

ГЕОМЕХАНІКА

УДК 624.139.262

DOI: 10.20535/2079-5688.0.33.100620

А.І. Крючков, к.т.н., доц., **А.І. Бахтин**, студент (КПІ ім. Ігоря Сікорського)**ЗАКОНОМІРНІСТЬ ШВИДКОСТІ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ
ПОВЗДОВЖНІХ СЕЙСМІЧНИХ ХВИЛЬ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД
ТЕМПЕРАТУРИ ТА ВОЛОГОСТІ ГІРСЬКИХ ПОРІД****A.I. Kriuchkov, A.I. Bakhtyn** (Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute)**THE PATTERN OF VELOCITY EXPANSION OF THE
LONGITUDINAL SEISMIC WAVES DEPENDING ON THE
TEMPERATURE AND HUMIDITY OF ROCK**

Встановлено закономірність зростання швидкості повздовжніх деформацій при промерзанні масиву гірських порід з врахуванням їх вологості, яка дозволяє прогнозувати передачу та розподіл енергії повздовжніх хвиль в масиві гірських порід.

Ключові слова: швидкість повздовжніх хвиль; температура; вологість; гірський масив; промерзання.

Установлена закономерность роста скорости продольных деформаций при промерзании массива горных пород с учетом их влажности, которая позволяет прогнозировать передачу и распределение энергии продольных волн в массиве горных пород.

Ключевые слова: скорость продольных волн; температура; влажность; горный массив; промерзания.

The pattern of velocity expansion of longitudinal deformation during freezing rock massif considering their humidity was established. This pattern allows predicting the transmission and distribution of longitudinal wave's energy in the rock massif.

Keywords: velocity of longitudinal waves; temperature; humidity; rock massif; freezing.

Вступ. При проведенні масових вибухів на кар'єрах сейсмічні хвилі впливають на стійкість бортів кар'єрів і охороняємих на них об'єктів. Небезпека руйнування охороняємих об'єктів значно зростає при низьких температурах. При зміні вологості масиву і температури (промерзання) швидкість сейсмічних хвиль і відповідно передача енергії змінюються, що може призвести до порушення стійкості об'єктів.

Мета роботи. Встановлення закономірності та аналітичної залежності зміни швидкості сейсмічних хвиль від температури та вологості ґрунту.

Результати досліджень. 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 [1].

Мерзлі ґрунти являються багатофазними і багатокомпонентними системами, що складаються з твердої фази – скелета породи і льоду, рідкої – незамерзлої води і газоподібної – парів та газів.

Відносний склад льоду в мерзлих ґрунтах, а відповідно, і їх міцність залежать від температури ґрунту: зі зниженням температури відбувається відносне збільшення фази льоду, а також збільшується і механічна міцність льоду як цементу, скріплюючого мінеральні частинки [2].

На кількість льоду і співвідношення між льодом і незамерзлою водою, окрім температури, впливають також гранулометричний і хіміко-мінералогічний склади, фізико-хімічні властивості, пористість, умови промерзання та інше.

На глибину промерзання впливають температура навколишнього повітря, сніговий покрив і його характеристика, вологість і фізико-механічні властивості ґрунту, рівень ґрунтових вод, рельєф місцевості і характер рослинного покриву, а також інші чинники.

Для встановлення залежності швидкості сейсмічних хвиль деформації від температури та вологості використані експериментальні дослідження для наступних порід: засолені дрібно зернисті пілуваті піски при вологості $W=10\%$, 16% , 21% при фіксованому значенню мінералізації 1% [1].

Експериментальні значення залежності швидкості сейсмічних повздовжніх хвиль від температури та вологості гірського масиву приведені в табл. 1 [2].

Таблиця 1

Експериментальні значення залежності швидкості сейсмічних повздовжніх хвиль від температури та вологості гірського масиву [2]

Мінералізація, %	Вологість, %	Швидкість повздовжньої хвилі C_p (м/с) при температурі, °C						
		-20	-15	-10	-5	-2	-0,5	0 і вище
1	21	4250	4200	2750	1100	800	700	700
1	16	3800	3750	2250	750	650	600	600
1	10	3400	3250	1600	650	550	500	500
3	20	4100	4000	2500	750	750	750	750
3	14	3600	3500	1250	650	650	650	650
3	10	3000	2750	1000	550	550	550	550

Характер експериментальних залежностей наштовхує на думку, що існує єдина закономірність $C_p=f(T)$, яка може бути описана аналітично.

Проведений аналіз показав, що залежність такого типу може бути представлена в наступному вигляді:

$$C_p T = C_{max} - C_{min} \exp -\exp \frac{T-\theta}{\sigma_T} + C_{min} , \quad (1)$$

де C_{max} – максимальне встановлене значення швидкості поздовжніх хвиль при від’ємних температурах; C_{min} – мінімальне встановлене значення швидкості поздовжніх хвиль при додатних температурах; T – поточне значення температури гірської породи, °C; θ – температура максимальної інтенсивності переходу порід з мерзлого стану в талий, °C; σ_T – визначає діапазони температур переходу з замерзлого стану в талий [3].

