

## ОБГРУНТУВАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЇ БУРОВИХ РОБІТ НА КАР'ЄРАХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

*Н. І. Жукова, інж. (НТУУ „КПІ”)*

*Предложено аналитическое описание процесса бурения и выполнен анализ взаимосвязи энергоёмкости и производительности бурения скважин на карьерах.*

Гірничовидобувна галузь споживає велику кількість енергоресурсів. Характерною особливістю цієї галузі є те, що енергоспоживання залежить від цілого ряду природних факторів, таких як міцність гірських порід, вміст корисних копалин та ін.

Економія енергоресурсів у гірничовидобувній галузі є комплексною проблемою, розв'язання якої потребує системного наукового підходу як за окремими технологічними процесами, так і в їх загальній сукупності шляхом досягнення мінімуму енергозатрат на отримання одиниці кінцевого продукту. Однак встановлення глобального оптимуму і локальних оптимумів за окремими технологічними процесами потребує глибоких експериментальних і теоретичних досліджень.

Розв'язання проблеми вибору критерію ефективності технологічних процесів можливе тільки за умови оцінки різних технологічних процесів на основі єдиного кількісного показника, який в значній мірі відображає як властивості об'єкта, так і параметри сполученого процесу [1]. За такой універсальний критерій прийнято енергоємність.

Одним з основних технологічних процесів на кар'єрах є буріння. Експериментальні дослідження цього процесу виконані І. А. Тангаєвим [1, 2]. Висока енергоємність бурових робіт ( $1,4 \dots 20$  МДж/м<sup>3</sup>) негативно позначається на конкурентоспроможності кінцевої продукції. Тому зниження енергоємності бурових робіт на діючих кар'єрах є актуальною проблемою, розв'язання якої пов'язується з контролем енергоспоживання, плануванням продуктивності бурового верстата, вибором оптимальних режимів роботи систем бурового устаткування та ін.

Емпірична залежність, що описує процес буріння [3], непридатна для розв'язання цих задач. Метою статті є аналітичний опис процесу буріння з урахуванням основних кінематичних, силових та енергетичних параметрів для аналізу взаємозв'язку продуктивності і енергоємності буріння.

Згідно з гіпотезою Кірпічова–Кіка енергія, затрачена для однакової зміни форми геометрично подібних і однорідних тіл, змінюється пропорційно об'ємам або масі цих тіл.

Вираз для визначення потужності буріння має вигляд

$$N_6 = N_x \exp(e_p \Pi_6 / N_x) \text{ [Вт]}, \quad (1)$$

де  $N_x$  – потужність холостого ходу обертача бурового верстата, Вт;  $e_p$  – енергоємність руйнування гірської породи шарошковим долотом, Дж/м<sup>3</sup>;  $\Pi_6$  – продуктивність бурового верстата, м<sup>3</sup>/с.

Порівняння експериментальних значень потужності, споживаної обертачем верстата 2СБШ-250, з розрахунковими показує їх добру збіжність (рис. 1).

Енергоємність буріння визначають діленням виразу (1) на продуктивність бурового верстата

$$e_6 = \frac{N_x}{\Pi_6} \exp\left(\frac{e_p \rho \Pi_6}{N_x}\right) \rightarrow \min \text{ [Дж/м}^3\text{]}, \quad (2)$$

де  $\rho$  – щільність гірської породи, кг/м<sup>3</sup>.

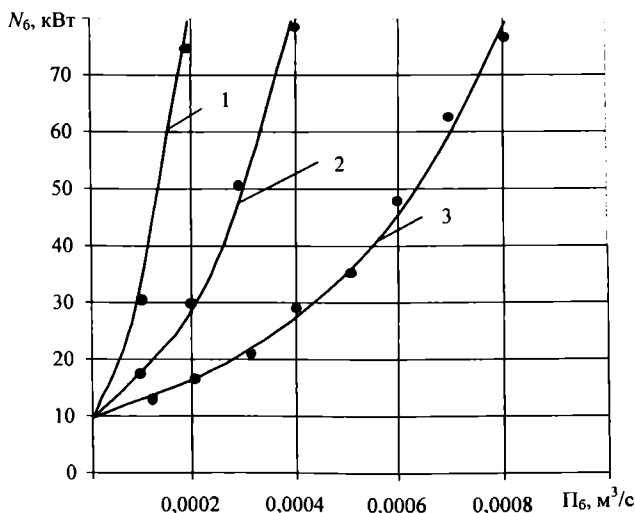


Рис. 1. Залежність потужності, споживаної обертачем бурового верстата 2СБШ-250, від його продуктивності для різних гірських порід: 1 – габро середньозернисті; 2 – вивітрілі граніти; 3 – аргіліти середньої щільності; криві лінії – теоретично розраховані залежності; • – експериментальні точки

Зазвичай енергоємність руйнування гірської породи шарошковим долотом визначається експериментально. Але при автоматизованому управлінні режимом буріння шарошковим верстатом необхідно знати закономірності впливу параметрів міцності гірської породи на енергоємність її руйнування і вміти розрахувати ці параметри.

