

## ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ КОМБІНОВАНОГО СТУПІНЧАСТОГО РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД В ГЛИБОКОМУ БУРІННІ

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

<sup>1</sup> Комплексна лабораторія технології буріння та кріплення свердловин ПВ УкрДГРІ; 79018, м. Львів, вул. Тургенєва, 33; к. 45; тел. (0322) 373126; e-mail: pvuekdgr@mail.lviv.ua

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

*Изложены условия прочности призабойной зоны и стенок скважины при комбинированном ступенчатом разрушении горных пород, рассматривая их как систему с определенным запасом потенциальной энергии. Установлен характер изменения параметра критической формы равновесного состояния забоя в зависимости от стойкости его к саморазрушению*

*The conditions of hardness bore-hole bottom zone and walls of a slit are explained at combined step corrupting of rocks which one are considered as the system with the defined store of potential energy. The nature of change of the parameter of the critical form of an equilibrium status of a drift is installed depending on stability it to self-corrupting*

Однією із найважливіших задач перспективного розвитку розвідки нафтових і газових родовищ є вирішення проблеми ефективного руйнування гірських порід при бурінні. Резерви чисто механічних способів руйнування порід, що закладені в основу існуючих породоруйнівних інструментів практично вичерпані.

Розробка нового покоління породоруйнівного інструмента пов'язана з проблемами, які виникають при впровадженні нових систем буріння і постійної зміни умов поглиблення свердловини. Сучасні досягнення в технології виробництва бурових доліт підтверджують це твердження [1,2]. Великого значення набуває розробка принципово нових способів руйнування гірських порід, із яких найбільш перспективними є комбіновані. Вони дозволяють за рахунок переваг різних способів руйнування збільшити потужність енергії, яка підводиться до вибою, а підбором відповідних форм інструменту і вибою, зміною умов руйнування порід раціонально її використовувати.

Руйнування гірської породи суцільним вибоєм будь-яким способом є досить енергоємним процесом. Зниження енергоємності процесу руйнування досягається утворенням системи додаткових поверхонь оголення різної форми, які забезпечують принцип відбою і сколу цілика породи з невеликими енерговитратами за рахунок деформацій зсуву чи розтягу від прикладеного статичного чи динамічного навантаження. Значною мірою ці умови при поглибленні свердловини можуть бути забезпечені методом ступінчастого буріння чи одночасного з бурінням розширення виробки до необхідних за діаметром розмірів (одноциклове, двоциклове буріння). Економічна недоцільність двоциклового перебудування свердловин відома [3], а одноциклове буріння зумовлює рівність величин деформації гірської породи на кожній ступені. Крім цього, розміщення ступінчастих по-

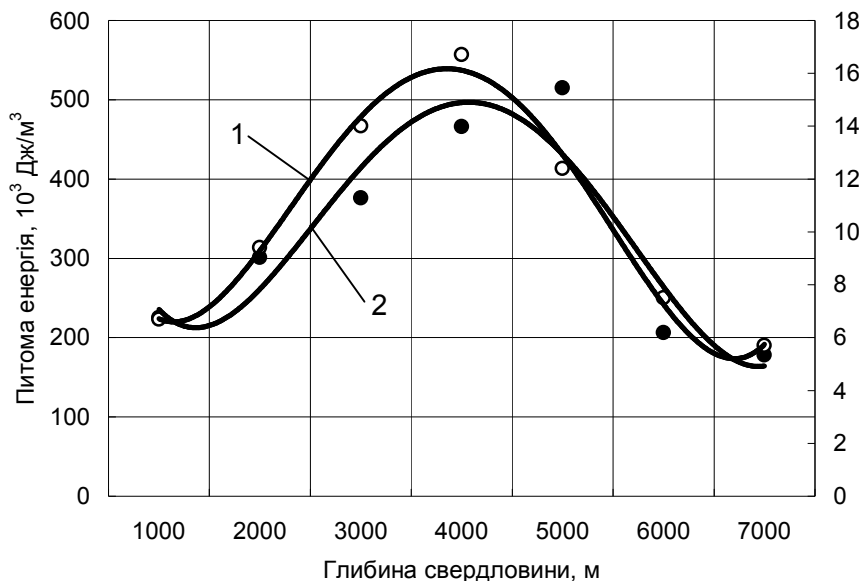
родоруйнівних елементів на різних віддальх від центру обертання інструменту створює різні умови їх роботи, які викликають нерівномірний знос.

