значення.** Отримані результати дозволили встановити коефіцієнти подовження траси, розкривних виробок при підвищенні ухилу в разі застосування нових типів рухомого складу автотранспорту. Обґрунтовуючи трасу виробок, необхідно приділяти увагу параметрам різних складових траси щоб забезпечити ефективність роботи транспорту.

**Ключові слова:** автосамоскиди, круті траншеї, з'їзди, ухили, коефіцієнти подовження траси.

**Вступ.** Аналіз чинників впливу на коефіцієнт подовження траси розкривних виробок. Розкриття родовища – багатоваріантне комплексне техніко-економічне завдання в якому значна частина чинників не піддаються кількісній оцінці. Окрім того, завдання може бути вирішене тільки з урахування його динамічного характеру, у зв'язку з тим, що система розкриття постійно розвивається

під час усього періоду існування кар'єру і потребує неодноразові реконструкції. Для того щоб розглядати можливі варіанти першочергового розташування розкривних виробок і переміщення фронту гірничих робіт, повинні бути вирішені питання розташування поверхневого комплексу гірничого підприємства (відвалів, виробничих споруд, шляхів та інше), а також зон впливу промислових об'єктів на довкілля.

При встановленні місця вводу траси в кар'єрі, конфігурації транспортних комунікацій встановлюються основні її параметри: ухили, радіуси поворотів, форми примикання до робочих уступів, довжина траншеї, довжина площадок примикання, та інше.

Окрім того, проєктувальники повинні, по мірі відробки запасів родовища вирішити питання облаштування стаціонарної траси, її розміщення в межах кар'єрного поля.

В обов'язковому порядку повинні бути обґрунтовані всі можливі варіанти розкриття пов'язані з розвитком фронту гірничих робіт, встановлені: пропускна та провізна здатність транспортних комунікацій та наведені плани траси виробок на характерні періоди існування кар'єру (початок експлуатації, освоєння проєктної потужності та інше).

Як відомо при застосуванні автомобільного транспорту більшість родовищ розкривається внутрішніми або комбінованими траншеями в яких розміщуються основні автодороги між робочими горизонтами, пунктами прийому корисної копалини та відвалами. Дороги, які розташовані на робочих горизонтах та відвалах зводяться сполученими.

При використанні мобільного транспорту з метою скорочення внутрішньої довжини транспортування застосовують тимчасові та ковзні з'їзди, що забезпечує швидкий доступ до корисної копалини, відстань між тимчасовими з'їздами, в залежності від довжини фронту на уступі, приймається 50–150 м, термін служби з'їздів 6–12 місяців.

Автодороги різняться, в залежності від призначення: характеристиками, ухилом, шириною, радіусом закруглення, типом дорожнього покриття.

Ухил доріг залежить від типу автомобільного транспорту, і, при використанні поширеного типу, складає 6,0–8,0%, а при використанні дизель-тролейвозів, троллейвозів, гусеничних самоскидів та шарнірно-зчленованих автосамоскидів до 15–45%; радіуси кривих складають 20–60 м. При розрахунках довжини транспортування по основній транспортній магістралі використовують вираз:

$$L_{mp} = \frac{1000H}{i_k K_m}, \text{ м}, \quad (1)$$

де:  $H$  – глибина кар'єру, м;  $i_k$  – керівний ухил, ‰;  $K_m$  – коефіцієнт розвитку траси.

Запровадження на кар'єрах шарнірно-зчленованих та гусеничних самоскидів дозволяє значно підвищити ухил доріг. В цьому випадку для розкриття горизонтів є можливість застосовувати «круті» траншеї, що зменшує відстань транспортування та обсяг гірничо-капітальних робіт.

Термін “крута траншея” при відкритих гірничих роботах отримав поширення в технічній літературі в 40-х роках минулого століття.

Поява цього терміну на гірничих підприємствах пов'язана із застосуванням на відкритих розробках конвеєрного транспорту, в першу чергу, для транспортування вугілля на розрізах, а в подальшому і для транспортування інших видів корисної копалини.

Як відомо, кут нахилу траншей для розміщення конвеєрних ставів складав 15–17 градусів (ухил до 25%), в той час, як інші види транспорту долали ухили в 2%...8%.

