

## ДО ОЦІНКИ ПОТЕНЦІАЛЬНОЇ ЕНЕРГІЇ ПРОДУКТИВНОГО ПЛАСТА ПІД ЧАС ЙОГО РОЗКРИТТЯ В ПРОЦЕСІ БУРІННЯ

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

<sup>1</sup>ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42123,  
e-mail: math@nuing.edu.ua

<sup>2</sup>ПВ УкрДГРІ, 36002, м. Полтава, вул. Фрунзе, 149; тел. (0532) 592666

*Розглянуто характер впливу пластового тиску на формування потенційної енергії пласта і її складових. Встановлена можливість регулювання потенційної енергії пласта за рахунок буріння під регульованим тиском і зміни перепаду температури на стінці свердловини.*

Ключові слова: гірська порода, буріння, свердловина, потенціальна енергія деформації пласта, пластовий тиск, буровий розчин.

*Рассмотрен характер влияния пластового давления на формирование потенциальной энергии пласта и её составляющих. Установлена возможность регулирования потенциальной энергии пласта за счёт бурения под регулируемым давлением и изменения перепада температуры на стенке скважины.*

Ключевые слова: Горная порода, бурение, скважина, потенциальная энергия деформации пласта, пластовое давление, буровой раствор.

*The character of influencing of layer pressure and forming of potential energy of layer and its constituents is considered. Possibility of adjusting of potential energy of layer is set due to the boring drilling under the managed pressure and change of overfall of temperatures on the wall of mining hole.*

Keywords: Mountain breed, boring drilling, mining hole, potential energy of layer, layer pressure, boring solution.

Вибір та використання раціонального способу розкриття продуктивних пластів є однією із важливих і складних проблем сучасної техніки і технології буріння та видобутку нафти і газу. Особливого значення ця проблема набуває із зростанням глибини свердловин.

Донедавна в області буріння гірські породи розглядалися з точки зору їх опірності руйнуванню як інертний матеріал, що ставало джерелом і причиною активації сил гірського тиску. Слід зазначити, що всі технології розкриття продуктивних відкладів, як у нас, так і за кордоном не враховують цього факту. Проте останні дослідження свідчать, що під час проведення гірничих виробок робота, яка йде на деформування гірських порід, накопичується у вигляді потенційної енергії деформації. Причому частина її витрачається на зміну об'єму, а частина – на зміну форми [1].

У результаті їх проведення виведено формули для визначення питомої потенційної енергії деформації та її складових [2]. Викладено умови міцності гірської породи при дії на неї питомих потенціальних енергій зміни об'єму та форми. На їх основі встановлено характер залежності енергії гірського масиву від глибини свердловини, густини бурового розчину та фізико-механічних властивостей гірських порід. Це дало підстави пояснити причину цілого ряду ускладнень і процесів, що мають місце при бурінні глибоких свердловин. Зокрема формування еліпсного близького до щілевидного стовбура свердловини, дискування ядра, комбіноване руйнування порід [3,4,5]. Пояснити зміну характеру руйнування порід із зростанням глибини свердловини.

За характером руйнування гірських порід стовбур глибокої свердловини можна поділити на три інтервали. Перший інтервал 0-4500 м, в якому проходить механічне руйнування породи. Другий інтервал 4500-6100 м, де відбувається два процеси – механічне руйнування породи та її саморуйнування, за якого ріст питомої потенційної енергії зміни об'єму не призводить до збільшення механічної швидкості буріння. Третій інтервал знаходиться в межах 6100-9000 м, де відбувається комбіноване руйнування породи – саморуйнування, викликане накопиченою енергією в гірському масиві і механічне руйнування, яке спрямоване на подрібнення породи. При цьому питома потенціальна енергія зміни об'єму досягає розмірів, що спричиняє збільшення механічної швидкості буріння.

Як свідчить аналіз буріння з відбором керна, вказані інтервали корелюються із зміною процесу руйнування керна [6]. Однак пряме перенесення в практику буріння з розкриттям продуктивних відкладів рішень, що мають місце в глибокому бурінні, неможливе. Це пов'язано з тим, що на напружений стан продуктивного пласта діє як накопичена в ньому потенціальна енергія деформації, так і енергія флюїдів, що знаходяться в ньому. Це вимагає проведення досліджень для енергетичної оцінки стану продуктивного пласта.

Для встановлення впливу флюїдів на напружений стан продуктивного пласта скористаємось методом, викладеним у роботі [7]. Тоді напруження, що враховують деформації, зумовлені тиском нафти чи газу, запишуться:

$$\sigma'_1 = \sigma_1 + A, \quad (1)$$

$$\sigma'_2 = \sigma_2 + A, \quad (2)$$

$$\sigma'_3 = \sigma_3 + A, \quad (3)$$

$$A = 2Gp \frac{1+\mu}{1-2\mu} \left( \alpha + \frac{1-2\mu}{E} \right),$$

де:  $p$  – тиск флюїду;

$\alpha$  – коефіцієнт теплового розширення породи.

