

П.И. ФЕДОРЕНКО, д-р техн. наук, проф., Криворожский национальный университет
В.И. ЧЕПУРНОЙ, С.И. ЛЯШ, НИГРИ Криворожский национальный университет
Н.Я. ТРОХИМЕЦ, канд. техн. наук, ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО СПОСОБА ОБРАЗОВАНИЯ КОМПЕНСАЦИОННЫХ ПОЛОСТЕЙ ДЛЯ ПРОХОДКИ ВОССТАЮЩИХ ВЫРАБОТОК ПРИ ПОДГОТОВКЕ БЛОКОВ К ОЧИСТНОЙ ВЫЕМКЕ

Показано, что электротермомеханический способ расширения передовых скважин позволяет повысить эффективность разрушения породного массива при образовании компенсационных полостей для проходки в крепких породах восстающих выработок, задействованных в подготовке блоков к очистной выемке.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Подготовка блоков к очистной выемке является наиболее несовершенным звеном технологического процесса добычи железных руд подземным способом. Разработка оптимальных способов и средств механизации технологических процессов проходки в крепких породах восстающих выработок - современное и актуальное направление повышения эффективности технологии подготовки блоков к очистной выемке.

Анализ исследований и публикаций. Созданию технологий, обеспечивающих повышение эффективности проходки восстающих выработок, придается большое значение, как в отечественной, так и в зарубежной практике. Обоснованию оптимальных технологий проходки восстающих выработок посвящены работы Н.Г. Дубинина, К.Д. Кристина, Л.И. Барона, В.Н. Глазунова, Н.Т. Козырева, Г.О. Кунца, а также других исследователей.

Постановка задачи. Основной задачей данной работы является исследование эффективности электротермомеханического способа образования компенсационных полостей для проходки в крепких породах восстающих выработок.

Изложение материала исследований и полученные результаты. Широкое развитие систем разработки, особенно мощных рудных тел, привело к появлению серии выработок малого сечения, составляющих основу конструктивного оформления систем. При этих системах для подготовки блоков к очистной выемке проходят восстающие выработки различного назначения. Трудоемкость и затраты средств на проходку восстающих достигают в отдельных случаях почти половины общей трудоемкости и затрат на подготовку блоков к очистной выемке [1,2].

В настоящее время в Криворожском бассейне при подготовке блоков к очистной выемке, вскрытии новых месторождений и горизонтов ежегодно проходят порядка 24 тыс. м восстающих выработок, при этом 7,5 тыс. м проходят по породам с коэффициентом крепости f от 10-12 до 16-18. Подавляющее большинство выработок (96,7 %) проходят буровзрывным способом, с устройством временных полков (78,9 %) и с применением самоходных комплексов (17,8 %).

В настоящее время на шахтах Кривбасса проходка восстающих секционным взрыванием глубоких скважин в силу ряда причин не находит широкого применения. Этот способ отличается от ранее рассмотренных, отсутствием человека в забое проводимой выработки. Все работы по бурению и отбойке осуществляются из прилегающих к восстающему горизонтальных выработок [3].

На шахтах бассейна 3,3 % от общей протяженности восстающих выработок проходят машинным (комбайновым) способом. В 80-х годах XX столетия на шахтах бассейна работало 10 комбайнов, из них 3-1 КВ, и 7-2 КВ. В настоящее время на проходке восстающих задействовано 2 комбайна типа Рино-400 производства фирмы «Сандвик» [4,5].

Большая протяженность восстающих выработок, которые проходят на шахтах Кривбасса при подготовке блоков к очистной выемке высокая трудоемкость, низкая скорость проходческих работ, определяют необходимость поиска новых технологических и технических решений при разрушении горных пород применительно к проходке в крепких породах восстающих выработок.

