

Аналіз характеру зміни кривих свідчить, що при випробуванні на повітрі для зразків як I-го, так і II-го типів є горизонтальна ділянка, яка відповідає границі втоми. Для зразків I типу границя втоми рівна 220 МПа (крива 1, рис. 6).

Висновок. Порівняння результатів випробувань зразків різних типів дало змогу виявити вплив концентрації напружень на чутливість до водневої крихкості ЗШ, по якому відбувалось руйнування гладких зразків. При аналізі слід брати до уваги такі два чинники впливу концентрації напружень:

а) концентратор напружень утруднює пластичну деформацію в зоні концентратора, тобто метал веде себе менш пластично;

б) концентрація водню за однакових умов катодної поляризації повинна бути вищою.

Таким чином, встановлені показники є важливими для оцінки забезпечення стійкості газопроводів проти втомних руйнувань, для правильного та раціонального вибору величини допустимого напруження з урахуванням поверхневих концентраторів у різних зонах ЗЗ, а також для прогнозування ресурсу роботи магістральних газопроводів.

Література

1. Похмурський В.І. Коррозионная усталость металлов. – М.: Металлургия, 1985. – 207 с.

руйнування гірських порід та в запобіганні динамічних явищ на основі керування станом гірського масиву [1]. Однак пряме перенесення в практику глибокого буріння рішень, які мають місце в гірничій справі, неможливе. Це пов'язано з тим, що бурова свердловина, яка являє собою різновидність гірничої виробки, суттєво

2. Крижанівський Є.І., Тараєвський О.С. Вплив нерівномірності газоспоживання на напружений стан трубопроводу // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2004. – №3(12). – С.31-34.

3. Крижанівський Є.І., Цирульник О.Т., Петрина Д.Ю. Вплив наводнення та попереднього пластичного деформування сталі на її тріщиностійкість // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 1999. – №5. – С.67-70.

4. Банахевич Ю.В., Юськів В.М., Дзюбик А.Р. Дослідження напруженого стану в зварних з'єднаннях труб із врахуванням структурних змін // Науковий вісник Івано-Франківського національного університету нафти і газу. – 2003. – №1 (5). – С. 118-121.

5. Банахевич Ю.В., Осадчук В.А., Дзюбик А.Р. Визначення залишкових напружень в околі кільцевого зварного з'єднання труб з урахуванням структурних змін в зоні термічного впливу // Розвідка та розробка нафтових та газових родовищ. – 2003. – №1(6). – С. 77-81.

6. Крижанівський Є.І., Побережний Л.Я. Кінетика деформування сталі трубопроводу при низькочастотній втомі // Розвідка та розробка нафтових та газових родовищ. – 2001. – №11. – С. 62-67.

УДК 622.026

ЕНЕРГЕТИЧНА ОЦІНКА СТАНУ ГІРСЬКОГО МАСИВУ ПРИ БУРІННІ ГЛИБОКИХ СВЕРДЛОВИН

Е.М.Барановський

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

Статья посвящена исследованию влияния на энергетическую оценку состояния горного массива изменения его потенциальной энергии при бурении глубоких скважин. Выведены формулы для определения удельной потенциальной энергии деформации и её составляющих. Изложены условия прочности горной породы при действии на неё удельных потенциальных энергий изменения объёма и формоизменения. Установлен характер зависимости энергии горного массива от глубины скважины, плотности бурового раствора и физико-механических свойств горных пород. Разработана методика определения начала саморазрушения породы и дискования керна.

Clause is devoted to research of influence on a power estimation of a condition of a hills, change of his potential energy at drilling deep chinks. Formulas for definition of specific potential energy of deformation and its components are deduced. Conditions of durability of rock are stated at action on it specific potential energy changes of volume and change of the form. Character of dependence of energy of a hills from depth of a chink, density of a chisel solution and physicomechanical properties of rocks is established. The technique of definition of the beginning of self-destruction of breed.

З утвердженням в гірничій науці уявлення про гірський масив як про систему з великим запасом накопиченої потенціальної енергії відкривались можливості у створенні нових способів

відрізняється від шахтних стовбурів. Різниця полягає в тому, що на напружено-деформований стан гірських порід довкола свердловини мож-

на діяти не тільки зміною конструкції і часу її проводки, але й протитиском бурового розчину, а також, що особливо важливо, регулюванням фізико-хімічних процесів його взаємодії з гірськими породами [2]. Тому при керуванні напруженим станом гірського масиву необхідно враховувати як вказані вище чинники, так і накопичену в ньому потенціальну енергію. Це вимагає проведення досліджень для енергетичної оцінки стану гірського масиву.

