

підвищити частку найбільш економічних базових електростанцій у покритті графіка навантаження енергосистеми, знизити собівартість електроенергії та плату за неї в умовах використання стимулювальних тарифів в Україні, забезпечити прийняття раціональних рішень щодо управління електроспоживанням.

1. *Методы разработки материальных балансов* / Под ред. П. А. Калинина, П. П. Карпова. – М.: Экономика, 1977. – 228 с.
2. *Черня Г. А.* Оптимизация режимов работы КЭС. – В кн.: Оптимизация режимов работы энергосистем. – М., 1974.
3. *Король Л. А.* Гидравлическое аккумулирование энергии. – М.: Энергия, 1975. – 169 с.
4. *Ковалко М. П., Денисюк С. П.* Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України. – Київ: УЕЗ, 1998. – 506 с.
5. *Гордеев В. И.* Регулирование максимума нагрузки промышленных электрических сетей. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 184 с.: ил.
6. *Дикмаров С. В., Садовский Г. Г.* Регулирование мощности при производстве и потреблении электроэнергии. – К.: Техніка, 1981. – 126 с.
7. *Праховник А. В.* Методы и средства управления электропотреблением. – Киев: Знание, 1981. – 25 с.
8. *Праховник А. В., Розен В. П., Дегтярев В. В.* Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий. – М.: Недра, 1985. – 232 с.
9. *Михайлов В. В.* Тарифы и режимы электропотребления. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 216 с.: ил.
10. *Хронусов Г. С.* Комплексы потребителей–регуляторов мощности на горнорудных предприятиях. – М.: Недра, 1989. – 200 с.: ил.

УДК 622.026.3: 621.31.

ОБЛІК І КОНТРОЛЬ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ГІРНИЧИХ МАШИН ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГІРСЬКИХ ПОРІД

Б. С. Рогальский, докт. техн. наук, Ю. П. Войтюк, інж. (ДТУ, м. Вінниця)

Обоснованы новые критерии оценки категорий горных пород. Описаны системы учета и контроля электропотребления горных машин и категорий горных пород.

Облік і контроль електроспоживання гірничих машин з електроприводом напругою до 1000 В здійснюються за допомогою електролічильників, а з напругою 6 кВ такий облік практично відсутній. Через пересувний характер роботи гірничих машин неможливо приєднати електролічильники, установлені

на пересувних комплектих трансформаторних підстанціях, до автоматизованих систем обліку і контролю електроспоживання підприємства. Тому виникає необхідність у розробці багатофункціональних спеціалізованих мікропроцесорних систем обліку і контролю електроспоживання, здатних забезпечити можливість зберігання, зняття і автоматичної передачі інформації на пункт подальшої обробки. Це завдання набуває особливої актуальності з огляду на те, що гірничі машини можуть бути також джерелами інформації про технологічні властивості гірських порід. Існуючі на цей час способи не дозволяють достовірно оцінити технологічні властивості порід [1–3].

Інформативним і зручним критерієм оцінки буримості гірських порід є повна питома витрата електроенергії на буріння свердловини ω_6 (кВт·год/м) або повна питома енергоємність буріння.

Графік зміни повної питомої енергоємності буріння можна подати як суму двох складових:

$$\omega_6 = \omega'_6 + \omega''_6, \quad (1)$$

де ω'_6 , ω''_6 – відповідно базова та змінна частини графіка, кВт·год/м.

Базова частина графіка кількісно дорівнює найменшій питомій енергоємності. Вона формується роботою електроспоживачів бурового верстата з рівномірним графіком навантаження, а також включає витрату електроенергії на обертання і подачу бурового ставу при бурінні м'яких порід родовища. Як відомо, буримість характеризує ступінь опору породи руйнуванню буровим інструментом. Зміна опору породи викликає відповідні зміни електричної напруги і електроспоживання бурового верстата. Очевидно, що змінна складова графіка питомої енергоємності відображає зміну опору породи буровому інструменту. За відносною зміною цієї складової і, відповідно, питомої енергоємності можна оцінити буримість гірських порід. У загальному випадку питома енергоємність буріння ω_6 включає витрату електроенергії на руйнування породи в забої свердловини ω_z , допоміжні технологічні операції ω_d , допоміжні потреби ω_n і ремонтні роботи на верстаті ω_p , тобто

