

ПРО РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ПРИ БУРІННІ ГЛИБОКИХ СВЕРДЛОВИН

¹ Е.М.Барановський, ² В.М.Мойсишин

¹ Комплексна лабораторія технології буріння та кріплення свердловин ПВ УкрДГРІ;
79018, м. Львів, вул. Тургенєва, 33; кімн. 45; тел. (032) 2373126;
e-mail: p v u k r d g r i @ m a i l . l v i v . u a

² ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15; тел. (03422) 42123;
e-mail: m a t h @ n u n g . e d u . u a

Рассматривается возможность снижения энергоемкости разрушения горных пород в глубоком бурении за счет использования энергии горного массива. Установлено, что на определенной глубине скважины эта энергия достигает таких размеров, что дает возможность осуществлять эффективное разрушение породы. Предложены формулы для определения составляющих баланса энергии данного процесса, представляющего комбинированное разрушение породы при бурении глубоких скважин. Результаты проведенных расчетов по данным формулам показали, что его эффективность зависит от соотношения удельной механической энергии разрушения и удельной потенциальной энергии изменения объема.

In paper the possibility of lowering of energy output of corrupting of rocks in deep drilling is considered at the expense of usage of energy of the mountain array. It is installed that on the defined well depth this energy reaches such sizes that enables to realize effective corrupting of rock. The formulas for definition of components of balance of the given process are proposed, which one has put a beginning to combined corrupting of rock at deep well. The outcomes of the held accounts on data's to the formulas have shown. That its efficiency depends on a relation of specific mechanical energy of corrupting and specific potential energy of change of size.

Згідно з енергетичною теорією міцності в масиві починається руйнування, якщо накопичена потенціальна енергія деформації перевищує деяку критичну величину. У випадку простого напруженого стану потенціальна енергія тіла прямо пропорційна величині діючого напруження. Таким чином, зменшуючи накопичену енергію, ми створюємо сприятливі умови для стійкого деформування породи. Добитися зниження енергії можна зменшенням величин напружень, що виникають.

Із залежностей, які оцінюють напружений стан гірського масиву [1] зрозуміло, що при спорудженні гірничої виробки напруження формуються гравітаційними силами, тиском бурового розчину та властивостями порід масиву свердловин. Отже, змінюючи вказані чинники у просторі і часі, при будівництві виробок можна контролювати процес руйнування порід і керувати звільненням енергії гірського масиву.

З моменту становлення геомеханіки як науки її основні задачі були пов'язані з обґрунтуванням технологій безпечного і економічного ведення гірничих робіт. З часом ці задачі як з наукової так і практичної точок зору ускладнились, однак мета їх залишилась незмінною – подолання негативних наслідків збільшення глибин розробки корисних копалин. Для гірничих виробок виникла проблема забезпечення їх стійкості, боротьби з викидами та іншими динамічними явищами. Ці проблеми були і залишаються предметом уваги багатьох дослідників.

На даний час розроблено комплекс різних заходів, які отримали назву “керування гірсь-

ким тиском”. Керування тиском дозволило на певний час зменшити гостроту проблеми. Однак зі збільшенням глибини розробки родовищ корисних копалин, зокрема нафти і газу, незважаючи на все більш широке використання нових елементів технологій, у глибокому бурінні темпи бурових робіт знижуються, а їх вартість збільшується. Це пов'язано з екстремальними значеннями параметрів технологічного процесу в умовах складного напруженого стану гірських порід, високих пластових температур і тисків. Вияснилось, що в цих умовах формується еліпсний, близький до щілиноподібного, стовбур свердловини з поперечними розмірами, які перевищують діаметр долота. Мають місце обвали стінок, утворення каверн, дискування і саморуйнування керна, самовільне скривлення стовбура свердловин.

З переходом гірничих робіт на великі глибини геомеханічні процеси в масивах порід зазнають якісних і кількісних змін. При дії статичних і динамічних навантажень гірські породи довкола виробок і свердловин переходять граничний стан і руйнуються в умовах неоднорідних об'ємних напружених станів. Неоднорідність будови гірських порід – причина специфічної поведінки їх при деформуванні і руйнуванні в умовах складного напруженого стану і зміни швидкості навантаження. Все це ставить перед геомеханікою нові задачі, які зумовлені головним чином зміною властивостей гірських порід при досягненні гранично напруженого стану. Перехід в граничний стан суттєво впливає на працездатність гірських порід як конструкційного матеріалу.