В сьогоденні термін «крута траншея» застосовується до розкривних виробок при використанні на кар'єрах не тільки конвеєрного транспорту або скіпових підйомників, але і при застосуванні нових типів автосамоскидів, поширення яких набирає обертів на гірничих підприємствах. Це, в першу чергу, автосамоскиди типу шарнірно-зчленованих самоскидів (ШЗС) різних модифікацій, які долають ухили до 25...30% і гусеничні самоскиди, які по ствердженню деяких фірм-виробників, здатні долати ухили до 45% і більше відсотків.

На рис. 1 наведені графіки теоретичної залежності довжини звичайної траси (1) від керівного ухилу та її зменшення при застосуванні крутих траншей (2).

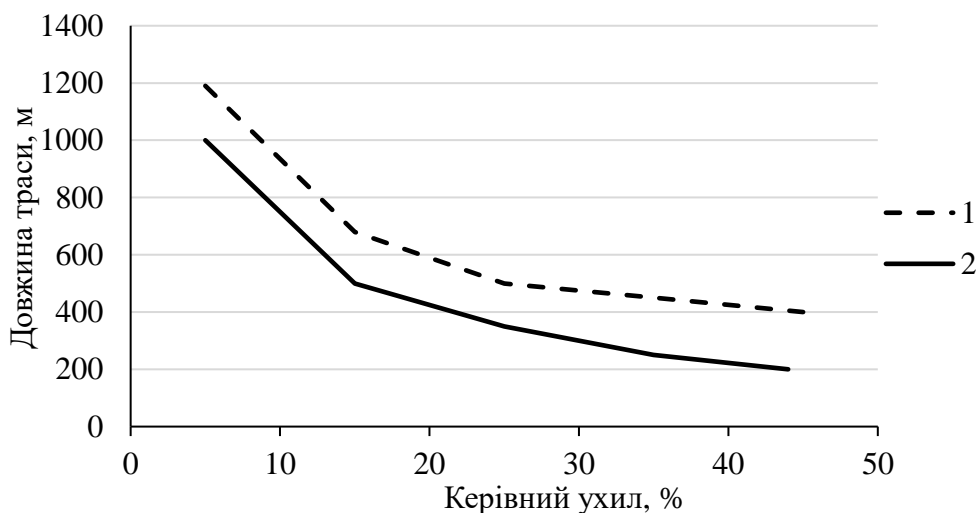


Рис. 1. Залежність довжини траси від керівного ухилу:

$$1 - L_{mp} = f(i) ; 2 - L_{mp}^{ck} = f(i)$$

Як видно, найбільш суттєво скорочення довжини транспортування при крутій траншеї (2) при зміні величини ухилу спостерігається в межах 10...35%, подальше його збільшення впливає (в межах 5–7%) на скорочення довжини транспортування.

У виразі (1) самою невизначеною складовою є коефіцієнт розвитку (подовження) траси –  $K_T$ . Він суттєво впливає на довжину траси кар'єру. При обґрунтуванні розміру коефіцієнта  $K_T$ , більшість авторів рекомендує враховувати конструкцію пунктів примикання стаціонарних з'їздів до сполучених доріг робочих горизонтів.

В цьому випадку в першу чергу треба враховувати форму траси. При простій формі сполучені дороги примикають до з'їздів на горизонтальних або похилих (ухил 2,0...4,0%) вставках (майданчиках) довжиною 20...40м. При петльовій формі траси та примиканні до основного з'їзду на петлі, яка виконана в формі серпантина треба робити додаткові горизонтальні вставки. Окрім того, в випадку коли на неробочому борту кар'єру маємо затяжний спуск для забезпечення безпеки руху на ньому, через 500...600 метрів необхідно передбачати майданчики з ухилом не більше 2,0% і довжиною не менше 50м.

В пунктах примикання к вибійним автодорогам з'їздів на робочому борту кар'єру необхідно робити горизонтальні вставки довжиною не менше суми радіусу повороту дороги та ширини робочої площадки. Таким чином, в існуючій літературі коефіцієнт подовження трас залежить від виду траси - проста або складна (петльова); з одностороннім примиканням чи двостороннім; на якому борту кар'єру розташована - на робочому чи не робочому, та інше. Тому розмір коефіцієнтів подовження траси змінюється від 1,07...1,12 до 1,4...2,0. Окрім того ніде не враховуються висоти уступів, які в значній мірі впливають на кількість робочих горизонтів в кар'єрі та пунктів примикання до основної траси. Свого часу деякі вчені (Васильєв М.В., Хохряков В.С., Ржевський В.В.) [1–3] стверджували, що коефіцієнт подовження траси слід збільшувати разом із збільшенням розміру ухилу дороги, довжини майданчиків на уступах, мінімального радіусу повороту дороги, висоти робочої зони та зменшенням розмірів кар'єру в плані.