Незважаючи на ефективність ступінчастого руйнування гірських порід, метод до цих пір не отримав належного використання через недостатню обґрунтованість вибору геометричних розмірів породоруйнівного інструменту та режимних параметрів, що визначають оптимальну продуктивність і енергоємність процесів.

Існуючі способи буріння стовбурів свердловин великого діаметра у складних гірничо-геологічних умовах (РТЬ, ступінчастий, сумісний турбінно-роторийний, буріння випереджаючого стовбура) сьогодні не вирішують проблеми збільшення механічних швидкостей в інтервалі глибин 3000-5000м у поєднанні з якістю формування, забезпечення вертикальності і збереження стійкості стінок свердловин. Основним їх недоліком є те, що вони створені для руйнування інертного матеріалу, а не системи з запасом потенціальної енергії.

Аналіз енергетичної оцінки стану гірського масиву [4] засвідчив, що він володіє енергією, яка проявляється у вигляді деформації і руйнувань у зонах, де породи знаходяться в граничному стані. Таким чином, за наявності відповідної кількості енергії можна отримати принципово новий спосіб комбінованого руйнування породи, в якому проходять два процеси – саморуйнування породи, яке викликане накопиченою енергією в гірському масиві, і механічне руйнування, яке спрямоване на подрібнення породи.

Незважаючи на те, що руйнування носить різний характер, принцип керування ним у всіх випадках зберігається одним і тим же. Він полягає у регульованій дії на поверхню, що дозволяє цілеспрямовано використовувати енергію гірського масиву. У зв'язку з цим набуває



1 – навантаження 80 кН при n=300-500 хв<sup>-1</sup>; 2 – навантаження 20 кН при n=500-700 хв<sup>-1</sup>

**Рисунок 1 — Залежність питомої енергії механічного руйнування гірських порід від глибини свердловини**

значення величина питомої енергії механічного руйнування залежно від типу і конструкції породоруйнівного інструменту.

Для визначення питомої енергії, затраченої на механічне руйнування породи скористаємось уточненою нами формулою [5]

$$u_p = 4 \frac{G \cdot n}{\kappa D V_m}, \quad (1)$$

де:  $G$  – осьове навантаження на долото;  
 $n$  – частота обертів долота;  
 $\kappa$  – коефіцієнт, який залежить від властивостей породи, типу і конструкції долота;  
 $D$  – діаметр долота;  
 $V_m$  – механічна швидкість буріння.

При бурінні кільцевим вибоєм формула набуде вигляду

$$u_p = 4 \frac{G \cdot n}{\kappa (D + d) V_m}, \quad (2)$$

де  $d$  – діаметр керна.

На підставі наведених формул зроблено розрахунки для Кольської надглибокої свердловини (СГ-3) з використанням експериментальних даних зміни буримості порід із зростанням глибини свердловини. Результати їх представлено графіком (рис. 1) залежності питомої енергії, затраченої на механічне руйнування породи від глибини свердловини. Характер зміни питомих енергій затрачених на механічне руйнування породи при різних навантаженнях на долото є ідентичним. Різниця полягає тільки в їх абсолютних величинах.

Аналіз експериментальних даних і дослідження стану стовбура при його розширенні показав [6], що процеси деформації і руйнування виникають у першому стовбурі значно інте-

нсивніше, ніж у наступному. В розширених стовбурах розміри каверн і звужень менші ніж у стовбурах, пробурених суцільним вибоєм, і це стає помітним зі зменшенням діаметра пілот-стовбура. Пояснити це явище, розглядаючи гірську породу як інертний матеріал, автор даної роботи не зміг. Спробуємо пояснити його з позицій геомеханіки, розглядаючи гірську породу як масив з великим запасом накопиченої потенціальної енергії.

