

© О.О. Анісімов¹, Н.Д. Давіденко¹

¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

СХЕМИ РОЗКРИТТЯ НОВИХ ГОРИЗОНТІВ І ФОРМУВАННЯ КРУТОНАХИЛЕНИХ З'ЇЗДІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ГУСЕНИЧНИХ САМОСКИДІВ

© O. Anisimov¹, N. Davidenko¹

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

SCHEMES FOR OPENING NEW HORIZONS AND FORMING STEEPLY INCLINED RAMPS WHEN USING CRAWLER DUMP TRUCKS

Мета. Дослідження схем розкриття нових горизонтів нерудних кар'єрів крутонахиленими траншеями при використанні гусеничних самоскидів і встановлення їх параметрів з використанням сучасного програмного забезпечення ГІС Micromine.

Методологія. Аналіз схем розкриття, графічна побудова крутонахилених траншей. Застосування просторового моделювання виробок і дослідження з використанням програмного забезпечення Micromine.

Результати. Проведено аналіз формування схем розкриття нових горизонтів, що дозволило визначити актуальність проблеми формування крутонахилених з'їздів під час використання гусеничних автосамоскидів. Встановлені графічні залежності реальної довжини траси траншеї від висоти уступу, від кута закладання траси. З використанням програмного забезпечення Micromine створені моделі крутонахилених траншей та встановлені об'єми робіт при різних їх параметрах. Будівництво крутонахилених траншей і використання гусеничних машин дозволяє змінювати конфігурацію кар'єрного простору, додатково виймати корисну копалину, зменшувати втрати корисної копалини в бортах кар'єру, зменшувати параметри розкривних виробок у порівнянні з використанням автомобільного транспорту. Схеми розкриття нових горизонтів і формування крутонахилених з'їздів можуть бути використанні при розробці нерудних родовищ корисних копалин, а також при доопрацюванні діючих глибоких кар'єрів в придонній частині де є просторові обмеження.

Наукова новизна. За допомогою програмного забезпечення Micromine виконано обґрунтування зміни об'ємів розкривних виробок при застосуванні гусеничних самоскидів, що дозволило отримати графічні залежності і визначити показники, які впливають на роботу основного обладнання.

Практичне значення. Визначенні об'єми робіт при розкритті нових горизонтів на нерудних кар'єрах при застосуванні гусеничних автосамоскидів з урахуванням висоти уступу (глибини траншеї), закладання з'їзду, кутів бортів траншей, створення одно- та двосмугової дороги. Встановлено обмеження використання колісних автосамоскидів з різними колісними формулами і можливий перехід на гусеничний транспорт із збільшенням нахилу траси з'їздів.

Ключові слова: гусеничні самоскиди, нерудний кар'єр, розкриття горизонту, параметри траншеї, з'їзд, геоінформаційні технології.

Вступ. Застосування гусеничних автосамоскидів в умовах розробки нерудних кар'єрів є доволі специфічним. Мобільні гусеничні машини об'єднує низка певних властивостей: всюдихідність, маневреність, здатність долати значні

ухили, повздожня та поперечна стійкість. У той же час такі машини мають певні специфічні властивості, а саме, стійкість і керованість, плавність ходу, обмежена швидкість руху, розгін машини і гальмування, екологічність і економічність.

Оригінальні конструкції гусеничних і колісних машин були створені і проєктуються для потреб гірничої промисловості з урахуванням важких умов їх експлуатації. Такі машини працюють в умовах виникнення пилу, наявності агресивної води, завантаженості, абразивності або налипання порід, високих тягових зусиль щодо перевезення гірничої маси на поверхню. Приділяється значна увага щодо екологічності таких машин і умов безпечної експлуатації.

Застосування гусеничних автосамоскидів при розкритті нових горизонтів з подальшою їх експлуатацією дає можливість змінити конфігурацію кар'єру, збільшити об'єм видобуваної корисної копалини, проєктувати кар'єри на більші глибини при наявності корисної копалини.

Схемами розкриття нових горизонтів і послідовністю розробки займалися багато інженерів, вчених-гірників. Відомі роботи щодо розкриття та подальшої експлуатації нерудних та рудних кар'єрів присвячені роботи таких вчених як: Новожилов М.Г., Гуменик І.Л., Дриженко А.Ю., Молдабаєв С.К., Бакка М.Т. та інші [1–4]. Застосування транспортних засобів в умовах кар'єрів були розглянуті в роботах Біліченко М.Я., Ренгевича О.О., Денищенко О.В., Пригунова О.С., Симоненко В.І. і багатьма інженерами гірниками [5–7].

В роботі [7] зазначено, що автоперевезення вважаються ефективними за таких умов: у процесі облаштування кар'єрів, зокрема при розробці родовищ з неправильними контурами, що мають обмежені розміри в плані (2,0...2,5 км), а також під час селективного виймання корисних копалин. При цьому річний обсяг перевезень може перевищувати 80 млн т; раціональна довжина транспортування становити 3...4 км, глибина кар'єрів – 200...300 м. Подальший розвиток автотранспорту пов'язаний із застосуванням автомобілів великої вантажопідймальності, підвищенням їхньої надійності й терміну служби, удосконаленням автодоріг і систем технічної експлуатації.

Застосування автосамоскидів при розробці Матронівського ГЗК розглянуто у статті [8]. Розглянуті схеми руху транспортних засобів у вибої і можливість їх використання для екскаваторів драглайнів.

Удосконалення схем відкритої розробки прибортових корисних копалин присвячена робота [9]. Застосування технологічних схем дозволяє зменшити втрати корисної копалини і застосувати селективне виймання. Підвищення кута укосу і формування відповідних схем розробки дозволяє збільшити продуктивність обладнання і сформувати стійкі борти траншей і кар'єру.

Обґрунтування технологічних параметрів проходки фронтальної траншеї ковшовим екскаватором при розробці титанових родовищ присвячена робота [10]. В роботі отримані залежності, що дозволяють здійснювати розкриття нових горизонтів в оптимальному режимі.

