

Учредитель: Издательство "НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"

Главный редактор

КАНТОВИЧ Л.И., д.т.н., проф.

Зам. гл. редактора:

ЛАГУНОВА Ю.А., д.т.н., проф.

ХОРЕШОК А.А., д.т.н., проф.

Редакционный совет:

КОЗОВОЙ Г.И., д.т.н.

(сопредседатель)

ТРУБЕЦКОЙ К.Н., акад. РАН, д.т.н.

(сопредседатель)

АНТОНОВ Б.И.

ГАЛКИН В.А., д.т.н.

КОЗЯРУК А.Е., д.т.н., проф.

КОСАРЕВ Н.П., д.т.н., проф.

МЕРЗЛЯКОВ В.Г., д.т.н., проф.

ЧЕРВЯКОВ С.А., к.т.н.

Редакционная коллегия:

АБРАМОВИЧ Б.Н., д.т.н., проф.

АНДРЕЕВА Л.И., д.т.н.

ГАЛКИН В.И., д.т.н., проф.

ГЛЕБОВ А.В., к.т.н.

ЕГОРОВ А.Н. (Белоруссия)

ЖАБИН А.Б., д.т.н., проф.

ЗЫРЯНОВ И.В., д.т.н.

МУХОРТИКОВ С.Г., к.т.н.

МЫШЛЯЕВ Б.К., д.т.н., проф.

ПЕВЗНЕР Л.Д., д.т.н., проф.

ПЕТРОВ В.Л., д.т.н., проф.

ПЛЮТОВ Ю.А., к.т.н., доц.

ПОДЭРНИ Р.Ю., д.т.н., проф.

СЕМЕНОВ В.В., к.т.н.

СТАДНИК Н.И. (Украина), д.т.н., проф.

ТРИФАНОВ Г.Д., д.т.н., доц.

ХАЗАНОВИЧ Г.Ш., д.т.н., проф.

ЮНГМЕЙСТЕР Д.А., д.т.н., проф.

Редакция:

ДАНИЛИНА И.С.

Телефон редакции:

(499) 269-53-97

Факс: (499) 269-55-10

Email: gma@novtex.ru

http://novtex.ru/gormash

СОДЕРЖАНИЕ

БУРОВЫЕ РАБОТЫ

Тимонин В. В., Кокоулин Д. И., Алексеев С. Е., Кубанычбек Б. Опыт проходки прямолинейно направленных скважин в подземных условиях шахты "Березовская" 3

Юнгмейстер Д. А., Сакерин А. С., Королев Р. И., Карлов В. А. Модернизация гидравлических буровых головок 8

ГОРНЫЙ ТРАНСПОРТ

Басов Р. К., Керопян А. М., Бибииков П. Я., Мостаков В. А. Мониторинг геометрических характеристик поверхности катания рельсового пути — основа повышения эксплуатационной производительности карьерных локомотивов 14

ДРОБИЛЬНО-РАЗМОЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Габов В. В., Романова В. С. Особенности процесса дробления пород в высокочастотной конусной дробилке со свободно-поворотным внутренним конусом 20

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

Климаш В. С., Соколовский М. А. Система рационального управления энергопотреблением промышленного предприятия 25

НАДЕЖНОСТЬ. ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

Комаров Е. И., Мерзляков В. Г., Верзин А. И. Оценка износостойкости коронки двухкомпонентных зубьев системы защиты ковшей ESCO 32

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

Корнеев В. А., Чаплыгин В. В., Крестовоздвиженский П. Д., Корнеев П. А. Исследование энергоемкости вращательного бурения шпуров под анкерное крепление 36

Красюк А. М., Косых П. В. О расчетной схеме для исследования изгибных колебаний ротора вентилятора главного проветривания 41

Лебедев Г. Н., Певзнер Л. Д. Нейросетевое решение задачи прогнозирующего контроля содержания метана в шахтной выработке 46

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, и входит в систему Российского индекса научного цитирования.