Після деяких перетворень і подвійного логарифмування вираз (1) прийме вигляд $\ln(-\ln y) = x$ [3], де y і x :

$$y = \frac{C_p T - C_{min}}{C_{max} - C_{min}}, \quad (2)$$

$$x = \frac{T - \theta}{\sigma_T}. \quad (3)$$

В координатах $z = \ln(-\ln y)$ і $x = \frac{1}{\sigma_T}(T - \theta)$ одержана залежність представляє собою рівняння прямої:

$$z = \frac{1}{\sigma_T} T - \frac{\theta}{\sigma_T}. \quad (4)$$

З виразу (4) необхідно визначити σ_T :

$$\sigma_T = \frac{\ln(-\ln y)}{T - \theta}. \quad (5)$$

На рис. 1 представлені експериментальні залежності параметрів θ , °C; C_{max} , м/с; C_{min} , м/с; σ_T , °C від вологості гірського масиву W , %.

Кореляційні рівняння залежності вище вказаних параметрів від вологості гірського масиву представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Кореляційні рівняння залежностей θ , C_{max} , C_{min} , σ_T від вологості гірського масиву W , %

Назва параметра	Кореляційне рівняння
Температура максимальної інтенсивності переходу, °C	$\theta = 0,135 \cdot W - 11,942$ $R=0,916$
Максимальна швидкість поздовжніх хвиль, м/с	$C_{max} = 121,46 \cdot W + 1625,5$ $R=0,916$
Мінімальна швидкість поздовжніх хвиль, м/с	$C_{min} = 14,423 \cdot W + 429$ $R=0,974$
Температурний параметр діапазону переходу, °C	$\sigma_T = 0,147 \cdot W - 0,391$ $R=0,794$

Використовуючи дані табл. 2 рівняння (1) запишемо у вигляді:

$$C_p T = (121,46 \cdot W + 1625,5 - 14,423 \cdot W + 429) \times \exp - \exp \frac{T - (0,135 \cdot W - 11,942)}{0,147 \cdot W - 0,391} + 14,423 \cdot W + 429. \quad (6)$$

