

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

Б. С. Рогальський, Ю. П. Войтюк

**КОНТРОЛЬ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ
ГІРНИЧИХ МАШИН І ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ВЛАСТИВОСТЕЙ ГІРСЬКИХ ПОРІД**

Монографія

УНІВЕРСУМ-Вінниця 2009

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 6 від 29.12.2005 р.)

Рецензенти:

А. В. Праховнік, доктор технічних наук, професор

В. М. Кутін, доктор технічних наук, професор

Рогальський Б. С., Войтюк Ю. П.

Р 59 Контроль електроспоживання гірничих машин і технологічних властивостей гірських порід: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. – 80 с.

ISBN 978-966-641-298-3

Монографія містить результати досліджень електроспоживання гірничих машин і технологічних властивостей гірських порід. На їх основі розроблені способи та технічні засоби контролю електроспоживання гірничих машин і технологічних властивостей гірських порід в темпі технологічного процесу, методів побудови технологічних шкал буримості та екскавації порід і методики їх використання, рекомендації з розрахунку компенсації реактивних навантажень і система керування енергозбереженням в кар'єрах.

Монографія розрахована на працівників проектних організацій і енергослужб підприємств, магістрів і аспірантів, а також на студентів, які вивчають курси “Електропостачання” та “Енергозбереження”

УДК 621.311 : 622

ISBN 978-966-641-298-3

Зміст

	Стор.
Вступ	4
1. Аналіз відомих способів і технічних засобів оцінювання буримості та екскавації гірських порід і контролю електроспоживання гірничих машин	6
2. Обґрунтування нових способів оцінювання і контролю буримості гірських порід в темпі технологічного процесу	11
3. Обґрунтування нового способу оцінювання і контролю категорії гірських порід за складністю екскавації в темпі технологічного процесу	25
4. Побудова технологічних шкал буримості та екскавації гірських порід і оцінювання якості масових вибухів	30
5. Методика використання шкал буримості та екскавації гірських порід	34
6. Технічні засоби оцінювання і контролю буримості та екскавації гірських порід	38
7. Особливості розрахунку компенсації реактивної потужності в мережах гірничих підприємств	47
8. Керування енергозбереженням на гірничих підприємствах ...	51
Висновки	58
Додаток А. Результати експериментальних вимірювань зміни саморегульованого тиску в гідросистемі в залежності від фізико-механічних властивостей породи і глибини свердловини (буровий станок СБШ-250, коефіцієнт трансформації струму $K_{т.т}=120$	60
Додаток Б. Експериментальні дані для виявлення впливу на енергоємність буріння відхилення від оптимальних значень параметрів режиму буріння.....	62
Додаток В. Програма статистичної обробки результатів вимірювання бурових станків і побудова таблиць буримості гірничих робіт	65
Додаток Г. Математичні сподівання питомих витрат електроенергії на буріння свердловини (чисте буріння)	67
Додаток Д. Питомі витрати електроенергії на допоміжні технологічні операції і потреби	69
Додаток Е. Основні напрямки енергозбереження на гірничих підприємствах	70
Додаток З. Типові заходи з енергозбереження для гірничого підприємства	71
Література.....	77

Вступ

Як відомо, технологічне електрообладнання експлуатується на підприємствах відкритого добування копалин (кар'єрах) в специфічних умовах.

З точки зору технології специфічним є безперервне переміщення фронту гірничих робіт, тобто безперервно переміщується робоче місце основного обладнання (екскаваторів, бурових станків та ін.). Для живлення обладнання, яке переміщується, необхідні пересувні трансформаторні підстанції, силові і освітлювальні лінії електропередач (ЛЕП), розподільчі пункти (РП). Окрім того, з метою захисту обладнання і мереж від ушкодження кусками породи до і після масових вибухів, здійснюється переміщення гірничих машин і електроустановок за межі небезпечної зони і в зворотному напрямку – на нові робочі місця. Під час переміщення по нерівній підшві уступів обладнання зазнає впливу ударно-вібраційних навантажень. Наслідки роботи обладнання в таких умовах – передчасний вихід з ладу ходової частини гірничих машин і приладів обліку електроенергії та ін. Не випадково на гірничих машинах, пересувних КТП і РП облік електроенергії практично відсутній. Існує проблема приєднання приладів обліку електроенергії гірничих машин до централізованої системи контролю електроспоживання і керування ним через пересувний характер їх роботи.

Висока динамічність фронту гірничих робіт зумовлює інтенсивний розвиток кар'єрних мереж. Збільшення розмірів і глибини кар'єру призводить до збільшення опору кар'єрних мереж 6 (10) кВ. В процесі експлуатації систематично (після проведення масових вибухів) змінюється місце приєднання гірничих машин до мережі і довжина їх живильних кабелів. Зміна параметрів розподільчих мереж і живильних кабелів призводить до зміни втрат електроенергії і напруги в них. Із збільшенням терміну експлуатації кар'єру збільшуються втрати потужності, електроенергії і напруги в його мережах.

Для кар'єрних електроприймачів характерні відхилення напруги за допустимі межі в нормальному і пусковому режимі. Підприємства відкритого добування корисних копалин працюють вдень і вночі протягом року незалежно від зміни погодних умов і коливань температури. Тому експлуатація електрообладнання здебільшого визначається кліматичними умовами зони, в якій розміщений кар'єр. З точки зору електроспоживання це визначається в додаткових витратах

електроенергії на освітлення і опалювання кабін, машинних відділень, підігрівання води та масла, на електрозварювальні роботи.

Через зазначені вище причини (особливості експлуатації) підприємства відкритого добування корисних копалин до тепер працюють в умовах недостатньої інформації про технологічні властивості гірських порід. Відсутність достовірної інформації про буримість і екскавацію гірських порід не дозволяє здійснювати з достатньою точністю нормування і планування електроспоживання, трудових і матеріальних ресурсів, розрахунки обладнання і ремонтної бази, програмування заходів з енергозбереження.

В посібнику викладаються способи і технічні засоби контролю електроспоживання і технологічних властивостей гірських порід, методи побудови шкал буримості і екскавації гірських порід і їх використання для планування гірничих робіт, особливості і рекомендації розрахунку компенсації реактивної потужності в мережах гірничих підприємств, питання керування енергозбереженням на гірничих підприємствах. В додатках наведенні типові заходи з енергозбереження та дані експериментальних робіт.

1. Аналіз відомих способів і технічних засобів оцінювання буримості та екскавації гірських порід і контролю електроспоживання гірничих машин

Буримість порід (або категорія порід за буримістю) є інтегральним і технологічним показником і характеризує ступінь опору породи руйнуванню буровим інструментом [1]. Екскавація порід (або категорія порід за труднощами екскавації) є також інтегральним показником і характеризує ступінь опору породи проникненню в її середовище ковша екскаватора (або ступінь опору породи черпанню ковшем екскаватора).

