

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

**Мельничук Марія Олегівна**

УДК 504.622

**ВПЛИВ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГІРСЬКИХ ПОРІД ПРИ  
ОЦІНЦІ СТІЙКОСТІ БОРТІВ КАР'ЄРУ З ВИКОРИСТАННЯМ  
ЕНТРОПІЙНОГО КРИТЕРІЮ**

Спеціальність 101 – Екологія

**Автореферат  
магістерської дисертації на здобуття  
ступеня магістра**

Київ – 2018

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі інженерної екології Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Науковий керівник:

кандидат технічних наук, доцент

**КРЮЧКОВ Анатолій Іванович**

Національний технічний університету України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря

Сікорського», доцент кафедри інженерної екології.

Рецензент:

професор, доцент

**ФРОЛОВ Олександр Олександрович**

Національний технічний університету України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря

Сікорського», доцент кафедри геоінженерії.

Захист відбудеться «21» травня 2018 р. о 14.00 на кафедрі інженерної екології Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» за адресою: м. Київ, вул. Борщагівська 115, ауд. 201.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» за адресою: 03056, Україна, м. Київ, просп. Перемоги, 37.

Автореферат розісланий «\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 р.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Сучасні тенденції розвитку гірничої промисловості характеризуються постійним підвищенням об'ємів гірничих робіт, збільшенням потужностей діючих кар'єрів, що відбувається за рахунок розширення їх меж і збільшення глибини розробки з застосуванням нових технологій. Так, одним із найбільш прогресуючих напрямків є видобуток граніту: за 2017 рік його видобуток склав 35859,6 тис. т, що на 123,8 % більше ніж за 2016 рік.

Проте, поряд із ростом обсягів видобутку корисних копалин, зростає ризик виникнення зсувних процесів на бортах кар'єрів. Одразу після закладання кар'єру і, особливо після закінчення його експлуатації, відбуваються процеси саморозвитку цієї форми рельєфу. У його межах спостерігаються окрім суто природних явищ рельєфоутворення екзогенного походження, пов'язаних з дією рухливої води, вітру, вивітрювання та гравітаційної енергії, ще і техногенні чинники, такі як буріння та вибухові роботи.

Найбільш характерними формами посттехногенного рельєфу у кар'єрах є зсуви, обвальні та обсипні схили на бортах, конуси осипання та обвалення скельних порід на днищі біля підніжжя бортів кар'єру, а також на поверхні кар'єрних терас.

Таким чином, разом із збільшенням масштабів видобутку корисних копалин, все частіше перед науковцями постає проблема оцінки та підвищення стійкості бортів кар'єрів. В той же час, забезпечення стійкості борту кар'єру можливо лише на основі аналізу змін в ньому. На підставі вищевикладеного **актуальним** є узагальнення і нове вирішення науково практичної задачі, яка полягає у прогнозуванні стійкості бортів кар'єра від дії багатоблокових масових вибухів і розробки рекомендацій по їх безпечним параметрам.

**Мета та задачі дослідження.** Метою роботи є оцінка стану стійкості бортів кар'єру шляхом використання ентропійного критерію з урахуванням термодинамічних параметрів гірського масиву та чинників, що впливають на час їх стояння.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі визначені наступні наукові задачі:

- виконати аналіз стану теорії та практики з питань дослідження стійкості бортів кар'єрів;
- дослідити технологію ведення буровибухових робіт на кар'єрі та її вплив на стійкість бортів;
- встановити залежність інтенсивності передачі сейсмічної енергії від термодинамічних параметрів бортів кар'єра в залежності від пори року;
- провести оцінку впливу температури та вологості гірського масиву на стійкість бортів кар'єру.

*Об'єкт дослідження* – процес руйнування бортів кар'єру в наслідок сейсмічної дії вибуху.

*Предмет дослідження* – показники стійкості бортів кар'єру при сезонній зміні температури та вологості гірського масиву.

**Методи дослідження.** Для досягнення мети при вирішенні поставлених наукових задач у роботі використовувались: методи аналізу – для узагальнення сучасного стану та напрямків удосконалення методів оцінки стійкості бортів кар'єру; методи геомеханіки, гідрології, теорії гірничих машин та теорії ймовірнісних нестационарних процесів – для встановлення впливу геологічних та гірничотехнологічних факторів на стійкість бортів кар'єру; методи теорії складних систем, теорії масового обслуговування, теорії ймовірнісних процесів – для розробки математичної моделі сезонної зміни температури ґрунту; методи математичного моделювання випадкових динамічних нестационарних процесів, методи аналізу і синтезу складних систем, методи експериментальних досліджень параметрів процесу деформації бортів кар'єру – для встановлення основних закономірностей зміни інтенсивності деформації бортів залежно від їх термодинамічних параметрів та удосконалення існуючих методів розрахунку стійкості бортів кар'єру, що враховують сезонність ведення буро-вибухових робіт.

**Наукова новизна одержаних результатів,** що виносяться на захист, представлена науковими положеннями, в яких вперше:

- встановлено нелінійну залежність швидкості поширення сейсмічних хвиль у гірському масиві від його температури;
- використовуючи системний аналіз та багаторічні спостереження було встановлено зв'язок між інтенсивністю деформації борта кар'єру та порою року;
- розроблено математичну ймовірнісну динамічну модель, на основі ентропійного критерію, для оцінки стійкості бортів кар'єру, яка враховує річний хід температури гірського масиву;
- виходячи із використання розробленої моделі, було зроблено прогноз часу стояння борта кар'єру.

**Практичне значення одержаних результатів:**

- основні результати досліджень опубліковані в статтях автора у відкритому друку; – удосконалено метод прогнозування часу стояння борта кар'єрів, який враховує фактор зміни температури масиву.

**Особистий внесок здобувача у роботи, опубліковані у співавторстві, полягає у:** [1] – використання ентропійного критерію для оцінки стійкості бортів кар'єру; [2] – встановлено зв'язок температури гірського масиву та його деформації; [3] – розрахунок часу стояння неробочого борта кар'єру з використанням ентропійного критерію; [4] – встановлення кореляційної залежності між часом та річним ходом температури поверхні ґрунту з використанням методу А. К. Митропольського; [5] – прогнозування температури поверхні борта кар'єру.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та окремі результати роботи доповідалися та обговорювалися на: VIII Міжнародній науково-технічній конференції ІЕЕ НТУУ «КПІ» «Енергетика. Екологія. Людина» (Київ, 2016); IX Міжнародній науково-технічній конференції ІЕЕ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» «Енергетика. Екологія. Людина»

(Київ, 2017); Всеукраїнській науковій інтернет-конференції «ВІТЧИЗНЯНА НАУКА НА ЗЛАМІ ЕПОХ: ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ» (Переяслав-Хмельницький, 2018); X Міжнародній науково-технічній конференції ІЕЕ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» «Енергетика. Екологія. Людина» (Київ, 2018).