Розробка обводнених нерудних родовищ і застосування відповідних технологічних схем розглянуто в роботі [11]. Розкриття нових горизонтів в таких

умовах є дуже складною задачею і потребує створення нових технологічних рішень щодо розвитку гірничих робіт.

Застосування автомобільного транспорту при розкритті родовищ внутрішніми або комбінованими траншеями де розміщуються основні автодороги між робочими горизонтами, пунктами прийому корисної копалини та відвалами описано в роботі [12]. В роботі відмічено, що зростання розміру ухилу суттєво впливає на сумарну відстань транспортування й обґрунтовуючи трасу виробок, необхідно приділяти увагу параметрам різних складових траси щоб забезпечити ефективність роботи транспорту.

Останнім часом на гірничих підприємствах, будівництві автошляхів, в інших галузях виробництва з'явився новий тип самоскидів – гусеничні самоскиди [13]. Гусеничні самоскиди існують в таких модифікаціях:

- кабінного віріанту з розвантаженням на три сторони;
- кабінного варіанту з розворотом корпусу на 360° (в тому числі під час руху);
- безкабінного варіанта, з управлінням від оператора на відстані;
- роботизовані безкабінні гусеничні самоскиди.

Доробка нижньої частини глибоких кар'єрів: можливість приросту промислових запасів, що залучаються до відпрацювання за рахунок збільшення глибини кар'єру на 50-300 м без істотного рознесення бортів (скорочення обсягів 15 %). При їх застосуванні скорочуються витрати на транспортування за рахунок зменшення протяжності кар'єрних доріг, знижується собівартість товарної продукції, збільшується прибуток гірничодобувного підприємства, збільшується запаси корисних копалин в контурі кар'єру, за рахунок підвищення кінцевої глибини і підвищення ухилу траншей при розкритті.

Кут закладання крутонахиленої траншеї при розкритті нових горизонтів і відпрацюванні нерудних родовищ з використанням гусеничних самоскидів, а також встановлення і порівняння параметрів виробок з урахуванням відсутності аналогів подібних рішень в нормативних документах дозволяє зробити висновок, що вивчення і дослідження цих параметрів є **актуальною проблемою**.

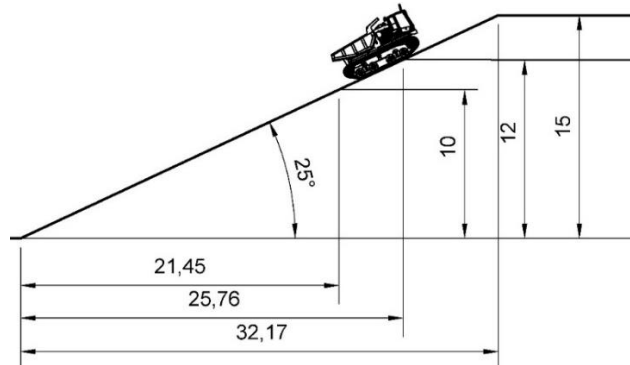
Розкриття нових горизонтів при розробці родовищ має важливу роль. Схема розкриття, параметри закладання укосів і ухилів з'їздів впливають на загальні об'єми корисної копалини що виймають і залишають під ціликами при створенні транспортних берм і з'їздів.

Для дослідження схем і обґрунтування розкриття нових горизонтів необхідно вирішити ряд **завдань**:

1. Дослідити довжину з'їзду від висоти уступу.
2. Дослідити залежність довжини з'їзду від ухилу з обмеженим використанням колісних автосамоскидів.
3. Дослідити залежність довжини з'їзду від ухилу при використанні гусеничних самоскидів.
4. За допомогою програмних продуктів побудувати моделі з'їздів і дослідити їх параметри.

Виклад основного матеріалу. Застосування гусеничних самоскидів з урахуванням їх технічних характеристик дозволяють долати значні ухили і кути підйомів. На схемі рис. 1 зображено трасу з підйомом у 25° . Як видно з рисунку зменшення висоти уступу веде до зменшення траси підйому, кут також впливає.

а



б

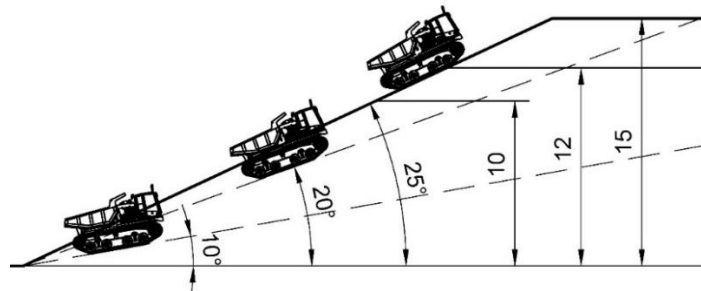


Рис. 1. Схеми з'їздів при використанні гусеничних самоскидів:
а – довжина проєкції траси при різних висотах уступу;
б – кути ухилів, що долаються машинами

Треба зазначити, що довжина траси в плані і реальна довжина відрізняються. На рис. 2 зображена реальна довжина траси, дослідження якої дозволяє чітко визначати загальну довжину транспортування автосамоскидами в умовах діючих кар'єрів.

