

Код МРНТИ 52.35.29

Э.К. Каржауова

Казахский университет технологии и бизнеса (г. Нур-Султан, Казахстан)

РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОГО СПОСОБА ВЗРЫВАНИЯ ВЫСОКИХ УСТУПОВ КАРЬЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭМУЛЬСИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

Аннотация. В работе изложено методическое обоснование эффективного способа взрывания высоких уступов на угольных разрезах с использованием эмульсионных взрывчатых веществ, обеспечивающего качественное дробление горных пород и позволяющего снизить себестоимость ведения горных работ за счет оптимизации параметров буровзрывных работ. Проведенные исследования показали, что эмульсионные взрывчатые вещества, по сравнению с промышленными, являются более эффективными при взрывании высоких уступов, что обусловлено более высокой плотностью заряжения и, как следствие, более высокими значениями объемной концентрации энергии взрыва и скорости детонации скважинных зарядов. Эмульсионные взрывчатые вещества имеют еще одно очень важное преимущество: их изготавливают на местах производства взрывных работ, вследствие этого существенно снижаются затраты на их транспортирование и повышается безопасность при обращении с ними.

Ключевые слова: себестоимость взрывных работ, величина перебура, патронированные взрывчатые вещества, неэлектрические системы иницирования, концентрация энергии взрыва, АСДТ, эмульсионные взрывчатые вещества.

Эмульсиялық жарылғыш заттарды пайдалана отырып, карьерлердің жоғары кемерлерін жарудың тиімді әдісін әзірлеу

Аңдатпа. Аталған зерттеулер «эмульсиялық жарылғыш заттарды пайдалана отырып, көмір разрездерінде жоғары кертпелерді жарудың тиімді тәсілін әзірлеу» тақырыбына магистрлік диссертация шеңберінде жүргізілді. Мақалада жарылыс жұмыстарының параметрлерін оптимизациялау арқылы тау жыныстарын сапалы ұсақтауды қамтамасыз ететін және тау-кен жұмыстарының өзіндік құнын төмендетуге мүмкіндік беретін эмульсиялық жарылғыш заттарды қолдана отырып, көмір кеніштерінде жоғары шұңқырларды жарудың тиімді әдісі қарастырылған. Жүргізілген зерттеулер жоғары кертпештерді жару кезінде эмульсиялық жарылғыш заттардың өнеркәсіптен салыстырғанда неғұрлым тиімді болып табылатынын көрсетті, бұл октаудың жоғары тығыздығына және соның салдарынан жарылыс энергиясының көлемдік концентрациясының неғұрлым жоғары мәндеріне және ұңғыма қатарларының жарылу жылдамдығына байланысты. Эмульсиялық жарылғыш заттардың тағы бір маңызды артықшылығы бар: олар жарылыс жұмыстары жүргізілетін жерлерде жасалады, нәтижесінде оларды тасымалдау құны едәуір төмендейді және оларды пайдалану кезінде қауіпсіздік артады.

Түйінді сөздер: жарылыс жұмыстарының өзіндік құны, қайта өңдеу мөлшері, патрондалған жарылғыш заттар, электрлік емес қоздыру жүйелері, жарылыс энергиясының шоғырлануы, АСДТ, эмульсиялық жарылғыш заттар.

Development of an effective method for blasting high ledges of quarries using emulsion explosives

Abstract. The paper presents a methodological justification for an effective method of blasting high ledges in coal mines using emulsion explosives, which ensures high-quality crushing of rocks and reduces the cost of mining by optimizing the parameters of drilling and blasting. The conducted studies have shown that emulsion explosives, compared with industrial ones, are more effective in blasting high ledges, which is due to a higher loading density and, as a result, higher values of the volumetric concentration of explosion energy and the detonation velocity of borehole charges. Emulsion explosives have another very important advantage: they are manufactured at the blasting sites, as a result of which the costs of their transportation are significantly reduced and the safety of their handling is increased.

Key words: blasting cost, overdrill value, cartridge explosives, non-electric initiation systems, explosion energy concentration, ANFO, emulsion explosives, drilling and blasting, high ledges, efficiency.