Відомо, що прогнозування проявів гірського тиску пов'язано з вирішенням проблем стійкості гірничої виробки у процесі її проведення. Стійкість її можна розглядати як здатність матеріальної системи зберігати свій стан в умовах збурюючих чинників технологічної дії. Кількісну оцінку стійкості стовбура ( $K_{cm}''$ ) з урахуванням енергії гірського масиву можна визначити із формули [7]

$$K_{cm}'' = \frac{[u_\phi]}{u_\phi} = \frac{\sigma^2}{g^2 H^2 (3\rho_n^2 - 6\rho_n\rho_p + 3\rho_p^2)}, \quad (3)$$

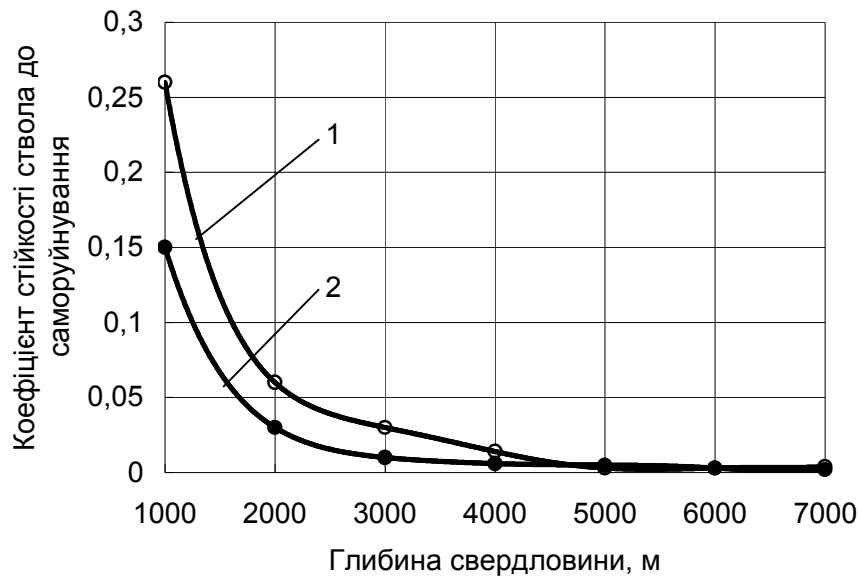
де:  $[u_\phi]$  – питома потенціальна енергія зміни форми при лінійному напруженому стані породи;  
 $u_\phi$  – питома потенціальна енергія зміни форми при об'ємному напруженому стані породи;

$\sigma$  – допустиме значення нормального напруження, прийняте для лінійного розтягу або стиснення;

$g$  – прискорення вільного падіння;

$H$  – глибина виробки;

$\rho_n, \rho_p$  – густина породи і рідини відповідно.



1 – діаметр стовбура 215,9 мм; 2 – діаметр стовбура 295,3 мм

**Рисунок 2 — Залежність коефіцієнта стійкості стовбура до саморуїнування від глибини свердловини**

Розглянемо процес зміни коефіцієнта стійкості при бурінні стовбура свердловини діаметрами 215,9 і 295,3 мм. На основі середніх значень фізико-механічних властивостей основних типів порід розрізу свердловини СГ-3 за даною формулою проведено розрахунки. Результати їх подано у вигляді графіка (рис. 2) залежності коефіцієнта стійкості вказаних стовбурів до саморуїнування від глибини свердловини. Із графіка видно, що коефіцієнт стійкості стовбура діаметром 295,3 мм менший ніж у ствола діаметром 215,9 мм. На глибині 4500м вони стають рівними, що свідчить про велике накопичення питомої енергії зміни форми на даній глибині і вище. Отже, при розширенні стовбура до діаметра 394мм, діаметр випереджаючого стовбура слід брати 215,9мм (коефіцієнт розширення складає 1,83).

На основі аналізу проходження стовбурів великого діаметра на площах Прикарпаття встановлено, що у більшості випадків коефіцієнт розширення свердловини змінюється в межах 1,1–1,3 [8]. Пояснюється це тим, що незначні зміни кавернозності у випереджаючому стовбурі і чергування фізико-механічних властивостей гірських порід викликає різкі зміни особливостей процесу розширення – моментомності, сприйнятливості до навантаження і характеру вібрацій бурильної колони.

Слід відзначити, що отримана на даний момент інформація стосовно поведінки порід часто буває недостатньою для коректного діагностування її причин і прийняття відповідних рішень. Очевидно проблема полягає в тому, щоб знайти і бути здатним прогнозувати реакцію породи на механічне навантаження: руйнування під долотом і руйнування на стінці свердловини.

Внаслідок саморуїнування гірської породи залежно від ступеня напруженості, фізико-механічних властивостей і швидкості проходки вибій змінює свою форму. В свою чергу, форма виконуючого органу і швидкість проходки впливають на характер та інтенсивність саморуїнування порід.