$$\omega_6 = \omega_z + \omega_d + \omega_n + \omega_p. \quad (2)$$

У процесі буріння енергія витрачається на руйнування породи в забої ω_z і допоміжні потреби ω_n . Витрата електроенергії на допоміжні технологічні операції ω_d і ремонт ω_p має місце між бурінням свердловин, причому ремонтні роботи при поточній експлуатації виконуються епізодично з незначною витратою електроенергії, яка може бути врахована окремим записом у журналі обліку. Об'єднавши споживачі системи продувки і допоміжних потреб в одну групу споживачів з практично постійним за часом графіком навантаження, вираз (2) можна записати в такому вигляді:

$$\omega_6 = (P_{об} + P_{пн})t_0 + P_{\Sigma}t_0 + \left(\sum_{i=1}^m P_{дi}t_{дi} \right) / N, \quad (3)$$

де t_0 – тривалість буріння одного метра свердловини, год/м; $P_{об}$ і $P_{пн}$ – середня активна потужність, яка споживається електродвигунами обертача і гідронасоса

за період t_0 , кВт; t_{di} – тривалість виконання i -ї допоміжної технологічної операції, год; P_{di} – середня активна потужність, яка споживається буровим верстатом на допоміжні технологічні операції за період t_{di} , кВт; P_{Σ} – сумарна активна потужність, яка споживається споживачами системи продувки і допоміжних потреб за період t_0 , кВт; N – кількість пробурених метрів свердловини за період спостереження, м; m – кількість допоміжних технологічних операцій.

Величини $P_{об}$, $P_{гн}$ і t_0 у процесі буріння змінюються в значних межах [3]. Ці величини знаходяться між собою в складній залежності. Так, активна потужність $P_{об}$, яка споживається обертачем, залежить певною мірою від осьового тиску на забій свердловини і від потужності $P_{гн}$, яка споживається двигуном гідронасоса. У свою чергу, величина t_0 є функцією величин $P_{об}$ і $P_{гн}$. Перша складова виразу (3) найбільшою мірою відображає динаміку питомої енергоємності буріння. Зміна фізико-механічних властивостей порід змушує машиністів змінювати частоту обертання n шпинделя бурового верстата та осьове зусилля буріння F , що, в свою чергу, приводить до зміни величин $P_{об}$, $P_{гн}$ і t_0 .

Друга складова виразу (3) при бурінні порід змінюється пропорційно t_0 (при $P_{\Sigma} = \text{const}$), відображаючи динаміку питомої енергоємності і, відповідно, неоднорідність гірських порід (величина t_0 прийнята ЦБНТ [4] за критерій буримості гірських порід). Витрата електроенергії на допоміжні технологічні операції залежить від кваліфікації машиністів і технічного стану бурового верстата. Бурові верстати одного типу, що обслуговуються різними бригадами, можуть мати деякі відмінності. Однак питома вага електроенергії, що витрачається на допоміжні технологічні операції, в питомій енергоємності буріння становить не більше 1,5–2 % [1]. Крім того, при визначенні середнього значення ω_0 ця витрата рівномірно розподіляється на кожний пробурений метр свердловини і на динаміку ω_0 не впливає.

Як показали результати досліджень, на зміну величини ω_0 , крім фізико-механічних властивостей порід, впливають й інші фактори: глибина буріння, тип бурового верстата та інструмента, затуплення шарошки, порушеність верхнього шару породи уступу та оголених бортів робочих уступів масовими вибухами, обводненість порід, сезонність [1].

Тип бурових верстатів та інструментів при оцінюванні буримості гірських порід враховується установами для кожного з них відповідної шкали буримості. Це дозволяє застосовувати запропонований спосіб для всіх типів бурових верстатів і бурових інструментів, включаючи верстати ударно-обертального буріння. В [1] і дослідженнями автора доведено, що при збільшенні глибини кар'єру середні значення питомої енергоємності буріння збільшуються. Врахування цього фактору при оцінюванні буримості гірських порід можливе також шляхом встановлення для кожного типу бурових верстатів та інструментів відповідних шкал буримості, які охоплюють усі видобувні горизонти.

Затуплення шарошки, обводненість порід, порушеність масиву підривними роботами можна вважати факторами, еквівалентними зміні

властивостей гірських порід і, відповідно, їх буримості. Так, затуплення долота і обводненість порід призводять до зниження буримості порід (ω_6 і t_0 збільшуються) [1]. Порушеність масиву масовими вибухами знижує міцність порід і збільшує їх буримість (ω_6 і t_0 зменшуються).