Введение

Актуальность. В настоящее время при ведении открытых горных работ обострилась ситуация с подготовкой добычных уступов для разработки полезных ископаемых из-за резкого отставания вскрышных работ, и в перспективе в связи с дальнейшим развитием горных работ они будут только увеличиваться. Поэтому в горнодобывающей промышленности назрел вопрос решения очень важной задачи: существенно интенсифицировать ведение вскрышных работ¹.

Одним из наиболее эффективных путей решения указанной задачи является осуществление взрывного дробления горных пород на высоких уступах. Стоимость буровзрывных работ (БВР) в этом случае достигает 70% стоимости всех вскрышных работ². При этом, существенное снижение затрат на производство взрывных работ может быть достигнуто посредством использования эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ), стоимость которых в кратное число раз меньше стоимости обычных водостойчивых промышленных ВВ.

Опытно-промышленное и промышленное ведение взрывных работ с применением ЭВВ, имеющего газогенерирующие добавки на карьерах позволили существенно снизить себестоимость взрывных работ и повысить их технологичность [1].

Применение эмульсионных взрывчатых средств с регулируемой объемной концентрацией энергии взрыва, пригодных для заряжения сухих и обводненных скважин, в комплексе с комбинированной конструкцией зарядов позволяет решать практически любые технологические задачи БВР имеющимся парком буровых станков. Это обстоятельство способствует увеличению высоты уступов, что позволяет сократить количество и протяженность транспортных горизонтов, увеличить угол откоса борта, повысить интенсивность горных работ. При этом повышаются технико-экономические показатели открытых горных работ³.

Цель исследования – разработка эффективного способа взрывания высоких уступов с использованием эмульсионных взрывчатых веществ, позволяющего

¹ Баудин А.В. Обоснование параметров технологии отработки вскрышных пород высокими уступами при транспортной системе разработки на угольных разрезах. – М., 2002. – 23 с.

² Кутузов Б.Н., Скоробогатов В.М., Ерофеев И.Е. и др. Справочник взрывника. – М.: Недра, 1988. – 511 с.

³ Друкованный М.Ф., Ефремов Э.И. и др. Взрывание высоких уступов. – М.: Недра, 1964. – 108 с.

Проект на бурение
Бұрғылауға арналған жоба
Project for drilling

Таблица 1

Кесте 1

Table 1

Показатели	Проектные данные
Бурение скважин:	
▪ вертикальных, шт.	206
▪ наклонных, шт.	0
Количество рядов скважин, шт.	10
Диаметр скважин, м	0,165
Высота уступа, м	15,6
Глубина скважин, м	14,8
Величина перебура, м	1
Расстояние между скважинами в ряду при их одинарном расположении, м	7
Расстояние между скважинами по первому ряду при спаренных скважинах, м	7
Расстояние между скважинами по второму и последующим рядам, м	7
Расстояние между рядами скважин, м	7
Сопротивление по подошве, м	3,75
Объем буровых работ, п. м	3059,20
Объем взрываемого массива, м ³ :	
▪ руда	0
▪ вскрыша	34856
Выход горной массы с 1 м скважины, м ³ /п. м	11,4

обеспечить качественное дробление горных пород при снижении себестоимости ведения горных работ.

Задачи исследования. Для обоснования и разработки способа ведения взрывных работ на высоких уступах с использованием ЭВВ с учетом закономерностей изменения физико-механических и горно-технологических свойств массива горных пород необходимо решить следующие основные задачи:

- определение параметров БВР при дроблении горной массы с учетом физико-механических и горно-технологических свойств массива;
- обоснование параметров БВР при использовании ЭВВ, обеспечивающих повышение эффективности буровзрывных работ;
- разработка и расчет эффективных способов взрывания, позволяющих улучшить качество дробления горной массы и повысить полноту извлечения полезного ископаемого.