Всі відомі способи оцінювання буримості гірських порід можна розподілити на дві групи. До першої відносяться способи, які вимагають випробувань зразків в лабораторних умовах, до другої – способи визначення категорії порід за буримістю у виробничих умовах в темпі технологічного процесу. Для визначення буримості шарошечними долотами запропонований спосіб вдавлювання штампу в шліфовану поверхню зразка. Проф. Барон Л. І., спростивши цей спосіб, застосування вдавнення штампа більшого діаметру в необроблену поверхню породи [4,5].

На основі досліджень в лабораторних умовах перевіряють правильність теоретичних передбачень і формул. В цій області є ряд узагальнених досліджень: Кутузова Б. Н. [6], Воздвиженського Б. І. [7], Голобінцева О. Н., Остроушка І. А. [9], Сімкіна Б. А. [10] та ін. Широко використовуються способи визначення міцності порід в зразках за їх додатковими механічними властивостями, які окрім трудоемності процесу вимірювання, недостатньо характеризують властивості масиву. Суттєвим недоліком багатьох лабораторних способів є те, що вони базуються на дослідженні деформацій зразків при статичних навантаженнях. Дослідження, які проводяться в лабораторіях, мають мало спільного з умовами, в яких здійснюється буріння гірничих порід. Деякі з цих способів хоча і враховують динамічність процесу руйнування, як приклад, способи, які ґрунтуються на механічному товченні невеликих зразків, однак розповсюдження даних про фізико-механічні властивості зразків порід на оцінку властивостей всього масиву дає помилкове уявлення про його міцність з ряду причин. Основними з них є труднощі врахування проявлених пружних деформацій при під час виймання зразка і структурних особливостей масиву. В роботі [11] пропонується оцінювання буримості гірничих порід проводити за ознакою розміру мінерального зерна. Цей спосіб може використовуватись для оцінювання порід, у яких міцність зчеплення між зернами менше міцності самих зерен або ж між зерновий простір заповнено механічно слабкими мінералами, тобто коли руйнування наперед визначено наявністю площин ослаблення. Проведення вимірювань таким способом виконується за методикою, яка аналогічна лабораторній.

В [12] для визначення буримості гірничих порід запропоновано використовувати швидкість буріння при стандартних умовах проведення дослідів. Цей показник згодом став основою для розробки класифікацій порід за буримістю конкретних гірничих підприємств, призначених для нормування бурових робіт. Центральне бюро нормативів праці (ЦБНА) розробило класифікацію гірничих порід по буримості [13]. Буримість порід кількісно оцінюється часом буріння 1 м свердловини за заданими стандартними умовами (відповідні типорозміри бурового станка, інструмента і параметри режиму буріння). Одержана в цих умовах класифікаційна шкала може бути використана тільки для певного виду техніки і технології буріння. Стандартні умови буріння станками 2СБШ-200, 2СБШ-200Н для визначення буримості порід представлені в табл. 1.1

Таблиця 1.1

Визначення категорій порід по буримості за методикою ЦБНП

Група гірничих порід по буримості	Коефіцієнт міцності порід, f	Контактна міцність, P_k МПа	Осьовий тиск на долото, F_{oc} , кН	Частота обертання долота, n , хвил. ⁻¹	Швидкість буріння, сек/м		Категорія порід за класифікацією ЦБНП
					від	до	
I. Легкобуримі	5,0	до 500	80-120	110-150	39	58	VII
					59	81	VIII
					81	106	IX
					106	130	X
II. Середньої буримості	5,0-8,0	500-1000	100-160	80-120	130	156	XI
					156	183	XII
					184	210	XIII
III. Важкобуримі	8,0-16,0	1000-1500	160-200	60-80	211	251	XIV
					252	300	XV
					300	360	XVI

Група гірничих порід по буримості визначається за величиною коефіцієнта f або контактної міцності порід P_k . Оптимальні значення осьового тиску P_{oc} і частоти обертання долота для кожної групи порід по буримості вибираються в границях значень, наведених в таблиці 1.2. На

дільниці з найрозповсюдженішими для кожної групи породами, для яких відомі їх характеристики міцності (f , p , $\sigma_{сж}$), необхідно пробурити не менше трьох свердловин на глибину, яка прийнята практикою роботи підприємства. Дані вимірювань обробляються методами математичної статистики з групуванням гірничих порід за категоріями в заданих інтервалах шкали буримості. Величина середнього квадратичного відхилення не повинна перевищувати 0,5 величини середнього значення інтервалу. Перевагою цього способу є те, що він точніше відображає властивості порід масиву, на якому проводиться буріння, порівняно з лабораторними способами і тому він точніший за всі інші. В той же час, категорія породи визначається за вибірками із обмеженою кількістю випробувань, спосіб не передбачає безперервного контролю категорії гірничих порід, які складають родовище.

При створенні нових видів інструменту для руйнування породи буровими станками в процесі дослідно-конструкторських робіт, а також на стадії їх напівпромислових випробувань, визначаються техніко-економічні показники буріння в породах різної міцності, виявляються ефективні режими і параметри процесу, на основі яких встановлюється область раціонального використання нових конструктивних рішень. Методика випробувань і аналізу результатів базується на вимірюваннях швидкості, питомої енергоємності, підведеного навантаження, стійкості інструменту і інших показників буріння в залежності від базових ознак порід – коефіцієнтів міцності, твердості, абразивності. Результати випробувань використовуються для вдосконалення, доводки конструкцій і підвищення надійності нових бурильних машин і інструменту. На відміну від лабораторних випробувань буримість порід в даному випадку оцінюють за простішою методикою. Отримані при цьому емпіричні залежності дозволяють вести необхідні розрахунки достовірніше рівні порівняно з даними лабораторних і тим більш теоретичних досліджень.

За своїм змістом і кінцевим результатом визначення буримості порід у виробничих умовах має за мету встановлення норм виробітку, витрат матеріалів і енергоресурсів, визначення продуктивності праці, розцінок на бурові роботи і планування їх об'єму. Названим вище цілям найбільше відповідає спосіб, який оснований на вимірюванні питомої енергоємності буріння (витрат енергії на обертання бурового става) [14]. В роботі [11] заперечується можливість отримання об'єктивних даних про властивості порід за допомогою характеристик буримості, визначеної за питомою енергоємністю, через суттєвої залежності останньої від вмісту в породі кварцу. Відомо, що при збільшенні міцності порід, зменшується швидкість обертання бурового става і збільшується тиск на забій свердловини. При цьому потужність зменшується, але збільшується час буріння, що й призводить до збільшення питомої енергоємності. З наведених в [85] даних не ясно, за рахунок якого фактору відбулося збільшення питомої енер-

гоємності при бурінні кварцитів порівняно з бурінням гнейсів за однакової тривалості буріння.

