

# БУРІННЯ НАФТОВИХ І ГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН

УДК 622.02

## ОСНОВНІ КРИТЕРІЇ ТА ЗАКОНОМІРНОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРУШЕНИХ ПОРІД

<sup>1</sup> Е.М.Барановський, <sup>2</sup> В.М.Мойсишин

<sup>1</sup> Комплексна лабораторія технології буріння та кріплення свердловин ПІВ УкрДГРІ; 79018, м. Львів, вул. Тургенєва, 33; к. 45; тел. (032) 2373126; e-mail: pvukrdgri@mail.lviv.ua

<sup>2</sup> ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42123 e-mail: math@nung.edu.ua

*Рассмотрены основные критерии и закономерности восстановления упругопластических и механических свойств нарушенных горных пород. Установлен характер зависимости приведенного расстояния от масштабного фактора, а также коэффициента сохранности свойств массива горных пород от исходной скорости продольной волны*

Отримання інформації про стан масиву гірських порід в різних технологічних процесах є одним із основних завдань розвідки корисних копалин та у вивченні внутрішньої будови Землі. Тільки добре налагоджений і своєчасний контроль дає змогу керувати тим чи іншим технологічним процесом з метою отримання оптимального кінцевого результату. Збільшення глибини геологорозвідувальних робіт ставить перед геомеханікою нові завдання, зумовлені зміною властивостей гірських порід з досягненням граничного напруженого стану.

Дослідження, проведені в гірничій науці, засвідчили, що, змінюючи вид напруженого стану та режими навантаження, можна змінювати не лише міцнісні показники порід, але й характер їх поведінки. При цьому завдання щодо переведення порід з одного класу в інший цілком підлягає вирішенню, що й уможлиблює розвиток нового підходу до керування геомеханічними процесами в масиві гірських порід.

Аналіз результатів дослідження процесів висаджування гірських порід засвідчив, що їх методика може бути використана при вивченні закономірностей відновлення властивостей гірських порід в умовах глибокого буріння [1]. Суть її полягає у визначенні зведеної віддалі, на якій фізико-механічні властивості порід впливають на максимальні розміри воронки вибуху.

Загальним правилом зведення, встановленим для лінійних розмірів вибухової воронки, як і для інших споріднених фізичних явищ,

*The basic criteria and laws of restoration of elastic and mechanical properties of the broken breeds are considered. Character of dependence of the resulted distance from the scale factor, and also factor of safety of properties of a file of rocks from initial speed of a longitudinal wave is established.*

пов'язаних з вибухом, є так зване „правило зведення до кубічного кореня”, встановлене суто емпіричним шляхом. Згідно з цим правилом зведеним значенням певного лінійного розміру

$L$  є величина  $\frac{L^3}{\sqrt{W}}$ , де  $W$  – маса заряду.

У роботі [2] при вивченні механізму формування фізико-механічних властивостей порушених гірських порід прийнято монотонний характер їх зміни у функції зведеної віддалі, первинних пружнопластичних властивостей порід, що встановлені за результатами акустичного зондування, та міцнісних властивостей, отриманих за результатами первинного та вторинного відбору керна.

Виходячи зі сказаного, характер відновлення властивостей гірських порід може визначатись із залежності

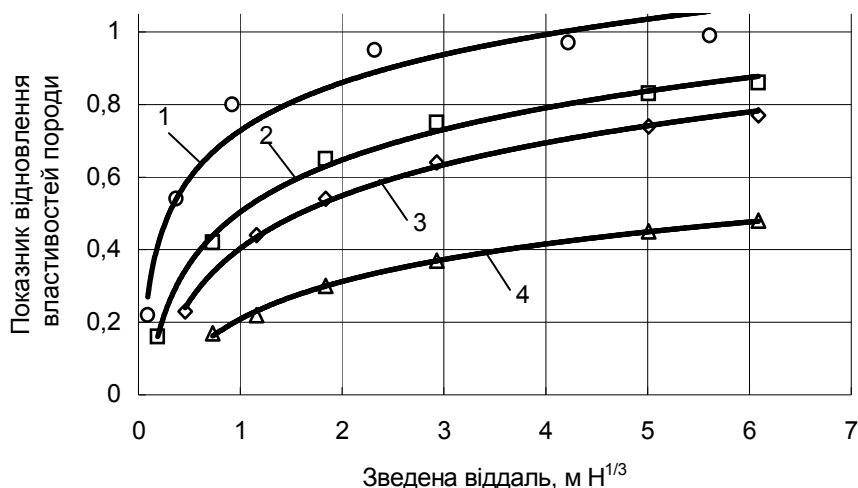
$$\frac{C_i}{C_o} = f(\bar{R}), \quad (1)$$