Методы исследования

В предлагаемом способе взрывания при рациональных параметрах БВР во всем диапазоне изменения крепости скальных горных пород при сетке скважин от 5 × 5 м до 7 × 7 м величина перебура первого и последующих рядов принимается равной от 1 м до 2 м. Так, при сетке скважин $axb = 7 \times 7$ м, высоте уступа $H = 15$ м, диаметре скважины $d = 165$ мм, вместимости ВВ в 1 м скважины $P = 32,6$ кг/п. м, удельном расходе ВВ $q = 0,8$ кг/м³, угле

откоса уступа $\alpha = 80^\circ$ и линии наименьшего сопротивления по подошве уступа $L = C + H/tg800 = 7$, т. е. при $L = a = b$ расчетная величина перебура первого и последующих рядов принимается равной 1 м. Такой перебур при высоте уступа 15 м обеспечивает качественную проработку подошвы уступа в зоне действия зарядов первого и последующих рядов скважин (табл. 1).

При переходе к отбойке руды высокими (более 15 м) уступами условия работы заряда в перебуре существенно изменяются, поэтому выбор величины перебура первого ряда скважин является более ответственным, особенно при повышенной величине линии сопротивления взрыву по подошве отбиваемого уступа⁴.

Результаты исследования

В качестве ВВ были использованы: ANFO, Rioflex и Нитронит П (табл. 3).

1. ANFO – взрывчатое вещество, сыпучая смесь гранулированной аммиачной селитры и дизельного топлива (АСДТ) со сбалансированным содержанием кислорода для сухих скважин. ANFO используется в изначально сухих и остающихся сухими до их инициирования скважинах. ANFO можно использовать в качестве колонки заряда при ведении горных работ в карьерах и на общих взрывных работах. Неправильное применение ANFO может привести к повышенному уровню образования газообразных продуктов взрыва. ANFO не применяется в реактивных породах с содержанием

⁴Репин Н.Я., Богатырев В.П., Буткин В.Д. и др. Буровзрывные работы на угольных разрезах. – М.: Недра, 1987. – 254 с.

Таблица 2

Технические характеристики Нитронит П

Кесте 2

Нитронит П техникалық сипаттамалары

Table 2

Technical characteristics of Nitronit P

Диаметр	от 25 мм до 90 мм
Масса (зависит от диаметра)	от 0,15 кг до 3,5 кг
Скорость детонации открытого заряда (зависит от диаметра)	от 5200 м/с до 5600 м/с
Кислородный баланс	-1,7%
Средняя плотность эмульсионного ВВ в патроне	от 1,1 г/см ³ до 1,25 г/см ³
Водостойкость на глубине 15 м	100%
Тротильный эквивалент по теплоте взрыва	0,74
Температурный диапазон применения	от -30°C до +55°C

сульфидов. ANFO легко заряжается и полностью заполняет скважину, обеспечивая максимальный выход энергии, что позволяет с высокой производительностью использовать их при крупных взрывах [2].

2. Водногелевое промышленное взрывчатое вещество *Rioflex* (ТУ 7276-011-58472318-2005) изготавливается по рецептуре компании МАХАМ на местах применения в процессе заряжания скважин смесительно-зарядной машиной. Оно предназначено для производства взрывных работ на земной поверхности при отбойке сухих и обводненных горных пород с коэффициентом крепости по шкале М.М. Протодяконова до 20 методом скважинных зарядов в температурном диапазоне окружающей среды от -50°C до +50°C.

Rioflex представляет собой последнее достижение в технологии взрывчатых материалов и транспортируется как невзрывчатое вещество, само взрывчатое вещество изготавливается непосредственно на месте применения в зарядно-смесительной машине⁵.

Преимущества *Rioflex* перед другими видами ВВ:

- способность вытеснения воды на поверхность при заряжании обводненных скважин;
- контроль заряжаемой массы и плотности взрывчатых веществ;
- хорошая сопротивляемость воде даже при наличии проточных вод;
- регулирование энергии взрыва и скорости детонации путем изменения плотности;
- стойкое и однородное качество работ;
- возможность подвергать продукт механическому воздействию, т. е. смешивать, перекачивать, подавать при помощи шнека.

Все перечисленные преимущества данного продукта позволяют потребителю выбрать необходимый баланс между энергией дробления и качеством горной массы, чтобы лучшим образом соответствовать характеристикам скальной породы и необходимому профилю взорванной массы⁶.