**Публікації.** За результатами досліджень опубліковано 4 наукові праці.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів та висновку, викладених на 121 сторінці машинописного тексту, переліку використаних джерел з 76 найменувань, містить 25 рисунків, 18 таблиць.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовується актуальність теми дисертації, викладено мету роботи і сформульовано наукові задачі дослідження для досягнення поставленої мети, визначено об'єкт та предмет дослідження.

У **першому розділі** розглянуто сучасний стан досліджень по фактичному стану стійкості бортів кар'єру, основні гірничо-геологічні та технологічні фактори, що призводять до зсувних процесів на кар'єрах, та способи спостережень і головні принципи зниження сейсмічної дії вибуху на об'єкти, що охороняються.

Основним видом порушення стійкості бортів є зсуви, які складають 85 % від загальної кількості порушень. Особливої гостроти ця проблема набула останнім часом, коли глибина відпрацювання кар'єрів збільшилась.

Великий внесок у дослідження стійкості бортів кар'єрів з урахуванням фактору часу зробили А. М. Дьоміна, Г. Л. Фісенко, В. А. Падуков, А. Б. Фадєєв, А. С. Ковров, А. І. Арсент'єв, І. Ю. Букін, В. А. Мироненко, О. М. Чала, А. А. Григор'єв, І. Н. Маслов та інші вчені.

Досвід, накопичений при відпрацюванні неглибоких кар'єрів, дозволяє зробити висновки про те, що стійкість бортів кар'єрів залежить від ряду чинників. Всі фактори об'єднуються в дві основні групи: природні та гірничо-технічні.

Управління станом масиву гірських порід і прогнозування стійкості укосів і бортів кар'єрів є однією з найважливіших інженерних задач для забезпечення безпеки і ефективності робіт при відкритому способі розробки родовищ. В даний час розроблено близько 300 методів, що дозволяють вивчати геомеханічні процеси на схилах кар'єрів і прогнозувати їх стійкість з урахуванням впливу природних і техногенних факторів.

У роботах А. М. Дьоміна було розроблено спосіб розрахунку стійкості бортів кар'єру, що враховує такі його показники, як об'ємний характер деформації, кут уступу та висота борта кар'єру, ширина заходки, висота зміщення верхньої площадки.

На основі комплексних аналітично-експериментальних досліджень, О. М. Чала розробила методи оцінки і розрахунку стійкості бортів кар'єру з

урахуванням дії сейсмічних імпульсів, що виникають внаслідок багатоблокових масових вибухів для обмеження їх масштабів. Нею була встановлена оцінка сейсмічної стійкості бортів кар'єрів по куту нахилу борту, складеного уступами, з різними типами розкритих гірських порід, на який діють сейсмічні хвилі від багатоблокових масових вибухів з допустимою швидкістю коливань часток ґрунту.

В. А. Падуковим вперше було розроблено ентропійний критерій стійкості, який не залежить від режиму навантаження масиву та враховує температурний режим бортів кар'єру. Цей критерій має цілий ряд переваг. По-перше, він є інтегральним показником, що відображає вплив цілого ряду факторів, що впливають на стійкість бортів, головними з яких є термодинамічні параметри борта кар'єру; по-друге, він допускає постійний і оперативний контроль за допомогою відносно не складних вимірювань; по-третє, він дозволяє не лише оцінити стійкість об'єкту, що охороняється, а і спрогнозувати час його стояння.

Ведення вибухових робіт в безпосередній близькості від інженерних споруд і відкритих гірських порід пов'язано з необхідністю ретельного вимірювання параметрів вибухів та оцінці їх впливу на об'єкти, що охороняються. В основу цих спостережень покладені натурні спостереження за сейсмічною дією вибухів у спеціальних точках на бортах кар'єру.

Існуючі методи зменшення сейсмічної дії вибухів на об'єкти, що охороняються, можна поділити на три групи відповідно наступних ознак: зміна параметрів заряду, керування енергією вибухових хвиль та керування дією вибуху при розповсюдженні сейсмічних хвиль.

На підставі викладеного аналізу літературних джерел та попередніх досліджень сформульовані мета та завдання дослідження.

У **другому розділі** розглядається сучасний рівень видобутку корисних копалин, основні технологічні аспекти їх видобування та особливості ведення буро-підричних робіт у мерзлих ґрунтах.

Станом на 1 січня 2013 року в Україні було зареєстровано 223 родовища блочного каменю, при чому 90 родовищ розміщені в Житомирській області. Загальні оцінені запаси становлять більше ніж 338 млн м<sup>3</sup>.

Відкриті гірничі роботи посідають провідне місце (70%) в видобутку корисних копалин. Зокрема процес видобування блочного каменю характеризується підвищеним рівнем антропогенного навантаження на екосистеми та утворенням ряду небезпек для умов праці на всіх стадіях виробництва. Однією з найбільш небезпечних ситуацій для життя та здоров'я працівників, а також для нормальної роботи кар'єру є зниження стійкості бортів та виникнення зсувних процесів. Така ситуація на гірничих підприємствах зумовлена перш за все проведенням буро-вибухових робіт

Пропорційно збільшенню кількості видобутого щебню зростає і кількість масових вибухів на кар'єрах. На сьогоднішній день в Україні проводиться близько 6,5 тис. масових вибухів, що в свою чергу сприяють зниженню стійкості бортів кар'єрів та активізації нових зсувних процесів.

Дроблення гірської породи на гранітних кар'єрах здійснюється в основному методом свердловинних зарядів. Менше 1,5 % об'єму буровибухових робіт здійснюється методом шпурових зарядів і 1 % - методом камерних зарядів.

Більше 50 % парку бурових станків приходить на станки ударного-обертального буріння, до переваг яких слід віднести порівняно не велику масу станка, маневреність та можливість буріння похилих свердловин.

У періоди, коли температура ґрунту сягає від'ємних значень, технологія ведення буро-вибухових робіт зазнає певних змін. Так, для буріння свердловин в сезонномерзлих ґрунтах придатні бурові верстати і установки, що мають невелику глибину буріння (до 2,5 м). В багаторічно мерзлих ґрунтах буріння зазвичай ведеться стаціонарними верстатами, що дозволяють отримувати свердловини глибиною 20-30 м.

В результаті випробувань, проведених трестом «Союзвибух», було встановлено закономірну залежність між середнім діаметром шматків підірваної породи та її вологості, між витратою вибухової речовини та температурою і вологістю породи.

Характер зміни середнього діаметра шматка при підриванні мерзлих ґрунтів зі зміною вологості при різній удільній витраті вибухової речовини наведений на рис. 1.