де:  $C_i$  – поточне значення конкретної фізичної характеристики у порушеній породі ;

$C_o$  – початкове значення конкретної фізичної характеристики;

$\bar{R}$  – зведена відстань.

Оскільки в процесі буріння зростання зведеної віддалі буде відбуватися тільки при збільшенні осьового навантаження на вибій, то вона визначатиметься із залежності



1 – швидкість поздовжньої хвилі; 2 – модуль пружності;  
3, 4 – опір порід відповідно стисненню і розтягу

**Рисунок 1** — Характер відновлення первинних властивостей гірських порід залежно від зведеної відстані

$$\bar{R} = R\sqrt[3]{Q}, \quad (2)$$

де:  $R$  – радіус свердловини;  
 $Q$  – навантаження на вибій свердловини.

За зведеними формулами проведено розрахунки, результати яких зображено на графіку (рис. 1). Вони свідчать, що найшвидше відновлюються такі пружнопластичні властивості порушених порід, як швидкості поздовжньої і поперечної хвиль. Вони можуть бути подані формулами

$$\frac{V_{li}}{V_{lo}} = 0,1905 \ln(\bar{R}) + 0,7285;$$

$$\frac{V_{ti}}{V_{to}} = 0,1905 \ln(\bar{R}) + 0,7285, \quad (3)$$

де:  $V_{li}$  – поточна швидкість поздовжньої хвилі в порушених породах;

$V_{lo}$  – початкова швидкість поздовжньої хвилі;

$V_{ti}$  – поточна швидкість поперечної хвилі в порушених породах;

$V_{to}$  – початкова швидкість поперечної хвилі.

Відновлення модуля пружності в силу його функціональної залежності від  $\rho V_l^2$  проходить повільніше і підпорядковано залежності

$$\frac{E_i}{E_o} = 0,207 \ln(\bar{R}) + 0,5038, \quad (4)$$

де:  $E_i$  – поточний модуль пружності порушених гірських порід;

$E_o$  – початковий модуль пружності.

Характерною особливістю зміни модуля пружності порушених порід є його залежність від вихідної швидкості поздовжньої хвилі.

Аналіз отриманих даних свідчить, що важливим показником порушених порід є коефіцієнт збереження їх властивостей, який можна подати залежністю [3]

$$C_{зб} = \frac{V_{li}}{V_{lo}}. \quad (5)$$

Даний коефіцієнт змінюється відповідно до залежності, зображеної на графіку (рис. 2). Із графіка видно: чим вища початкова міцність порід, їх крихкість, тим менше співвідношення  $V_{li}/V_{lo}$  і вищі втрати збереженості порід, що узгоджується з даними роботи [2].

Наслідком зниження в порушених зонах швидкостей поздовжньої і поперечної хвиль при формуванні властивостей порушених гірських порід є суттєва зміна коефіцієнта Пуассона. За даними, розрахованими для Кольської надглибокої свердловини (СГ-3) [4], побудовано графік (рис. 3), на якому зображено співвідношення між поздовжньою хвилею і коефіцієнтом Пуассона. Отримані дані підтверджуються експериментальними дослідженнями [5].

Поряд з дослідженнями пружнопластичних властивостей гірських порід отримано також закономірності відновлення їх міцнісних властивостей в зонах порушень. Встановлено, що найшвидше відновлюється міцність гірських порід на стиснення, що може бути виражено формулою

$$\frac{\sigma_{ci}}{\sigma_{co}} = 0,2099 \ln(\bar{R}) + 0,4034, \quad (6)$$

де:  $\sigma_{ci}$  – поточний опір стисненню порушених порід;

$\sigma_{co}$  – початковий опір гірських порід стисненню.