В [14] питома енергоємність буріння визначається тільки за витратами електроенергії на обертання бурового ставу (витрати енергії на створення тиску бурового ставу на забій і продувку свердловини не враховуються). Окрім цього, для обліку електроенергії, яка споживається електродвигуном обертача, потрібні додаткові прилади обліку. Одержану інформацію неможливо використати для нормування і планування електроспоживання. Проведений аналіз показує, що проблема подальшого вдосконалення методу оцінювання буримості гірничих порід є актуальною.

Категорія порід за труднощами екскавації в даний час визначається в залежності від об'ємної ваги породи, питомого опору черпанню і тривалості циклу екскавації [15,12,16]. Класифікація гірничих порід за труднощами екскавації (в скороченому вигляді) подана в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Класифікація гірських порід за труднощами екскавації

Категорія породи	Петрографічна характеристика породи	Вага гірничої маси в цілику, кг/м ³	Питомий опір черпанню кг/см ²	Тривалість циклу екскавації, сек.	Спосіб розробки
I	Торф, ґрунт, пісок, супісок, піски глауконітові та ін., гравій, галька, щєбінь, окисні марганцево-пісчані руди та інші	1600	0,6	23,1-24,9	Без попереднього розпушення
II	Бентонітова глина, слабке вугілля, крейда м'яка, жирна глина та ін.	1800	1,2	25,0-27,8	
III	Міцне буре і кам'яне вугілля, туф, пемза, щільна глина, крейда та ін.	2000	2,5	27,9-30,1	3 частковим розпушенням вибухами
IV	Міцні боксити, андезити, крупно- і середньозернисті граніти, діорити та ін.	2500	3,25	30,2-31,2	3 повним розпушенням вибухами
V	Міцні дрібнозернисті граніти, сієніти, габро, діорити, свинцево-цинкові руди та ін.	3500	4,0	31,3-33,5	

В табл. 1.2 вага гірничої маси і питомий опір черпанню представлені як розрахункові (усереднені) величини для великих груп гірничих порід (в таблиці наведено лише короткий їх перелік). Тривалість циклу екскавації визначено для екскаватора СЕ-3 (в 60-х роках знятого з виробництва).

До недоліків способу необхідно віднести його наближеність. Категорія породи визначається за усередненими даними для великих груп порід, для яких їх фактичні фізико-механічні параметри мають значний розкид. Окрім того, категорія породи визначається один раз для всього родовища на весь період його експлуатації (ще на стадії геологічної розвідки родовища), не враховується якість розпушення гірничої маси вибуховими роботами. Існуючий спосіб непридатний для безперервного контролю категорії породи (в темпі процесу) за допомогою автоматичних пристроїв. Тому розробка ефективнішого способу визначення і контролю категорії порід за труднощами екскавації на даний час є також важливою і актуальною проблемою. Проведений аналіз відомих способів дозволяє сформулювати вимоги до критеріїв буримості і екскавації гірничих порід які повинні:

- служити дійсною характеристикою опору порід конкретному виду руйнування або опору породи черпанню ковшем екскаватора і дозволяти оцінювати їх кількісно;

- бути об'єктивними, незалежними від зміни параметрів режиму буріння і екскавації, можливість суб'єктивних оцінок повинна бути вилучена;

- контролюватися приладами чи пристроями безперервно, за любі проміжки часу і об'єми робіт;

- повинні відповідати вимогам більшої інформативності (порівняно з відомими).

2. Обґрунтування нових способів оцінювання і контролю буримості гірських порід в темпі технологічного процесу

Значною мірою зазначеним вище вимогам відповідає спосіб, який ґрунтується на вимірюванні питомої енергоємності буріння [14]. В основу цього способу покладені такі вихідні положення і припущення: руйнування породи в забої свердловини відбувається за спільної участі трьох електроприймачів: обертача бурового ставу, насосів гідросистеми і компресора системи продувки; система продувки практично не впливає на енергоємність буріння, тому що кількість повітря в процесі буріння не регулюється і його достатньо для ефективної очистки свердловини впродовж всього діапазону її глибини; характер роботи приводу гідронасоса стабільний і не залежить від фізико-механічних властивостей порід. Витрати енергії на створення осьового зусилля складають не більше 20% енергії, яку споживає електродвигун обертача; процес буріння шарошечним долотом відбувається переважно за рахунок енергії обертача. Облік цієї енергії за певні проміжки часу і на заданій глибині характеризує загальну енергоємність буріння і дозволяє судити про міцність породи.

Проведені авторами дослідження електроспоживання бурових станків в умовах нерудних кар'єрів показали, що характер роботи приводу гідронасоса не є стабільним і значною мірою залежить від фізико-механічних властивостей породи. Дані експериментальних вимірювань представлені в додатку У. На рис. 2.1 показана зміна тиску в гідросистемі і, відповідно, осьового зусилля на забій свердловини під час буріння перших 8-ми метрів свердловини станком СБШ-250 на Полонському кар'єрі. При цьому швидкість обертання бурового ставу була сталою (81 об/хв.), а тиск в гідросистемі – саморегульованим, в залежності від фізико-механічних властивостей порід і швидкості буріння свердловини. Тиск в гідросистемі і осьове зусилля на забій свердловини показано середньозваженим за часом. В дійсності вони змінювались і в межах кожного погонного метра, особливо при забурюванні свердловини (від 5 до 25 ТС). Загальний варіаційний розкид зміни тиску в гідросистемі під час буріння перших 8-ми метрів свердловини складає $H = 500 \text{ кгс/см}^2$. Зрозуміло, що в цих умовах споживання електроенергії двигуном гідронасоса не може залишатися сталим

Відповідно до [14] і [3] а також, за даними авторів, при підвищенні міцності порід для забезпечення найефективнішого руйнування породи в забої свердловини швидкість обертання бурового ставу зменшується (в $1,5 \div 2$ рази), а осьовий тиск збільшується (до $2 \div 3$ раз) порівняно з м'якими породами. І навпаки, зі зменшенням міцності порід швидкість обертання бурового ставу збільшується, а осьове зусилля

зменшується. При бурінні порід тріщинуватих зменшуються обидва параметри режиму буріння.