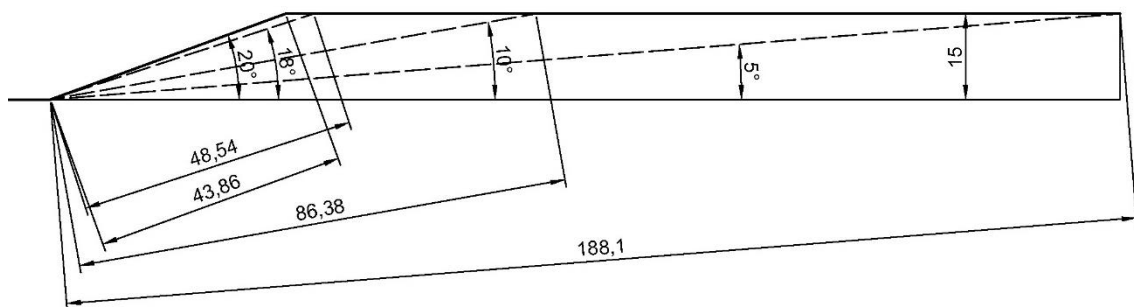


Рис. 2. Схема з визначеними значеннями реальної довжини траси при висоті уступу 15 м і різними кутами закладання

Дослідження залежності реальної довжини з'їзду від висоти уступу з кутом закладання траси від 4° до 25° показують лінійну залежність. Зі збільшенням висоти уступу відбувається пропорційне збільшення довжини реальної траси (рис. 3).

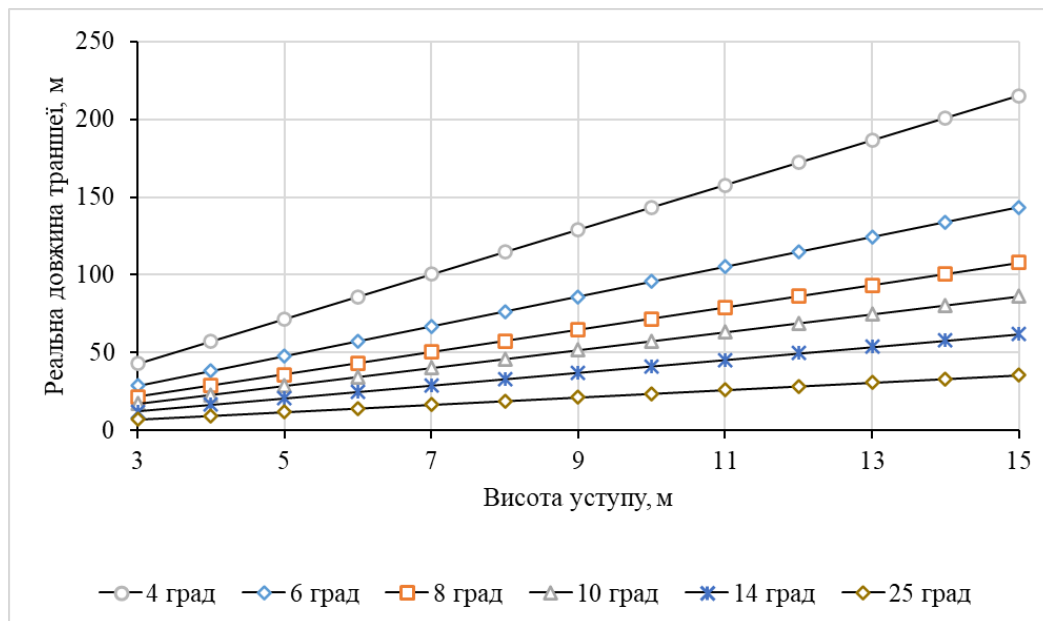


Рис. 3. Графік залежності реальної довжини з'їзду від висоти уступу з різним кутом закладання траси (градуси)

Зворотнім графіком до рис. 3 є графік залежності реальної довжини з'їзду від кута закладання траси при різній висоті уступу, що показаний на рис. 3,4. Однак, як видно з графіка на рис. 4 цей графік має вже криволінійну залежність, яка показує, що зі збільшенням кута нахилу проїзної частини траншеї відбувається різке зниження реальної довжини траси.

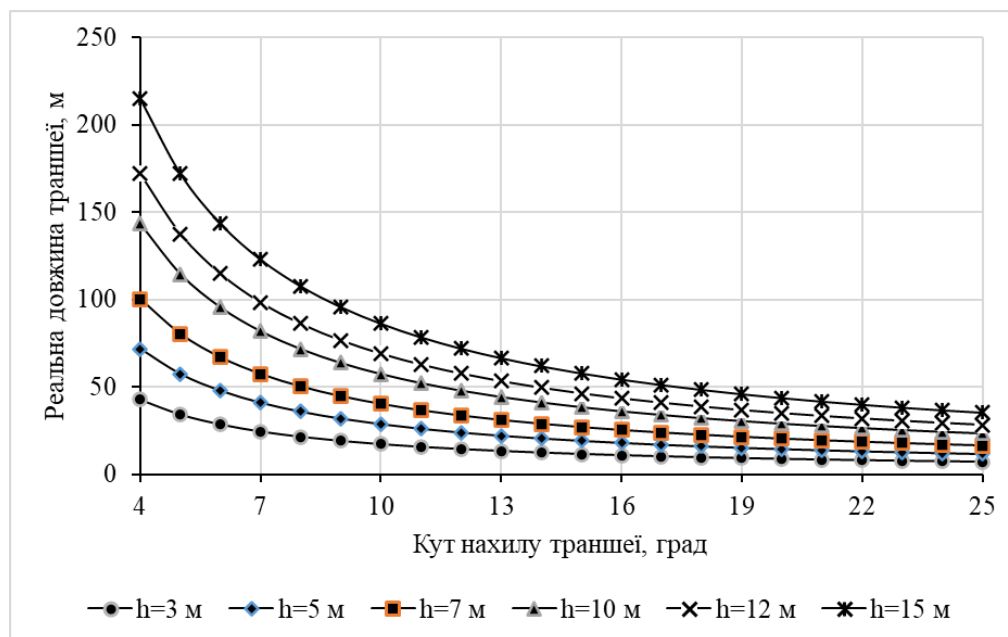


Рис. 4. Графік залежності реальної довжини з'їзду від кута закладання траси при різній висоті уступу

Згідно з ДСТУ «Промисловий транспорт» на долаємий ухил впливає колісна формула звичайних самоскидів. У той же час на гусеничні машини не визначено ухили. Рішення питання щодо ухилів які можуть долати гусеничні машини потребують досліджень. Дослідження довжини звичайних з'їздів рис. 5. та крутих з'їздів рис. 6. дозволяють встановити довжину траси що утворюють під час проведення розкривних траншей і які в подальшому перетворюють на з'їзди.