Незначні сезонні зміни витрати електроенергії на допоміжні потреби (освітлення, опалення тощо) можна враховувати шляхом відповідних поправок до шкал буримості (на окремі місяці і квартали року).

Залишається вивчити, в якій мірі можливі відхилення параметрів режиму буріння від оптимальних значень впливатимуть на точність оцінки буримості гірських порід за критерієм ω_6 . Деяке збільшення ω_6 у цих випадках може викликатися не зміною властивостей порід, а неточною установкою осьового тиску F та частоти обертання бурового ставу n .

Експерименти проводилися на Полонському гранітному кар'єрі (Хмельницька обл.). Буріння виконувалось верстатом СБШ-250МН з використанням доліт ОКП-243. В середньому породи належали до XII–XIV категорій за шкалою ЦБНТ [2, 4].

Аналіз результатів досліджень показав, що відхилення від оптимальних значень в сторону зменшення параметрів на 1–2 % не приводять до суттєвої зміни ω_6 . І тільки значне (до 5–15 %) зменшення величин n і F викликає суттєву зміну ω_6 . Незначні відхилення параметрів режиму від оптимальних значень при бурінні м'яких порід через розмитість зони екстремуму також не приводять до помітної зміни питомої енергоємності буріння ω_6 .

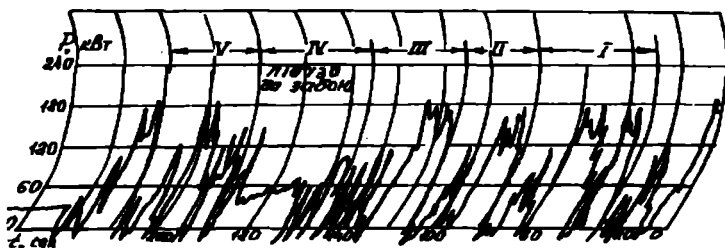
В основу шкал буримості покладено таблиці ЦБНТ, призначені для визначення категорій буримості порід залежно від основного часу буріння t_0 у виробничих умовах. Тому необхідною умовою побудови такої шкали є наявність тісного кореляційного зв'язку між величинами ω_6 і t_0 .

За одержаними рівняннями регресії залежності ω_6 від t_0 будуються технологічні шкали буримості порід. В [2] наведено шкали буримості гірських порід, побудовані для бурових верстатів Полонського кар'єру.

При гальмуванні поворотної платформи екскаватора під час поворотів та опускання ковша екскаватор працює у режимі рекуперації енергії (рисунок). При цьому потужність, що споживається з мережі, дорівнює нулю або менша за нуль. В окремих випадках (при незначному гальмуванні або опусканні ковша) потужність знижується меншою мірою (дорівнює потужності холостого ходу екскаватора або менша від неї). Кожний цикл екскавації і операція "черпання" починаються і закінчуються зміною знака потужності. Операція "черпання" є найбільш тривалою (30–70 % від тривалості циклу) і енергоємною (50–80 % від енергоємності циклу екскавації). Для цієї операції характерна і найбільша потужність (в 1,4–1,6 рази більша, ніж потужність, що споживається при виконанні інших операцій).

Тому для оцінювання категорії породи за трудністю екскавації пропонується інтегральний показник – витрата електроенергії на виконання операції "черпання". При цьому враховуються всі показники, прийняті в праці [5] за критерії для визначення категорії порід (об'ємна вага породи, питомий опір черпання, тривалість циклу). Крім того, враховуються технічні

особливості різних типів екскаваторів шляхом побудови індивідуальних технологічних шкал. Запропонований показник дозволяє також автоматизувати процес визначення категорії порід за трудністю екскавації.