В результаті досліджень [2] встановлено, що погіршення гірничо-геологічних умов пов'язано з досягненням породами прикордонної зони граничного стану і переходом їх при позамежному деформуванні із непорушеного в зв'язно-порушений або порушений стан. Цей процес супроводжується втратою несучої здатності порід від максимального, який відповідає міцності непорушеного матеріалу, до мінімального значення, що відповідає залишковій міцності порушених порід. Залишкова міцність порід значною мірою визначає розміри зони руйнування довкола виробки і залежить від схильності порід до крихкого руйнування.

Розрахункові методи, що розроблені для масиву гірських порід, як середовища із знеміцнюванням при деформуванні в граничному стані, дозволили отримати прогностичні оцінки поведінки порід довкола виробок різного призначення [3]. Разом з тим вони показали, що зі збільшенням глибини свердловини стійкість породи до саморуйнування знижується. Крім цього при такому підході неможливо дати геомеханічне обґрунтування нових технологій ведення бурових робіт з використанням енергії накопиченої в масиві гірських порід.

Найважливішою проблемою будь-якої гірничої технології (як при спорудженні гірничої виробки, так і при видобутку корисних копалин) є руйнування гірських порід. Отже, ефективність ведення гірничих робіт залежить від можливості керування процесом руйнування. Відомо, що при спорудженні гірничої виробки у гірському масиві проходить перерозподіл напружень, що веде до концентрації останніх в деяких зонах та створенні в них умов для нестійкої рівноваги. Руйнування відбувається до тих пір, поки вибій не прийме стійку форму.

При встановленні в гірничій науці нової закономірності руйнування гірських порід [2] рівень наукового пізнання цього процесу докорінно змінюється. Дана закономірність 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. Практичне значення цього відкриття в бурінні полягає в обґрунтуванні нового напрямку зниження енерговитрат і металоємності бурового інструменту при веденні бурових робіт. Вказаний ефект досягається вибором раціональної швидкості оголення та режиму роботи породоруйнівного інструменту, вибором місця заглиблення, розмірів і форми робочого органу.

Таким чином, гірський тиск перестає розглядатись як чинник, що ускладнює руйнування порід із зростанням глибини, а виступає в якості корисного джерела енергії здатного керувати процесом руйнування порід. В залежності від фізико-механічних властивостей порід цей процес може прискорюватись або сповільнюватись з одночасним накопиченням значних запасів потенціальної енергії.

Для забезпечення безпеки робіт у першому випадку необхідно попередити або затримати

процес руйнування, а в другому – активізувати його. На практиці для цього використовуються способи і засоби, що базуються на значних силах діях і енерговитратах (торпедування, перфорація, гідророзрив і т.п.). Тобто, основним шляхом регулювання інтенсивності розвитку руйнування вважається зміна одного із визначальних чинників – величин діючих напружень та їх співвідношення за допомогою різних дій, числові значення яких сумірні з міцністю порід. Однак з утвердженням уявлень про гірський масив як активну систему з запасом енергії появились нові дані, які уточнюють наведені міркування.

Аналіз енергетичної оцінки стану гірського масиву [1] засвідчив, що породи володіють енергією, яка активно проявляється у вигляді деформації і руйнувань в зонах, що знаходяться в граничному стані. Отже, при наявності відповідної кількості енергії можна отримати принципово новий спосіб комбінованого руйнування, в якому проходять два процеси – саморуйнування породи викликане накопиченою енергією в гірському масиві і механічне руйнування, яке спрямоване на подрібнення породи.

Вказаний спосіб вперше було використано при спорудженні гірничих виробок комбайновим способом [2]. Однак пряме перенесення даної технології в практику глибокого буріння неможливе. Це пов'язано з суттєвою різницею бурової свердловини та шахтних стволів, яка полягає в тому, що на напружено-деформований стан порід можна діяти не тільки зміною конструкції свердловини і часу її проходки, але і протитиском бурового розчину та регулюванням фізико-механічних процесів його взаємодії з гірськими породами. Тому при керуванні напруженим станом гірського масиву необхідно враховувати як вказану відмінність, так і накопичену в ньому потенціальну енергію.