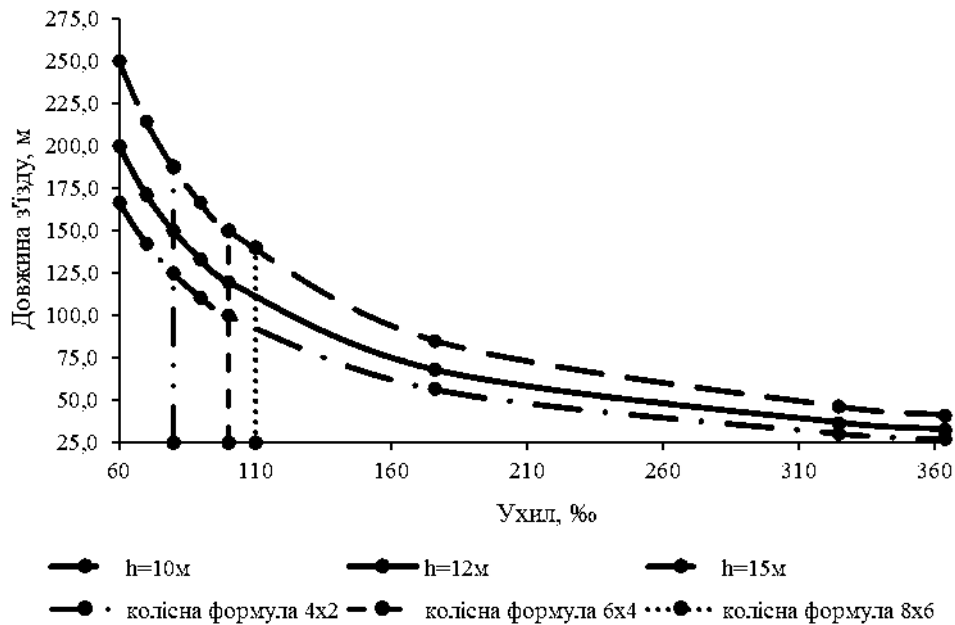


Рис. 5. Залежність довжини з'їзду від ухилу (проміле) з обмеженим використанням колісних автосамоскидів з різними колісними формулами (для різних висот уступів в кар'єрі)

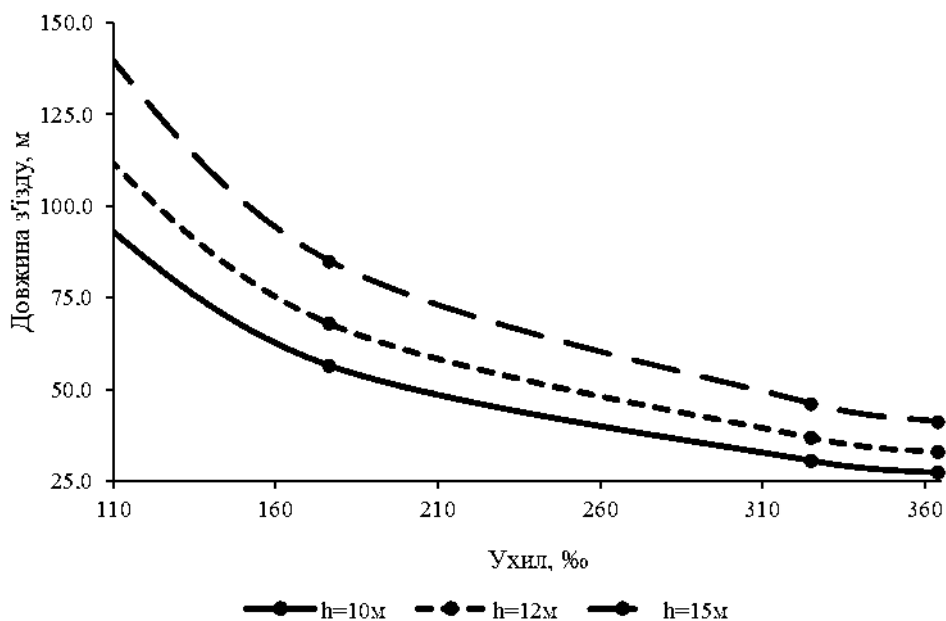


Рис. 6. Залежність довжини з'їзду від ухилу при використанні гусеничних автосамоскидів (для різних висот уступів в кар'єрі)

Дослідження впливу параметрів траншеї на об'єми за допомогою спеціального програмного продукту Micromine дозволяє визначити зміну об'ємів при зміні параметрів. Для дослідження необхідно побудувати 3D моделі траншей. Будівництво траншей для гусеничних автосамоскидів з урахуванням раніше визначених параметрів має виконуватись у зменшений термін з меншими об'ємами роботи.

При моделюванні крутонахилених траншей під гусеничні автосамоскиди враховувались наступні параметри: уступи різної висоти (10, 12, 15 м); ухил що закладається (10, 20, 30 градусів); ширина з'їзду (для гусеничних самоскидів прийнято при односмуговому русі – 7,5 м, при двосмуговому – 11 м); кут укосу траншеї (для різних порід приймалися 30, 45, 60, 75 градусів).

Процедура моделювання:

1. Будуємо з лінії майбутню траншею.
2. Створюємо каркасну модель поєднуючи лінії (каркасна модель має бути замкнута).
3. Здійснюємо підрахунок об'ємів каркасної моделі з використанням відповідних програмних команд.

При моделюванні з'їздів в програмі створені каркасні моделі що дозволили розрахувати об'єми при різних параметрах. Дослідження розкриття нових горизонтів відбувалась з урахуванням застосування гусеничних самоскидів в стислих умовах дна кар'єру (рис. 7).

