

БУРІННЯ НАФТОВИХ І ГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН

УДК 622.026

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ФОРМИ ВИБОЮ СВЕРДЛОВИНИ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ У ГЛИБОКОМУ БУРІННІ

¹Е.М.Барановський, ²В.М.Мойсишин

¹ 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

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

Изложены критерии оценки формы забоя при саморазрушении горных пород в процессе проводки скважины. Рассмотрена возможность их использования при прогнозировании формы забоя в глубоком бурении. Установлен характер его изменения от глубины скважины, механической скорости бурения и стойкости горных пород к саморазрушению.

The criteria of a rating of the form of a drift at self-corrupting rocks during posting a slit are explained. The possibility of their usage is reviewed at prediction of the form of a drift in deep drilling. The nature of its change from well depth, mechanical drilling rate and stability of rocks to self-corrupting is installed.

Вважається, що характерною ознакою інертної поведінки гірських порід при їх руйнуванні є утворення порожнини або відкритого оголення з рівними поверхнями, які відповідають формі і розмірам ріжучого органа. Наприклад, пробурена свердловина має рівні стінки, діаметр її відповідає діаметру породоруйнівного інструменту.

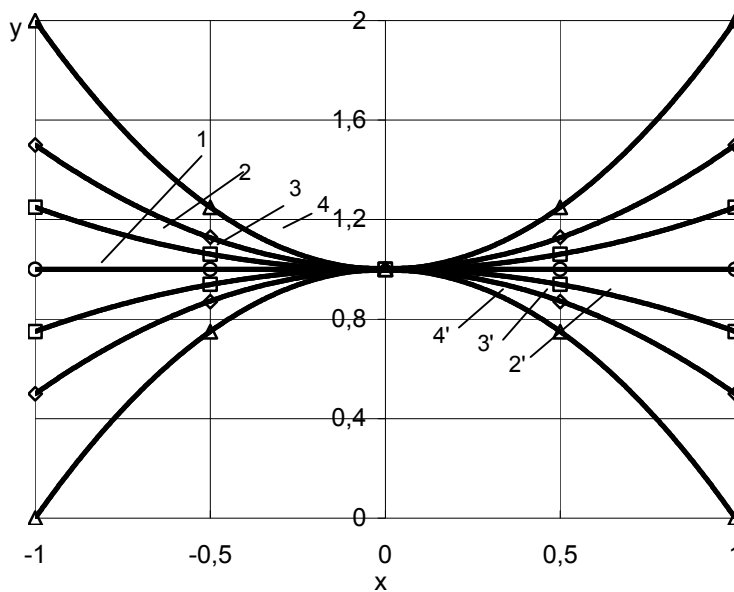
Найбільш представницькою і розповсюдженою характеристикою для вирішення технічних завдань при руйнуванні порід прийнято границю міцності їх на одноосьове стиснення. Виходячи з цих міркувань, вважалось, що чим міцніші породи, тим більш потужніші і енергоємні засоби потрібні для їх руйнування. Це призводило до однозначного висновку про те, що зі збільшенням глибини гірничих робіт енергоємність руйнування порід може тільки зростати, а у відповідності з цим повинні зростати енергоозброєність і металоємність породоруйнівних машин і механізмів.

У 1980 р. в гірничій науці було зареєстровано відкриття (№ 377) [1]: закономірність руйнування гірських порід, яка полягає в тому, що при зростанні швидкості переміщення поверхні оголення породного масиву підвищується інтенсивність крихкого руйнування порід у привибійній зоні, яка зумовлена концентрацією і локалізацією в ній гірського тиску.

Рівень наукового пізнання процесів, які проходять при руйнуванні порід на великих

глибинах, докорінно змінюється – гірський тиск перестає розглядатись як чинник, що все більше ускладнює руйнування порід зі зростанням глибини, а виступає як корисне джерело енергії, здатне при використанні вказаної закономірності керувати процесами руйнування порід або їх деформування у прилеглий до виробки зоні. Однак пряме перенесення у практику глибокого буріння рішень, які мають місце в гірничій справі, неможливе. Це пов'язано з тим, що бурова свердловина як різновидність гірничої виробки суттєво відрізняється від шахтних виробок. Тому при керуванні напруженим станом гірського масиву необхідно враховувати як вказану відмінність, так і накопичену в ньому потенціальну енергію. Очевидно проблема полягає в тому, щоб знати і бути здатним прогнозувати реакцію породи на механічне навантаження: руйнування під долотом і руйнування на стінці свердловини. Це класичне завдання геомеханіки, але вирішити його не так просто.