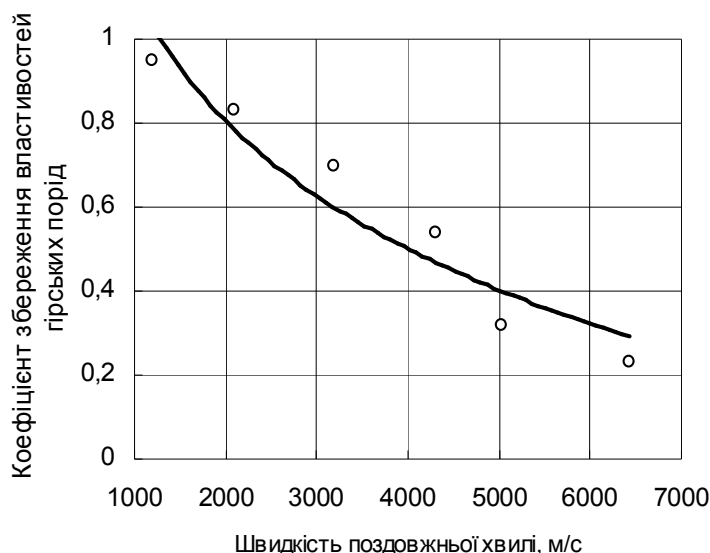


Рисунок 2 — Зміна коефіцієнта збереження властивостей гірських порід залежно від вихідної швидкості поздовжньої хвилі

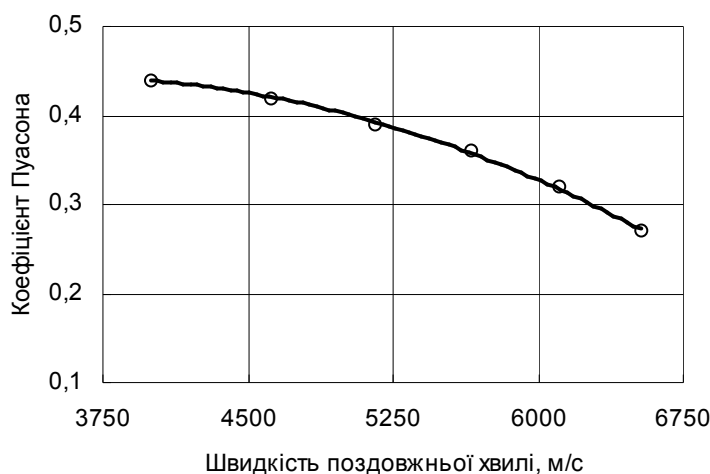


Рисунок 3 — Зміна коефіцієнта Пуассона залежно від вихідної швидкості поздовжньої хвилі

Отримані результати проведених розрахунків зображено на графіку (рис. 1).

Повільніше відновлюється міцність порід на розтяг: збереження в середовищі найменшої тріщини, мікропорожнини або неоднорідності призводить до різкого зниження міцності на розтяг, що і відображено в отриманих законах міцності (див. рис. 1) і відповідній формулі

$$\frac{\sigma_{pi}}{\sigma_{po}} = 0,14 \ln(\bar{R}) + 0,2088, \quad (7)$$

де:  $\sigma_{pi}$  – поточний опір розтягу порушених порід;

$\sigma_{po}$  – початковий опір порід розтягу.

Відомо, що у свердловинах, які перебувають в процесі поглиблення, під дією напружень стінки можуть змінювати свій стан. Вони здатні суттєво змінити фізико-механічні властивості порід та призвести до різного роду ускладнень.

В масштабі свердловини представлено графік зміни зведеної віддалі залежно від діаметра свердловини (рис. 4). Він підтверджує можливість суттєвого впливу масштабного чинника на відновлення фізико-механічних властивостей порушених порід.