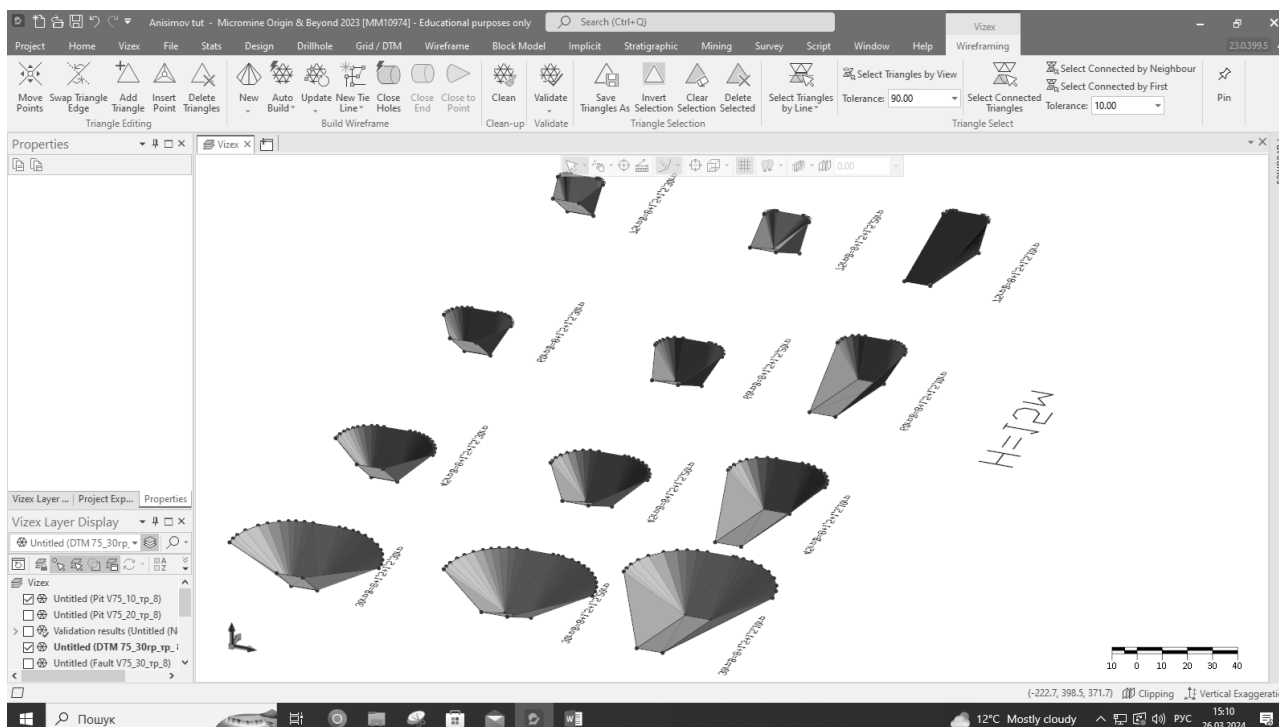


Рис. 7. Моделювання та розрахунки об'ємів крутих траншей із застосуванням програмного комплексу Micromine

В результаті розрахунку було визначено об'єми робіт з урахуванням односмугової дороги з'їзду шириною 7,5 м (рис. 8–10) та двосмугової дороги з'їзду шириною 11 м (рис. 11–13).

Закономірно що при формуванні траншеї в м'яких породах що мають стійкий укіс 30 градусів об'єми робіт з їх створення збільшуються, а при підвищенні кута до 70 градусів, що притаманно скельним породам – зменшуються.

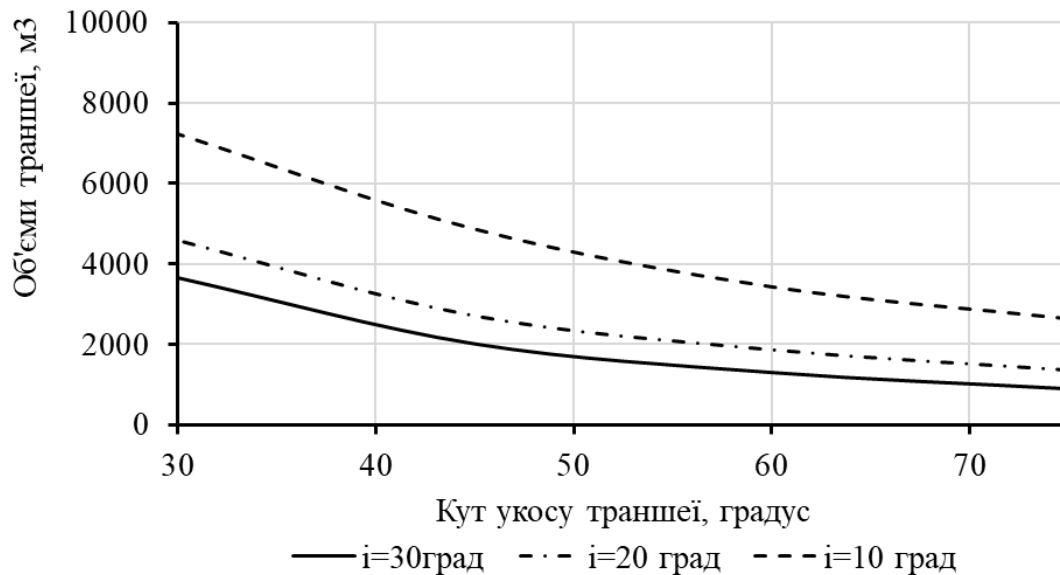


Рис. 8. Графік залежності об'ємів робіт при створенні крутих траншей глибиною 10 м від кута укосу з односмуговим рухом гусеничної машини