3. Капсюлечувствительные патронированные взрывчатые вещества *Нитронит-П* предназначены для использования при взрывных работах в качестве патронов-боевиков для инициирования скважинных и шпуровых зарядов промышленных ВВ. Также могут использоваться в качестве накладных зарядов для дробления негабаритов. Кроме этого, применяются в сочетании с эмульсионными ВВ для формирования мощных водостойчивых зарядов и с неводостойчивыми ВВ для формирования зарядов в обводненной части скважин⁷. Применяются на земной поверхности, в подземных шахтах и рудниках, не опасных по газу и пыли. Их применение позволило повысить эффективность буровзрывных работ при добыче полезных ископаемых (табл. 2).

В ходе исследования были использованы неэлектрические системы инициирования *Rionel*, которые используются для активации зарядов промышленных взрывчатых веществ как при проведении взрывных работ на земной поверхности, так и в подземных условиях. Температура окружающей среды при применении систем может составлять от -50°C до +85°C Производится четыре основных изделия неэлектрических систем *Rionel*: MS, LP, X, DDX.

MS – миллисекундная серия, в которой используются детонаторы двадцать первой серии замедления в диапазоне 0-750 мс. *Rionel* серии LP имеет большой период замедления – 0-9000 мс; используется для работ в подземных условиях и при прокладке туннелей. Серия X используется для поверхностного монтажа, имеет семь номинальных времен срабатывания в пределах от 9 до 150 мс. DDX – серия двойного замедления, в которой скомбинированы параметры серий MS и X.

В целом, системы *Rionel* имеют повышенную степень безопасности, высокий уровень управляемости взрывами. Системы надежны в использовании, допускают комбинирование и могут применяться со всеми типами взрывчатых веществ.

⁵Code of practice. Elevated temperature and reactive ground. – Australian explosives industry and safety group Inc. [Electronic resource]. June, 2012.

⁶Ракишев Б.Р. Прогнозирование технологических параметров взорванных пород на карьерах. – Алма-Ата: Наука, 1983. – 239 с.

⁷Вовк А.А., Черный Г.И. Взрывные работы в горных породах. – Киев: Техника, 1973. – 164 с.

Таблица 3

Показатели взрыва

Кесте 3

Жарылыс көрсеткіштері

Table 3

Explosion indicators

Показатели	Корректировочный расчет	
	Расчетные данные	Фактические данные
Обурено скважин:		
▪ вертикальных, шт.	206	206
▪ наклонных, шт.	0	
Количество рядов скважин, шт.	10	10
Диаметр скважин, м	0,165	0,165
Высота уступа, м	15,1	15,6
Глубина скважин, м	14,8	14,9
Величина перебура, м	0	0
Расстояние между скважинами в ряду при их одинарном расположении, м	7	7
Расстояние между скважинами по 2 и последующим рядам, м	7	7
Расстояние между рядами скважин, м	7	7
Сопrotивление по подошве, м	3,75	3,75
Объем буровых работ, п. м	3059,2	3059,20
Объем взрываемого массива, м ³	34856	34856
▪ руда	0	34856
▪ вскрыша	34856	
Выход горной массы с 1 пм скважины, м ³ /п. м	11,4	11,4
Высота заряда, м	12,3	12,3
Величина забойки, м	2,6	2,6
Масса заряда в скважине, кг	253,8	253,8
ЭВВ всего, кг	79289	79485
ANFO, кг	34275	34261
Rioflex, кг	45014	45224
Нитронит П, кг	123,6	123,6
Расход средств инициирования:		
Rionel DDX 25/500 12 м, шт.	84	84
Rionel X 42 м/с 6.0 м, шт.	8	8
Rionel X 9 м/с 100 м, шт.	4	4
Количество обводненных скважин, шт.	87	87

При их использовании исключен подбор взрывной сети, эффективно используется «донное» инициирование скважинных зарядов. Также актуально и практически нулевое вредное воздействие на окружающую среду этих систем⁸.

В результате исследования разработан метод оценки относительной работоспособности эмульсионных взрывчатых смесей. Рекомендовано количество ANFO в комбинированном скважинном заряде в зависимости от категорий пород по взрываемости (табл. 3).