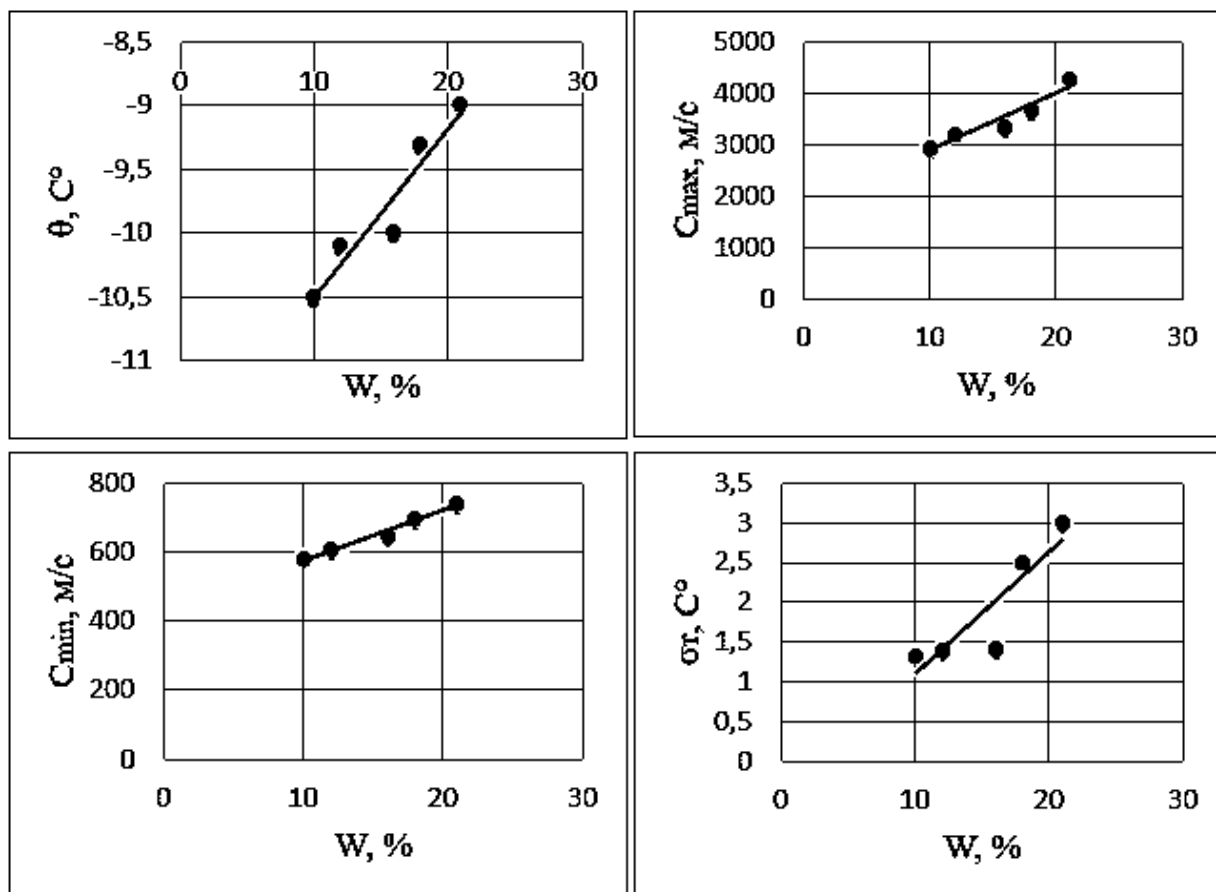


Рис. 1. Залежності θ , C_{max} , C_{min} , σ_T від вологості гірського масиву W

Використовуючи рівняння (6), розраховані значення швидкості повздовжніх сейсмічних хвиль на температурному діапазоні гірської породи від $-20\text{ }^\circ\text{C}$ до $+20\text{ }^\circ\text{C}$ при різних значеннях вологості гірської породи (10, 16, 18, 21%). Результати розрахунків представлені на рис. 2.

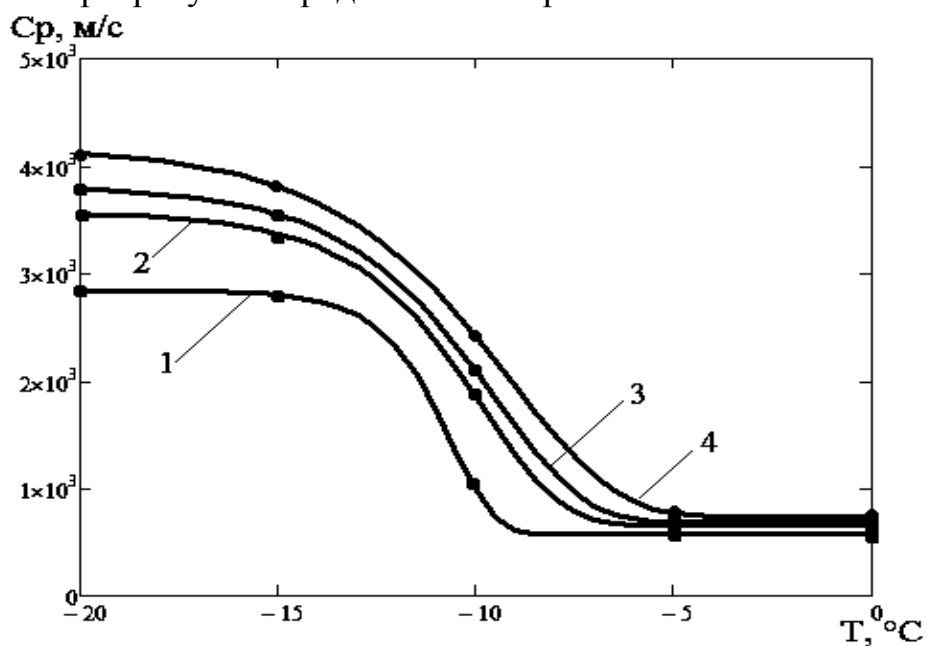


Рис. 2. Аналітична залежність швидкості розповсюдження повздовжніх

сейсмічних хвиль від температури та вологості гірського масиву побудована за результатами розрахунків:

1 – швидкість повздовжньої хвилі при вологості гірської породи 10%; 2 – 16%; 3 – 18%; 4 – 21%; точками позначені експериментальні заміри [1]

Висновки

1. При промерзанні масиву гірських порід, швидкість повздовжньої хвилі деформації зростає в 5..8 разів і при подальшому зниженні температури стабілізується.

2. Крім зниження температури найбільше на підвищення швидкості повздовжніх хвиль впливає вологість ґрунту.

3. Встановлена закономірність зростання швидкості повздовжніх деформацій при промерзанні масиву гірських порід з врахуванням їх вологості, яка аналітично описується подвійною експоненціальною залежністю, і підтверджується експериментально.

4. Одержана закономірність дозволяє спрогнозувати передачу та розподіл енергії при проходженні повздовжніх хвиль при промерзанні масиву гірських порід.

Посилання

- [1] И.З. Дроговейко, *Разрушение мерзлых грунтов взрывом*. Москва, СССР: Недра, 1981.
- [2] И.Н. Вотяков, *Физико – механические свойства мерзлых и оттаивающих грунтов Якутии*. Новосибирск, СССР: Наука, 1975.
- [3] А. Крючков, «Закономірність швидкості розповсюдження повздовжніх сейсмічних хвиль в залежності від температури та вологості гірських порід» на *VIII Міжнар. Наук.-практ. конф. Енергетика. Екологія. Людина*, Київ, 2016, с. 13-15.

Стаття надійшла до редакції 28.04.2017 р.