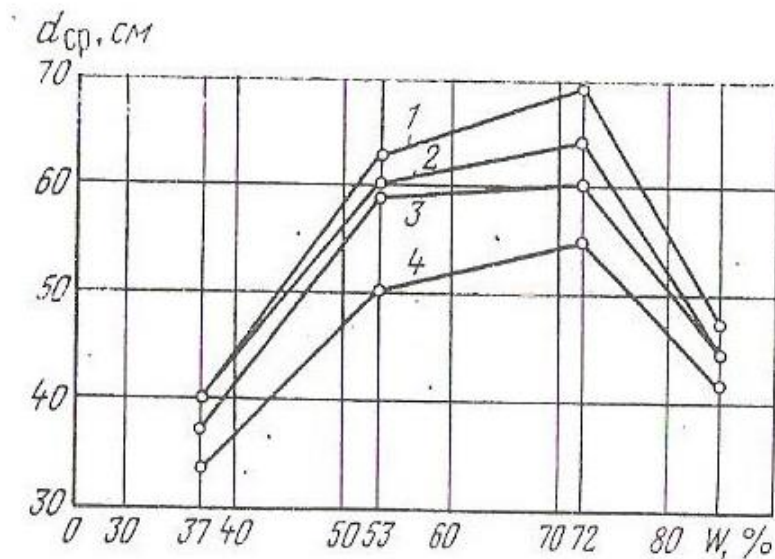


Рис. 1. Залежність  $d_{ср}$  мерзлих піщаних ґрунтів від вологості: 1, 2, 3, 4 – витрата вибухової речовини відповідно 0,35; 0,4; 0,5; 0,6 кг/м<sup>3</sup>

У результаті математичної обробки результатів вибуху, була отримана залежність для визначення удільної витрати вибухової речовини (рис. 2):

$$q = q' + \alpha e^{0,0845W - 0,000065W^2}, \quad (1)$$

де  $q'$  - удільна витрата вибухової речовини при підриванні сухого ґрунту: для піску та супіску  $q' = 0,15$  кг/м<sup>3</sup>;  $\alpha$  – коефіцієнт, що враховує приріст удільної

витрати вибухової речовини зі збільшенням вологості мерзлого ґрунту (для піску ту супіску  $\alpha = 0,2917 \text{ кг/м}^3$ );  $e$  – основа натурального логарифма;  $W$  – вологість ґрунту, %.

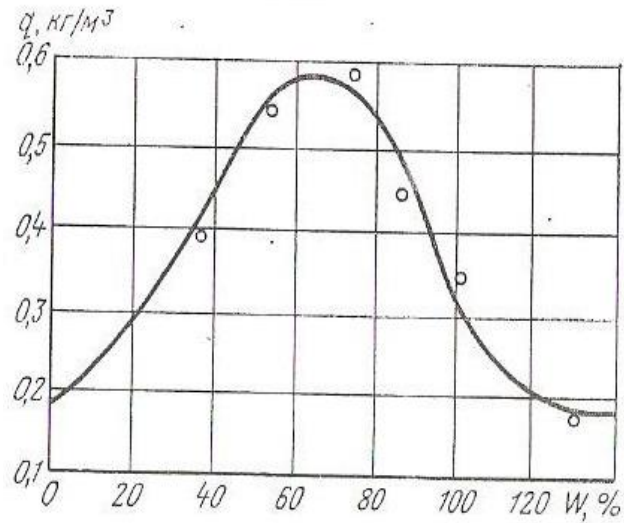


Рис. 2. Оптимальна питома витрата вибухової речовини в залежності від вологості мерзлих ґрунтів

За результатами експерименту, також була отримана математична та графічна залежність удільної витрати вибухової речовини від температури мерзлого ґрунту (рис. 3):

$$q = -3 \lg t + 3,32, \quad (2)$$

де  $q$  – удільна витрата вибухової речовини,  $\text{кг/м}^3$ ;  $t$  – абсолютне значення від'ємної температури мерзлого ґрунту,  $^{\circ}\text{C}$ .

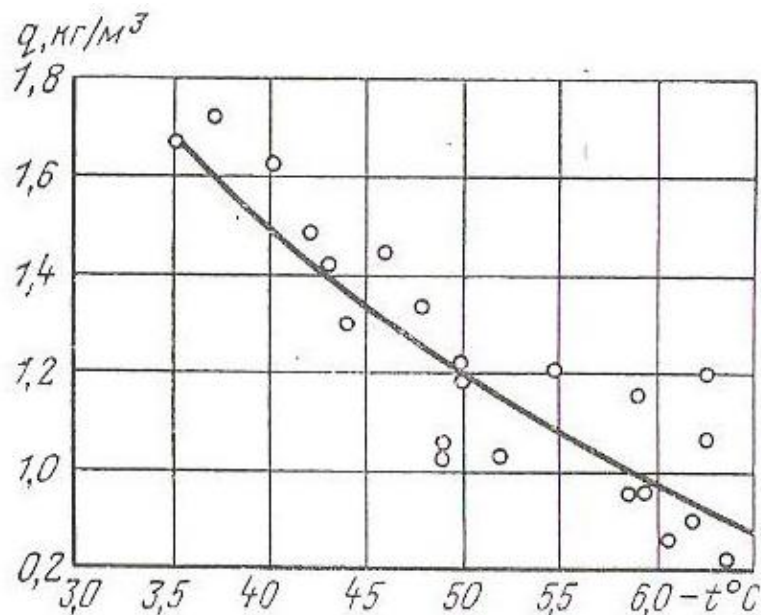


Рис. 3. Залежність питомої витрати вибухової речовини від температури мерзлого ґрунту



Аналіз даної залежності показує, що зі зниженням температури мерзлого ґрунту удільна витрата вибухової речовини на подрібнення зменшується.

При підриванні мерзлих ґрунтів на викид застосовують метод камерних, траншейних та щілинних зарядів. Найбільш продуктивним є метод свердловинних зарядів.

Спостереження за зміщенням гірських порід при кар'єрній розробці і опрацюванні результатів спостережень є однією із задач маркшейдерської служби кар'єрів.

У результаті багаторічних спостережень було встановлено, що зрушення окремих точок масиву у просторі і часі більш інтенсивне у період від'ємних температур. Це пояснюється тим, що внаслідок замерзання верхнього шару гірської породи змінюються її фізико-механічні та акустичні властивості. Глибина промерзання порід тим більша, чим нижчі температури і довші періоди від'ємних температур. Найважливішим фактором, що впливає на глибину промерзання порід, є число зимових градусо-днів.

У зв'язку з викладеним, ціллю даного проекту є розробка нової методики оцінки стійкості бортів кар'єру, зважаючи на різну вологість та температуру гірського масиву, з метою підвищення продуктивності роботи кар'єрів та захистом бортів від руйнування.