Перспективным с точки зрения технологичности, снижения трудоемкости и стоимости проходческих работ является способ проведения восстающих выработок за один прием взры-

вания отбойкой скважинных зарядов на незаряжаемую скважину увеличенного диаметра (компенсационную полость). Суть данного способа заключается в том, что в пределах проектного контура проводимой выработки выбуривают комплект скважин на полную высоту выработки. При этом одну скважину расширяют. Она служит как компенсационная полость. Остальные же скважины комплекта заполняют ВВ и взрывают с замедлениями [6].

При проходке в крепких породах возникающих выработок компенсационная полость в виде скважины большого диаметра может быть создана путем расширения передовой скважины, например, диаметром 0,105-0,110 м.

Одним из основных критериев, позволяющих провести сравнительную оценку различных способов разрушения горных пород при образовании скважин большого диаметра, является относительный коэффициент энергоёмкости, который изменяется в широких пределах в зависимости от способов воздействия на горную породу (табл. 1).

Таблица 1

Относительный коэффициент энергоёмкости различных способов разрушения горных пород

Способы разрушения	Относительный коэффициент энергоёмкости
Термические:	
лазерный луч	450
плазма	120
электронный луч	8
Гидравлические:	
низкоскоростная струя воды	85
непрерывная струя высокого давления	45
пульсирующая струя высокого давления	1
Механические:	
ультразвук	1,5
коническая шарошка	0,7
мощный механический удар	0,5
направленный удар средней мощности	0,2
мощный высокоскоростной удар	0,07
Комбинированные:	
гидромеханический	40
термомеханический	

Установлено, что механический (ударный), ударно-термомеханический и ударно-электротермомеханический способы разрушения горных пород являются наиболее приемлемыми для образования в подземных условиях скважин большого диаметра, при этом пневмоударные устройства, содержащие один ударный механизм с буровой коронкой-расширителем, а при расширении скважин в породах крепостью 10-12 и более линейный тепловой генератор, могут быть эффективными в эксплуатации породоразрушающими органами [7-16].

На основании изложенного выполнен комплекс экспериментальных исследований технологии образования в крепких породах компенсационных полостей в виде скважин большого диаметра, полученных на основе электротермомеханического способа расширения передовых скважин с созданием в призабойной части массива опережающего объемного теплового поля.

Для проведения экспериментальных работ были подобраны забои, проводимые по породам с различным коэффициентом крепости: от монолитных железистых кварцитов с $f=16-18$ до железистых кварцитов с прослойками гематитомартитового роговика с $f=10-12$.

Исследования проводились экспериментальной установкой для электротермомеханического расширения скважин состоящей из бурового станка НКР-100М, пневмоударника с породоразрушающим инструментом, генератора инфракрасного излучения (ГИКИ), тяговой лебедки с канатом, источника электроэнергии с кабелем.

Буровой станок устанавливался на нижнем горизонте, а источник электрической энергии и тяговая лебедка на верхнем.

В качестве генератора ИК-излучения были приняты электробезопасные нагреватели типа ТЭН, собранные в блок в виде «беличьей клетки». В качестве генератора ударных импульсов был принят пневмоударник П-1-115 конструкции НИГРИ.

Техническая характеристика экспериментального образца электротермомеханического рабочего органа установки для расширения скважин следующая:

Энергия удара пневмударника, Дж	250
Частота удара пневмударника, Гц	15
Диаметр породоразрушающих инструментов, м	0,2; 0,3; 0,4; 0,5
Скорость вращения, рад/с	6,28
Мощность ГИКИ, кВт	38
Диаметр ГИКИ, м	0,95
Длина ГИКИ, м	2,2
Питающее напряжение, В	трехфазное 380
Схема соединения электронагревателей в блоке	«звезда».

Согласно методики испытаний последние проводились в три этапа. На первом этапе снизу вверх станком НКР-100М бурились вертикальные передовые скважины диаметром 0,105 м.