В роботах українських вчених Симоненка В.І. [4] та Черняєва О.В. [5] на базі оцінки біля трьохсот кар'єрів України, які розробляють нерудні корисні копалини встановлено, що 85% із них мають річну продуктивність в межах 115...800 тис м<sup>3</sup>, а кінцеву глибину – 80...110 м. Ця обставина дає можливість розглядати питання зміни показників траси виробок кар'єру в межах глибини його в 100 м. Аналіз повздовжнього профілю автодоріг в кар'єрах розглянутої групи свідчить, що більшість з них мають горизонтальні майданчики примикання майже на всіх, в тому числі і на непрацюючих уступах. Розвиток та формування трас були розглянуті в роботах [6–8].

Необхідно підтвердити твердження вчених відносного зростання  $K_m$ , при підвищенні ухилу траси; встановити розмір  $K_m$  для нерудних родовищ в прийнятних умовах розробки. Було розглянуто декілька варіантів зміни довжини траси виробок при глибині кар'єру – 100 м з урахуванням вищенаведених рекомендацій.

В цьому випадку вираз (1) можна записати таким чином:

$$L_{mp} = \frac{1000H}{i_k} + (n_1l_1 + n_2l_2 + n_3l_3), \text{ м}, \quad (2)$$

де  $n_1, n_2, n_3$ , – кількість майданчиків примикання горизонтів, майданчиків безпеки та петель розвороту;  $l_1, l_2, l_3$ , – відповідно довжина примикання горизонтів, майданчиків безпеки та петель розвороту.

Вираз (2) має дві складові. Перша характеризує протяжність траси з керівним ухилом, що дає можливість встановити зміни довжини похилої частини

траси при зміні керівного ухилу (рис. 2). Друга складова – відстань транспортування по перерахованим майданчикам, яка не залежить від розмірів керівничого ухилу. Ця складова залежить від висоти уступів та розмірів майданчиків примикання, безпеки та довжини петель розвороту.

В роботі було встановлено коефіцієнти розвитку траси в залежності від розміру похилу та при найбільш поширених висотах уступів в прийнятих межах глибини нерудних кар'єрів (табл.).

Таблиця

Коефіцієнт подовження траси

Висота уступів, м	Ухил, %			
	8	15	30	45
20	1,06	1,12	1,24	1,36
15	1,13	1,18	1,36	1,54
12	1,14	1,21	1,42	1,63
10	1,18	1,27	1,54	1,81
Середній	1,13	1,20	1,39	1,58

На рис. 2 показана залежність  $K_m$  від ухилу траси та при різних висотах уступів.

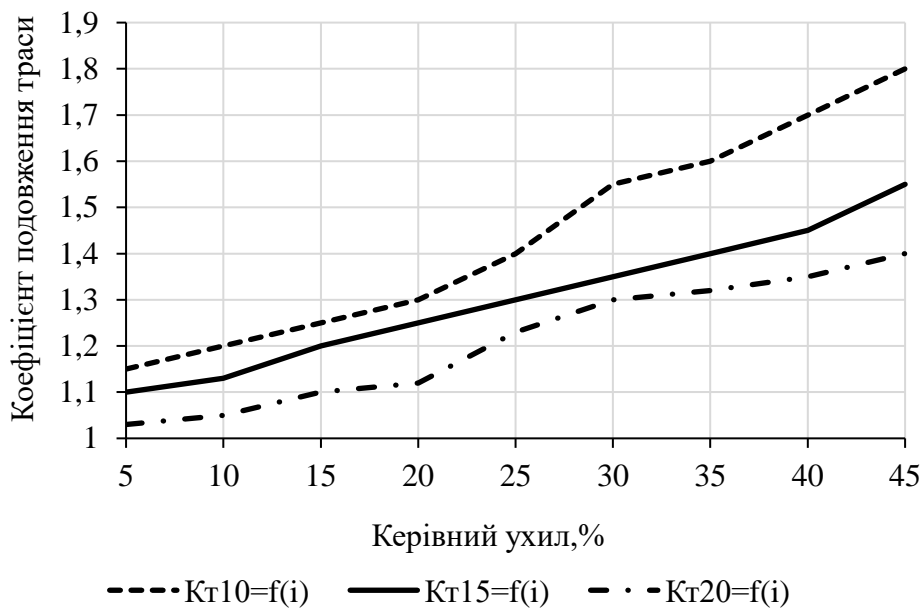


Рис. 2. Коефіцієнт подовження траси в залежності від керівного ухилу траси при висоті уступів 10, 15 та 20 м

Як видно з графіку (див. рис. 2),  $K_m$  при збільшенні ухилу дороги має тенденцію до збільшення. З цього слід зробити висновок, що при збільшенні ухилу складових траси суттєво впливають на довжину транспортування по борту кар'єру, особливо враховуючи зріст їхньої кількості при зменшенні висоти уступів.