УДК 62-83: 622.233.6

В. А. Корнеев¹, канд. техн. наук, доц., **В. В. Чаплыгин**¹, канд. техн. наук, доц.,
П. Д. Крестовоздвиженский², канд. техн. наук, нач. отдела, **П. А. Корнеев**¹, вед. инж.

¹СибГИУ, г. Новокузнецк

²ООО "Горный инструмент", г. Новокузнецк

E-mail: korneev_va@list.ru, chief.v.v@yandex.ru, krepash@yandex.ru, pustelli@mail.ru

Исследование энергоемкости вращательного бурения шпуров под анкерное крепление

Дана оценка возможности применения классических зависимостей, связывающих энергоемкость вращательного бурения с крепостью горных пород по шкале проф. М. М. Протодяконова, для обоснования мощности привода станков для вращательного бурения шпуров под анкерное крепление. Актуальность темы статьи заключается в том, что зависимости были получены при бурении шпуров диаметром 42 мм резцами с числом перьев, не превышающим 2. В настоящее время бурение шпуров осуществляется гораздо меньшим диаметром, в том числе резцами трехперой конструкции. Выводы основаны на экспериментальных данных.

Ключевые слова: мощность, привод, энергоемкость, буровой станок, вращательное бурение, анкерное крепление, буровой резец, горная выработка, механика, шпур

Обоснование мощности привода буровых станков — это сложная задача, при решении которой необходимо учитывать огромное количество факторов. Большинство зависимостей, связывающих энергию, потребную для разрушения горной породы, с режимными параметрами бурения и свойствами породы, было описано в середине 1970-х, 1980-х гг. на основании обработки экспериментального материала, полученного, как правило, при бурении шпуров диаметром 42 мм резцами с числом перьев, не превышающим 2. Бурение шпуров столь значительного диаметра в настоящее время используется крайне редко в связи со снижением объемов буровзрывных работ. Повсеместное использование анкерной крепи для поддержания кровли горных выработок требует бурения шпуров меньшего диаметра.

В результате сложившейся ситуации справедливость ранее полученных эмпирических зависимостей, используемых для обоснования мощности привода бурильных машин, требует дополнительных уточнений. В настоящей статье авторами предпринята попытка оценки точности расчетных значений энергоемкости бурения по классическим зависимостям в сравнении с экспериментальными данными, полученными на буровом стенде при бурении шпуров под анкерное крепление двух- и трехперыми резцами.

Исследования были осуществлены в рамках Федеральной целевой программы "Исследования

и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы" по теме: "Разработка экспериментальных конструкций комбинированного инструмента с применением сверхтвердых композиционных материалов для эффективного разрушения горных пород" (соглашение № 14.607.21.0028 от 05.06.2014).

Бурение осуществлялось экспериментальными буровыми резцами диаметром 28 мм с комбинированными режущими пластинами, а также стандартными двухперыми резцами диаметром 30 мм с режущими пластинами из вольфрамокарбидового сплава.

Экспериментальные буровые резцы были выполнены двух- и трехперой конструкции. Трехперые резцы в настоящее время используются при бурении шпуров с комбайнов, оснащенных турелями. Достоинствами таких резцов является стабильная работа с буровыми установками, обладающими значительным крутящим моментом и усилием подачи, а также устойчивое бурение в трещиноватых породах, где двухперые резцы часто попадают в трещины, что приводит к заклиниванию бурильной машины.

Комбинированные режущие пластины экспериментальных резцов представляли собой твердый сплав с нанесением слоя кубического нитрида бора (КНБ). Использование КНБ для армирования резцов позволило значительно повысить их абра-

живную стойкость, за счет чего исключалось влияние степени затупления резцов на энергоемкость бурения при проведении экспериментов.