На втором этапе передовые скважины расширялись чисто механическим способом до диаметра 0,2;0,3;0,4;0,5 м. При этом определялась линейная скорость расширения передовых скважин.

На третьем этапе скважины диаметром 0,105 м расширялись электротермомеханическим (ЭТМ) способом до диаметра 0,2;0,3 0,4 0,5 м. При этом определялась линейная скорость расширения передовых скважин.

При выполнении третьего этапа исследований в скважину диаметром 0,105 м с заданной скоростью вводился генератор инфракрасного излучения. После полного ввода последний отключался от источника электрического тока и перемещался дальше по скважине на длину не менее 1,5 м, а затем производилось механическое расширение этой скважины соответствующим диаметром.

Линейная скорость механического и электротермомеханического расширения передовых скважин определялась путем измерения длины расширенной скважины и времени расширения.

Энергоемкость механического расширения определялась по формуле, кДж/м³

$$W_m = \frac{N_m}{Y_{об,м}}, \quad (1)$$

где N_m - мощность механического рабочего органа, Дж/с, для станка НКР-100М с пневмударником П-1-115 $N_m=1 \cdot 10^5$ Дж/с; $Y_{об}$ - объемная скорость механического расширения, м³/с.

Объемная скорость механического расширения определялась по формуле, м³/с,

$$Y_{об,м} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \cdot Y_{л,м}, \quad (2)$$

где D - диаметр расширенной скважины, м; d - диаметр расширяемой скважины, $d=0,105$ м; $Y_{л,м}$ - линейная скорость механического расширения, м/с.

Таким образом, кДж/м³

$$W_m = \frac{4N_m}{\pi \cdot Y_{л,м} (D^2 - d^2)}, \quad (3)$$

Энергоемкость электротермомеханического расширения определялась по формуле, кДж/м³

$$W_{э\text{тм}} = \frac{N_m + N_T}{Y_{об,э\text{тм}}}, \quad (4)$$

где N_m - мощность механического рабочего органа, Дж/с, для станка НКР-100М с пневмударником П-1-115 $N_m=1 \cdot 10^5$ Дж/с; N_T - мощность генератора инфракрасного излучения, Дж/с; $N_T=0,38 \cdot 10^5$ Дж/с; $Y_{об,э\text{тм}}$ - объемная скорость электротермомеханического расширения, м³/с.

Объемная скорость электротермомеханического расширения определялась по формуле, м³/с

$$Y_{об,э\text{тм}} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \cdot Y_{л,э\text{тм}}, \quad (5)$$

где D - диаметр расширенной скважины, м; d - диаметр расширяемой скважины, $d=0,105$ м; $Y_{л,э\text{тм}}$ - линейная скорость электротермомеханического расширения, м/с.

Таким образом, кДж/м³

$$W_{э\text{тм}} = \frac{4(N_m + N_T)}{\pi \cdot Y_{л,э\text{тм}} (D^2 - d^2)}. \quad (6)$$

В процессе исследований были получены результаты, представленные в табл. 2-4.

Таблица 2

Линейная скорость расширения скважин с созданием в призабойной части массива опережающего теплового поля

Коэффициент крепости пород, f	Длительность теплового воздействия, ч	Линейная скорость расширения, м/с			
		Диаметр расширенной скважины, м			
		0,2	0,3	0,4	0,5
10-12	0	3,0	1,70	1,0	0,60
	0,5	5,94	3,34	1,98	1,05
	1,0	8,12	4,57	2,86	1,52
	1,5	9,71	5,61	3,33	1,73
13-15	0	1,53	0,87	0,56	0,31
	0,5	3,03	1,70	1,01	0,53
	1,0	4,14	2,33	1,46	0,76
	1,5	4,95	2,83	1,70	0,87
16-18	0	0,60	0,34	0,23	0,12
	0,5	1,19	0,66	0,42	0,21
	1,0	1,62	0,91	0,67	0,29
	1,5	1,83	1,11	0,72	0,33