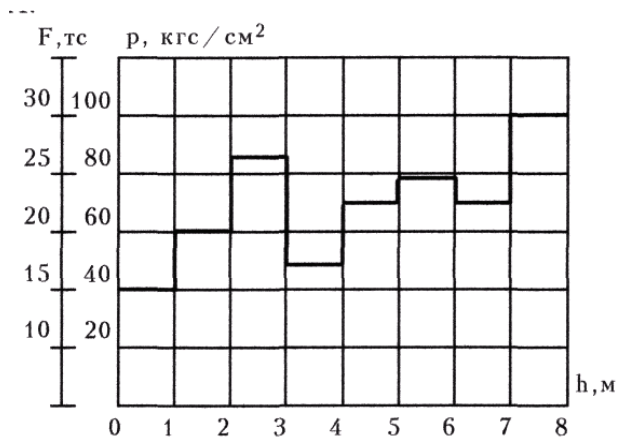


Рис. 2.1. Зміна тиску в гідросистемі p (кгс/см²) і осьового тиску бурового ставу на забій свердловини F (тс) під час буріння перших 8-ми метрів свердловини (для $n=81$ об/хв=const і p – саморегульований)

Таким чином, в процесі буріння значення потужності, яка споживається двигунами обертача $P_{об}$ і гідронасоса $P_{гн}$ та їх питома вага в сумарній потужності ($P_{об} + P_{гн}$), змінюються в залежності від фізико-механічних властивостей порід. Величина часу буріння одного метра свердловини i_0 залежить від співвідношення величин $P_{об}$ і $P_{гн}$. При оптимальних параметрах режиму буріння t_0 і W_0 будуть мінімальними, а продуктивність максимальна [14]. В [14] показано, що збільшення осьового зусилля при однаковій швидкості обертання бурового ставу знижує (до певної величини) потужність, яка споживається обертачем.

В табл. 2.3 наведені результати обробки експериментальних вимірювань електроспоживання обертачем і гідронасосом при бурінні міцних і нижче середньої міцності порід станками 2СБШ-200 (Рокитновський кар'єр). Із таблиці видно, що питомі витрати електроенергії на створення осьового зусилля і їх питома вага в сумарному електроспоживанні змінюються в широкому діапазоні в залежності від фізико-механічних властивостей порід. Неврахування даного фактора при оцінюванні буримості гірничих порід призводить до суттєвої похибки відомого способу, особливо при бурінні міцних порід. Нижче дається визначення цієї похибки.

Таблиця 2.3

Визначення похибки визначення буримості гірничих порід відомим способом [14]

Категорія порід по ЦБНТ	Обертач		Гідронасос		Обертач і гідронасос		$\frac{\bar{W}_{o.гн}}{\bar{W}_{o.об}}$	t_0 , год.
	$\bar{P}_{об}$ кВт	$\bar{W}_{об}$ кВт·г/м	$\bar{P}_{г.н}$ кВт	$\bar{W}_{о.н}$ кВт·г/м	\bar{P}_{Σ} , кВт	\bar{W}_{Σ} кВт·г/м		
VI-VIII	28,64	0,888	3,2	0,099	31,84	0,981	11,86	0,031
XVI-XVIII	20,05	4,652	7,42	1,721	27,92	6,373	37,00	0,232

Відповідно з ГОСТ 13600-68 границі додаткової похибки способу можна оцінити приведеною похибкою (%) за формулою

$$\gamma = (\Delta / X_a) \cdot 100 \quad (2.1)$$

де Δ – абсолютна похибка способу, яка зумовлена неврахуванням споживання електроенергії гідронасосом (для бурінні м'яких порід $\Delta = 0,099$ кВт·г/м і міцних порід – $\Delta = 1,721$ кВт·г/м); X_a – нормоване значення (береться рівним кінцевому значенню діапазону вимірювань сумарних питомих витрат електроенергії на обертання і подачу бурового става: $X_a = 6,373$ кВт·г/м). Зведена похибка при бурінні м'яких порід: $\gamma = 0,999 - 100/6,373 = 1,55\%$. Зведена похибка при бурінні міцних порід: $\gamma = 1,721 - 100/6,733 = 27,0\%$.

Таким чином, неврахування енергії, яка витрачається на створення тиску бурового става на забій свердловини, призводить до похибки відомого способу в межах від 1,5 до 27%, що неприйнятно. Окрім того, використання відомого способу вимагає додаткових приладів обліку електроенергії, участі і зацікавленості машиністів бурових станків у вимірюваннях. Одержана інформація не може бути використана для нормування електроспоживання. Визначення буримості порід здійснюється тільки після відповідної обробки отриманих даних. Реєстрація показань приладів та їх скидання здійснюються машиністом бурового станка вручну.

Удосконалішим є спосіб визначення буримості гірничих порід, який ґрунтується на вимірюванні енергії, що споживається двигуном обертача бурового става і енергії тиску на забій свердловини [18]. Питома енергія руйнування породи на одиницю об'єму визначається за формулою:

$$E = \frac{4}{\pi D_0^2 \Delta S} \left(\int_0^t U I dt + p \Delta S \right) = A(BQ + F), \quad (2.2)$$

де D_0 – діаметр свердловини, м; ΔS – довжина дільниці свердловини, після закінчення буріння якої здійснюється реєстрація показань приладів, м; t – тривалість буріння дільниці свердловини ΔS , сек.; U і I – напруга (В) і струм (А) в колі двигуна обертача бурового става; F – осьове зусилля бурового става на вибій свердловини, кН; A і B – постійні коефіцієнти; Q – кількість електрики, Кл.

Аналіз формули (2.2) показав, що ряд прийнятих припущень знижують ефективність методу. При розрахунках напруга на затискачах двигуна обертача впродовж доби прийнята сталою. В дійсності вона в залежності від конкретних умов може змінюватись в значних межах (від 0,95 до 1,15 номінального). В основному напруга перевищує номінальне значення. Із формули (2.2) видно, що енергію обертання можна виміряти лічильником кількості електрики; енергія тиску є дискретною величиною, її реєструють по приладу вручну в момент закінчення буріння дільниці ΔS . Прийнято, що за період буріння ΔS величина F стала і дорівнює миттєвому значенню, зафіксованому в момент закінчення буріння. Був виміряний тиск в гідросистемі і осьовий тиск бурового става на забій при бурінні 6-го метра свердловини в міцних гранітах станком СБШ-250 для $n=\text{const}$ і саморегульованого тиску (рис.2.2). Значення p і F змінювались і в межах кожної елементарної дільниці ΔS (на рис 2.2 вони показані середньозваженими за часом). Час, впродовж якого тиск був незмінним, коливався від 7 до 108 сек. Середньозважене значення тиску за часом – 240 кН. З огляду на ці дані можна передбачити, що неврахування фактичних рівнів напруги на затискачах двигунів і реєстрація вручну по приладу енергії тиску може призвести до додаткової похибки. Окрім того, для технічної реалізації даного способу необхідно мати спеціальний прилад –лічильник кількості електрики; одержану інформацію неможливо використати для нормування електроспоживання бурових станків. Якщо за одиницю вимірювання питомої енергії руйнування породи в забої свердловини прийняти кВт·г/м, то формула (2.2) буде мати такий вигляд:

$$E_0 = \left(\sqrt{3} U \cos \varphi \int_0^t I dt + 2,724 \cdot 10^{-6} F \right) / DS \quad (2.3)$$

$$\text{або } E_0 = B_1 Q + 2,724 \cdot 10^{-6} F \quad (2.4)$$

де $\sqrt{3} U \cos \varphi / \Delta S$ – постійний коефіцієнт; $2,724 \cdot 10^{-6}$ –перевідний коефіцієнт.