При проведенні гірничих виробок робота, яка йде на деформування гірських порід, накопичується у вигляді потенціальної енергії. Причому частина її витрачається на зміну об'єму, а частина – на зміну форми [3]. Таким чином можна вважати, що повна питома потенціальна енергія деформації дорівнює

$$u = u_{об} + u_{\phi}, \quad (1)$$

де: $u_{об}$ – питома потенціальна енергія, яка накопичується за рахунок зміни об'єму;

u_{ϕ} – питома потенціальна енергія формозміни, яка накопичується за рахунок зміни форми елемента.

Визначення питомої потенціальної енергії деформації та її складових у випадку об'ємного напруженого стану провадиться за формулами [4]

$$u = \frac{1}{2E} \times [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\mu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)], \quad (2)$$

$$u_{об} = \frac{1-2\mu}{6E} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2, \quad (3)$$

$$u_{\phi} = \frac{1+\mu}{3E} \times (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_3\sigma_1), \quad (4)$$

де: E – модуль Юнга;

μ – коефіцієнт Пуасона;

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – головні напруження.

Для визначення головних напружень σ_1, σ_2 і σ_3 скористаємось теоретичними рішеннями С.Г.Лехницького [5], яку запропоновано для визначення тиску на стінки вертикальної виробки, заповненої рідиною. Основні формули цього рішення мають вигляд

$$\sigma_z = -\rho_n g H, \quad (5)$$

$$\sigma_r = -\lambda \rho_n g H \left(1 - \frac{a^2}{r^2}\right) - \rho_p g H \frac{a^2}{r^2}, \quad (6)$$

$$\sigma_{\theta} = -\lambda \rho_n g H \left(1 + \frac{a^2}{r^2}\right) + \rho_p g H \frac{a^2}{r^2}, \quad (7)$$

де: $\sigma_z, \sigma_r, \sigma_{\theta}$ – відповідно осьова, радіальна і тангенціальна компоненти напружень;

λ – коефіцієнт бокового стиснення;

ρ_n, ρ_p – густина породи і рідини відповідно;

g – прискорення вільного падіння;

H – глибина виробки;

a – радіус виробки;

r – відстань від осі виробки до точки виміру.

Приймаємо: $\sigma_1 = \sigma_z, \sigma_2 = \sigma_r, \sigma_3 = \sigma_{\theta}$.

Визначивши головні напруження на внутрішній стінці свердловини при $a = r$ та враховуючи їх знак, підставляємо отримані значення у вирази (2), (3) і (4)

$$u = \frac{1}{2E} \{(\rho_n g H)^2 + (\rho_p g H)^2 + [(2\lambda\rho_n - \rho_p) \times g H]^2 - 2\mu[\rho_n g H \cdot \rho_p g H + \rho_p g H \times (2\lambda\rho_n - \rho_p) g H + (2\lambda\rho_n - \rho_p) g H \cdot \rho_p g H]\}, \quad (8)$$

$$u_{об} = \frac{1-2\mu}{6E} \{(\rho_n g H)^2 + (\rho_p g H)^2 + [(2\lambda\rho_n - \rho_p) g H]^2 + 2\rho_n g H \cdot \rho_p g H + 2\rho_n g H (2\lambda\rho_n - \rho_p) g H + 2\rho_p g H \times (2\lambda\rho_n - \rho_p) g H\}, \quad (9)$$

$$u_{\phi} = \frac{1+\mu}{3E} \{(\rho_n g H)^2 + (\rho_p g H)^2 + [(\rho_p - 2\lambda \times \rho_n) g H]^2 - (-\rho_n g H)(-\rho_p g H) - (-\rho_p g H) \times (\rho_p - 2\lambda\rho_n) g H - (\rho_p - 2\lambda\rho_n) g H (-\rho_n g H)\}. \quad (10)$$

Після нескладних перетворень отримаємо

$$u = \frac{1}{2E} g^2 H^2 [\rho_n^2 (5 - 4\mu) - 4\rho_n \rho_p (1 + \mu) + 2\rho_p^2 (1 + \mu)], \quad (11)$$

$$u_{об} = \frac{1-2\mu}{6E} g^2 H^2 (9\rho_n^2 + 12\rho_n \rho_p + 4\rho_p^2), \quad (12)$$

$$u_{\phi} = \frac{1+\mu}{3E} g^2 H^2 (3\rho_n^2 - 6\rho_n \rho_p + 3\rho_p^2). \quad (13)$$

Для випадку лінійного напруженого стану вирази питомих потенціальних енергій можна отримати із формул (2), (3) і (4), прийнявши $\sigma_1 = \sigma_2 = 0, \sigma_3 = \sigma$,

$$[u] = \frac{\sigma^2}{2E}, \quad (14)$$

$$[u_{об}] = \frac{1-2\mu}{6E} \sigma^2, \quad (15)$$

$$[u_{\phi}] = \frac{1+\mu}{3E} \sigma^2, \quad (16)$$

де σ – допустиме значення нормального напруження, прийняте для лінійного розтягу або стиснення.