Таблица 3

Объемная скорость расширения скважин с созданием в призабойной части массива опережающего теплового поля

Коэффициент крепости пород, f	Длительность теплового воздействия, ч	Объемная скорость расширения, м/с			
		Диаметр расширенной скважины, м			
		0,2	0,3	0,4	0,5
10-12	0	0,056	0,068	0,123	0,128
	0,5	0,091	0,153	0,195	0,151
	1,0	0,149	0,194	0,325	0,297
	1,5	0,216	0,289	0,348	0,356
13-15	0	0,029	0,068	0,064	0,068
	0,5	0,047	0,153	0,102	0,080
	1,0	0,077	0,194	0,170	0,152
	1,5	0,111	0,289	0,198	0,173
16-18	0	0,012	0,017	0,023	0,025
	0,5	0,019	0,037	0,038	0,029
	1,0	0,032	0,048	0,061	0,056
	1,5	0,046	0,121	0,072	0,064

Таблица 4

Энергоемкость расширения скважин с созданием в призабойной части массива опережающего теплового поля

Коэффициент крепости пород, f	Длительность теплового воздействия, ч	Энергоемкость расширения, м/с			
		Диаметр расширенной скважины, м			
		0,2	0,3	0,4	0,5
10-12	0	74,483	49,665	37,241	33,104
	0,5	57,410	33,573	25,317	23,293
	1,0	38,051	21,343	19,918	18,411
	1,5	27,586	16,918	13,332	15,05
13-15	0	156,191	104,129	78,096	69,422
	0,5	120,309	70,041	52,703	48,090
	1,0	80,206	44,570	39,523	37,562
	1,5	56,989	35,423	26,684	24,391
16-18	0	372,415	248,275	186,205	165,527
	0,5	286,154	166,923	123,987	114,782
	1,0	190,667	107,357	92,990	87,875
	1,5	135,147	84,173	60,556	56,432

В результате выполненных работ установлено, что с увеличением длительности теплового воздействия, линейная скорость расширения скважин существенно увеличивается, и при длительности теплового воздействия в зоне, прилегающей к забою расширенной скважины, равной 1,5 ч линейная скорость расширения в породах с коэффициентом крепости $f=10-12$ до диаметра 0,3 м увеличивается в 3,3 раза и составляет 5,61 м/ч до диаметра 0,4 м - в 3,1 раза и составляет 3,33 м/ч, а до диаметра 0,5 м - в 2,9 раза и составляет 1,73 м/ч.

Объемная скорость разрушения имеет явно выраженный максимум и область диаметра скважины 0,5 м. Это означает, что для данного типа пневмоударника и инструмента оптимальным диаметром расширения является 0,5 м. Этот вывод подтверждается и минимальной энергоемкостью процесса разрушения при расширении до диаметра 0,5 м.

Установлено, что энергоемкость процесса разрушения электротермомеханическим способом по сравнению с чисто механическим значительно меньше. Например, при расширении скважин в породах с коэффициентом крепости $f=10-12$ до диаметра 0,5 м она в 2,2 раза ниже и составляет $15,05 \cdot 10^5$ кДж/м³, что свидетельствует о высокой эффективности ЭТМ способа расширения скважин с созданием опережающего теплового поля изнутри массива.

Экспериментальные исследования по расширению передовых скважин электротермомеханическим способом показали, что устройства содержащие один ударный механизм с буровой коронкой - расширителем и линейный ГИКИ являются надежными, простыми и удобными в эксплуатации породоразрушающими инструментами образования компенсационных полостей для проходки в крепких породах восстающих выработок при подготовке блоков к очистной выемке.

Выводы и направление дальнейших исследований. Выполненные работы показали, что:

При подготовке блоков к очистной выемке проходка в крепких породах восстающих выработок является наиболее дорогостоящим и трудоемким видом горных работ.