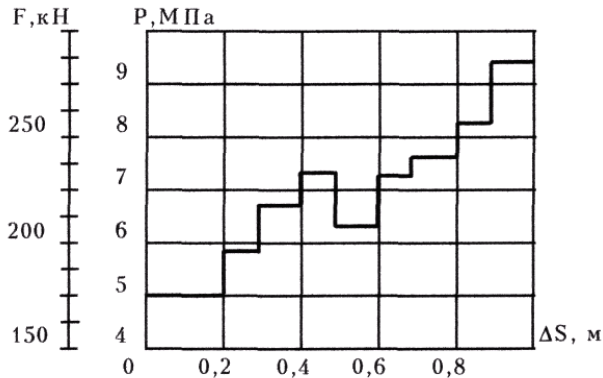


Рис. 2.2. Зміна тиску в гідросистемі p і осьового зусилля F на забій свердловини на ділянці довжиною ΔS

Ряд недоліків цього і вище описаного способів можна усунути, якщо енергію обертання і тиску враховувати інтегрально за допомогою електrolічильників у вигляді енергії, яка споживається двигунами обертача і гідронасоса [19]. Тоді питому енергію руйнування породи в забой свердловини можна визначити за формулою:

$$E_0 = \frac{4}{\pi D_0^2 \Delta S} (W_{a.об} + W_{a.гн}), \quad (2.5)$$

де $W_{a.об}$, $W_{a.гн}$ – енергія, яка споживається двигунами обертача і гідронасоса за період буріння ділянки свердловини ΔS , кВт·г.

В табл. 2.4. наведені підсумки розрахунків питомої енергії руйнування породи забой свердловини на основі даних експериментальних вимірювань електроспоживання бурових станків 2СБШ-200: при бурінні м'яких порід $Q = 2,154$ А·г, $\Delta S = 1$ м, $\cos\varphi = 0,627$, $t = 0,031$ ч, U складає 0,361; 0,38; 0,437 кВ; $F = 21$ кН; при бурінні міцних порід $Q = 10,34$ А·ч, $\Delta S = 1$ м, $\cos\varphi = 0,684$, $t = 0,232$ г., напруга U дорівнює 0,368; 0,38; 0,437 кВ, зусилля бурового ставу на забій $F = 21,18$ кН. Розрахунки проводились за формулою (2.4). Із табл. 2.4 видно, що запропонований спосіб дозволяє підвищити точність визначення буримості гірничих порід порівняно з відомим [18]. Для реєстрації енергії руйнування породи в забой свердловини можна використовувати звичайні електrolічильники. В той же час запропонований спосіб ще не повною мірою відповідає сформульованим вище вимогам.

Таблиця 2.4

Визначення похибки оцінювання буримості гірничих порід способом, викладеним в [18]

Способи визначення буримості порід	Сумарна питома енергія руйнування породи свердловини, кВт·г/м, для категорії порід по ЦБНТ	
	VI-VIII	XVI-XVIII
Спосіб, викладений в [18] з напругою на затискачах двигунів, В		
369	0,886	4,577
380	0,911	4,711
437	1,0454	5,423
Запропонований спосіб [19,20]	0,987	6,373
Додаткова приведена похибка способу, викладеного в [18], %:		
найменша	5,9	14,9
найбільша	10,2	28,2

Для обліку електроенергії, яка споживається електродвигунами обертача і гідронасоса, потрібні два електролічильники. Одержану інформацію неможливо використати для нормування витрат енергії на буріння порід. На станках з регульованим надходженням стиснутого повітря в свердловину при її продувці виникає проблема забезпечення точності оцінювання буримості гірничих порід.

Більш інформативним і зручним критерієм оцінювання буримості гірничих порід при вимірюваннях у виробничих умовах є повна питома витрата електроенергії на буріння свердловин ω_0 кВт·г/м або повна питома енергоємність буріння [21]. Проаналізуємо, якою мірою запропонований критерій буримості гірничих порід відповідає сформульованим вище вимогам.

Графік зміни повної питомої енергоємності буріння (рис.2.3) можна представити як суму двох складових:

$$\omega_0 = \omega'_0 + \omega''_0 \quad (2.6)$$

де ω'_0 – базова, ω''_0 – змінна частина графіка, кВт·г/м.

Базова частина графіка кількісно дорівнює найменшій питомій енергоємності. Вона формується роботою електроприймачів бурового станка з рівномірним графіком навантаження (компресорні агрегати, вентиляторні і аспіраційні установки, освітлення, опалювання, підігрівання масла і води в осінньо-зимовий період), а також включає витрати електроенергії на обертання і подачу бурового ставу під час буріння найм'якших порід родовища. Як було зазначено, буримість характеризує ступінь опору породи руйнуванню буровим інструментом. Зміна опору породи буровому інструменту викликає відповідні зміни електричного навантаження і

електроспоживання бурового станка. Не важко передбачити, що змінна

30 $\omega_0, \text{кВт}\cdot\text{г}$

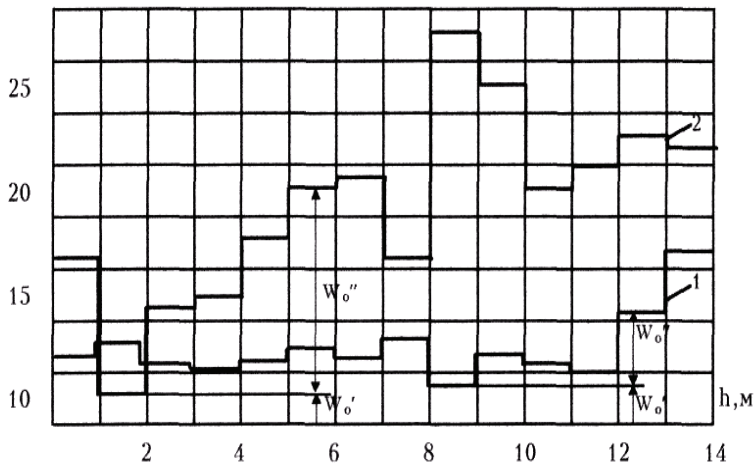


Рис. 2.3 – Графік повної питомої енергоємності в залежності від глибини свердловини: 1 – свіжі граніти; 2 – вивітрені граніти.