При проведенні виробки в гірському масиві проходить перерозподіл напружень, які приводять до концентрації їх у деяких зонах [9]. В результаті стиснення і згину на поверхні вибою (в його центрі) утворюється зона стиснення, а біля контуру виробки – зона розтягу. При створенні в зонах умов для нестійкої рівноваги відбувається руйнування. Руйнування розпочинається в зоні розтягу на поверхні вибою круговими тріщинами розриву під дією розтягуючих радіальних напружень і проходить до тих пір, поки вибій не прийме стійку форму – криволінійну [10].

Для отримання оптимальних параметрів форми породоруйнівного інструмента необхідно визначити границі форми вибою свердловини. Як відомо при саморуїнуванні порід вибій приймає форму близьку до півсфери. Тому з достатньою точністю для умов глибокого буріння змінну товщину шару можна визначити за формулою [9]

$$y = 1 + \lambda_0 x^2, \quad (4)$$

де  $\lambda_0$  – постійна, яка вибирається залежно від конкретних геолого-технічних умов.

Прогнозування проявів нестабільності вибою свердловини пов'язане з наявністю зон концентрації напружень. Вони реалізуються при досягненні напруженим станом критичної величини – границі міцності порід, а також критичного стану втрати стійкості – нестійкої

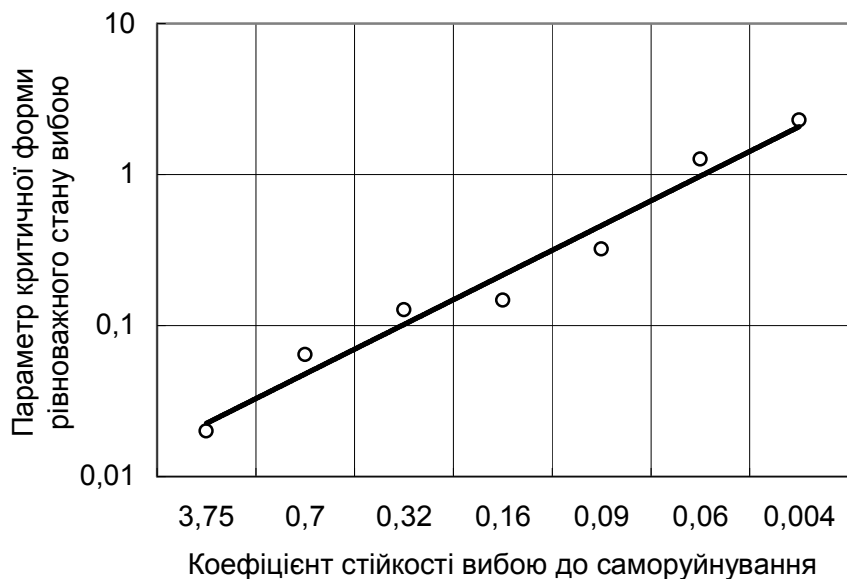
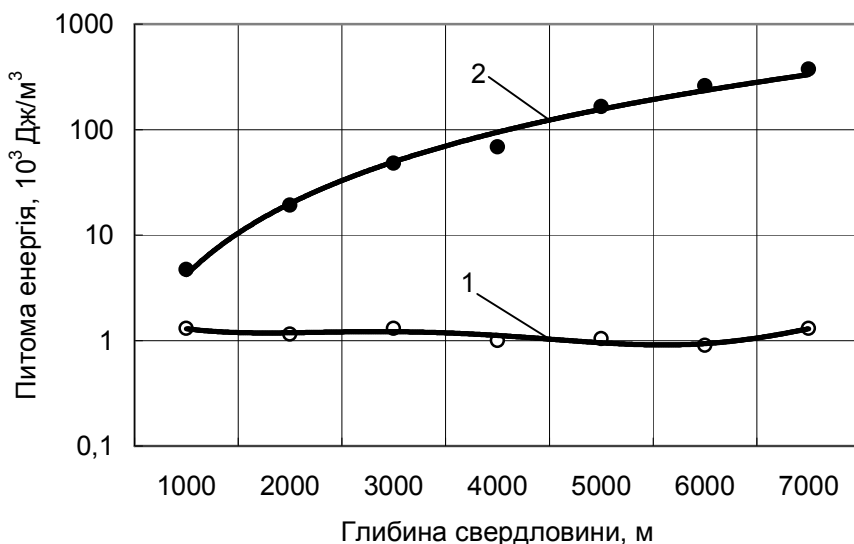