Перспективним напрямом розвитку досліджень з цих питань є використання методів кінетичної теорії руйнування. Виконаємо аналітичну оцінку параметрів міцності гірських порід в рамках кінетичної теорії руйнування.

Енергоємність руйнування гірської породи шарошковим долотом визначається за виразом

$$e_p = n_\mu RT \exp \left[ -\frac{U_o - \gamma \sigma^*}{RT} \right] \text{ [Дж/кг]}, \quad (3)$$

де  $R = k \cdot N_A$  – універсальна газова постійна, Дж/К·моль;  $T$  – абсолютна температура, К;  $k$  – постійна Больцмана, Дж/К;  $N_A$  – число Авогадро, моль<sup>-1</sup>;  $n_\mu$  – кількість молів в одному кілограмі гірської породи, моль/кг;  $U_o$  – енергія активації атомів, Дж/моль;  $\gamma$  – структурний коефіцієнт, Дж/Па·моль;  $\sigma^*$  – межа міцності породи на одновісний розтяг, Па.

В формулу (3) входять параметри, які характеризують міцність породи:  $n_\mu$ ,  $U_o$  і  $\gamma$ .

Для розрахунку кількості молів в одному кілограмі гірської породи використаємо молярну масу для полімінеральних сполук, якими є більшість гірських порід:

$$M_\Sigma = \sum_{i=1}^k M_i \cdot \frac{n_i}{100} \text{ [кг/моль]}, \quad (4)$$

де  $M_i$  – молярна вага мономінеральної сполуки, що входить в гірську породу, кг/моль;  $n_i$  – склад (по масі) мінералів у полімінеральній сполуці, %.

Розрахуємо вагу одного моля мінералу за виразом

$$M_i = m_i A N_A, \text{ [кг/моль]}, \quad (5)$$

де  $m_i$  – молекулярна маса мінералу (в атомних одиницях маси);  $A = 1,6605655 \cdot 10^{-27}$  кг – атомна одиниця маси.

Використовуючи усереднений мінеральний склад граніту, розрахуємо за виразами (4) і (5) масу одного моля граніту (табл. 1), а через неї – кількість молів у одному кілограмі граніту:

$$n_\mu = \frac{1}{M_\Sigma} = 13,46 \text{ [моль/кг]}. \quad (6)$$

Експериментально було встановлено, що для гірських порід типу гранітів в діапазоні температур до 500 К реалізується інкристалітне руйнування, а його домінування дає можливість розглядати утворену поверхню як поверхню розриву міжатомних зв'язків кристалічних решіток всіх мінералів, що входять в гірську породу.

Таблиця 1. Проміжні результати розрахунку кількості молів в одному кілограмі граніту

| Мінерал                        | Вміст мінералу в породі $n_i$ , % | Молекулярна маса мінералу $m_i$ , кг/моль | Маса моля мінералу $M_i$ , кг/моль | $m_i n_i$ , кг/моль |
|--------------------------------|-----------------------------------|---|------------------------------------|---------------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 62,5                              | 60  | 0,06                               | 0,0375              |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 16,7                              | 102                                       | 0,102                              | 0,0170              |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 6,7                               | 160                                       | 0,16                               | 0,0107              |
| CaO                            | 5,2                               | 56  | 0,056                              | 0,0029              |
| K <sub>2</sub> O               | 3,0                               | 94  | 0,094                              | 0,0028              |
| Na <sub>2</sub> O              | 3,0                               | 62  | 0,062                              | 0,0019              |
| MgO                            | 2,2                               | 40  | 0,04                               | 0,0009              |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,5                               | 80  | 0,08                               | 0,0004              |
| SO <sub>3</sub>                | 0,2                               | 80  | 0,08                               | 0,0002              |
| $M_\Sigma = 0,0743$            |                                   |   |                                    |                     |

Це дало змогу зіставити величину енергії активації атомів при руйнуванні гірської породи з ентальпією, віднесеною до кількості атомів в молекулі мінералу:

$$U_{oi} = \frac{\Delta H_i}{N} \quad [\text{Дж/моль}], \quad (7)$$

де  $\Delta H_i$  – ентальпія породоутворюючого мінералу при  $T = 298 \text{ K}$ , Дж/моль;  $N$  – кількість атомів у молекулі мінералу.

Для полікристалічної гірської породи, що складається з  $k$  мінералів, при її інкристалітному руйнуванні середня енергія активації обчислюється за виразом

$$U_o^p = \sum_{i=1}^k U_{oi} \cdot \frac{n_i}{100} \quad [\text{Дж/моль}], \quad (8)$$

де  $n_i$  – вміст  $i$ -го мінералу в гірській породі, %.

Збіжність розрахункових і експериментальних значень енергії активації руйнування гірських порід (табл. 2) можна оцінити коефіцієнтом лінійної кореляції, який становить  $r = 0,96$ , що говорить про майже функціональний зв'язок.

Отриманий розрахунковий метод дозволяє з достатньою точністю визначити параметри міцності гірських порід без проведення експериментальних досліджень.