складова графіка питомої енергоємності і відображає динаміку опору породи буровому інструменту. За відносною зміною цієї складової і, відповідно, питомої енергоємності, можна оцінити буримість гірничих порід. В загальному випадку питома енергоємність буріння ω_0 включає витрати електроенергії на руйнування породи в забої свердловини $\omega_{0,б}$, допоміжні технологічні операції $\omega_{0,д}$, допоміжні потреби $\omega_{0,п}$ ремонти на станку $\omega_{0,р}$ тобто:

$$\omega_0 = \omega_{0,б} + \omega_{0,д} + \omega_{0,п} + \omega_{0,р} \quad (2.7)$$

В процесі буріння енергія витрачається на руйнування породи в забої $\omega_{0,б}$ і допоміжні потреби $\omega_{0,п}$. Витрати електроенергії на допоміжні технологічні операції $\omega_{0,д}$ і ремонт мають місце між буріннями свердловин. Причому ремонтні (електрозварювальні) роботи в порядку поточної експлуатації виконуються епізодично з незначними витратами електроенергії, яка може бути врахована окремим записом в журналі обліку. Об'єднуючи приймачі системи продувки і допоміжних потреб в одну групу приймачів з практично постійним за часом графіком навантаження, вираз (2.7) можна переписати в такому вигляді:

$$\omega_0 = (P_{об} + P_{г.н})t_0 + P_{\Sigma}t_0 + \left(\sum_{i=1}^n P_{дi}t_{дi} \right) / N$$

де t_0 – тривалість буріння одного метра свердловини, год.; $P_{об}$ і $P_{гн}$ – середня активна потужність, яка споживається, відповідно, електродвигунами обертача і гідронасоса за період t_0 , кВт; $t_{ді}$ – тривалість виконання і-ї допоміжної технологічної операції, год.; $P_{ді}$ – середня активна потужність, яка споживається буровим станком за період $t_{ді}$, кВт; P_{Σ} – сумарна активна потужність, яка споживається приймачами системи продувки і допоміжних потреб за період t_0 , кВт; N – кількість пробурених метрів свердловини, м; n – кількість допоміжних технологічних операцій.

Як було показано вище (табл. 2.3) значення величин $P_{об}$, $P_{гн}$ і t_0 в процесі буріння змінюються в значних межах. При цьому між собою ці величини знаходяться в складній залежності. Так, активна потужність, яка споживається обертачем $P_{об}$ залежить в певних межах від осьового тиску на забій свердловини i , відповідно, від потужності, яка споживається двигуном гідронасоса $P_{гн}$, залежить величина $P_{об}$. В свою чергу величина t_0 є функцією величин $P_{об}$ і $P_{гн}$. Перша складова виразу (2.8) найбільшою мірою відображає динаміку питомої енергоємності буріння. Зміна фізико-механічних властивостей порід змушує машиністів змінювати параметри режиму буріння n і F , що в свою чергу призводить до зміни величин $P_{об}$, $P_{гн}$ і t_0 .

Друга складова виразу (2.8) при бурінні будь-яких порід змінюється пропорційно t_0 (для $P_{\Sigma} = \text{const}$) і тому також відображає динаміку питомої енергоємності i , відповідно, неоднорідність гірничих порід (величина t_0 прийнята ЦБНТ [13] за критерій буримості гірничих порід).

Витрати електроенергії на допоміжні технологічні операції залежать від кваліфікації машиністів і технічного стану бурового станка. На однотипних бурових станках, які обслуговуються різними буровими бригадами, можуть бути деякі відмінності. Однак питома вага електроенергії на допоміжні технологічні операції в питомій енергоємності буріння складає не більше $1,5 \div 2\%$ [14]. Окрім того, при визначенні середнього значення ω_0 ці витрати розподіляються на кожний пробурений метр свердловини рівними частками (добавками) і на динаміку ω_0 не впливають.

Як показали результати досліджень на зміну величини ω_0 крім фізико-механічних властивостей порід (основного фактору) мають вплив інші фактори: глибина буріння, тип бурового станка і інструмента, затуплення шарошки, порушення верхнього шару і оголених бортів робочих уступів масовими вибухами, обводненість порід, сезонність.

Тип бурових станків і інструментів під час оцінювання буримості гірничих порід враховується установленням для кожного з них відповідної шкали буримості. Ця особливість дозволяє застосовувати запропонований спосіб для всіх типів бурових станків і бурових інструментів, включаючи станки ударно-обертального буріння. В [14], а також в розд.1 доведено, що з збільшенням глибини кар'єру, середні значення питомої енергоємності буріння збільшуються. Врахування цього фактору під час оцінювання

буримості гірничих порід можливе також шляхом встановлення для кожного типу бурових станків і інструментів відповідних шкал буримості, які охоплюють всі добувні горизонти.

Неминуче затуплення шарошки до моменту її заміни, обводненість порід, порушеність масиву вибуховими роботами можна вважати як еквівалентну зміну властивостей гірничих порід і, відповідно, їх буримості. Так, затуплення долота в міру його зносу можна вважати як еквівалентне зниження буримості порід (ω_0 і t_0 збільшуються). Обводненість порід також знижує їх буримість [22], а порушеність масиву масовими вибухами знижує міцність порід і збільшує їх буримість, ω_0 і t_0 зменшуються).

Незначні сезонні зміни витрат електроенергії на допоміжні потреби (освітлення, опалення і т.д.) можна враховувати, за необхідності, шляхом відповідних поправок до шкал буримості на окремі місяці і квартали року). Залишається з'ясувати, наскільки можливі відхилення параметрів режиму буріння від оптимальних значень можуть вплинути на точність оцінювання буримості гірничих порід за критерієм ω_0 . Деяке збільшення ω_0 в цих випадках буде зумовлено не зміною властивостей порід, а неточною установкою осьового тиску F і частоти обертання бурового ставу n .

Для цього на Полонському гранітному кар'єрі проведені експерименти. Буріння виконувалось станком СБШ-250 МН на одному і тому ж масиві. Для буріння використовувались долота ОКП-243. В середньому породи відносились до XII-XIV категорії за шкалою ЦБНТ [13]. Дані експериментальних вимірювань наведені в додатку Б.