Замінивши модуль зсуву на модуль Юнга через відомий вираз та враховуючи термічні напруження після нескладних перетворень, вираз  $A$  набуде такого вигляду:

$$A = p \left[ \frac{1+\mu}{(1-2\mu)\alpha\Delta T} + \frac{1+\mu}{1-\mu} \right],$$

де  $\Delta T$  – перепад температури на стінці свердловини.

Використовуючи наведені залежності для напружень, за відомими формулами визначаємо питому потенціальну енергію в пласті та її складові

$$u_p = \frac{1}{2E} \times \quad (4)$$

$$\left[ \sigma_1'^2 + \sigma_2'^2 + \sigma_3'^2 - 2\mu(\sigma_1'\sigma_2' + \sigma_2'\sigma_3' + \sigma_3'\sigma_1') \right];$$

$$u_{обp} = \frac{1-2\mu}{6E} (\sigma_1' + \sigma_2' + \sigma_3')^2; \quad (5)$$

$$u_{\phi p} = \frac{1+\mu}{3E} \times \quad (6)$$

$$\times (\sigma_1'^2 + \sigma_2'^2 + \sigma_3' - \sigma_1'\sigma_2' - \sigma_2'\sigma_3' - \sigma_3'\sigma_1').$$

Визначивши головні напруження на внутрішній стінці свердловини та враховуючи їх знак, підставляємо отримані значення у вирази (4), (5) і (6)

$$u_p = \frac{1}{2E} \{ (\rho_n gH + A)^2 + (\rho_p gH + A)^2 + [(2\lambda\rho_n - \rho_p)gH + A]^2 - 2\mu\{(\rho_n gH + A)(\rho_p gH + A) + (\rho_p gH + A)[(2\lambda\rho_n - \rho_p)gH + A] + [(2\lambda\rho_n - \rho_p)gH + A] \times (\rho_n gH + A)\} \}, \quad (7)$$

$$u_{обp} = \frac{1-2\mu}{6E} \{ (\rho_n gH + A)^2 + (\rho_p gH + A)^2 + [(2\lambda\rho_n + \rho_p)gH + A]^2 + 2(\rho_n \times gH + A)(\rho_p gH + A) + 2(\rho_p gH + A) \times [(2\lambda\rho_n + \rho_p)gH + A] + [(2\lambda\rho_n + \rho_p) \times gH + A](\rho_n gH + A) \}, \quad (8)$$

$$u_{\phi p} = \frac{1+\mu}{3E} \{ (-\rho_n gH + A)^2 + (-\rho_p gH + A)^2 + [(\rho_p - 2\lambda\rho_n)gH + A]^2 - (-\rho_n \times gH + A)(-\rho_p gH + A) - (\rho_p gH + A)[(\rho_p gH - 2\lambda\rho_n gH + A) - (\rho_p \times gH - 2\lambda\rho_n gH + A)(-\rho_n gH + A)] \}. \quad (9)$$

Після нескладних перетворень отримаємо:

$$u_p = \frac{1}{2E} \{ g^2 H^2 [\rho_n^2 (5 - 4\mu) - 4\rho_n \times \rho_p (1 + \mu) + 2\rho_p^2 (1 + \mu)] + 6gHA \times (1 - 2\mu) + 3A^2 (1 - 2\mu) \}, \quad (10)$$

$$u_{обp} = \frac{1-2\mu}{6E} [g^2 H^2 (9\rho_n^2 + 12\rho_n \rho_p + 4\rho_p^2) + gHA(18\rho_n + 12\rho_p) + 9A^2], \quad (11)$$

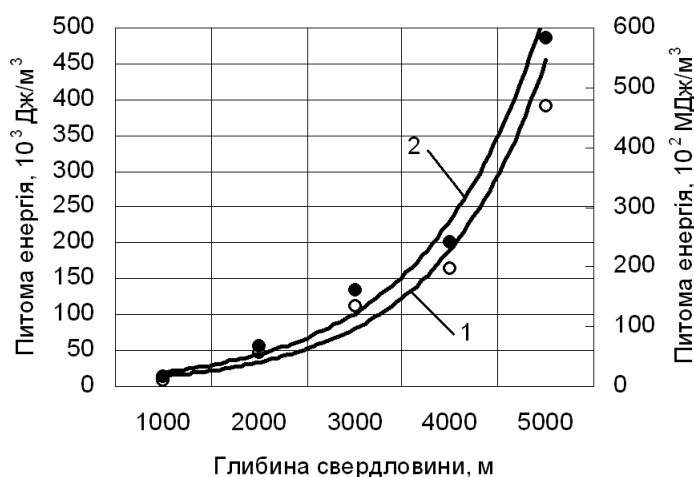
$$u_{\phi p} = \frac{1+\mu}{3E} g^2 H^2 (3\rho_n^2 - 6\rho_n \rho_p + 3\rho_p^2). \quad (12)$$

З метою встановлення закономірності зміни питомої потенціальної енергії в продуктивних відкладах проведено розрахунки для основних типів порід Кольської надглибокої свердловини (СГ-3) за умови наявності в інтервалі глибин 1000-5000 м флюїдів. Це дає можливість порівняти величини питомої потенціальної енергії за відсутності і наявності в пласті флюїдів.