Режущие пластины экспериментальных резцов были выполнены круглой и полукруглой форм (рис. 1). Фотографии резцов и их обозначения при проведении эксперимента приведены на рис. 2 и 3. Геометрические и физико-химические свойства конструкций резцов представлены в табл. 1.

Испытания проводились на специально разработанном буровом стенде, позволяющем регистрировать перемещение резца, усилие подачи, скорость вращения и крутящий момент (рис. 4).

Для имитации горной породы при проведении экспериментов использовались песчано-цементные блоки (ПЦБ). Для оценки физико-механических свойств ПЦБ были отобраны образцы от каждого блока, подвергнутые в дальнейшем исследованиям в профильной лаборатории. Каждый ПЦБ, используемый для проведения испытаний, имел срок выдержки не менее 48 сут. Результаты лабораторных исследований показали, что среднее значение коэффициента крепости по шкале проф. М. М. Протодяконова составило $f = 8...9$.

Параметры режима бурения, число испытанных резцов каждой конструкции, а также число шпуров, пробуренных каждым образцом, приведены в табл. 2. Параметры режима бурения были выбраны исходя из рекомендаций [1].

После бурения 15 шпуров каждой экспериментальной конструкцией буровых резцов (Тип 1, Тип 2, Тип 3) испытания на буровом стенде были завершены в связи с получением устойчивых характеристик работы резцов. Бурение ПЦБ резцами с армирующими твердосплавными вставками (Тип 4) было прекращено после выхода резцов из строя.

В результате проведенных исследований были получены диаграммы бурения, регистрирующие во време-

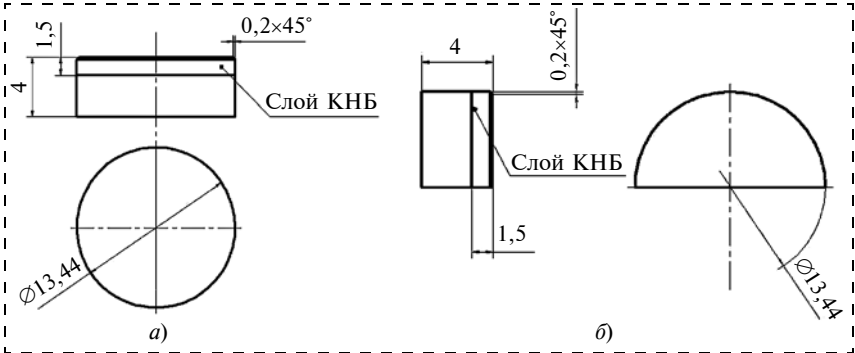


Рис. 1. Комбинированные режущие пластины, используемые в экспериментальных конструкциях буровых резцов:
а — круглой формы; б — полукруглой формы

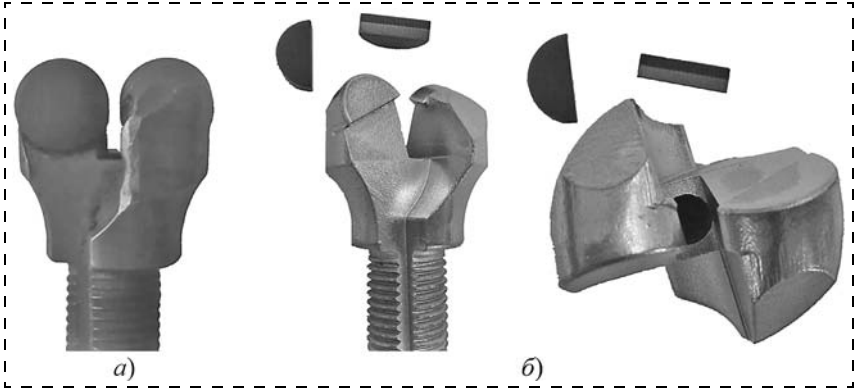


Рис. 2. Экспериментальные конструкции двухперых буровых резцов:
а — с круглой режущей вставкой (Тип 1); б — с полукруглой режущей вставкой (Тип 2)