Рисунок 3 — Характер зміни параметра  $\lambda_0$  залежно від стійкості вибою свердловини до саморуйнування



1 – лінійному напруженому; 2 – об’ємному напруженому

Рисунок 4 — Співвідношення між питомими енергіями зміни об’єму при стані породи

рівноваги. Кількісну оцінку стійкості ( $K'_{cm}$ ) з урахуванням питомої потенціальної енергії зміни об’єму можна визначити за формулою [7]

$$K'_{cm} = \frac{[u_{ob}]}{u_{ob}} = \frac{\sigma^2}{g^2 H^2 (9\rho_n^2 + 12\rho_n\rho_p + 4\rho_p^2)}, \quad (5)$$

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

За даною формулою зроблено розрахунки для свердловини СГ-3, результати яких подано у вигляді графіка (рис. 3). На ньому представлено характер зміни параметра  $\lambda_0$  від коефіцієнта стійкості породи до саморуйнування на вибій свердловини. Із графіка видно, що зниження коефіцієнта  $K'_{cm}$  призводить до збільшення параметра  $\lambda_0$ .

Для енергетичної оцінки стану гірського масиву при проведенні розширення стовбура свердловини зроблено розрахунки, які представлено графіком (рис. 4). На ньому зображено

співвідношення між питомими енергіями зміни об'єму при лінійному і об'ємному напружених станах породи. Як видно із графіка, це співвідношення за своїми розмірами не призводить до саморуйнування гірської породи, а до втрати нею суцільності і як наслідок – до різного роду ускладнень.

Отримані результати досліджень показали, що при використанні нових способів руйнування гірських порід на гірський масив діють різні за величиною геомеханічні процеси, які проявляються у зміні критичної форми рівноважного стану вибою. Внаслідок чого відбувається зниження несучої здатності порід та активізація їх саморуйнування. Це приводить до зниження стійкості як вибою, так і стовбура свердловини.

Таким чином, для ефективного контролю процесу руйнування гірських порід та керування звільненням енергії гірського масиву необхідно, щоб форма породоруйнівного інструменту відповідала конкретним гірничо-геологічним умовам. Це дозволить створити рівномірне навантаження на долото з точки зору мінімальних витрат на руйнування породи і з позицій стійкості гірського масиву.

#### Література

1 Усовершенствование конструкции буровых долот // Нефтегазовые технологии. – 2005. – №3. – С.35-41.

2 Лорд Р. Новые достижения в технологии производства буровых долот. – 2006. – №3. – С.45-49.

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

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

5 Раба Х. Технологія бурення нафтяних скважин: Пер. с англ. – М.: Недра, 1989. – 413 с.

6 Сеид-Рза М.К., Исмайылов Ш.И., Орман Л.М. Устойчивость стенок скважин. – М.: Недра, 1981. – 175 с.

7 Барановський Е.М., Мойсишин В.М. Енергетичні теорії міцності та їх використання в механіці гірських порід // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2005. – №3(12). – С.26-32.

8 Яремийчук Р.С., Райхерт Л.А. Бурение стволов большого диаметра. – М.: Недра, 1977. – 174 с.

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

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

#### Міжнародна науково-практична конференція

# ОСОБЛИВОСТІ ФІНАНСОВО- БЮДЖЕТНОГО РЕГУЛЮВАННЯ СОЦІАЛЬНО- ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ РЕГІОНУ

м. Чернівці  
(1 – 2 жовтня 2007 р.)

#### Оргкомітет конференції

Буковинська державна фінансова академія  
58000, м. Чернівці, вул. М. Штерна, 1

Вонсович Аліна Василівна  
Тел.: (037) 52 19 26

#### Тематика конференції:

- Теоретико-методологічні аспекти фінансово-бюджетного регулювання розвитку регіону
- Роль фінансово-кредитних інституцій в забезпеченні ефективного функціонування економіки територій
- Вплив фінансових регуляторів на результати діяльності підприємств
- Економіко-математичні методи визначення впливу фінансово-бюджетних важелів на економіку регіону
- Методологія аналізу та особливості обліку і аудиту соціально-економічного розвитку території