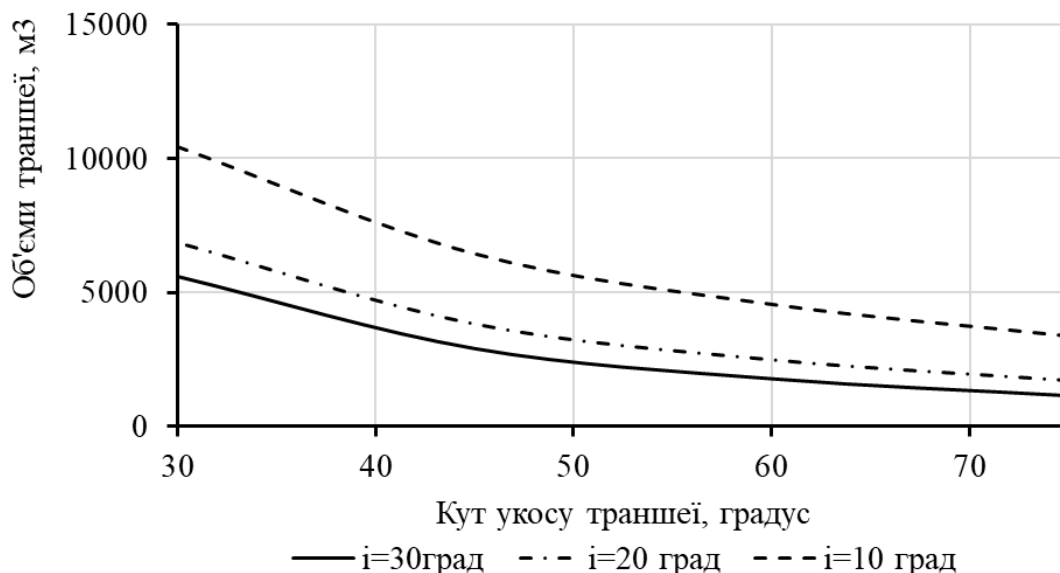


Рис. 9. Графік залежності об'ємів робіт при створенні крутих траншей глибиною 12 м від кута укосу з односмуговим рухом гусеничної машини

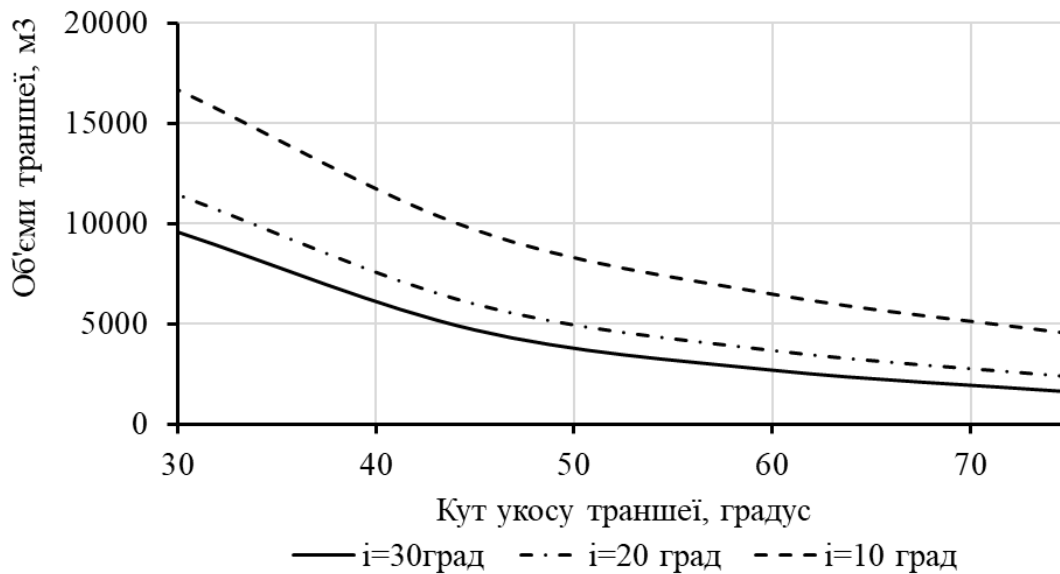


Рис. 10. Графік залежності об'ємів робіт при створенні крутих траншей глибиною 15 м від кута укошу з односмуговим рухом гусеничної машини

Під час визначення двосмугової полоси руху транспорту враховується ширина машини та безпечна відстань між машинами що рухаються. Ширина дороги з урахуванням малих габаритних розмірів гусеничних автосамоскидів визначена 8 м. Додатково враховується безпечні відстані від укосів траншеї в 1,5 м. У порівнянні з попередніми графіками (рис. 8–10) збільшення ширини дороги веде до відповідного збільшення об'ємів виймання при створенні крутих траншей від гусеничний транспорт (рис. 11–13).