Згідно з першою з енергетичних гіпотез – гіпотезою Бельтрама [4] – міцність матеріалу при складному напруженому стані забезпечу-

ється в тому випадку, якщо питома потенціальна енергія деформації не перевищує допустимої потенціальної енергії, яка встановлена для одноосового напруженого стану

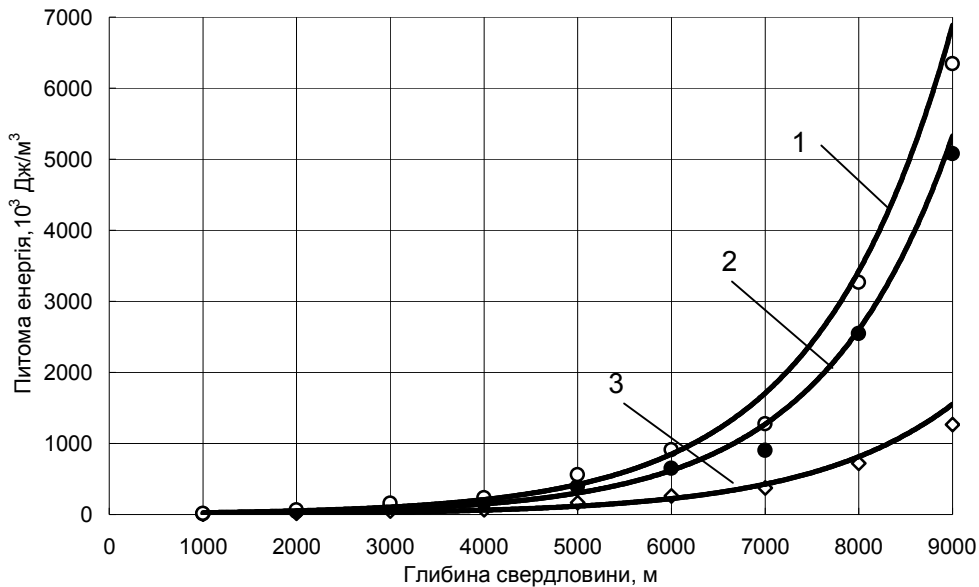
$$u \leq [u]. \tag{17}$$

Підставляючи у формулу (17) значення $u_{об}$, u_{ϕ} із формул (12) і (13) та $[u_{об}]$, $[u_{\phi}]$ із формул (15) і (16), отримаємо

$$\leq \frac{1+\mu}{3E} \sigma^2. \tag{19}$$

Вирази (18) і (19) являють собою умову міцності породи при дії питомих потенціальних енергій зміни об'єму і формозміни.

Розглянемо процес зміни потенціальної енергії гірського масиву при бурінні глибоких свердловин з врахуванням напруженого стану



1 – питома потенціальна енергія деформації; 2 – питома потенціальна енергія зміни об'єму; 3 – питома потенціальна енергія формозміни

Рисунок 1 — Залежність питомої потенціальної енергії гірських порід від глибини свердловини

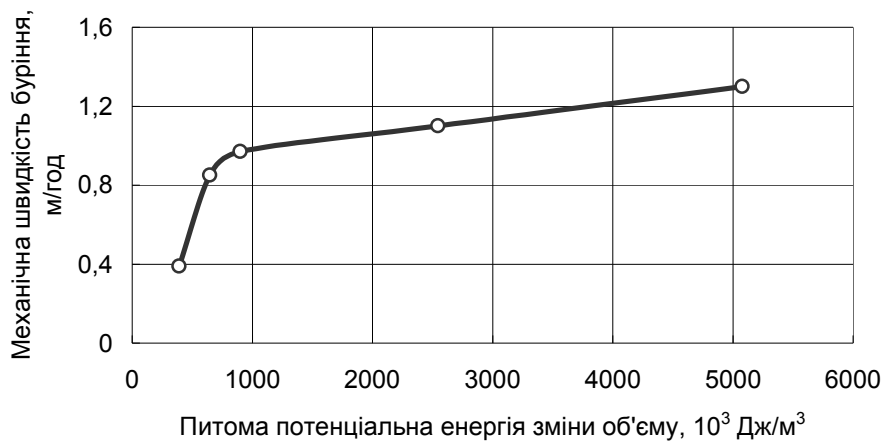


Рисунок 2 — Залежність механічної швидкості буріння від питомої потенціальної енергії зміни об'єму

$$u_{об} = \frac{1-2\mu}{6E} g^2 H^2 (9 \rho_n^2 + 12 \rho_n \rho_p + 4 \rho_p^2) \leq \leq \frac{1-2\mu}{6E} \sigma^2, \tag{18}$$