Якщо проблема стійкості стовбура свердловини розглядалась у багатьох публікаціях, то проблема стійкості вибою – недостатньо. У зв'язку з цим нами розглянуто проблему стійкості породи у вибої, який має криволінійну форму. Як свідчать дослідження [2], при проведенні виробки у гірському масиві проходить перерозподіл напружень, що призводить до їх концентрації у деяких зонах. В результаті стиснення і згину на поверхні вибою (в його центрі)



1 – $\lambda_0 = 0$; 2 – $\lambda_0 = 0,25$; 3 – $\lambda_0 = 0,5$; 4 – $\lambda_0 = 1,0$; 2' – $\lambda_0 = -0,25$; 3' – $\lambda_0 = -0,5$; 4' – $\lambda_0 = -1,0$

Рисунок 1 — Залежність кривизни вибою від параметра λ_0 при різних його значеннях

утворюється зона стиснення, а біля контура виробки – зона розтягу.

При створенні в зонах умов для нестійкої рівноваги відбудеться руйнування. Руйнування розпочинається у зоні розтягу на поверхні вибою круговими тріщинами розриву під дією розтягуючих радіальних напружень. В подальшому тріщини розвиваються у глибину масиву під дією зсувних (дотичних) напружень, напрям дії яких знаходиться під кутом 45° до головних напрямків, а максимум – на відстані близько $0,2d$ (де d – діаметр виробки) в глибину масиву. Отже, руйнування буде проходити по напівсферичних поверхнях, які направлені угнутістю в бік сторони масиву. Воно буде проходити, доки вибій не набуде стійкої форми – криволінійної [3]. Таким чином, накопичена масивом енергія гірського тиску при проведенні виробки (тобто порушенні рівнодійного стану) в міцних породах реалізується частково в непружних деформаціях і більше – в саморуйнуванні.

Для отримання оптимальних параметрів форми породоруйнівного інструменту необхідно визначити границі зміни форми вибою свердловини. У зв'язку з цим розглянемо стійкість порід у вибої, який має криволінійну форму. Як відомо, при саморуйнуванні порід вибій набуває форми, близької до півсфери. Тому з достатньою точністю для умов глибокого буріння зміну товщину шару можна представити формулою [2]

$$y = 1 + \lambda_0 x^2, \quad (1)$$

де λ_0 – постійна, яка вибирається залежно від конкретних геолого-технічних умов.

На рис. 1 зображено графіки зміни товщини шару, які відповідають різним значенням λ_0 . На основі середніх значень фізико-механі-

чних характеристик гірських порід розрізу Кольської надглибокої свердловини (СГ-3) побудовано графік залежності параметра λ_0 від глибини свердловини (рис. 2). Характер зміни його вказує на те, що зростання параметра проходить одночасно зі зростанням питомої потенціальної енергії зміни об'єму [4].

Розробка науково обґрунтованих методів прогнозування проявів нестабільності вибою свердловини пов'язана з наявністю зон концентрації напружень. Вони реалізуються при досягненні напруженим станом критичної величини – границі міцності порід, а також критичного стану – втрати стійкості (нестійкої рівноваги).

Відомо, що стійкість можна розглядати як здатність матеріальної системи зберігати свій стан в умовах збурних чинників технологічної дії. Кількісну оцінку стійкості (K'_{cm}) з урахуванням потенціальної енергії зміни об'єму можна визначити за формулою [5]

$$K'_{cm} = \frac{[u_{об}]}{u_{об}} = \frac{\sigma^2}{g^2 H^2 (9\rho_n^2 + 12\rho_n\rho_p + 4\rho_p^2)}, \quad (2)$$

де: $[u_{об}]$ – питома потенціальна енергія зміни об'єму при лінійному напруженому стані породи;

$u_{об}$ – питома потенціальна енергія зміни об'єму при об'ємному напруженому стані породи;

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

g – прискорення вільного падіння;

H – глибина виробки;

ρ_n, ρ_p – густина породи і рідини відповідно.