Залежність потужності екскаватора типу ЕКГ від часу при екскавації гірничої маси з навантаженням в автотранспорт (IV категорія породи за трудністю екскавації)

Запропонований спосіб реалізується за допомогою спеціального автоматичного пристрою безперервної реєстрації категорії екскавації гірських порід. При цьому слід забезпечити виконання таких технічних вимог і функцій: вимірювання енергоємності операції «черпання» виконується в кожному циклі екскавації;

ознакою початку і кінця операції і, відповідно, вимірювання є зміна знака споживаної потужності;

ідентифікація операції «черпання» здійснюється за її тривалістю:

$$t_{ч} \geq t_{ч, \min} > t_{\text{інш.оп}}, \quad (4)$$

де $t_{ч, \min}$ – найменша тривалість операції «черпання» для даного типу екскаватора при екскавації відповідної гірської породи, с; $t_{\text{інш.оп}}$ – тривалість інших операцій циклу, с;

одночасно з вимірюванням енергоємності черпання здійснюється облік кількості розвантажених ковшів (за числом операцій черпання). При цьому лічильник ковшів спрацьовує в тому випадку, якщо в колі лічильника замикається контакт поляризованого реле, включеного у схему збудження двигунів повороту. Включення реле і замикання контакту свідчать про поворот екскаватора до місця розвантаження;

продуктивність екскаватора визначається з виразу

$$P_e(t) = n_k(t) \cdot M(G_k), \quad (5)$$

де $P_e(t)$ – продуктивність екскаватора за період t , т; $n_k(t)$ – кількість розвантажених ковшів за період t ; $M(G_k)$ – математичне очікування середньої ваги породи в ковші, визначається експериментально, т;

визначається математичне очікування середньої енергоємності черпання $M(W_{\text{ч}})$ за період t (звичайно за зміну) і відповідна категорія порід;

визначається загальна витрата електроенергії на екскавацію (за зміну);

в кінці зміни через інформаційне табло знімається інформація (енергоємність черпання за кожний цикл і середня за зміну категорія породи, продуктивність і загальна витрата електроенергії за зміну);

при наявності на екскаваторах радіостанції інформація може передаватися каналами радіозв'язку на пункт її подальшої обробки.

Технологічні шкали екскавації гірських порід будуються для всіх типів екскаваторів, що експлуатуються в кар'єрі, з урахуванням місткості ковша. При цьому вимірювання повинні проводитись на всіх видобувних і розкривних горизонтах і охоплювати розпушені вибухом породи, м'який і скельний розкрив. В табл. 1 подано технологічну шкалу екскавації гірських порід для екскаватора типу ЕКГ, побудовану для умов Іванівського кар'єру.

Перевагою запропонованої шкали порівняно з використовуваною зараз [5] є те, що вона більшою мірою враховує особливості гірських порід, вплив якості масового вибуху на операцію «черпання» і забезпечує можливість автоматичного контролю категорії гірських порід за трудністю екскавації. Слід відзначити, що категорії порід за трудністю екскавації можна визначати також за повною питомою енергоємністю екскавації.

Таблиця 1. Технологічна шкала екскавації гірських порід для екскаватора типу ЕКГ

Характеристика гірських порід	Енергоємність операції "черпання" ω _ч , кВт·год	Категорія порід за трудністю екскавації
М'який розкрив (при вийманні з масиву)	≤ 0,55	I
Скельний розкрив (розпушений вибухом)	0,56–0,65	II
Скельний розкрив (при вийманні з масиву)	0,66–0,75	III
Розпушений вибухом граніт з вмістом негабаритних кусків породи до 7 %	0,76–0,85	IV
Розпушений вибухом граніт з вмістом негабаритних кусків породи більше 7 %	> 0,85	V

Установлено, що питома енергоємність екскавації породи, розпушеної вибухом, значною мірою залежить від якості підривних робіт (тобто від вмісту негабаритних кусків породи в гірничій масі, які не проходять у ківш екскаватора). На практиці цей фактор оцінюється експертним шляхом при спостереженні за розвалом гірничої маси. Зрозуміло, що така оцінка є значною мірою суб'єктивною.

При погіршенні якості масового вибуху питома енергоємність екскавації зростає, оскільки збільшується витрата електроенергії і затрати часу на підготовку забою. Для кількісної оцінки якості масового вибуху пропонується використовувати повну питому енергоємність екскавації. Як приклад, наведено технологічну шкалу оцінки якості масового вибуху при роботі екскаватора типу ЕКГ в умовах Іванівського родовища гранітів (табл. 2).