За формулою (2) виконано розрахунки та отримано значення енергоємності буріння. З рис. 2 видно, що отримана залежність енергоємності буріння носить екстремальний характер і свідчить про те, що для кожної гірської породи, яка характеризується енергоємністю руйнування  $e_p$ , існує оптимальне значення продуктивності буріння  $P_6^0$ , при якому енергоємність буріння буде мінімальною.

Таблиця 2. Розрахункові та експериментальні значення енергії активації руйнування

| Матеріал          | Ентальпія, кДж/моль | Енергія активації руйнування, кДж/моль |             |
|-------------------|---------------------|--|-------------|
|                   |                     | розрахунок                             | експеримент |
| Алюміній          | 234                 | 234                                    | 226         |
| Цинк              | 147                 | 147                                    | 147         |
| Залізо            | 462                 | 462                                    | 504         |
| Титан             | 533                 | 533                                    | 508         |
| Платина           | 562                 | 562                                    | 555         |
| Нікель            | 421                 | 421                                    | 365         |
| Магній            | 230                 | 230                                    | 143         |
| Калій             | 147                 | 147                                    | 117         |
| Мідь              | 344                 | 344                                    | 340         |
| Свинець           | 147                 | 147                                    | 168         |
| SiO <sub>2</sub>  | 911                 | 304                                    | 305         |
| NaCl              | 412                 | 206                                    | 206         |
| KCl               | 437                 | 218                                    | 231         |
| LiF               | 613                 | 306                                    | 311         |
| CaCO <sub>3</sub> | 1210                | 242                                    | 239         |
| Граніт            | –                   | 201                                    | 189         |
| Габродіорит       | –                   | 180                                    | 185         |
| Кальцит           | 1208                | 241                                    | 240         |
| Магнетит          | 1112                | 224                                    | 232         |
| Галеніт           | 100                 | 50                                     | 48          |
| Кіновар           | 58                  | 29                                     | 30          |

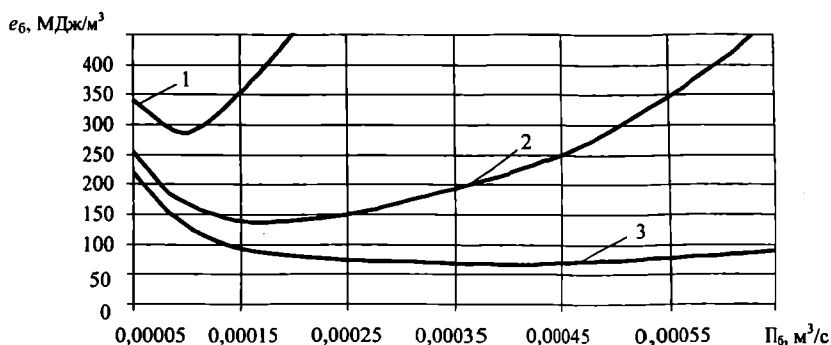


Рис. 2. Залежність енергоємності буріння від продуктивності буріння для різних гірських порід: 1 – габро середньозернисті; 2 – вивітрілі граніти; 3 – аргіліти середньої щільності

### Висновки

1. Потужність, споживана обертачем бурового верстата, експонентно залежить від продуктивності буріння.
2. Питома енергоємність буріння для конкретної гірської породи екстремально залежить від продуктивності буріння.
3. Оптимальному значенню продуктивності буріння відповідає мінімальне значення питомої енергоємності процесу.
4. Знання оптимального значення продуктивності буріння дозволяє встановити і підтримувати значення кінематичних і силових параметрів, що забезпечують цю продуктивність, а отже й мінімум питомої енергоємності процесу.

1. *Тангаев И. А.* Энергоемкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых. – М.: Недра, 1986. – 231 с.

2. *Тангаев И. А.* Буримость и взрываемость горных пород. – М.: Недра, 1978.

3. *Друкованый М. Ф., Кукиб Б. Н., Куц В. С.* Буровзрывные работы на карьерах. – М.: Недра, 1990. – 367 с.

УДК 624.534.142

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕПЛА В КОЛЬЦЕВЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КРЕПЯХ КОНЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ

*Т. Рембеляк, докт.-инж (Краковская металлургическая академия, РП)*

*Запропоновано методику математичного моделювання процесів поширення тепла в кільцевих кріпленнях скінченних розмірів.*

Составной частью технологии, направленной на создание безопасных условий труда на горных предприятиях, является крепление подготовительных выработок. Это осуществляется с помощью основного конструктивного элемента выработки – крепи.

Под действием высокой температуры, возникающей при неожиданных эндогенных пожарах в угольных шахтах и распространяющейся по подготовительным выработкам большой протяженности, крепи могут деформироваться.

В работах [1, 3, 4] показано, что внезапное изменение температуры влечет за собой быстрое нарастание деформаций и вызывает соответствующие инерционные силы, оказывающие существенное влияние на напряженное состояние конструкций и сооружения в целом. В этом случае даже в статически определенных системах возникают внутренние усилия от действия температуры. Даже