Таким чином, отримані результати досліджень свідчать, що механізм відновлення фізичних властивостей порушених порід та геометричні параметри їх зон в деякому об'ємі радіусом  $R\sqrt[3]{Q}$  є достатньо складними і вимагають ретельного і диференційованого підходу до їх визначення. Вони підтверджують також той факт, що в різних інтервалах процес формування стовбура свердловини може проходити за різний (іноді з різницею у декілька порядків) час, що залежить від закінчення процесу відновлення фізико-механічних властивостей порушених порід.

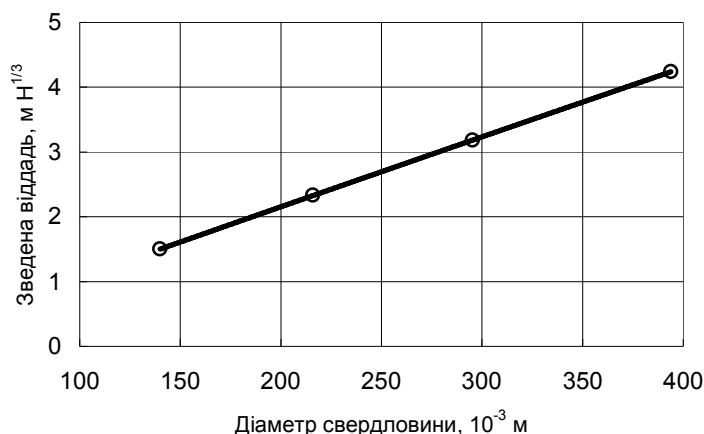


Рисунок 4 — Зміна зведеної відстані залежно від діаметра свердловини

**Література**

1 Механика горных пород: Пер. с англ. / Под ред. Ч.Файергурста – М.: Недра, 1966. – 452 с.

2 Мосинец В.Н., Абрамов А.В. Разрушение трещиноватых и нарушенных горных пород. – М.: Недра, 1982.– 248 с.

3 Барановський Е.М., Мойсишин В.М. Акустичні методи оцінювання та прогнозування ступеня порушеності гірських порід // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2005. – № 3(12). – С.85-88.

4 Механика горных пород применительно к проблемам разведки и добычи нефти: Пер. с англ. и франц. / Под ред. В.Мори и Д.Фурментро. – М.: Мир, 1994.– 416 с.

5 Кольская сверхглубокая. Исследование глубинного строения континентальной коры с помощью бурения Кольской сверхглубокой скважины. – М.: Недра, 1984. – 490 с.

УДК 622.245

## ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ КРІПЛЕННЯ НАФТОВИХ І ГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН

Я.С.Коцкулич, М.В.Сенюшкович, Б.А.Тершак

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42153  
e-mail: [drill@nung.edu.ua](mailto:drill@nung.edu.ua)

Долговечность крепления буровых скважин определяется продолжительностью безаварийной работы обсадных колонн, а также прочностью и герметичностью заколонного пространства, которое формируется тампонажным камнем. Для решения этих проблем необходимо уточнить величины нагрузок, действующих на обсадные колонны в разные периоды, и, как следствие, скорректировать методику их расчета. Кроме того, необходимо определить свойства тампонажного камня и их изменение в процессе продолжительной эксплуатации буровых скважин.

Тривалість безаварійної експлуатації нафтових і газових свердловин здебільшого залежить від довговічності їх кріплення. На сьогодні при виконанні розрахунків припускається, що механічні характеристики сталі обсадних труб, їх геометричні розміри, коефіцієнти запасу

Casing durability is determined by duration of trouble-free running of boring casing but also by strength and impermeability of casing string-borehole annuity, formed by the plugging material. For this problem solving there is a need to specify stress values on boring casing in different time-periods and therefore to correct calculation procedure. Furthermore, it is also necessary to specify plugging material qualities and their changes during long-term well operation.

міцності, навантаження, що діють у свердловині, та властивості тампонажного каменя – сталі величини. Це призводить до того, що достовірність розрахунків знижується в міру збільшення терміну служби обсадних колон, внаслідок чого чинні методи їх розрахунку на міцність не