Таблиця 2. Технологічна шкала оцінки якості масового вибуху

Характеристика гірських порід	Повна питома енергоємність екскавації гірничої маси ω_{0e} , кВт·год/т	Якість масового вибуху
Розпушений вибухом граніт (гірнична маса) з вмістом негабаритних кусків до 5 % при нормальному розвалі породи	0,120–0,175	Відмінна
Те ж, з вмістом негабаритних кусків 6–10 % при нормальному розвалі породи	0,176–0,230	Добра
Те ж, з вмістом негабаритних кусків 11–15 % при нормальному розвалі породи	0,231–0,285	Задовільна
Те ж, з вмістом негабаритних кусків > 15 % при наявності «заколів» і «козирків» або при значному розвалі породи по підшві уступу	> 0,285	Незадовільна

За результатами проведених досліджень розроблено системи обліку електроспоживання гірничих машин і контролю технологічних властивостей гірських порід [3].

Висновки

1. Зміна повної питомої енергоємності буріння відображає зміну технологічних властивостей гірських порід, тобто їх буримості. Запропоновано критерій оцінки буримості порід за повною питомою енергоємністю буріння, який є зручним для вимірювання у виробничих умовах (за допомогою звичайних електрорічильників), більш інформативним (отриману інформацію можна використовувати для нормування електроспоживання) і дозволяє автоматизувати процес вимірювання.

Розроблено спосіб і систему вимірювання, побудовано технологічні шкали буримості порід за критерієм повної питомої енергоємності буріння.

2. Найбільш об'єктивним інтегральним критерієм оцінки категорій порід за трудністю екскавації є енергоємність операції «черпання». Основною його перевагою є можливість автоматизації процесу вимірювання. Запропоновано спосіб і систему обліку і контролю електроспоживання екскаваторів і категорій порід за трудністю екскавації гірських порід з урахуванням впливу на енергоємність операції «черпання» якості дроблення гірничої маси.

3. Запропоновано критерій і шкалу оцінки якості масових вибухів за повною питомою енергоємністю екскавації, які дозволяють оцінювати вартість буропідричних робіт залежно від їх якості.

4. З огляду на пересувний характер роботи гірничих машин і можливість отримувати інформацію про породи необхідно створювати спеціалізовані системи обліку та контролю електроспоживання і технологічних властивостей гірських порід.

1. Тангаев И. А. Буримость и взрываемость горных пород. – М.: Недра, 1978. – 184 с.

2. Рогольский Б. С., Штогрин Е. А., Кушнир И. С. Оценка буримости горных пород на открытых горных разработках // Горн. журн. – 1985. – № 12. – С. 41–44.

3. Рогольский Б. С., Дмитриаш А. В., Романюк И. М. Устройство для информационного обеспечения буровзрывных работ в карьерах // Уголь Украины. – 1989. – № 5. – С. 30–32.

4. Единые нормы выработки (времени) на открытие горных работ для предприятий горнодобывающей промышленности. Бурение. – М.: НИИ труда: ЦБНТ. – 1984. – 55 с.

5. Зенков Ф. А., Печников А. И. Справочник по техническому нормированию открытых горных работ. – М.: Недра, 1969. – 23 с.

УДК 537.81:51.001

РОТОР З ПАСИВНИМИ НАДПРОВІДНИМИ МАГНІТНИМИ ПІДШИПНИКАМИ В УМОВАХ ГІРНИЧОГО ВИРОБНИЦТВА

Г. В. Славко, канд. техн. наук (ДПУ, м. Кременчук)

Обоснована целесообразность использования в условиях горного производства бесконтактных сверхпроводимых пассивных магнитных подшипников, приведены их преимущества перед подшипниками трения. Построена математическая модель ротора с магнитными подшипниками, получены условия их стойкости, приведены рекомендации по оптимизации распределения механического напряжения.

Жорсткі умови, в яких працює промислове устаткування кар'єрів, шахт, гірничо-збагачувальних комбінатів та підприємств по переробці сировини спонукають проводити дослідження з метою створення принципово нових типів устаткування. Особливу увагу слід звернути на експлуатаційні проблеми, які виникають в умовах підвищеної запиленості в пристроях з підшипниками тертя: підвищену зношуваність, перегрів, надмірну витрату мастильних матеріалів, необхідність очищення підшипників та встановлення захисних пристроїв, зниження коефіцієнта корисної дії. Все це призводить до передчасного виходу з ладу підшипників, і як наслідок, до простоїв під час проведення ремонтно-профілактичних робіт. Основною причиною підвищеного зносу є попадання пилу та частинок породи в мастильні матеріали і між поверхнями тертя.

Одним з найперспективніших засобів розв'язання зазначених проблем вважається магнітний підвіс ротора. Можна виділити два основні типи підшипників, що забезпечують стійкий магнітний підвіс ротора відносно