Розглянемо процес руйнування гірських порід у гірничій виробці. Встановлено, що частина енергії, яка накопичується в гірській породі у процесі буріння витрачається на зміну об'єму, а частина – на зміну форми [3]. Таким чином можна вважати, що повна питома потенціальна енергія деформації дорівнює

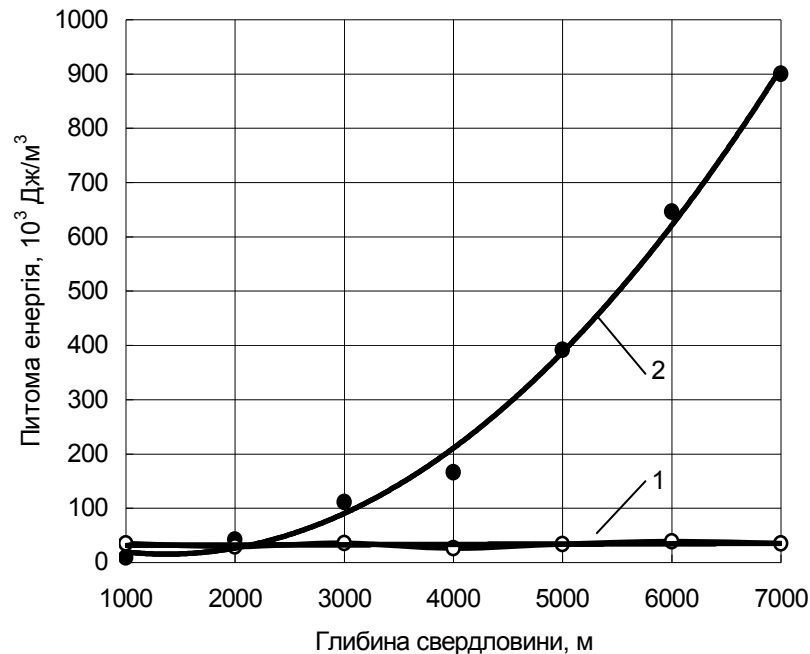
$$u = u_{об} + u_{\phi}, \quad (1)$$

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

При розрахунках стійкості вибою свердловини до саморуйнування використано умову міцності породи до саморуйнування при дії питомої потенціальної енергії зміни об'єму [1]

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

де: g – прискорення вільного падіння; H – глибина свердловини; ρ_n , ρ_p – густина поро-



1 – лінійний напружений стан породи; 2 – об’ємний напружений стан породи

Рисунок 1 – Залежність початку саморуйнування гірської породи на вибої свердловини від співвідношення питомих потенціальних енергій зміни об’єму при різних станах породи

ди і рідини відповідно; E – модуль Юнга; μ – коефіцієнт Пуассона; σ – допустиме значення нормального напруження прийняте для лінійного розтягу або стиснення.

За даними, розрахунків для Кольської надглибокої свердловини (СГ-3) побудовано графік (рис.1), на якому показано характер залежності саморуйнування породи на вибої свердловини від співвідношення питомих потенціальних енергій зміни об’єму при лінійному та об’ємному напружених станах. Як бачимо, початок саморуйнування гірської породи на вибої відбувається на глибині 2000 м при $u_{об} = 10^5$ Дж/м³, що значно нижче його ефективного значення.

На основі експериментальних даних зміни буримості породи зі зростанням глибини свердловини СГ-3 побудовано графік (рис. 2), який дозволяє оцінити вплив питомої потенціальної енергії зміни об’єму на механічну швидкість буріння. Характер цієї зміни проходить поступово до значення $u_{об} = 10^6$ Дж/м³. При подальшому зростанні питомої потенціальної енергії зміни об’єму саморуйнування породи на вибої проходить в ефективному режимі, що спричиняє збільшення механічної швидкості буріння.

Для оцінки питомої роботи саморуйнування гірської породи на вибої можна скористатись залежністю [1]

$$[u_{об}] = \frac{1-2\mu}{6E} \sigma^2. \quad (3)$$

Якщо гірські породи володіють пластичною деформацією, то питому роботу саморуйнування породи на вибої можна визначити за формулою [3]

$$[u'_{об}] = \sigma^2 \frac{(1-2\mu)(2\kappa_{пл}-1)}{6E}, \quad (4)$$

де $\kappa_{пл}$ – коефіцієнт пластичності породи.

При коефіцієнті пластичності породи $\kappa_{пл} = 2$, питома робота саморуйнування пластичної породи перевищить роботу саморуйнування крихкої в три рази (при постійній міцності і постійних пружних властивостях порід).