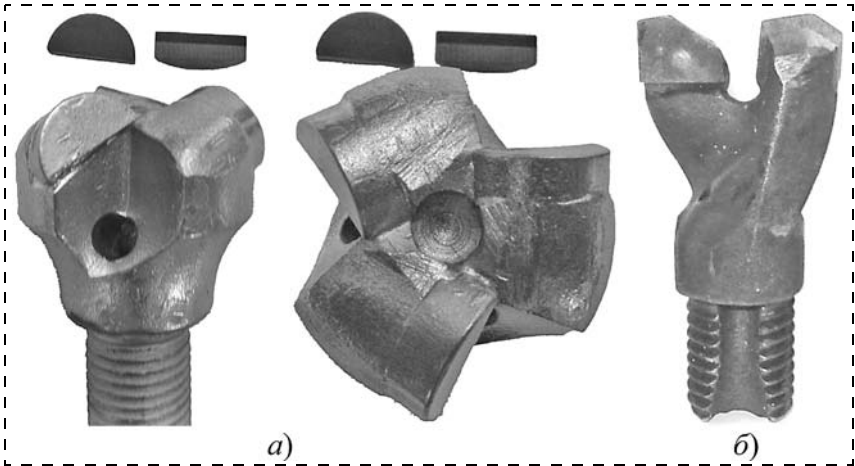


Рис. 3. Буровые резцы:
а — экспериментальный, трехперый, с полукруглой режущей вставкой (Тип 3); б — стандартный, с режущей вставкой из вольфрамокобальтового сплава (Тип 4)

Таблица 1

Геометрические параметры режущих вставок и физико-химические свойства корпусов резцов					
Тип образца	Форма режущей кромки	Угол, °		Химический состав корпуса/твердость корпуса	Химический состав режущей пластины
		передний	задний		
№ 1	Симмет- ричная	—15	18	35ХГСА/350—390 НВ	КНБ
№ 2			16		
№ 3					
№ 4	Асиммет- ричная	—2	18	35ХГСЛ/240—270 НВ	ВК8В

ни усилие подачи, перемещение резца, скорость его вращения и крутящий момент. Диаграммы бурения фиксировались для каждого отбуренного шпура. На рис. 5 приведена одна из диаграмм, полученных при работе образца № 1 бурового резца Тип 1.

На рис. 6 приведены сведения об энергоёмкости бурения испытываемыми резцами. Значение энерго-



Рис. 4. Буровой стенд

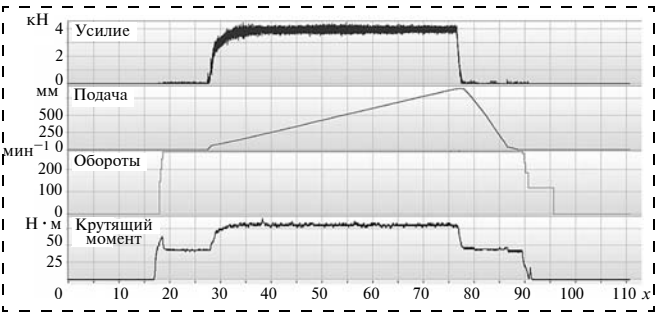


Рис. 5. Диаграмма бурения, полученная на буровом стенде при работе образца № 1 бурового резца Тип 1