У **третьому розділі** аналіз показав, що у результаті промерзання гірської породи змінюються її фізико-механічні та акустичні і хвильові властивості.

Основною ознакою замерзання ґрунтів і гірських порід є кристалізація води в їх порах і утворення льоду. Процес кристалізації в ґрунтах супроводжується рядом складних фізико-хімічних явищ і процесів, що формують нові властивості мерзлих ґрунтів. Основний вплив на формування цих властивостей чинить цементация мінеральних часток льодом, що утворюється.

Мерзлі ґрунти є складними багатокомпонентними системами, що складаються з трьох фаз: твердої, рідкої та газоподібної. До твердої фази відносяться мінеральні частинки ґрунту, лід, кристалогідрати. До рідкої складової відноситься незамерзла вода, кількість якої залежить від виду ґрунту, його температури і засоленості. Газоподібна фаза представлена парами води і газами. Об'ємне співвідношення цих складових для більшості глинистих і піщаних ґрунтів наступне: 50 – 70 % мінеральних частинок, 20 – 40 % льоду, 10 – 15 % незамерзлої води і близько 5 % повітря й водяних парів.

Швидкість поширення поздовжніх хвиль у складових мерзлих ґрунтів наведена у таблиці 1.

Таблиця 1

Швидкість поширення поздовжніх хвиль у складових мерзлих ґрунтів

Назва компоненту ґрунту	$C_p$ , м/с
Мінеральна складова	4000 – 6000
Лід	3500 – 4000
Вода	1300 – 1500
Повітря	330

Найбільш різка зміна швидкості поширення поздовжніх хвиль в ґрунті відбувається при зміні температури в діапазоні від 0 до  $-2^{\circ}\text{C}$  (рис. 4). Пояснюється це тим, що для більшості ґрунтів критична температура замерзання знаходиться саме в даному діапазоні. При даній температурі відбувається замерзання всієї порової води. При подальшому зниженні температури продовжується замерзання рихлозв'язаної води, але цей процес менш інтенсивний. Тому швидкість поширення поздовжніх хвиль росте менш інтенсивно. При додатних температурах ґрунту швидкість поширення поздовжніх хвиль не змінюється.

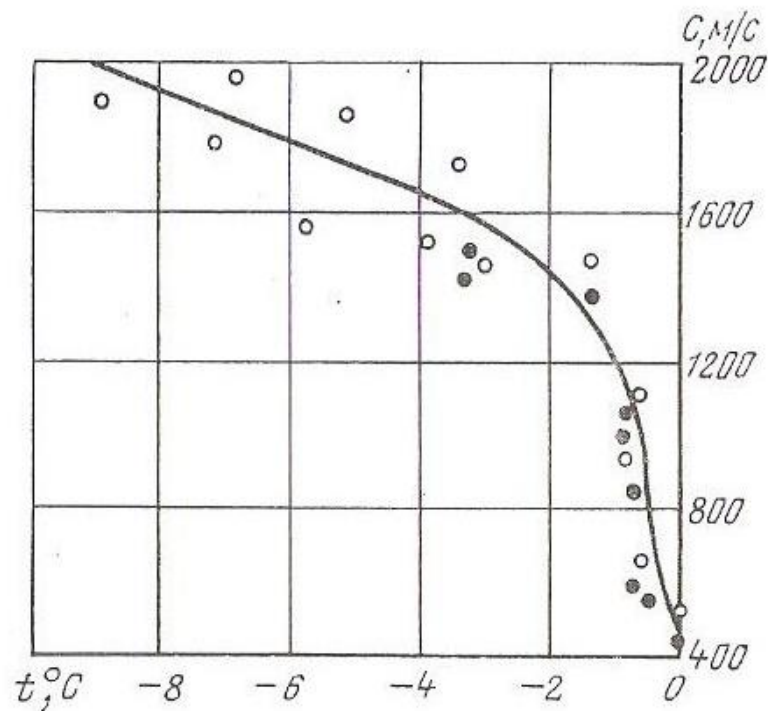


Рис. 4. Залежність швидкості поширення поздовжніх хвиль від температури ґрунту

Було встановлено, що швидкість сейсмічних хвиль залежить від температури, тобто зі зниженням температури гірської породи зростає швидкість, а енергія, яка передається може збільшитися більш ніж в 8 разів.

Із ростом температури ґрунту, збільшенням у ньому газоподібного компоненту знижується як швидкість руху частинок ґрунту, так і величина його деформації. У пластичномерзлому ґрунті, акустична жорсткість якого нижче, ніж твердомерзлого, напруження по фронту сейсмічної хвилі затухають значно інтенсивніше.

У результаті аналізу, були зроблені наступні висновки:

- інтенсивність загасання амплітуди хвилі та швидкості її поширення залежить від вмісту компонентів, зі збільшенням вологості інтенсивність угасання зменшується;
- швидкість фронту хвилі із віддаленням від місця вибуху зменшується повільніше, ніж швидкість максимуму напруги;

- після проходження хвилі в ґрунті залишаються залишкові деформації.

Всі ці закономірності властиві як мерзлим, так і талим ґрунтам.

В гірничо-геологічних умовах кар'єрів у верхній частині розрізу бортів кар'єру існують уступи з м'яких порід з пониженою швидкістю. В таких умовах утворюється (зароджується) так звана псевдорелеївська хвиля, дуже схожа з хвилею Релея. На відміну від останньої, швидкість псевдорелеївської хвилі залежить від її довжини, тобто спостерігається дисперсія швидкості.

Хвилі, довжина яких значно більша потужності  $\Delta H$  (м'яких укосів) шару, з місця вибуху проникають і на поверхні землі розповсюджуються зі швидкістю  $\nu R \approx 0,9\nu S2$ , де  $\nu S2$  – швидкість поперечної хвилі в підстиляючому шарі скельних порід. Навпаки, короткі хвилі, для яких  $L \ll \Delta H$ , розповсюджуються практично лише у шарі м'яких укосів і для них швидкість  $\nu R \approx 0,9\nu S1$ , де  $\nu S1$  – швидкість поперечної хвилі в ґрунтовому укосі. Таким чином, швидкість псевдорелеївської хвилі в даному випадку зростає зі збільшенням довжини хвилі (нормальна дисперсія). Якщо ж м'який ґрунтовий шар укосів характеризується швидкістю  $\nu S1 > \nu S2$ , то спостерігається зворотна картина – швидкість убуває з ростом довжини хвилі (аномальна дисперсія).

При багатоблокових масових вибухах саме поверхневі хвилі можуть викликати руйнівну дію ґрунтової основи далеко розташованих об'єктів, що охороняються, через об'ємно-зсувний характер деформацій ґрунту.

Псевдорелеївська хвиля – зароджується з поперечної в кореневій точці і поширюється в площині розподілу двох середовищ «скеля–ґрунт» (рис. 5).