Для визначення питомої енергії, затраченої на механічне руйнування породи, скористаємось виведеною нами формулою

$$u_p = 4 \frac{G \cdot n}{\kappa D V_m}, \quad (5)$$

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

При бурінні кільцевим вибоєм формула (5) набуде вигляду

$$u_p = 4 \frac{G \cdot n}{\kappa(D+d)V_m}, \quad (6)$$

де d – діаметр керна.

Згідно з наведеними формулами виконано розрахунки для свердловини СГ-3, які представлено графіком (рис. 3) залежності ефективності комбінованого руйнування гірської породи від співвідношення питомої механічної енергії руйнування породи і питомої потенціальної енергії зміни об’єму. Як видно з графіка процес ефективного комбінованого руйнування породи починається з глибини $H > 5500$ м, оскільки у цьому випадку $u_{об} > u_p$.

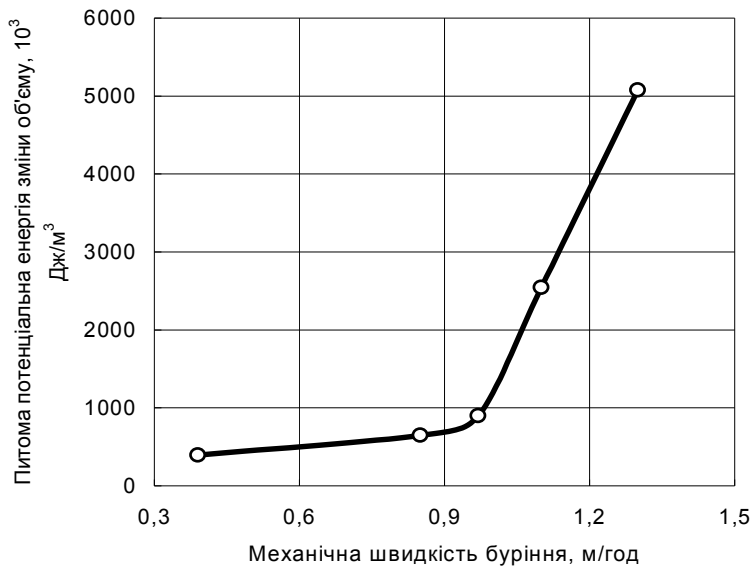


Рисунок 2 – Вплив питомої потенціальної енергії зміни об'єму на механічну швидкість буріння

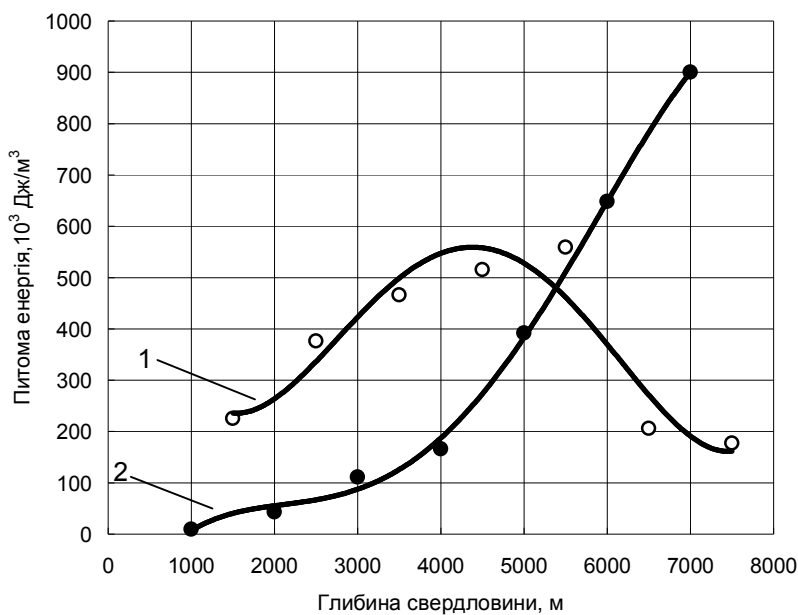


Рисунок 3 – Залежність питомої механічної енергії руйнування породи (1) та питомої потенціальної енергії зміни об'єму (2) від глибини свердловини

Незважаючи на те, що руйнування носить різний характер, принцип керування ним у всіх випадках зберігається одним і тим же, він полягає у регулюванні дії на поверхню вибою, що дозволяє цілеспрямовано використовувати енергію гірського масиву.

Література

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

2 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.

3 Барановський Е.М., Мойсишин В.М. Енергетичні теорії міцності та їх використання в механіці гірських порід // Науковий вісник ІФНТУНГ. – Івано-Франківськ, 2005. – № 2(11). – С.26-32.