Аналіз наведених формул свідчить, що пластовий тиск не впливає на формування питомої потенціальної енергії зміни форми. На підставі проведених розрахунків питомої потенціальної енергії пласта та питомої потенціальної енергії зміни об'єму встановлено, що вони рівні за величиною.

З метою оцінки зміни питомої потенціальної енергії зміни об'єму на основі проведених розрахунків побудовано графік (рис. 1). З отриманої графічної залежності видно, що характер зміни питомих потенціальних енергій в обох випадках є ідентичним. Різниця полягає тільки в абсолютних величинах.

Досвід буріння з розкриттям продуктивних відкладів свідчить, що буровий розчин не завжди виконує покладену на нього функцію. Досить часто збільшення густини бурового розчину є причиною аварійних викидів, тяжких прихоплень та катастрофічних поглинень. У зв'язку з цим нами проведені розрахунки питомої потенціальної енергії зміни об'єму в продуктивному пласті при зміні густини бурового розчину. Результати їх подано у вигляді графіка (рис. 2), з якого видно, що зміна густини бурового розчину не впливає на величину питомої потенціальної енергії зміни об'єму. Таким чином, даний метод не дає змоги звільнити продуктивний пласт від накопиченої потенціальної енергії, а призводить до її акумуляції, що і призводить до вказаних ускладнень.



1 – за відсутності в пласті флюїду; 2 – за наявності в пласті флюїду

Рисунок 1 – Залежність питомої потенціальної енергії зміни об’єму пласта від глибини свердловини

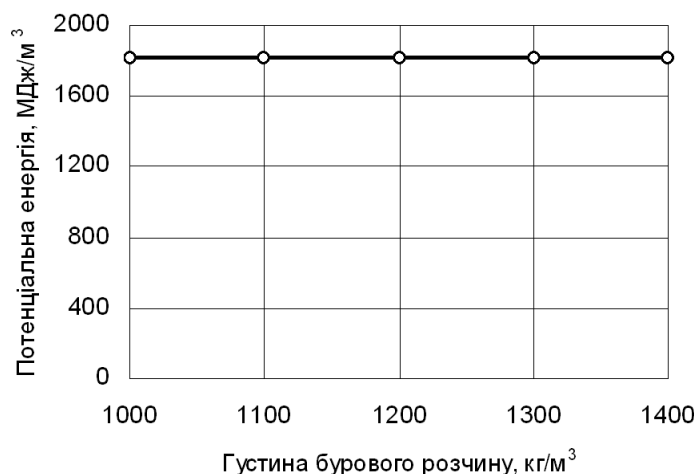


Рисунок 2 – Залежність питомої потенціальної енергії зміни об’єму пласта від густини бурового розчину

На сьогодні тактика подавлення протиставляється концепції керування пластовою енергією в процесі буріння на малообважнених і легких промивальних рідинах. На заході набув широкого використання метод буріння під регульованим тиском. Для встановлення нижньої межі використання обертового буріння під регульованим тиском рекомендовано формулу [8]

$$p_1 > \frac{gH\rho}{p_2} + C, \quad (13)$$

де:  $p_1$  – тиск в пласті;

$H$  – глибина свердловини до підшви пласта;

$p_2$  – тиск в свердловині проти пласта при його розбурюванні;

$C$  – диференціал тиску, тобто  $p_1 - p_2$ , який необхідний для підйому частинок розбуреної породи і для виходу продукції пласта.

Для визначення величини розвантаження енергії нами проведено розрахунки для розрізу свердловини СГ-3 на глибині 1000 м при зміні

параметру  $C$  в межах 0–3,5 МПа. Результати їх представлено графіком (рис. 3) залежності питомої потенціальної енергії від зміни параметра  $C$ . Як видно із графіка збільшення параметра  $C$  призводить до суттєвого зменшення питомої потенціальної енергії зміни об’єму. Це вказує на ефективність даного методу керування енергією пласта.

Проведеними дослідженнями встановлено, що температуру бурового розчину слід розглядати як найважливіший параметр, що визначає режим буріння та яку частково можна регулювати. У зв’язку з цим нами розглянуто характер зміни питомої потенціальної енергії зміни об’єму від теплового порушення на стінці свердловини.