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

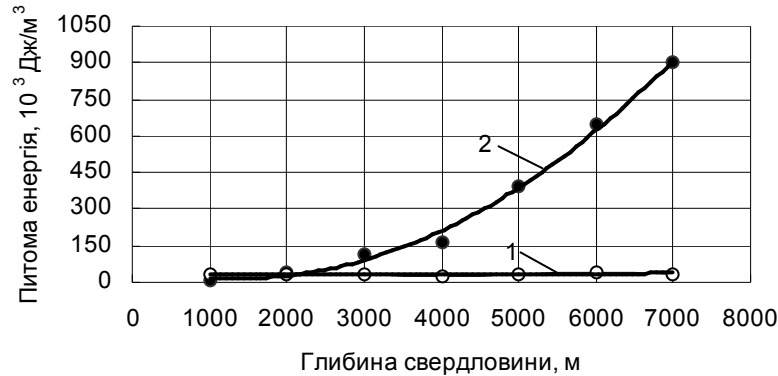
гірського масиву та фізико-механічних властивостей його порід. На основі середніх значень фізико-механічних властивостей основних типів порід розрізу надглибокої свердловини СГ-3 побудовано графік залежності питомої потенціальної енергії від глибини свердловини (рис. 1). Характер зміни її вказує на те, що за своїми розмірами тільки питома потенціальна

енергія деформації і питома потенціальна енергія зміни об'єму можуть бути перетворені в роботу.

За фактичними даними зміни буримості породи з ростом глибини свердловини СГ-3 [6] побудовано графік (рис. 2) функціональної залежності $V_m = f(u_{об})$. Характер зміни механічної швидкості буріння залежно від величини питомої потенціальної енергії зміни об'єму підтверджує вищевказане твердження.

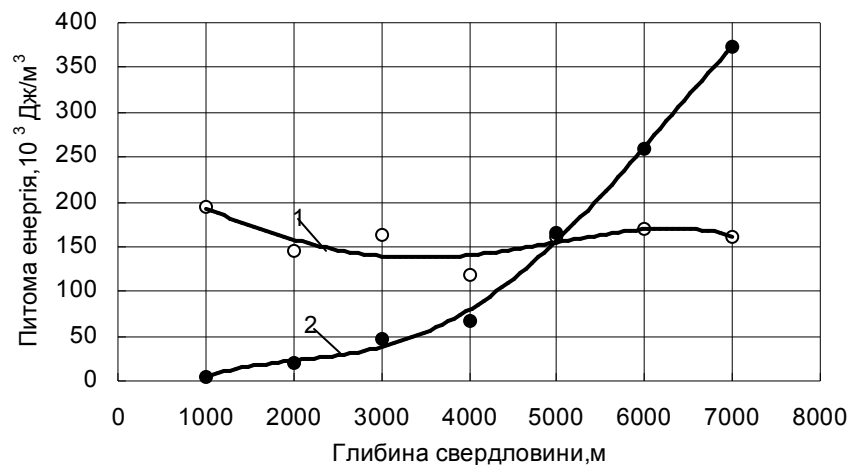
пружених станах породи. Як видно із графіка на глибині 2000 м $u_{об} > [u_{об}]$, що свідчить про початок саморуйнування гірської породи.

Як відомо, на свердловинах СГ-3, Шевченкове-1, Синьовидне-1, було відмічено дискування керна. На основі формули (19) проведено розрахунки, які представлено графіком (рис. 4) залежності початку дискування керна від співвідношення питомих потенціальних енергій його формозміни при лінійному і об'ємному



- 1 – питома потенціальна енергія зміни об'єму при лінійному напруженому стані породи;
- 2 – питома потенціальна енергія зміни об'єму при об'ємному напруженому стані породи

Рисунок 3 — Залежність саморуйнування гірської породи від співвідношення питомих потенціальних енергій зміни об'єму при лінійному і об'ємному напружених станах породи