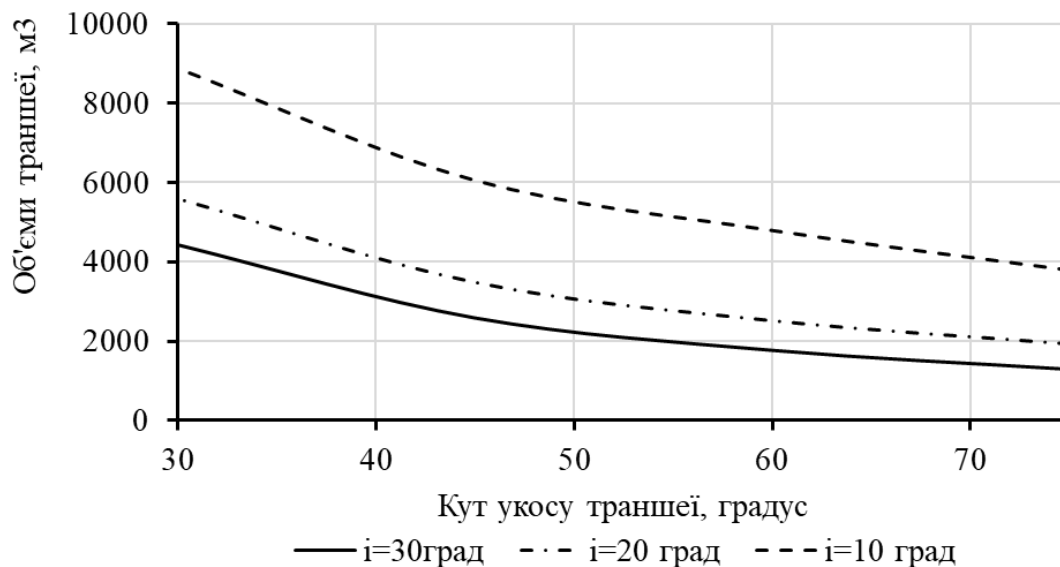


Рис. 11. Графік залежності об'ємів робіт при створенні крутих траншей глибиною 10 м від кута укошу з двосмуговим рухом гусеничної машини

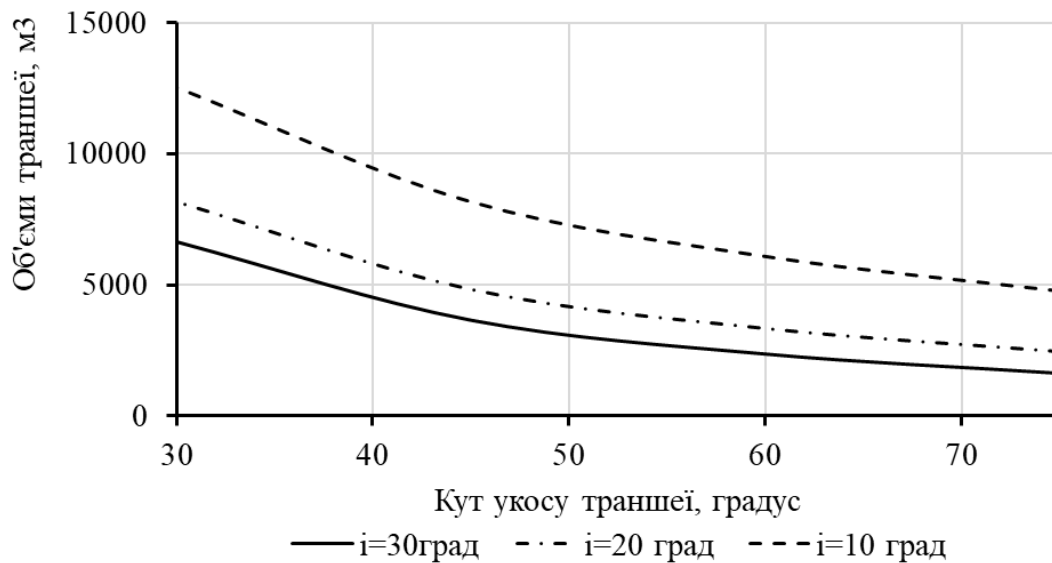


Рис. 12. Графік залежності об'ємів робіт при створенні крутих траншей глибиною 12 м від кута укосу з двосмуговим рухом гусеничної машини

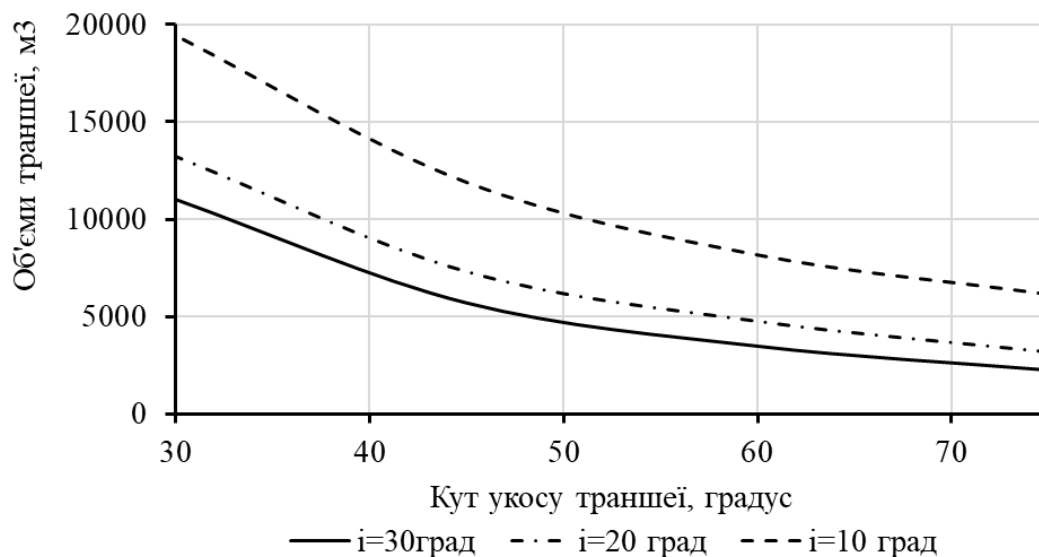


Рис. 13. Графік залежності об'ємів робіт при створенні крутих траншей глибиною 15 м від кута укосу з двосмуговим рухом гусеничної машини

Можливі варіанти розкриття родовищ корисних копалин з односмуговим розміщенням з'їздів і формуванням ніш для розминки гусеничного транспорту, що рухається зустрічним маршрутом. Ніши можна формувати уздовж траси з внесенням відповідних інструкцій щодо руху гусеничного транспорту. В нішу має заїждати порожня машина що рухається зверху пропускаючи завантажену. Така організація робіт гусеничного транспорту дозволить зменшити простой завантаженої машини і підвищить їх продуктивність. Ніши мають бути побудовані під час розкриття нових горизонтів.