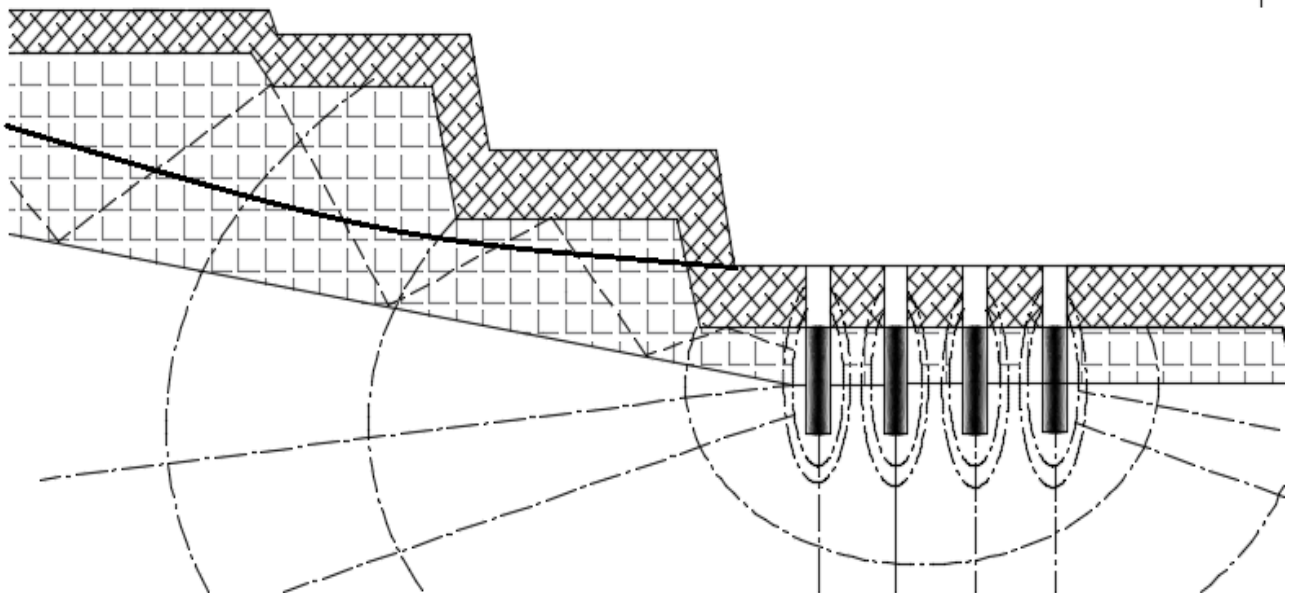


Рис. 5. Поширення сейсмічних хвиль у мерзлих гірських породах

В умовах від'ємних температур, коли спостерігається замерзання верхнього шару ґрунту, відбувається утворення так званого сейсмopовідного каналу і в результаті виникає значне збільшення відстані поширення

псевдорелеївської хвилі, що може призвести до порушення стійкого стану інженерних споруд, розташованих за межами СЗЗ.

У **четвертому розділі** дисертації, застосовуючи методи математичного аналізу, було розроблено динамічну модель сезонної зміни температури поверхні ґрунту, оцінено стійкість бортів кар'єру та здійснено прогноз часу їх стояння. Також було екологічно та економічно обґрунтовано необхідність проведення досліджень часу стояння неробочих бортів кар'єру.

Так, згідно метеоспостережень було встановлено, що температура на поверхні ґрунту у річному циклі постійно змінюється (табл. 2).

Таблиця 2

Статистичні дані середньомісячної температури для Київської області

Місяць	I	II	III	IV	V	VI
Середня температура, °C	-3,69	-2,51	2,31	10,13	16,16	19,4
Місяць	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Середня температура, °C	21,59	20,39	14,63	8,37	3,18	-1,93

Для опису та прогнозу річного ходу зміни температури поверхні борта було використано кореляційні рівняння періодичного типу (метод А. К. Митропольського). Згідно досліджень, для опису річного ходу температури слід використати періодичну функцію, яка має вигляд

$$f(x) = a_0 + \sum_{k=1}^m (a_k \cos kx + b_k \sin kx). \quad (3)$$

Оскільки, в цьому рівнянні кількість невідомих коефіцієнтів дорівнює  $2m + 1$ . Якщо кількість замірів  $n \geq 2m + 1$ , то коефіцієнти  $a_k$  та  $b_k$  знаходять за методом найменших квадратів, тобто при умові, що

$$\sum_{h=1}^{n-1} (u_k - \tilde{u}_k)^2 \rightarrow \min. \quad (4)$$

При знаходженні коефіцієнтів  $a_k$  та  $b_k$  вважали, що функції

$$1, \cos kx, \sin kx \quad (k = 1, \dots, m),$$

де  $m \leq \frac{n}{2}$ , складають систему функцій, які ортогональні по відношенню до системи рівновіддалених значень  $x_k$  з ряду фактичних замірів  $u_0, u_1, \dots, u_{n-1}$ :

$$\sum_{k=0}^{n-1} \cos \frac{2hk\pi}{n} \cos \frac{2hl\pi}{n} \begin{cases} = 0, \text{ якщо } k \neq l; \\ = \frac{n}{2}, \text{ якщо } k = l \neq 0, \neq \frac{n}{2}. \end{cases} \quad (5)$$

Використовуючи дану методику, було розраховано значення всіх коефіцієнтів та записано наступне рівняння:

$$f(x) = 8,994 + [(-12,705 \cos(x) - 0,186 \cos(2x) + 0,003 \cos(3x) + 0,106 \cos(4x)) + (0,258 \sin(x) - 0,287 \sin(2x) - 0,555 \sin(3x) + 0,406 \sin(4x))] \quad (6)$$

Використовуючи дану кореляційну залежність, розраховані середньомісячні температури поверхні ґрунту та порівняно їх значення із статистичними даними спостережень (табл. 3).

Таблиця 3.

Спостереження та розраховані значення середньомісячної температури

Місяць	I	II	III	IV	V	VI
Дані спостережень, °C	-3,69	-2,51	2,31	10,13	16,16	19,4
Розраховані значення, °C	-3,788	-2,478	2,302	10,099	16,213	19,322
Місяць	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Дані спостережень, °C	21,59	20,39	14,63	8,37	3,18	-1,93
Розраховані значення, °C	21,616	20,38	14,566	8,473	3,055	-1,832

Застосовуючи дану методику, аналогічно було розраховано кореляційні залежності та відповідні коефіцієнти для найтеплішого (2015) і найхолоднішого (2006) років за останні 20 років. Результати розрахунків наведено в таблиці 4.

Таблиця 4.