На рис. 3 наведено, як змінюється відстань транспортування традиційно використовуваного коефіцієнту подовження траси  $K_m$ , а також отриманих значень  $K_{my}$ , (з урахуванням змін висоти уступів) при зміні керівного ухилу  $i$  (%).

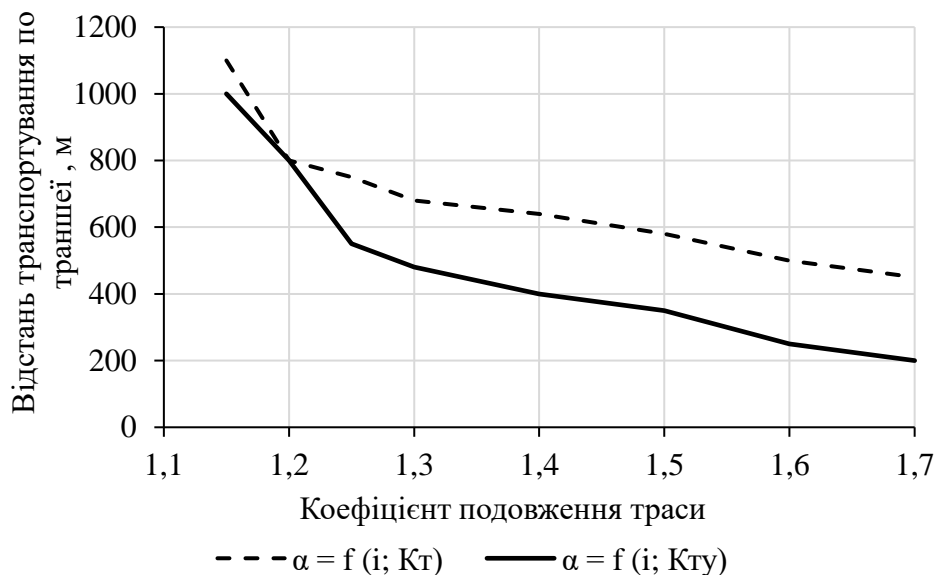


Рис. 3. Графіки відстані транспортування по траншеї ( $L_m$ ) в залежності від показників коефіцієнту подовження траси ( $K_m$ ) з урахуванням керівного ухилу ( $i$ )

Згідно з розглянутих залежностей розмір коефіцієнта подовження траси суттєво впливає на її довжину, особливо при ухилах більш 15%. Різниця в отриманих результатах складає в 1,35...2,2 рази більше при збільшенні величин  $K_T$  разом із зростанням ухилу.

Таким чином, при встановленні довжини транспортування, при застосуванні крутопохилих з'їздів необхідно враховувати, що з підвищенням величини ухилу слід підвищувати розмір коефіцієнту подовження траси. При встановленні розміру  $K_m$  необхідно враховувати висоту та кількість уступів на кар'єрі, або їх кількість в робочій зоні глибокого кар'єру.

Розглянувши характер змін  $K_m$  при розробці глибоких кар'єрів (рис. 4) можна зробити висновок, що він з підвищенням глибини має теж тенденцію до зростання (зі 100 м до 600 м) на 40%. При встановленні графіка прийнято ухил  $i = 30\%$ , висота уступу  $h_y = 15$  м.

Досвід застосування існуючих типів кар'єрного автотранспорту дозволяє зробити деякі висновки про можливості подолання ухилів транспортних доріг:

- традиційні самоскиди (2x2) – 8–10%;
- тролейвози та дизель-тролейвози – 10–12%;
- електросамоскиди – 12–15%;
- шарнірно-зчленовані самоскиди – 20–25%;
- гусеничні самоскиди – 25–35% і більше.