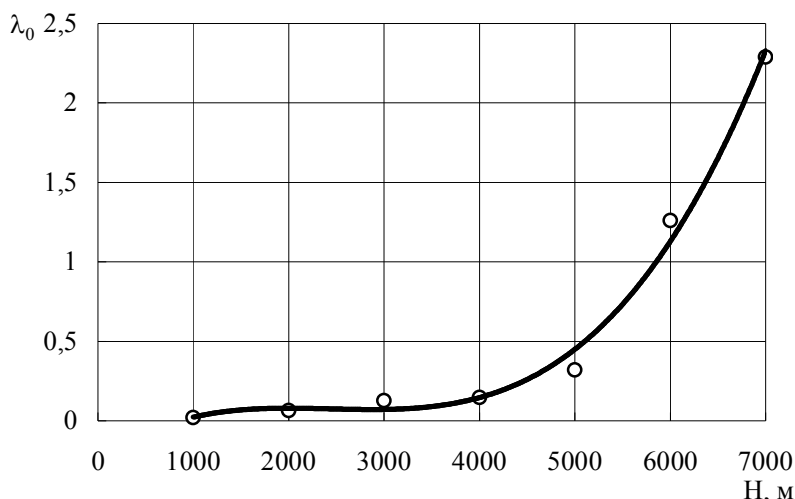


Рисунок 2 — Залежність параметра λ_0 від глибини свердловини

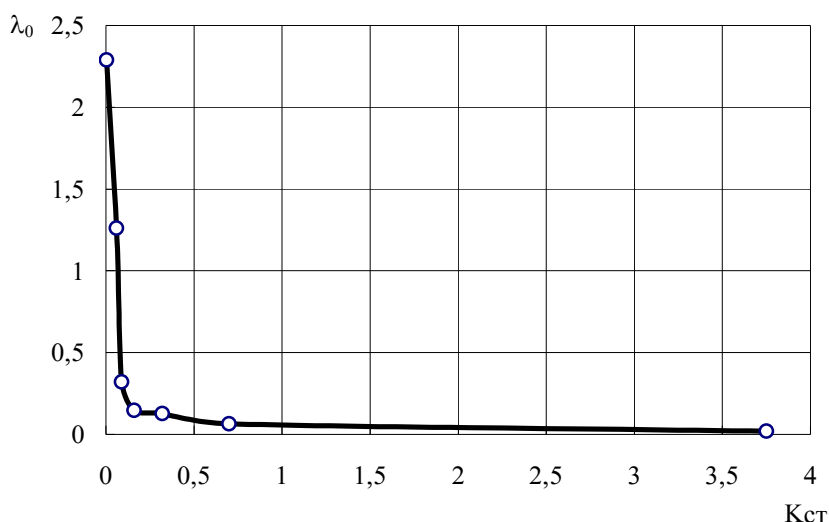


Рисунок 3 — Залежність параметра λ_0 від коефіцієнта стійкості породи вибою до саморуйнування

За даною формулою зроблено розрахунки для свердловини СГ-3, результати яких подано у вигляді графіка (рис.3). На ньому представлено характер зміни параметра λ_0 від коефіцієнта стійкості породи до саморуйнування на вибої свердловини. Із графіка видно, що зниження коефіцієнта $K_{ст}$ призводить до збільшення параметра λ_0 .

При проведенні гірничих виробок в породах з відсутнім в них процесом саморуйнування встановлено, що вибою необхідно надавати найменш стійкої форми для отримання максимуму потенціальної енергії [2]. Для визначення глибини кривизни вибою скористаємось формулою (1). Вводячи відносні величини

$$\frac{h}{h_0} = y; \quad \frac{r}{a} = x, \quad (3)$$

де: h – критична товщина шару породи, при якій відбудеться втрата стійкості вибою;