Розраховані значення коефіцієнтів

Коефіцієнти	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$
Найтепліший рік	10,4917	-11,8165	0,7333	0,2167	-0,9667	-0,2021	0,2598	-1,2	-0,3753
Середні температури	8,994	-12,705	-0,186	0,003	0,106	0,258	-0,287	-0,555	0,406
Найхолодніший рік	7,3083	-14,0829	-1,933	-0,5	-0,4833	-0,5236	-2,8867	-0,6833	2,0495

Використовуючи дану залежність, побудоване графічне відображення річного ходу температури для поверхні ґрунту в Київській області (рис. 1).

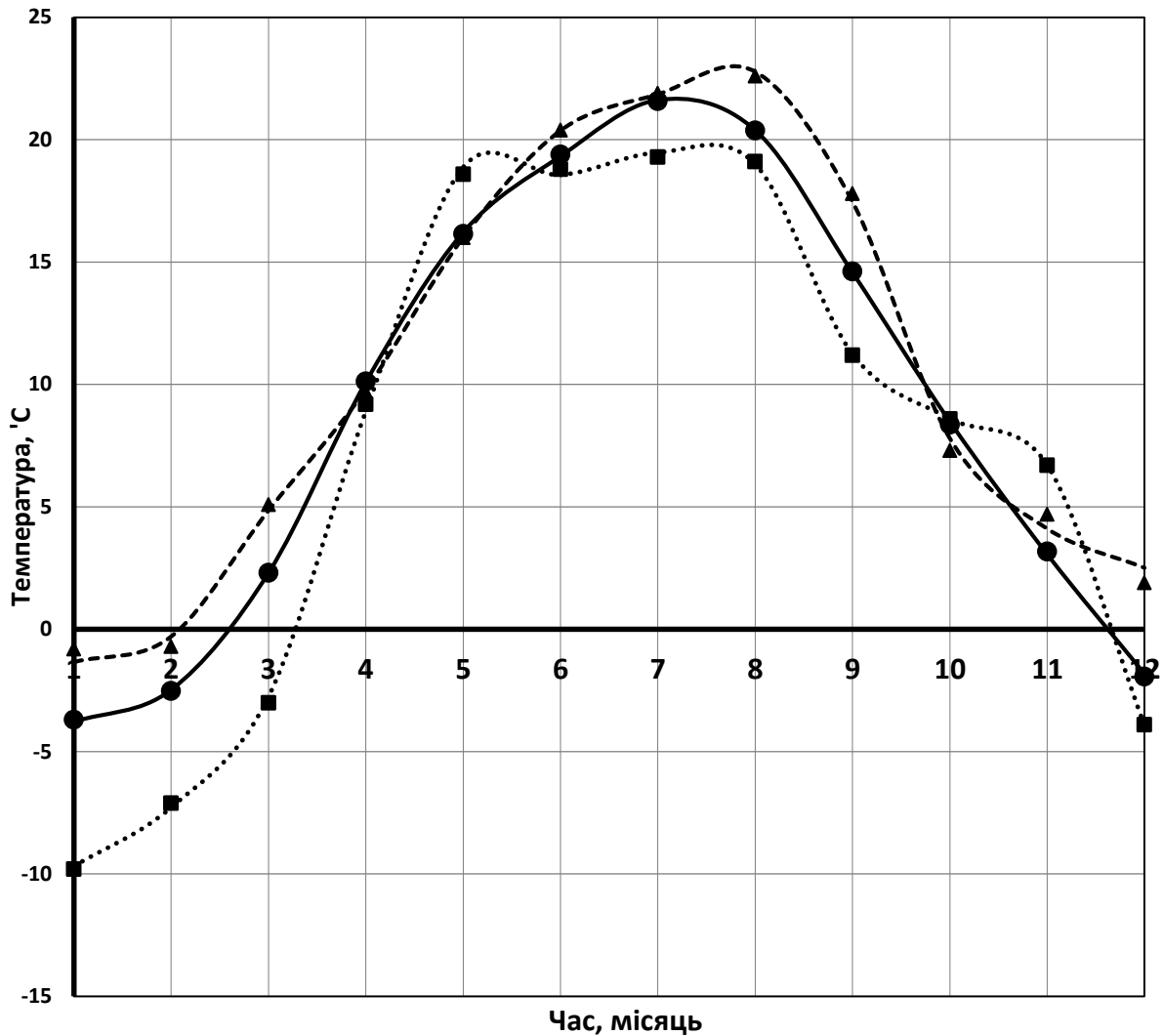


Рис. 6. Річний хід температури поверхні ґрунту по місяцях: ● – статистичні середньомісячні значення температури за останні 20 років; — — розраховані середньомісячні значення температури за останні 20 років; ■ – статистичні значення температури в найхолодніший рік; ..... – розрахункові значення температури в найхолодніший рік; ▲ – статистичні значення температури в найтепліший рік; ----- – розрахункові значення температури в найтепліший рік.

Порівнявши дані спостережень та розрахункові значення встановлено, що отримане кореляційне рівняння досить точно виражає зміну температури поверхні ґрунту в Київській області.

Аналогічно розрахункам проведеним для встановлення кореляційного зв'язку між зміною температури та часу була встановлена кореляційна залежність між швидкістю деформації та часом(рис. 7).