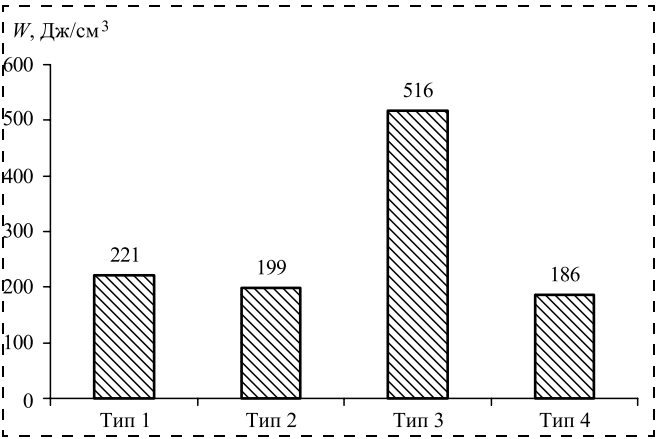


Рис. 6. Энергоёмкость бурения при стендовых испытаниях буровых резцов

ёмкости было определено посредством отношения работы, затраченной на бурение, к объёму разрушенной горной породы, при этом затраты на подачу инструмента не учитывались в связи с их незначительной долей в общих энергетических затратах.

Таблица 2

Параметры режима бурения

	Параметры	Обра- зец № 1	Обра- зец № 2	Обра- зец № 3	Обра- зец № 4	Обра- зец № 5
Тип 1	Усилие подачи, кН	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7
	Давление в системе, МПа	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	Частота вращения, мин ⁻¹	280	280	280	280	280
	Удельная подача, мм/об	3,8	3,8	3,9	3,7	3,8
	Скорость подачи, мм/с	17,6	17,7	18,0	17,4	17,5
	Число пробуренных шпуров/шпурометров	15/13,2	15/13,4	15/13,4	15/13,2	15/13,3
Тип 2	Усилие подачи, кН	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7
	Давление в системе, МПа	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	Частота вращения, мин ⁻¹	280	280	280	280	280
	Удельная подача, мм/об	4,8	4,5	4,4	4,5	4,6
	Скорость подачи, мм/с	22,3	21,1	20,7	20,8	21,3
	Число пробуренных шпуров/шпурометров	15/13,5	15/13,7	15/13,7	15/13,6	15/13,7
Тип 3	Усилие подачи, кН	7	7	7	—	—
	Давление в системе, МПа	0,5	0,5	0,5	—	—
	Частота вращения, мин ⁻¹	280	280	280	—	—
	Удельная подача, мм/об	2,6	2,5	2,5	—	—
	Скорость подачи, мм/с	12,1	11,6	11,7	—	—
	Число пробуренных шпуров/шпурометров	15/13,6	15/13,7	15/13,7	—	—
Тип 4	Усилие подачи, кН	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7
	Давление в системе, МПа	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	Частота вращения, мин ⁻¹	280	280	280	280	280
	Удельная подача, мм/об	5,7	5,2	4,5	4,5	5,5
	Скорость подачи, мм/с	26,6	24,2	21,0	20,8	25,5
	Число пробуренных шпуров/шпурометров	8/7,2	8/7,1	7/6,2	8/7,3	7/6,3

В расчетах использовались следующие зависимости.

Мощность P , затраченная на бурение:

$$P = M_{кр} \omega, \text{ Вт},$$

где $M_{кр}$ — крутящий момент, Н · м; ω — угловая скорость, рад/с.

Работа A :

$$A = Pt, \text{ Дж},$$

где t — время бурения, с.

Объем разрушенной горной породы V :

$$V = \pi r^2 L, \text{ см}^3,$$

где r — радиус шпура, см; L — длина шпура, см.

Энергоемкость бурения W :

$$W = A/V, \text{ Дж/см}^3.$$

Энергоемкость бурения посредством разработанных конструкций буровых резцов Тип 1 и Тип 2 отличается от аналогичной характеристики стандартного резца Тип 4 в пределах статистической ошибки. При этом энергоемкость бурения шпуров трехперым экспериментальным резцом Тип 3 превышает удельные энергетические затраты на бурение каждым из всех испытанных резцов более чем в 2 раза. Наиболее вероятной причиной сложившейся ситуации являются трудности, связанные с удалением отбуренной горной породы. Наличие третьего пера в конструкции резца уменьшает свободное пространство, что приводит к уплотнению и переизмельчению буровой мелочи, в результате чего удельные энергетические затраты на бурение значительно возрастают. Помимо этого, увеличение энергоемкости бурения также обусловлено ростом энергетических затрат на внедрение инструмента за счет увеличения площади его взаимодействия с забоем шпура из-за использования в его конструкции третьего пера.