Основні **висновки** за проведенням дослідженням:

- закладання більшого ухилу дозволяє зменшити об'єми робіт при підготовці нових горизонтів;

- на об'єми порід що вилучають впливають фізико-механічні властивості порід, це проявляється у вигляді кутів укосів траншеї що формуються;
- для гусеничних машин визначені ухили, що долаються і впливають на довжину з'їзду (технічні характеристики гусеничних машин вказують на те, що долаємий ухил становить від 12 до 30 градусів);
- на реальну довжину з'їзду впливає у глибина закладання з'їзду (при існуючих виймально-навантажувальних машинах розглянуто глибину закладання 10, 12 та 15 м);
- застосування сучасних ГІС технологій дозволяє визначати точні дані щодо об'ємів робіт при формуванні крутих траншей різної конфігурації та траси.

Перелік посилань

1. Drizhenko, A., Kozenko, G., & Rikus, A. (2009). *Vidkrita rozrobka zaliznih rud Uk-raïni: stan i shljahi udoskonalennja: Monografija*. Nacional'nij girnichij universitet.
2. Drizhenko, A., Anisimov, O., Sladkowski, A., Moldabayev, S., & Stolpovskich, I. (2014). Simulation of the dump trucks in deep pits. *VI International conference. Katowice, Poland: Silesian University of Technology, Faculty of Transport*, 153–157.
3. Novozhilov, M., Hohrjakov, V., Pchelkin, G., & Jeskin, V. (1971). *Tehnologija otkrytoj razrabotki mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh. Chast' 2. Tehnologija i kompleksnaja mehanizacija otkrytyh razrabotok*. «Nedra».
4. Dryzhenko, A., Shustov, A., & Moldabayev, S. (2017). Justification of parameters of building inclined trenches using belt conveyors. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM, 17(1.3)*, 471–478. <https://doi.org/10.5593/sgem2017/13/s03.060>
5. Біліченко, М.Я., Півняк, Г.Г., Ренгевич, О.О., Тарасов, В.І., Варшавський, А.М., Денищенко, О.В., Зражевський, Ю.М., Пригунов, О.С., Трошило, В.С., & Шендерович, Ю.М. (2005). *Транспорт на гірничих підприємствах: Підручник для вузів*. Національний гірничий університет.
6. Коптовець, О.М., Коровяка, Є.А., Яворська, В.В., Ширін, Л.Н., & Барташевський, С.Є. (2023). *Проектування транспортних систем і комплексів гірничих підприємств : навч. посіб.* Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Журфонд.
7. Ширін, Л., Пригунов, О., & Денищенко, О. (2015). *Транспортні комплекси кар'єрів: навч. посіб.* НГУ.
8. Sobko, B.Yu., Lozhnikov, O.V., Chebanov, M.O., & Kardash, V.A. (2021). "Substantiating rational schedule to load trucks using draglines while mining a pit of Motronivskyi MPP" *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 4, 23–28. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-4/023>
9. Moldabayev, S., Adamchuk, A., Sarybayev, N., & Shustov, A. (2019). Improvement of open cleaning-up schemes of border mineral reserves. *19th SGEM International Multidisciplinary Scientific GeoConference EXPO Proceedings 19th, Science and Technologies in Geology, Exploration And Mining, 19*, 331–338. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/1.3/S03.042>
10. Chebanov, M.O., Pcholkin, H.D., Makurin, A.A. & Lozhnikov, O.V. (2023). Substantiation of the technological parameters of bucket-wheel excavator forward trench when mining titanium deposits. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 5, 5–11. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-6/005>
11. Cherniaiev, O., Anisimov, O., Saik, P., & Akimov, O. (2024). Theoretical substantiation of water inflow into the mined-out space of quarries mining hard-rock building materials. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1319(1)*, 012002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1319/1/012004>

12. Давіденко, Н., & Анісімов, О. (2024). Дослідження зміни довжини транспортування гірничої маси при поглибленні кар'єру з застосуванням крутопохилих траншей. *Збірник наукових праць НГУ*. (76), 42–50. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/76.042>
13. Давіденко, Н., & Анісімов, О. (2023). Відпрацювання нерудних кар'єрів з використанням гусеничних самоскидів. *Молодь: наука та інновації: матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, Дніпро, 22–24 листопада 2023 року. Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»*, (2), 373–374.

ABSTRACT

Purpose. Research of schemes for opening new horizons of non-metallic quarries by steeply inclined trenches using crawler dump trucks and setting their parameters with using modern GIS software Micromine.

The methods. Analysis of opening schemes, graphical construction of steeply inclined trenches. Application of spatial modelling of workings and research using Micromine software.

Findings. The analysis of the formation of schemes for opening new horizons was carried out, which made it possible to determine the relevance of the problem of forming steeply inclined ramps when using tracked dump trucks. Graphical dependencies of the actual length of the trench route on the height of the ledge and the angle of the route were established. Using the Micromine software, models of steeply sloped trenches were created and the scope of work was determined for various parameters. The construction of steeply inclined trenches and the use of tracked machines allows us to change the configuration of the open pit space, extract additional minerals, reduce the loss of minerals in the sides of the pit, and reduce the parameters of the overburden workings compared to the use of road transport. The schemes for opening new horizons and forming steeply inclined ramps can be used in the development of non-metallic mineral deposits, as well as in the refinement of existing deep pits in the bottom part where there are spatial restrictions.

The originality. Using Micromine software, the company justified the change in the volume of overburden when using crawler dump trucks, which allowed to obtain graphical dependencies and determine the indicators that affect the operation of the main equipment.

Practical implementation. Determination of the scope of work when opening new horizons in non-metallic quarries using tracked dump trucks, taking into account the height of the ledge (trench depth), laying the exit, the angles of the sides of the trenches, and creating a one- and two-lane road. Limitations on the use of wheeled dump trucks with different wheel formulas and a possible transition to tracked vehicles with an increase in the slope of the exit route are established.

Keywords: *crawler dump trucks, non-metallic quarry, horizon opening, trench parameters, access road, geographic information technologies.*