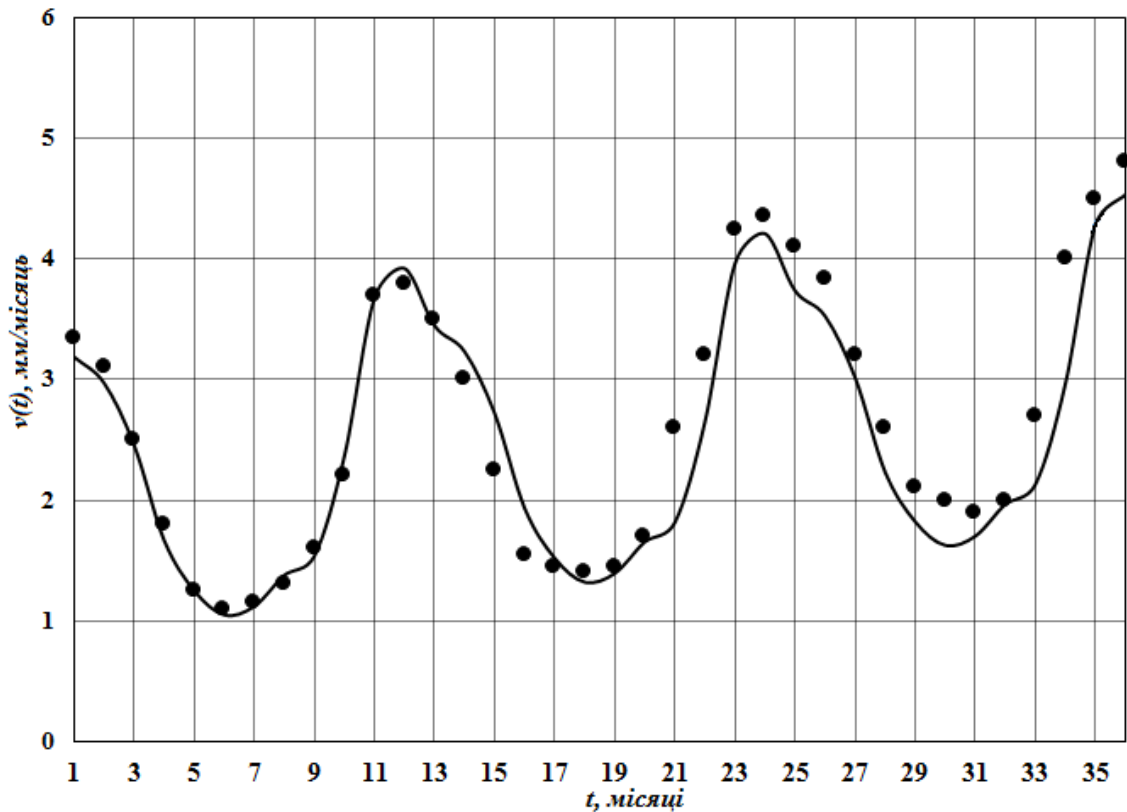


Рис. 7. Динаміка зміни швидкості деформації борта кар'єра

В результаті розрахунків було встановлено, що швидкість деформації борта збільшується зі зниженням температури, у зимові місяці, а зменшується у періоди, коли температура ґрунту підвищується.

Для оцінки сили зв'язку між експериментальними та розрахунковими даними було розраховано індекс кореляції, який використовується для вимірювання щільності криволінійного зв'язку. Провівши відповідні розрахунки було визначено величину індексу кореляції  $R=0,8849$ . Оскільки значення індексу кореляції лежить в межах  $0,7 < R < 1$ , то був зроблений висновок, що існує сильний зв'язок між експериментальними та розрахунковими даними і дану функцію доцільно використовувати для прогнозу швидкості деформації бортів кар'єрів.

Використовуючи встановлену залежність, на основі ентропійного критерію стійкості, було розраховано ймовірність стійкого стану неробочого борта кар'єру та часу його стояння, який становить 19 років та 4 місяці (рис. 8).

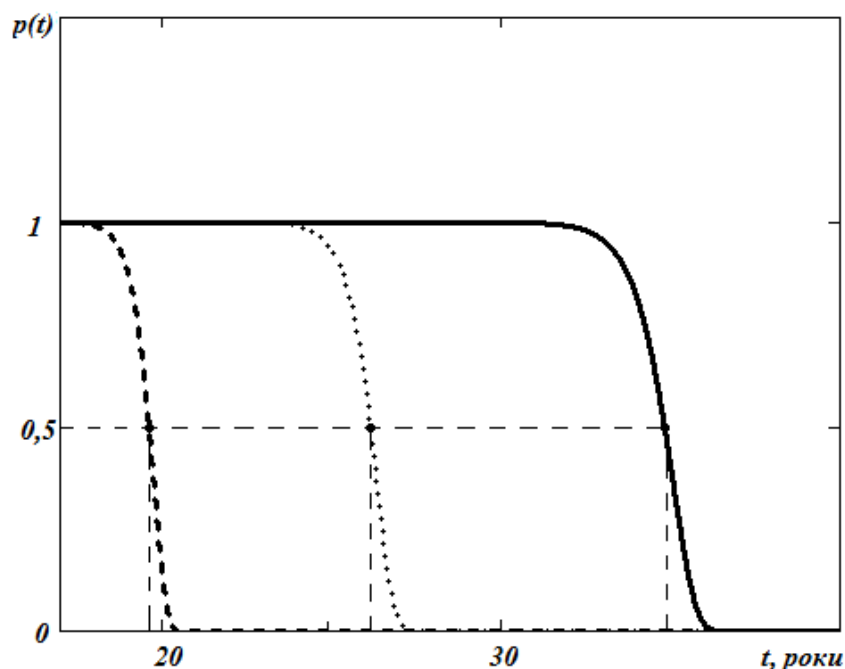


Рис. 8. Ймовірність стійкого стану борта гранітного кар'єру

З даного графіка, було визначено час стояння борта кар'єру. Так, приймаємо, що борт буде руйнуватися, коли  $p(t) = 0,5$ , то час стояння борта становить (табл. 5).

Таблиця 5

Час стояння борта Ольшаницького кар'єру

Температурний режим	$t_{кр}$ , рік
Від'ємні температури	19,5
Сезонна зміна температури	26,5
Додатні температури	35

При порівнянні часу стійкого стану борта кар'єру та терміну його служби, який згідно маркшейдерських розрахунків становить 32 роки встановлено, що час стояння борта значно менший ніж розрахований термін експлуатації кар'єру, за умови, коли температура змінюється залежно від сезону та при постійних від'ємних температурах, що підтверджує необхідність проведення досліджень стійкості бортів кар'єру з використанням ентропійного критерію.

Було оцінено розмір можливих економічних та екологічних збитків внаслідок можливого розвитку зсувних процесів.

Запропоновано можливі способи реконструкції технології проведення буро-вибухових робіт з метою забезпечення стійкого стану бортів кар'єру.



## ВИСНОВКИ

В дисертації, що є завершеною науково-дослідною роботою, поставлена і вирішена актуальна наукова задача, яка полягає у оцінці стійкості бортів кар'єру з урахуванням зміни температури масиву при використанні ентропійного критерію.

Основні наукові і практичні результати роботи полягають у наступному:

1. Сучасні тенденції розвитку гірничої промисловості характеризуються постійним підвищенням об'ємів гірничих робіт, збільшенням потужностей діючих кар'єрів, що відбувається за рахунок розширення їх меж і збільшення глибини розробки з застосуванням нових технологій. Разом із збільшенням масштабів видобутку корисних копалин, все частіше перед науковцями постає проблема оцінки та підвищення стійкості бортів кар'єрів.

2. Особливості будови мерзлих ґрунтів визначають особливий характер деформації у порівнянні із талими ґрунтами чи гірськими породами.

3. Величина питомої витрати вибухової речовини, при проведенні підричних робіт на кар'єрі, зменшується зі зниженням температури ґрунту, за умови його однакової вологості.

4. Зі збільшенням вологості та зниженням температури ґрунту інтенсивність загасання амплітуди хвилі та швидкості її поширення зменшується. Різке зменшення швидкості поздовжніх хвиль при температурах, близьких до 0°C, свідчить про дуже інтенсивний процес руйнування структурних зв'язків. Подальша стабілізація швидкості свідчить про завершення даного процесу.