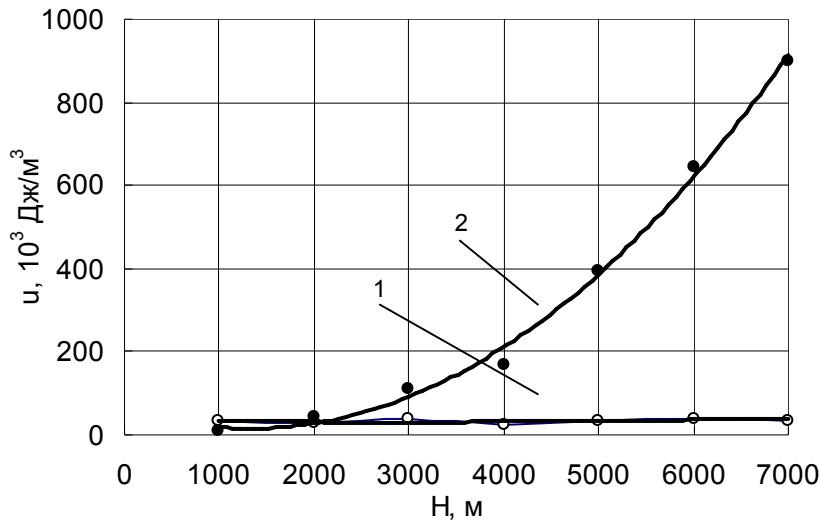
h_0 – товщина шару породи в центрі вибою;
 r – поточний радіус виробки;
 a – радіус виробки,
та, підставляючи їх у формулу (1), після відповідних перетворень отримаємо

$$h = h_0 \left(1 + \lambda_0 \frac{r^2}{a^2} \right). \quad (4)$$

При $r = a$ вираз набуде такого вигляду:

$$h = h_0 (1 + \lambda_0). \quad (5)$$

Використовуючи результати проведених експериментальних робіт на свердловині СГ-3 [6], а також розрахунків за наведеними формулами в табл. 1, надано параметри форми вибою та швидкості її проведення. Результати аналізу таблиці свідчать, що при роботі породоруйнівним інструментом у породах з великим запасом потенціальної енергії вибій виробки залежно від їх фізико-механічних властивостей і швид-



1 – лінійно напружений стан; 2 – об'ємно напружений стан

Рисунок 4 — Залежність початку саморуйнування породи на вибої свердловини від питомої енергії зміни об'єму при стані порід

Таблиця 1 — Параметри форми вибою та механічна швидкість буріння при проведенні свердловини СГ-3

Глибина свердловини, м	Параметр кривизни, λ_0	Глибина кривизни, f_1 м	Механічна швидкість буріння, 10^{-3} м/с
1000	-0,021	-0,02d	0,65
2000	-0,064	-0,04d	0,64
3000	0,127	0,09d	0,52
4000	0,147	0,07d	0,42
5000	0,321	0,1d	0,38
6000	1,261	0,4d	0,95
7000	2,287	0,6d	1,21

Примітка: d – діаметр виробки; знак “плюс” – угнута форма вибою, “мінус” – опукла

кості проходки змінює свою форму. В свою чергу форма виконавчого органу і швидкість проходки впливають на характер і інтенсивність саморуйнування гірських порід.

Проведені нами дослідження підтвердили, що угнуто-криволінійна форма вибою є найбільш раціональною при проведенні гірничих виробок на великих глибинах. Слід відзначити, що існуючий породоруйнівний інструмент не здатний сформувати подібну форму вибою. Це пов'язано з тим, що він створений для руйнування інертного матеріалу, а не системи з запасом потенціальної 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. Зорин А.Н. Управление динамическими проявлениями горного давления. — М.: Недра, 1978. — 175с.

3. Барановський Е.М., Мойсишин В.М. Новий підхід до вирішення проблеми стійкості стовбура свердловини // Науковий вісник ІФНТУНГ. — 2005. — Вип. 1(10). — С. 72-76.

4. Барановський Е.М. Енергетична оцінка стану гірського масиву при бурінні глибоких свердловин // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. — 2005. — Вип. 1(14). — С. 34-39.

5. Барановський Е.М., Мойсишин В.М. Енергетичні теорії міцності та їх використання в механіці гірських порід // Науковий вісник ІФНТУНГ. — 2005. — Вип. 2(11). — С.26-32.

6. Кольская сверхглубокая. Научные результаты и опыт исследований. — М.: МФ «Технонефтегаз», 1998. — 260 с.