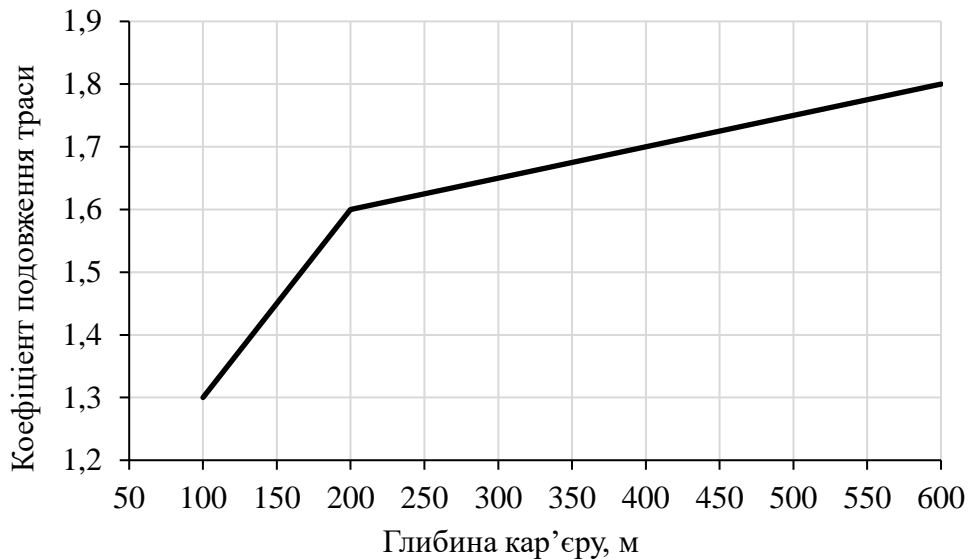


Рис. 4. Графік зміни коефіцієнту подовження траси  $K_m$  в залежності від глибини кар'єру

Таким чином, в «крутих траншеях» можна буде застосовувати ШЗС та гусеничні самоскиди.

На рис. 5 наведені залежність довжини траси (1) та її похилої частини (2) з урахуванням майданчиків примикання, поворотів, майданчиків безпеки від керівного ухилу.

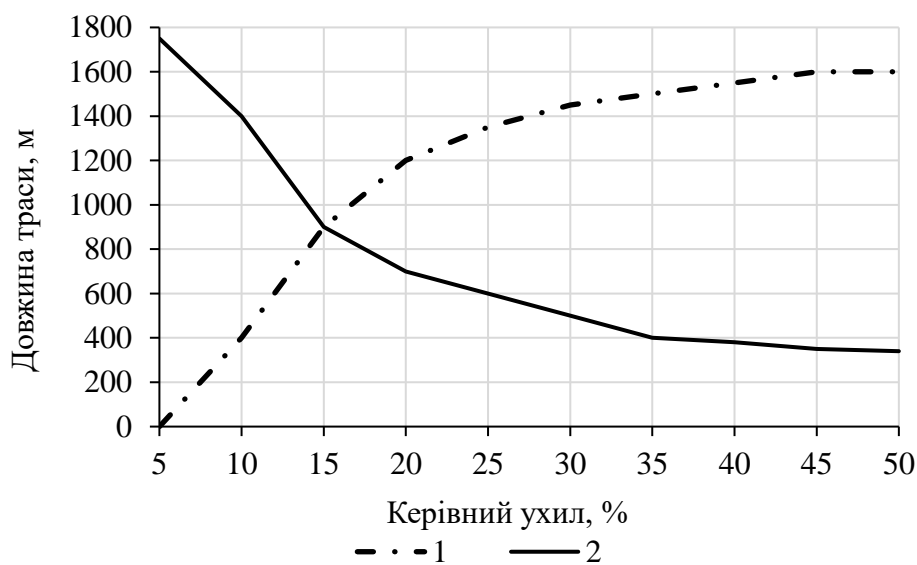


Рис. 5. Залежність довжини траси від керівного ухилу:  
1 – довжина траси; 2 – довжина похилої частини траси з урахуванням майданчиків примикання, поворотів, майданчиків безпеки

Різниця між отриманими залежностями на графіку (див. рис. 5) – друга складова виразу (2) (сумарна довжина ділянок траси).

Як бачимо, при зростанні розміру ухилу суттєво зростає сумарний вплив ділянок траси на відстань транспортування. А це означає, що обґрунтовуючи трасу виробок, необхідно приділяти увагу параметрам різних складових траси щоб забезпечити ефективність роботи транспорту.

Наведені матеріали дозволили зробити наступні **висновки**:

1) Зменшення висоти уступів призводить до зростання кількості майданчиків примикання і впливу складових траси на відстань транспортування особливо при збільшенні глибин кар'єру (30–50%).