На вводі системи, через кожний метр буріння, реєструвались параметри режиму (осьовий тиск бурового ставу на забій свердловини F і частота його обертання n), на виході – питома енергоємність ω_0 , тривалість буріння одного метра свердловини t_0 , питомі витрати електроенергії на обертання бурового ставу $\omega_{0,об}$ створення осьового тиску $\omega_{0,гн}$, а також питомі витрати реактивної енергії $\omega_{ор}$. Для реєстрування вказаних параметрів використовувались електролічильники класу 1,5 і прилади, які встановлені на буровому станку (для вимірювання швидкості обертання бурового ставу і його тиску на забій свердловини). Проведено 4 експерименти

1. Здійснювалось звичайне буріння. Параметри режиму F і n встановлювались машиністом станка по можливості максимальними (як при звичайному бурінні) при дотриманні вимог допустимого навантаження на долото і відсутності вібрації на буровому станку. Параметри режиму були близькі до рекомендованих оптимальних значень і змінювались в межах: $F=20\div 25$ ТС, $n=100\div 115$ об/хв.

2. Осьовий тиск на забій свердловини підтримувався постійним, близьким до оптимального значення ($F=22,5$ ТС = const), а частота обертання бурового ставу змінювалась (зверху до низу) в межах: $n= 120\div 75$ об/хв.

3. Частота обертання бурового ставу підтримувалась постійною, близькою до оптимального значення ($n = 115$ об/хв. = const), а осьовий тиск на забій свердловини змінювався (згори донизу) в межах: $F = 25 \div 10$ ТС.

4. Змінювались обидва параметри одночасно (також згори донизу) в межах: $F = 25 \div 10$ ТС, $n = 120 \div 75$ об/хв.

Проведення вимірювань для більших значень F і n обмежувалось виникненням вібрації на буровому станку. Результати обробки експериментальних даних по кожному експерименту наведені в табл. 2.5. Окрім вказаних середніх значень вихідних величин $\bar{\omega}$, \bar{t}_0 , $\bar{\omega}_{0,об}$, $\bar{\omega}_{0,гн}$ в таблиці наведені також розкид зміни питомої ваги електроспоживання двигуна гідронасоса в сумарному споживанні двигунів обертача і гідронасоса γ , швидкість буріння \bar{v} і середні значення (за період \bar{t}_0) активної і реактивної потужностей, які споживаються буровим станком \bar{P} і \bar{Q} . Динаміка зміни вхідних і вихідних параметрів режиму буріння в II-IV експериментах порівняно з параметрами в першому експерименті (в %) наведене в табл. 2.6 вхідні і вихідні параметри в першому експерименті беруться за 100%).

Таблиця 2.5

Результати обробки експериментальних даних

№ експерименту	Вхідні параметри		Вихідні параметри								Розмах зміни величини γ , %
	\bar{n} , об/хв	\bar{F} , ТС	\bar{t}_0 , хв.	\bar{v} , м/год	$\bar{\omega}_0$	$\bar{\omega}_{0,р}$	$\bar{\omega}_{0,об}$	$\bar{\omega}_{0,гн}$	\bar{P}_0 , кВт	\bar{Q}_0 , кВар	
I	112,3	22,4	3,7	16,1	11,4	6,9	3,4	0,37	183,7	112,1	3,1÷28,6
II	95,0	22,5	5,8	10,3	17,3	10,4	3,3	0,55	177,0	106,8	8,3÷50,0
III	115,0	21,2	6,1	9,8	18,3	9,7	4,0	0,59	179,2	95,4	8,2÷25,0
IV	93,7	21,0	6,8	8,8	19,7	12,3	3,8	0,82	174,3	108,8	9,4÷84,0

На рис. 2.4÷2.6 наведені криві залежності питомої енергоємності буріння від частоти обертання бурового ставу ($\omega_0 = f(n)$) при сталому осьовому тиску на забій свердловини (II-й експер від осьового тиску на забій свердловини ($\omega_0 = f(F)$) при сталій частоті обертання бурового ставу (III-й експеримент $\omega_0 = f(F)$ і $\omega_0 = f(n)$ при одночасній зміні обох параметрів режиму буріння (IV експеримент). Криві побудовані за усередненими експериментальними точками.

Література

1. Ржевський В.В. Основи фізики горних порід / В.В. Ржевський, Новик Г.Я. – М. : Недра, 1973. – 258 с.
2. Шрейнер Л.А. Механічні та абразивні властивості горних порід / Л.А. Шрейнер. – М. : Госгортехиздат, 1958. – 280 с.
3. Шрейнер Л.А. Фізичні основи механіки горних порід / Л.А. Шрейнер – М. : Госгортехиздат, 1960.
4. Барон Л.И. Контактна міцність горних порід / Л.И. Барон, Л.Б. Глитман – М. : Недра, 1966. – 216 с.
5. Барон Л.И. Коефіцієнт міцності горних порід / Л.И. Барон – М. : Недра, 1972. – 175 с.
6. Кутузов Б.И., Теорія та технологія бурових робіт / Б.И. Кутузов М. : Недра, 1972. – 310 с.
7. Воздвиженський Б.Н. Фізико-механічні властивості горних порід і вплив їх на ефективність буріння / Б.Н. Воздвиженський – М. : Недра, 1973. – 239 с.
8. Голубинцев О.Н. Механічні та абразивні властивості горних порід і їх буримість / О.Н. Голубинцев – М. : Недра, 1968. – 197 с.
9. Остроушко І.А. Забойні процеси та інструменти при бурінні горних порід / І.А. Остроушко – М. : Госгортехиздат, 1961. – 272 с.
10. Симкін Б.А. Технологія та процеси відкритих горних робіт. // Б.А. Симкін – М. : Недра, 1970. – 213 с.
11. Симкін Б.А. Оцінка здатності горних порід до руйнування бурінням / Б.А. Симкін, Прокопова В.Г // Горний журнал. – 1987. – №3. – С. 4—42.
12. Суханов А.Ф. К вопросу о единой класифікації горних порід / А.Ф. Суханов. М. : Углетехиздат, 1947. – 96 с.
13. Єдині норми виробітки (часу) на відкриті горні роботи для підприємств горнодобувної промисловості – Буріння. – НІИТ праці. ЦБНТ, 1984. – 55 с.
14. Тангаєв І.А. Буримість та вибуховість горних порід / І.А. Тангаєв – М. : Недра, 1984. – 184 с.
15. Зенков Ф.А. Справочник по технічному нормуванню відкритих робіт / Ф.А. Зенков, А.И. Печников – М. : Недра, 1969. – 231 с.
16. Симкін Б.А. Справочник по бурінню на кар'єрах / Б.А. Симкін, Б.Н. Кутузов, В.Д. Буткін – М. : Недра, 1990. – 224с.
17. Рогальський Б.С. Устрій для інформаційного забезпечення буровзривних робіт в кар'єрах / Б.С. Рогальський, А.В. Дмитраш, І.М. Романюк // Уголь України. – 1989. – №5. – с. 30-32.
18. А.С. 581279 (СРСР), МКИ Е21 С39/00. Спосіб визначення міцності горних в масиві / Е.М. Влахович // – 1976.
19. А.С. 1298378 (СРСР), МКИ Е21 С39/00. Спосіб визначення міцності горних в масиві / Б.С. Рогальський, А.В. Дмитраш Заявл. 2.09.85; Опубл. 23.03.87, Бюл. №11. – 3 с.;, ил.