Основным фактором, определяющим энергоемкость бурения горной породы при радио-

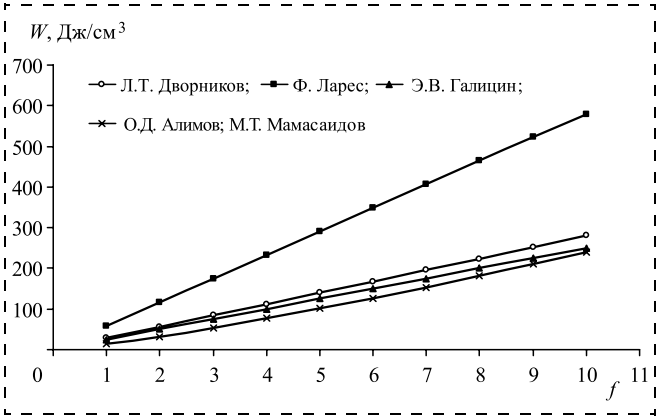


Рис. 7. Расчетные значения энергоемкости вращательного бурения для различных по крепости горных пород в соответствии с рекомендациями различных исследователей

нальном режиме, является совокупность ее прочностных свойств, комплексным показателем которых является коэффициент крепости по шкале проф. М. М. Протодяконова. По мнению большинства исследователей, эта зависимость носит линейный характер или очень близка к нему.

Наиболее полные исследования по вращательному бурению шпуров были проведены Л. Т. Дворниковым [2]. На основании обобщения рекомендаций различных авторов о рациональных режимах бурения горных пород различной крепости он выявил наличие линейной зависимости между энергоемкостью бурения и крепостью горных пород. О линейном характере этой зависимости также свидетельствуют данные Ф. Лареса [3] и Э. В. Галицина [4]. Однако, по мнению О. Д. Алимова и М. Т. Мамасаидова [5], связь между энергоемкостью вращательного бурения и крепостью носит степенной характер. Расчетные значения энергоемкости вращательного бурения для различных по крепости горных пород по рекомендациям названных авторов приведены на рис. 7.

В табл. 3 даны расчетные значения энергоемкости, полученные по зависимостям, предложен-

Таблица 3

Соотношение расчетных и экспериментальных значений энергоемкости при вращательном бурении шпуров

Автор, формула	Расчетное значение энергоемкости W , Дж/см ³	Экспериментальное значение энергоемкости $W_{\text{эксп}}$ и относительное отклонение Δ расчетного значения от экспериментального							
		Резец Тип 1		Резец Тип 2		Резец Тип 3		Резец Тип 4	
		$W_{\text{эксп}}$, Дж/см ³	Δ , %	$W_{\text{эксп}}$, Дж/см ³	Δ , %	$W_{\text{эксп}}$, Дж/см ³	Δ , %	$W_{\text{эксп}}$, Дж/см ³	Δ , %
Л. Т. Дворников, $W = 28f$	224...252	221	1...14	199	13...27	516	51...57	186	20...35
Ф. Ларес, $W = 58f$	464...522		110...136		133...162		1...10		149...181
Э. В. Галицин, $W = 25f$	200...225		2...10		1...13		56...61		8...21
О. Д. Алимов, М. Т. Мамасаидов, $W = 13,5f^{1,25}$	182...210		5...18		6...9		59...65		2...13

ным названными выше авторами, для случая бурения ПЦБ с коэффициентом крепости по шкале проф. М. М. Протодяконова $f = 8 \dots 9$, а также приведена оценка их относительного отклонения Δ от результатов экспериментального определения энергоемкости на лабораторном стенде.