2) Рекомендувати для прийнятих в роботі умов розробки родовищ, коефіцієнти розвитку траси  $K_m$ , з урахуванням зміни розмірів ухилу та уступів в кар'єрі.

3) Підтверджено виказані вченими твердження про необхідність в майбутньому при збільшенні ухилу дороги збільшувати розмір  $K_m$ .

4) Встановлено, що при збільшенні глибини кар'єрів зі 100 до 400...600 м коефіцієнт  $K_m$  змінюється в межах 1,36...1,76 при ухилі дороги в 30%.

5) В прийнятих умовах розробки кар'єрів при застосуванні «крутих» траншей (траси) є можливість трасу розкритих виробок розміщати на одному із бортів кар'єру, що суттєво дозволить зменшити запаси корисної копалини під транспортними майданчиками, підвищити кути бортів та скоротити термін вводу кар'єру в експлуатацію за рахунок зменшення капітальних робіт.

**Вдячність.** Дослідження виконано за підтримки Національного фонду досліджень України (проект № 2022.01/0107 «Розробка ресурсозберігаючих технологій видобутку та переробки нерудної мінеральної сировини у воєнний та післявоєнний періоди») в рамках конкурсу «Наука для відбудови України у воєнний та повоєнний періоди».

#### Перелік посилань

1. Khokhriakov, V.S. (1963). *Proektirovanie i organizatsiia roboty karernogo avtotransporta*. Gosgortekhzdat.
2. Vasilev, M.V. (1965). *Kombinirovannyi transport na karerakh*. Nedra.
3. Rzhetskii, V.V. (1985). *Otkrytie gornye roboty. Ch.2*. Nedra.
4. Симоненко, В.І. (2004). *Технологічні основи розробки нерудних родовищ з внутрішньо-кар'єрним складуванням відходів гірничого виробництва. Автореферат*.
5. Симоненко, В.І., Павличенко, А.В., Анісімов, О.О., Бондаренко, А.О., Черняев, О.В., & Гриценко, Л.С. (2022). *Технологія екологобезпечної відкритої розробки нерудних родовищ твердих корисних копалин: монографія*. Журфонд.
6. Khazin, M. L. (2021). Directions of Career Transport Development. *Nedropolzovanie*, 21(3), 144–150. <https://doi.org/10.15593/2712-8008/2021.3.7>
7. Anisimov, O.A. (2015). *Tekhnologii stroitelstva i razrabotki glubokikh karerov: Monografiia*. Natsionalnyi gornyi universitet.
8. Анісімов, О. О., & Довгалюк, І. А. (2015). Дослідження показників роботи кар'єрних самоскидів та підвищення їх продуктивності в умовах Стрижавського родовища мігматитів. *Збірник наукових праць НГУ*, (49). 25–31.

#### ABSTRACT

**Purpose.** Investigation of the influence of overburden excavation route components on the transportation distance in open pit mining of non-metallic deposits.



**Methodology.** Analysis of existing overburden stripping routes and construction of graphical dependencies of the components taking into account the increase of the exit slope due to the introduction of new types of transportation equipment.

**Results.** The analysis of stripping routes of operating non-metallic quarries has been carried out, which allowed to reveal the peculiarities of the influence of the components of the overburden excavation route on the transportation distance, when using road transport in quarries. The introduction of steep trenches with a slope of 20-45% reduces the transportation distance along the sloping route of the quarry within the range of slope change from 10 to 35% by 10-25%; and further increase in slope does not significantly affect the transportation distance. When establishing the length of transportation, when using steeply sloping exits, it is necessary to take into account that with the increase in the value of the slope should increase the size of the coefficient of route extension. It is established that the height of ledges affects the transportation distance and the dependences of the coefficient of route development on the height of ledges at quarries are obtained.

**Scientific novelty.** The indicators between the components of the highway in the quarry and the assessment of their impact on the transportation distance. The introduction of steep trenches can significantly reduce the transport distance in the open pit, while at the same time significantly increasing the impact of the components of the mine route (junction areas, slopes, turns) on the distance of rock mass transport with a gradual increase in the depth of the pits.

**Practical significance.** The obtained results made it possible to establish the coefficients of the route extension and the working faces with an increase in the slope in the case of using new types of rolling stock. When justifying the route of workings, it is necessary to pay attention to the parameters of various components of the route to ensure the efficiency of transport.

**Keywords:** *dump trucks, steep trenches, exits, slopes, route elongation factors.*