5. Використовуючи системний аналіз та багаторічні спостереження за температурою поверхні ґрунту з допомогою методики А. К. Митропольського було описано річний хід температури та швидкість деформації борта кар'єру. Встановлено зв'язок між інтенсивністю деформації борта кар'єру та порою року. Так, виявлено, що більш інтенсивна деформація бортів кар'єру спостерігається у періоди від'ємних температур.

6. Розроблено математичну ймовірнісну динамічну модель, на основі ентропійного критерію, для оцінки стійкості бортів кар'єру, яка враховує річний хід температури гірського масиву та оцінено ймовірність стійкого стану борта кар'єру та часу його стояння за трьома температурними режимами. Згідно розрахунків, час стояння неробочого борта кар'єру за умови постійних від'ємних температур та їх сезонної зміни становить 19,5 та 26,5 років відповідно, що значно менше терміну експлуатації кар'єру.

7. Оцінено розмір економічного та екологічного збитку у результаті можливого виникнення зсувних процесів, який складає 68869,6 тис. грн.

8. Запропоновано шляхи зменшення сейсмічного впливу на борти кар'єру з метою збільшення часу їх стояння, що забезпечить безпечний видобуток корисних копалин протягом усього терміну служби кар'єру.

### Список опублікованих праць за темою дисертації:

1. Крючков А.І. Вплив температури поверхні на деформацію борта кар'єру / А.І. Крючков, М.О. Мельничук // Тези доповідей ІХ Міжнародної науково-технічної конференції «Енергетика. Екологія. Людина», НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»; Київ. – 2016. – С. 53 – 56.
2. Крючков А.І. Прогнозування ймовірності стійкого стану та часу стояння неробочого борта ТОВ «Новгородецький кар'єр» / А.І. Крючков, М.О. Мельничук // Тези доповідей ІХ Міжнародної науково-технічної конференції «Енергетика. Екологія. Людина», НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»; Київ. – 2017. – С. 61 – 54.
3. Мельничук М. О. Застосування методу А. К. Митропольського для розрахунку температури поверхні борта кар'єру / М.О. Мельничук, А. І. Крючков // Збірник наукових статей Всеукраїнської наукової інтернет-конференції «Вітчизняна наука на зламі епох: проблеми та перспективи розвитку». – Переяслав-Хмельницький: (Вип. 42) – Київ, 2018.
4. Мельничук М.О., Крючков А.І. Прогноз зміни температури поверхні борта кар'єру на основі статистичних даних // Х міжнародна науково-технічна конференція Інституту енергозбереження та енергоменеджменту КПІ ім. Ігоря Сікорського «Енергетика: економіка, технології, екологія», – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІЕЕ, 2018.

### АНОТАЦІЯ

**Мельничук М. О.** Вплив термодинамічних параметрів гірських порід при оцінці стійкості бортів кар'єру з використанням ентропійного критерію. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня магістра за спеціальністю 101 – Екологія. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» МОН України, Київ, 2018.

Робота присвячена оцінці стану стійкості бортів кар'єру та прогнозу часу їх стояння за допомогою ентропійного критерію стійкості, з урахуванням сезонної зміни температури.

Встановлений зв'язок між температурою гірського масиву та його фізико-механічними і акустичними параметрами. Було встановлено, що швидкість сейсмічних хвиль залежить від температури, тобто зі зниженням температури гірської породи зростає швидкість, а енергія, яка передається може збільшитися більш ніж в 8 разів.

Розроблені адекватні математичні моделі з використанням фундаментальних наукових принципів, які описують річний хід температури та враховують його при оцінці і прогнозі стійкості бортів кар'єру за допомогою ентропійного критерію стійкості.

Проведення оцінки стійкості бортів кар'єру та прогноз часу їх стояння дозволяє за потреби відкоригувати технологію проведення буро-вибухових робіт та запобігти можливим збиткам, внаслідок виникнення зсувних процесів та їх ліквідації.

**Ключові слова:** кар'єр, гірська порода, борт кар'єру, буро-вибухові роботи, температура, ентропійний критерій, оцінка стійкості, прогнозування часу стояння.

## АННОТАЦІЯ

**Мельничук М. О.** Влияние термодинамических параметров горных пород при оценке устойчивости бортов карьера с использованием энтропийного критерия. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание степени магистра по специальности 101 – Экология. Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» МОН Украины, Киев, 2018.

Работа посвящена оценке состояния устойчивости бортов карьера и прогноза времени их стояния с помощью энтропийного критерия устойчивости, с учетом сезонного изменения температуры.

Установлена связь между температурой горного массива и его физико-механическими и акустическими параметрами. Было установлено, что скорость сейсмических волн зависит от температуры, то есть с понижением температуры горной породы растет скорость, а энергия, которая передается может увеличиться более чем в 8 раз.

Разработанные адекватные математические модели с использованием фундаментальных научных принципов, которые описывают годовой ход температуры и учитывают его при оценке и прогнозе устойчивости бортов карьера с помощью энтропийного критерия устойчивости.

Проведение оценки устойчивости бортов карьера и прогноз времени их стояния позволяет при необходимости откорректировать технологию проведения буровзрывных работ и предотвратить возможные убытки, вследствие возникновения оползневых процессов и их ликвидации.

**Ключевые слова:** карьер, горная порода, борт карьера, буровзрывные работы, температура, энтропийный критерий, оценка устойчивости, прогнозирование времени стояния.

## ABSTRACT

**Melnychuk M. O.** Influence of rocks thermodynamic parameters in assessing pit edge stability using an entropic criterion. – Manuscript.

Thesis for a Master's degree by specialty 101 – Ecology. National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kiev Polytechnic Institute" Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2018.

The work is devoted to assessing the stability of the career sides and forecasting the time of their standing with the help of an entropy stability criterion, taking into account seasonal temperature changes.

The connection between the temperature of the rock mass and its physical-mechanical and acoustic parameters is established. It was found that the velocity of seismic waves depends on the temperature, that is, with the temperature decrease of the rock, the velocity increases, and the energy transmitted can increase by more than 8 times.

Adequate mathematical models are developed using fundamental scientific principles that describe the annual course of temperature and consider it when evaluating and forecasting the stability of the career side by means of an entropy stability criterion.

Assessing the stability of the career sides and forecasting the time of their standing allows, if necessary, to correct the technology of carrying out blasting operations and prevent possible damage due to the occurrence of landslide processes and their elimination.

**Keywords:** quarry, rock, career board, blasting operations, temperature, entropy criterion, estimation of stability, forecasting of standing time.

**Мельничук Марія Олегівна**

**Вплив термодинамічних параметрів гірських порід при оцінці стійкості  
бортів кар'єру з використанням ентропійного критерію**

101 – Екологія

**Автореферат**  
магістерської дисертації на здобуття  
ступеня магістра