За наведеними формулами проведено розрахунки для різних значень перепаду температури на стінці свердловини СГ-3 ( $H=1000$  м). Результати розрахунків представлено графіком (рис. 4). З отриманої графічної залежності видно, що зростання перепаду температури на стінці свердловини призводить до зменшення питомої потенціальної енергії зміни об’єму.

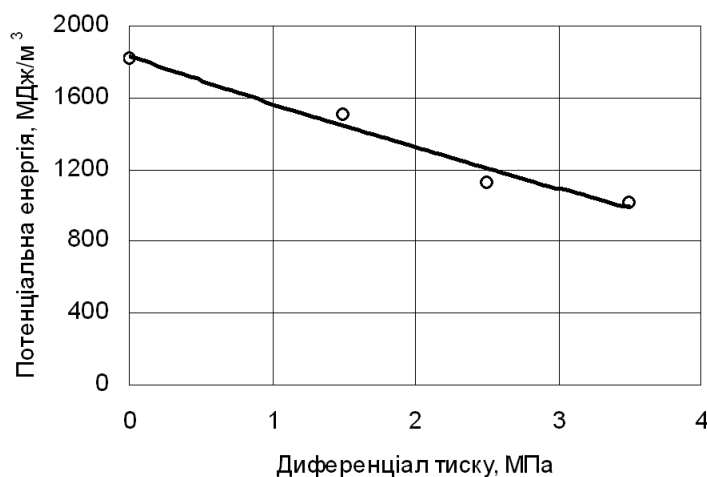


Рисунок 3 – Залежність зміни питомої потенціальної енергії пласта від величини диференціального тиску

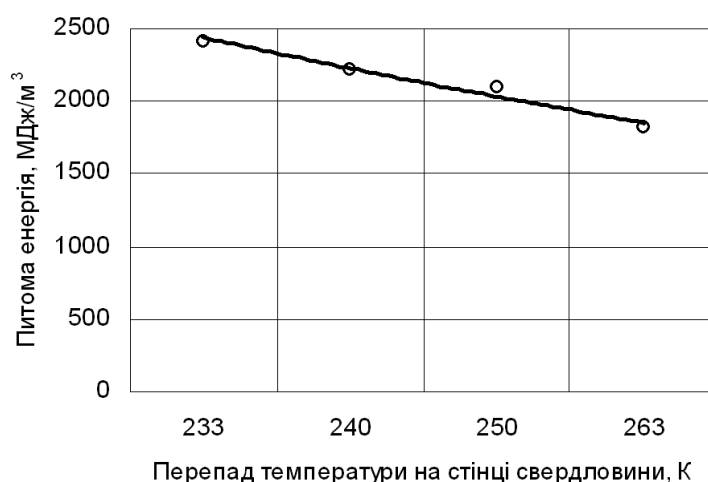


Рисунок 4 – Характер зміни питомої потенціальної енергії пласта від теплового порушення на стінці свердловини

Отримані результати досліджень дають змогу передбачити зміну питомої потенціальної енергії пласта в результаті дії цілого ряду геомеханічних процесів при бурінні з розкриттям продуктивних відкладів. Практичне значення їх полягає в попередженні ускладнень і аварій за рахунок керованого звільнення накопиченої пластом енергії.

### Література

1 Зорин А.Н. Механика разрушения горного массива и использование его энергии при добыче полезных ископаемых / Зорин А.Н., Халимендик Ю.М., Колесников В.Г. – М.: Недра, 2001. – 413 с.

2 Барановський Е.М. Енергетична оцінка стану гірського масиву при глибоких свердловин / Барановський Е.М. // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2005. – № 1(14). – С.34-39.

3 Барановський Е.М. Новий підхід до вирішення проблеми стійкості стовбура свердловини / Барановський Е.М., Мойсишин В.М. // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2005. – № 1(10). – С.72-76.

4 Барановський Е.М. Вплив енергії гірського масиву на дискування ядра в глибокому бурінні / Барановський Е.М., Мойсишин В.М. // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2006. – № 3(20). – С.49-53.

5 Барановський Е.М. Комбіноване руйнування гірських порід при бурінні глибоких свердловин / Барановський Е.М., Мойсишин В.М. // Науковий вісник ІФНТУНГ. 2006. – № 1(13). – С.26-29.

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

7 Зорин А.Н. Управление динамическими проявлениями горного давления / Зорин А.Н. – М.: Недра, 1978. – 175 с.

8 Степанянц А.К. Вскрытие продуктивных пластов / Степанянц А.К. – М.: Недра, 1968. – 415 с.

Стаття поступила в редакційну колегію  
01.08.09

Рекомендована до друку професором  
Коцюlichem Я.С.