Из приведенных данных видно, что использование рекомендаций Ф. Лареса приводит к получению завышенных значений энергоемкости при бурении двухперым резцом. Несмотря на достаточную близость расчетного значения, полученного по этой зависимости, к экспериментальному для трехперых резцов, этот факт следует считать совпадением, так как автор изначально не использовал при своих исследованиях трехперые резцы.

Результаты проведенных экспериментов свидетельствуют о возможности обоснования мощности привода буровых станков по всем приведенным зависимостям, кроме формулы Ф. Лареса, при бурении шпуров двухперыми резцами под анкерное

крепление. Использование в качестве горного инструмента трехперых резцов потребует введения в зависимости коэффициента, учитывающего повышение затрат энергии, природа которых требует проведения дополнительных исследований.

Список литературы

1. Алимов О. Д., Дворников Л. Т. Бурильные машины. М.: Машиностроение, 1976. 295 с.
2. Алимов О. Д., Дворников Л. Т. Закономерности вращательного бурения шпуров. Фрунзе: Илим, 1975. 45 с.
3. Суханов А. Ф. К вопросу о единой классификации горных пород. М.: Углетехиздат, 1947. 94 с.
4. Наумкин Н. И. Разработка способа определения энергоемкости разрушения горных пород и расчет мощности машин для бурения скважин: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06. Фрунзе, 1990. 232 с.
5. Алимов О. Д., Мамасаидов М. Т. О минимальной энергоемкости бурения шпуров // Известия АН Киргизской ССР. 1984. № 5. С. 12—20.

V. A. Korneyev¹, Associate Professor, e-mail: korneev_va@list.ru,
V. V. Chapliugin¹, Associate Professor, e-mail: chief.v.v@yandex.ru,
P. D. Krestovozdvigensky², Head of Department, e-mail: krepash@yandex.ru,
P. A. Korneyev¹, Leading Engineer, e-mail: pustelli@mail.ru
¹Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia
²"Mining Tool" Ltd., Novokuznetsk, Russia

Investigation of the Energy Intensity of Rotary Drilling of Holes for Anchorage

The article is devoted to evaluation of possibility of using classical dependencies linking the energy consumption of rotary drilling with the fortress of rocks on a scale of Professor M. M. Protodiakonov, for purposes of establishing the power drive the machines for rotary drilling of blast holes for anchoring. Topicality of the article lies in the fact that the above mentioned dependencies were obtained by drilling holes with a diameter of 42 mm cutters with the amount of feathers not exceeding 2. Currently drilling holes is much smaller diameter, including a cutter with 3 feathers. The conclusions of this paper are based on experimental data.

Keywords: power, drive, energy consumption, drilling rig, rotary drilling, anchoring, drilling cutter, mining, mechanics, hole

References

1. Alimov O. D., Dvornikov L. T. *Buril'nye mashiny*, Moscow, Mashinostroenie, 1976, 295 p. (in Russian).
2. Alimov O. D., Dvornikov L. T. *Zakonomernosti vrashhatel'nogo bureniya shpurov*, Frunze, Ilim, 1975, 45 p. (in Russian).
3. Suhanov A. F. *K voprosu o edinoj klassifikacii gornyh porod*, Moscow, Ugletehizdat, 1947, 94 p. (in Russian).
4. Naumkin N. I. *Razrabotka sposoba opredeleniya jenergoemkosti razrusheniya gornyh porod i raschet moshhnosti mashin dlja bureniya skvazhin, dis. ... kand. tehn. nauk*, 05.05.06, Frunze, 1990, 232 p. (in Russian).
5. Alimov O. D., Mamasaidov M. T. O minimal'noj jenergoemkosti bureniya shpurov, *Izvestija AN Kirgizskoj SSR*, 1984, no. 5, pp. 12—20 (in Russian).