Перспективным с точки зрения технологичности, снижения трудоемкости и стоимости проходческих работ является комбинированный способ проведения восстающих выработок за один прием взрывания отбойкой скважинных зарядов на скважину увеличенного диаметра (компенсационную полость).

При проходке в крепких породах восстающих выработок за один прием взрывания наиболее узким местом является образование компенсационной полости, которая может быть создана путем расширения передовой скважины диаметром 0,105-0,11 м. С увеличением длительности теплового воздействия линейная скорость расширения скважин электротермомеханическим способом существенно увеличивается, а объемная скорость расширения и энергоемкость процесса разрушения по сравнению с чисто механическим способом значительно уменьшается.

Устройства, содержащие один ударный механизм с буровой коронкой-расширителем и линейный ГИКИ, являются надежными, простыми и удобными в эксплуатации породоразрушающими инструментами для образования компенсационной полости при проходке в крепких породах восстающих выработок, задействованных в подготовке блоков к очистной выемке.

Дальнейшие исследования необходимо проводить в направлении повышения эффективности механического разрушения массива при образовании компенсационных полостей.

Список литературы

1. **Чирков Ю.И., Черненко А.Р.** Подземная разработка мощных железорудных месторождений. –М. - Недра, 1985. - 239 с.
2. **Дубинин Н.Г., Трегубов Б.Г.** Подготовка блоков к очистным работам. М. - Недра, 1968. - 149 с.
3. **Барон Л.И., Овчинников М.И.** Механизация проходки восстающих. М. - Недра, 1973. - 192 с.
4. **Соловьянов Л.Н.** Промышленный опыт проходки восстающих машинным способом. Тр. НИГРИ, 1957. - том 1. - С. 287-305.
5. **Алексеев Г.М., Кунин И.К., Воюта Л.Ф.** Перспективы развития техники и технологии проходки восстающих выработок. Горный журнал, 1979. - №8. - С. 31-33.
6. **Шнайдер М.Ф.** Образование восстающих взрыванием скважинных зарядов. Горный журнал, №6, 1982. - С. 36-37.
7. **Hawkes Ivor, B. Eng Ph. D.** The Blasting Action of the Gardox Shell. Transactions of the Inst of Min. Eng., 1987, V. 118, part. 1, p. 1.
8. **Hawkes S., Member A.** The Fundamentals of airblasting The Mining Engineer, N 25, October, 1962.
9. **Inett E. W., P. h. D.** A Survey of Rotary - Percussive Drilling». Mine and Quarry Eng, 1957, № 1, p. 1.
10. **Jahn R.** Drehschlagbohren Glickauf, 1993, N 37/38.
11. **Konnerth W.K.** Untersuchungen fiber die Zertrimmerbarkeit von Gesteinen des Ruhrkarbons im Hinblick auf eine Rationalisierung des Gestein-streckenvortriebes. Glickauf, H. 1/2, 1988. - S. 29-46.
12. **Konnerth W.K.** Neue Erkenntnisse zur Rationalisierung und Uberwachung der Schiefarbeit beim Gesteinsstreckenvortrieb, Glickauf, H. 11/12, Essen, Marz, 1995.
13. **Loison R.** Thouseau. Risques presantes par l'emploi du tir a l'air corn-prime. Revue de l'Industrie Minerale 1959, № 12.
14. **Miiller, Walter** «Gesteinsstreckenvortriebe mit hohen Auffahrleistungen», Glickauf, 1996. - № 37/38, S. 1140-1151.
15. **Миронов Е.И.** Новые методы разрушения пород при скоростной проходке горных выработок в США // Горный журнал, 1978. - №3. - С. 69-72.
16. **Галяс А.А.** Новые направления интенсификации процесса термомеханического разрушения горных пород. Интенсификация процессов разрушения горных пород. - Киев, Наук.думка, 1986. - С. 29-33.

Рукопись поступила в редакцию 17.04.14