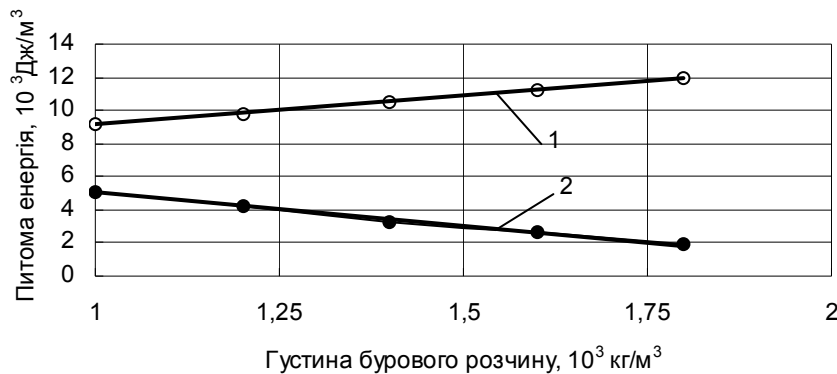
- 1 – питома потенціальна енергія формозміни при лінійному напруженому стані керна;
- 2 – питома потенціальна енергія формозміни при об'ємному напруженому стані керна

Рисунок 4 — Залежність початку дискування керна від співвідношення питомих потенціальних енергій його формозміни при лінійному і об'ємному напружених станах

Встановлено, що чим міцніша гірська порода, тим більше її йде на накопичення потенціальної енергії, яка при досягненні визначеної границі може перейти в роботу крихкого руйнування [3]. Для визначення глибини вибою, на якій розпочинається саморуйнування гірської породи за даними, розрахованими для свердловини СГ-3, побудовано графік (рис. 3). На ньому показано залежність вказаного процесу від співвідношення питомих потенціальних енергій зміни об'єму при лінійному і об'ємному на-

напружених станах. Як видно із графічної залежності, дискування керна на свердловині СГ-3 розпочалось на глибині близько 5000 м, що підтверджується промисловим матеріалом [6]. Це дає підстави стверджувати, що питома потенціальна енергія формозміни при певних співвідношеннях енергій при лінійному і об'ємному напружених станах гірської породи може впливати на такі процеси, як формування еліпсного стовбура свердловини та її самовільне скривлення.

Досвід буріння глибоких свердловин засвідчив, що буровий розчин не завжди виконує покладену на нього функцію. Досить часто збільшення густини бурового розчину призводить до протилежного ефекту – зниження стійкості стінок свердловин. У зв'язку з цим нами проведено розрахунки за формулами (18) і (19), результати яких подано у вигляді графіка (рис. 5). З отриманої графічної залежності видно, що



1 – питома потенціальна енергія зміни об'єму; 2 – питома потенціальна енергія формозміни

Рисунок 5 — Залежність питомої потенціальної енергії гірських порід від густини бурового розчину

зростання густини бурового розчину призводить до збільшення питомої потенціальної енергії зміни об'єму та зниження питомої потенціальної енергії формозміни. Встановлена закономірність підтверджується дослідженнями в роботі [7].

Отримані результати досліджень суттєво змінюють рівень наукового пізнання процесів, які проходять при руйнуванні гірських порід на великих глибинах. Практичне значення їх полягає в можливості зниження енерговитрат в глибокому бурінні за рахунок керованого використання накопиченої гірським масивом енергії.

Література

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

2. Войтенко В.С. Прикладная геомеханика в бурении. — М.: Недра, 1990. — 252с.

3. Зорин А.Н. Управление динамическими проявлениями горного давления. — М.: Недра, 1978. — 175с.

4. Писаренко Г.С., Агарев В.А., Квитка А.Л. и др. Сопротивление материалов. — К.: Вища школа. Головное изд-во, 1986. — 775с.

5. Спивак А.И., Попов А.Н. Разрушение горных пород при бурении скважин. — М.: Недра, 1979. — 239с.

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

7. Барановський Е.М., Возний В.Р. Методи і критерії оцінки явища дискування керна // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Буріння нафтових і газових свердловин. Вип. 38(2). — Івано-Франківськ, 2001. С.18-24.

Міжнародна науково-практична конференція

УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ: СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ

м. Миколаїв
(20-22 вересня 2005 р.)

Напрямки роботи конференції:

- *Проектно-орієнтоване державне управління*
- *Проектно-орієнтоване управління у виробництві, освіті, дозвіллі*
- *Управління проектами і програмами інноваційного розвитку*
- *Інформаційні технології управління проектами*

Оргкомітет конференції

54025, м. Миколаїв, пр. Героїв Сталінграду, 9
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Проведення конференції планується на базі відпочинку "Нептун" на березі Чорного моря (Чорноморська коса) в 60 км від Миколаєва.