Обсуждение результатов

На основе проведенного анализа и применяемой методики обоснован и произведен расчет определения величины перебура первого ряда скважин

при переходе к отбойке руды высокими (более 15 м) уступами и рекомендована технология взрывания высоких уступов расходящимися скважинными зарядами, применение которых обеспечивает качественную проработку подошвы уступа в зоне действия зарядов первого и последующих рядов скважин.

Определена эффективность применения ЭВВ, которая показывает, что с переходом взрывных работ на применение ЭВВ в комплексе с НСИ и ANFO повышается эффективность буровзрывных работ в условиях с высокими уступами за счет увеличения работоспособности комбинированного заряда относительно однородного на 15%, уменьшается в 1,5...2,0 раза смещение границы руды и вмещающих пород,

⁸Рассел Джесси. Взрывчатые вещества. – 2012. – 137 с.

улучшается качество дробления горной массы при одновременном снижении затрат на ВВ на 0,9%.

Заключение

В результате проведенных исследований был разработан эффективный способ взрывания высоких уступов на угольных разрезах с использованием эмульсионных взрывчатых веществ, позволяющий при повышении качества взрывания существенно

снизить затраты на производство взрывных работ, так как стоимость ЭВВ в кратное число раз меньше стоимости обычных водоустойчивых промышленных ВВ. Кроме того, ЭВВ имеют еще одно очень важное преимущество: их изготавливают на местах производства взрывных работ, вследствие этого существенно снижаются затраты на транспортирование ВВ и повышается безопасность при обращении с ними.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Хань Чж.В., Сэнь С., Се Л.Ф., Хань Ю.Ч. Применение эмульсионных взрывчатых веществ для синтеза наночастиц оксида церия. // *Физика горения и взрыва*. – 2014. – Т. 50. – №4. – С. 117-123 (на русском языке)
2. Бибик И.П. Опыт применения неэлектрических систем инициирования зарядов ВВ ГИАБ. – М.: МГГУ, 2005. – №4. – С. 231-234 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Хань Чж.В., Сэнь С., Се Л.Ф., Хань Ю.Ч. Церий оксидінің нанобөлшектерін синтездеу үшін эмульсиялық жарылғыш заттарды қолдану. // *Жану және жарылыс физикасы*. – 2014. – Т. 50. – №4. – Б. 117-123 (орыс тілінде)
2. Бибик И.П. ЖЗ зарядтарын қоздырудың электрлік емес жүйелерін қолдану тәжірибесі қалалық ақпараттық-аналитикалық бюллетень. М.: МГМУ, 2005. – №4. – Б. 231-234 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Han Zh.-W., Sen X., Xie L.F., Han Yu.Ch. *Primenenie e'mul'sionnykh vzryvchatykh veshhestv dlya sinteza nanochastic oksida ceriya [The use of emulsion explosives for the synthesis of cerium oxide nanoparticles]. // Fizika goreniya i vzryva = Physics of combustion and explosion. – 2014. – Vol. 50. – №4. – P. 117-123 (in Russian)*
2. Bibik I.P. *Opyt primeneniya ne'elektricheskix sistem iniciirovaniya zaryadov VV [Experience in the use of non-electric systems for initiating explosive charges]. // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' = Mining information and analytical bulletin. – M.: MGGU, 2005. – №4. – P. 231-234 (in Russian)*

Сведения об авторах:

Каржауова Э.К., магистрант 2 курса технологического факультета по специальности «Горное дело» кафедры «Химия, химическая технология и экология» Казахского университета технологии и бизнеса (г. Нур-Султан, Казахстан), karzhauova.81@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3733-2749>

Авторлар туралы мәлімет:

Каржауова Э.К., Қазақ технология және бизнес университетінің, «Химия, химиялық технология және экология» кафедрасының, «Тау-кен ісі» мамандығы бойынша технологиялық факультетінің 2 курс магистранты (Нұр-сұлтан қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Karzhauova E.K., 2nd year Master's Student of the Faculty of Technology, Specialty «Mining» at the Department «Chemistry, Chemical Technology and Ecology» of the Kazakh University of Technology and Business (Nur-Sultan, Kazakhstan)

В работе представлены результаты исследования, проведенные в рамках магистерской диссертации на тему «Разработка эффективного способа взрывания высоких уступов на угольных разрезах с использованием эмульсионных взрывчатых веществ».