20. А.С. 1317105 (СССР), МКИ E21 В44/00. Устройство для измерения буримости горных пород / Б.С. Рогальский, А.В. Дмитраш, И.М. Романюк // Заявл. 8.07.85; Опубл. 15.06.87; Бюл. №22. – 3 с.: ил.
21. Рогальский Б.С. Оценка буримости пород на открытых разработках / Б.С. Рогальский, Е.А. Штогрин, И.С. Кушнир // Горный журнал. – 1985. – №12. – с. 41-44.
22. Рогальский Б.С. Планирование расхода электроэнергии на буровые работы в карьерах // Б.С. Рогальский, Е.А. Штогрин // Горный журнал. Известия вузов. – 1986. – №4. – с. 93-97.
23. Якимов В.П. Исследование энергоемкости разрешения горных пород с целью оптимизации режимов бурения и улучшения конструкции шарошечных долот / В.П. Якимов.: Дис. к.т.н. – М. : МГИ, 1981.
24. Рогальский Б.С. Облік і контроль електроспоживання гірничих машин та технологічних властивостей гірських порід / Б.С. Рогальський, Ю.П. Войтюк // Вісник НТУУ “КПІ” Серія “Гірництво”. – 2005, – Вип. 5. – с. 104-111.
25. Рогальский Б.С. Використання технологічних шкал буримості гірських порід для планування енергетичних і матеріальних ресурсів на гірничі роботи / Б.С. Рогальський, О.О. Бірюков, Ю.П. Войтюк // Матеріали сьомої міжнародної нак.-техн. Конференції (КУСС–2003.)– Вінниця: Універсум–Вінниця, 2003.
26. А.С. 1624138 (СССР), МКИ E21 В45/00. Устройство для измерения буримости горных пород / Рогальский Б.С., Дмитраш А.В. // Заявл. 16.02.89; Опубл. 30.01.91; Бюл. №4. – 3 с.: ил.
27. А.С. 1430510 (СССР), МКИ E21 В47/04. Устройство для измерения глубин скважин в процессе бурения / Рогальский Б.С., Романюк И.М., Дмитраш А.В. // Заявл. 16.02.87, Опубл. 15.10.88; Бюл. №38. – 2 С., ил.
28. А.С. 1421851 (СССР), МКИ E21 В45/00. Устройство для измерения буримости горных пород / Рогальский Б.С., Дмитраш А.В. Заявл. 24.12.86; Опубл. 07.09.88; Бюл. №33. – 3 с., ил.
29. Рогальский Б.С. Системи контролю електроспоживання бурових станків і буримості гірських порід / Б.С. Рогальський, М.П. Свіридов, Ю.П. Войтюк // Вісник ВПП. – 2003. – №6. – с.38-41.
30. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений / А.К. Митропольский– М. : Наука, 1971. – 576с.
31. Рогальский Б.С. Компенсація реактивної потужності. Методи розрахунку, способи та технічні засоби управління / Б.С. Рогальський І частина. Навчальний посібник. – Вінниця : ВДТУ, 2002. – 119с. – ISBN
32. Тонкаль В.Е. Методы и средства разработки и внедрения региональных комплексных научно-технических программ энергосбережения / В.Е.Тонкаль, С.П. Денисюк, Ю.А. Вихорев.

- Часть I. – Киев: Изд. Института проблем энергосбережения НАН Украины. – 1995. – 164с.
33. Степаненко В.А. Энергосбережение в промышленности Украины – автоматизированная система контроля, учета и управления расходом энергоресурсов АО «ЭКОСИС» / В.А. Степаненко, В.А. Куратченко // Гр. 1-й международной конференции по управлению использованием энергии. Киев: НТТУ «КПИ», – 1995. – С. 45-53.
 34. Рогальський Б.С. Управління енергозбереження на промислових підприємствах / Б.С. Рогальський // Міжнародний науково-технічний журнал. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2000. – №3.
 35. Системи стимулювання енергозбереженням і управління ним на промислових підприємствах / Б.С. Рогальський, О.О. Бірюков, Л.М. Мельничук, Ю.П. Войтюк // Пр. міжнародної науково-технічної конференції. Контроль і управління в складних системах. (КУСС-2003). М.– Вінниця: Універсум –Вінниця, 2003.
 36. Рогальський Б.С. Пристрій автоматичного управління компесувальними установками з врахуванням рівня напруги у вузлах мережі підприємства / Б.С. Рогальський, В.М. Непийвода, Ю.П. Войтюк / Матеріали міжнародної наук.-техн. «конференції.» Контроль і управління в складних системах (КУСС 2003). м. Вінниця, 8-11 жовтня 2003. – Вінниця: Універсум –Вінниця, 2003.
 37. Пристрій керування компенсувальними установками в електричних мережах АПК / Б.С. Рогальський, В.М. Непийвода, П.В. Сосенко, Ю.П. Войтюк // Вісник Харківського ДТУ сільського господарства ім. Петра Василенка, 2004. – Том 1.
 38. Рогальський Б.С. Пристрій контролювання глибини свердловини в процесі буріння / Б.С. Рогальський, І.М. Романюк // Пр. міжнародної наук.-техн. конференції. «Контроль і управління в складних системах» (КУСС 2003). м. Вінниця, 8-11 жовтня 2003. – Універсум-Вінниця, 2003.

Наукове видання

**Рогальський Броніслав Станіславович
Войтюк Юрій Петрович**

**КОНТРОЛЬ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ГІРНИЧИХ МАШИН І
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГІРСЬКИХ ПОРІД**

Монографія

Оригінал-макет підготував Б. С. Рогальський
Редактор С. А. Малішевська

Видавництво ВНТУ «УНІВЕРСУМ-Вінниця»
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001 р.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95
ВНТУ, ГНК, к. 114
Тел. (0432) 59-85-32

Підписано до друку 09.04.2009 р.
Формат 29,7×42¼ Папір офсетний
Гарнітура Times New Roman
Друк різнографічний Ум. др. арк. 4,62
Наклад 100 прим. Зам № 2009-082

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001 р.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95
ВНТУ, ГНК, к. 114
Тел. (0432) 59-81-59