

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ В УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Калякин С.А., Шевцов Н.Р.

Донецкий национальный технический университет

В статті надані нові напрямки забезпечення ефективності вибухових робіт у вугільній промисловості, за рахунок застосування водоутримуючих вибухових речовин та гідропідривання.

Взрывные работы являются самым эффективным способом разрушения горных пород. В нем удачно сочетается эффективность разрушения массива с простотой, технологичностью, малыми затратами и низким удельным расходом энергии на дробление и перемещение пород. Поэтому современный уровень технологии добычи угля и других полезных ископаемых неразрывно связан с большим объемом проведения взрывных работ на поверхности и в подземных условиях. Для осуществления взрывных работ требуется широкий ассортимент промышленных взрывчатых веществ (ВВ), которые согласно § 11 ЕПБ при взрывных работах по условиям применения разделены на I...VII классы.

Вместе с тем применение ВВ для производства взрывных работ связано с определенными опасностями, которые выражаются в:

- несанкционированных случайных взрывах, связанных с чувствительностью кристаллов ВВ к трению и механическим ударам;
- возможности воспламенения в угольных шахтах взрывчатых метановоздушных и пылевоздушных смесей детонирующим или выгорающим зарядом ВВ;
- токсическим воздействием как самих ВВ, так и продуктов их взрыва на организм человека.

Поэтому совершенствование ВВ для угольной промышленности и повышение эффективности их использования является актуальной научной и практической задачей.

Анализ последних исследований и публикаций показал следующее. В угольной промышленности используются патронированные ВВ II...VII классов и непатронированные ВВ для механизированного заряжания шпуров и скважин, которые отнесены как к I классу, так и II классу. Патронированные ВВ представляют собой, как прави-

ло, аммиачноселитренные ВВ, сенсibilизированные тротилом, гексогеном, нитроэфирами – мощными, но токсичными и опасными в обращении бризантными ВВ. Непатронированные ВВ представлены гранулированными и пластичными водосодержащими взрывчатыми системами, которые, как правило, не содержат бризантных ВВ, а используют пористую гранулированную аммиачную селитру и алюминиевую пудру. Эти ВВ обладают низкой чувствительностью к механическим воздействиям, практически не токсичны для человека, но требуют специальных зарядчиков для их механизированного заряжения в шпур и скважины. В ряде случаев применение гранулированных и водосодержащих ВВ оказывается не эффективным по причине нестабильной плотности заряжения, наличия воды в скважинах, низкой водоустойчивости ВВ.

Целью статьи являются исследования возможности применения жидких ВВ для проведения взрывных работ в угольной промышленности как в условиях открытых работ, так и в подземных условиях шахт и рудников.

Постановка вопроса имеет глубокие исторические корни, так как одним из первых ВВ, которое использовалось при взрывных работах являлся нитроглицерин. Нитроглицерин – тяжелая жидкость с плотностью около $1,6 \text{ г/см}^3$, чрезвычайно взрывчатая и опасная в обращении. Тем не менее до того, как был изобретен А.Нобелем динамит (пластичное ВВ на основе нитроглицерина) нитроглицерин пытались использовать, как жидкое ВВ для взрывания пород шпуровым и скважинным способом. Приоритет в этом виде взрывных работ принадлежит В.Ф. Петрушевскому, который начал в полупромышленных масштабах изготавливать нитроглицерин и применять его при взрывных работах [1]. При этом отмечалась высокая эффективность взрывных работ, так как нитроглицерин при введении в буровую скважину не требовал какой либо оболочки и всегда вытеснял воду из скважины, которая служила надежной забойкой при взрыве. В дальнейшем было экспериментально показано, что гидрозабойка при взрыве заряда ВВ является самым эффективным средством повышения его работоспособности. Сам процесс взрывания зарядов ВВ в окружении их водой и гидрозабойкой получил название – гидровзрывание [2]. Учитывая высокую эффективность гидровзрывания зарядов ВВ при разрушении горных пород, а также то, что окружение заряда ВВ водой резко повышает безопасность ВВ при его взрывании во взрывоопасной среде угольных шахт. Необходимо развивать и повсеместно, где это нужно, внедрять эту перспективную технологию проведения взрывных работ. Для этого нужны специальные водоустойчивые ВВ, устойчиво детонирующие в воде. Очень перспективным является

применение жидких ВВ в сочетании с водой, которая постоянно находится в скважинах (шпурах) при их зарядании и проведении взрывных работ (80% скважины обводнены). В этом случае жидкие ВВ при зарядании вытесняют воду из скважин и трещин, которые контактируют с ней. Вода создает надежную забойку для заряда ВВ при взрыве, а главное не требуется специальных механизмов для зарядания ВВ и создания забойки. Учитывая это были проведены специальные исследования, которые включали в себя анализ результатов работ, проведенных при взрывных работах с обычным взрыванием зарядов ВВ без воды, но с сыпучим забоечным материалом, а также при гидровзрывании зарядов ВВ. Затем исследовались результаты взрывных работ, в которых использовали жидкие ВВ, содержащие плотные растворы аммиачной селитры, и заряды ВВ из горячельющихся ВВ. В основу анализа результатов взрыва этих ВВ в горных породах положена работа [3] и результаты взрывания зарядов ВВ в свинцовых бомбах с забойкой из песка по ГОСТ 4546-81 «Вещества взрывчатые. Методы определения фугасности» и с гидрозабойкой по данным Наума и Штетбахера для жидких ВВ [4, 5, 6].

Для сравнения результатов взрывных работ между собой использовали критерий – коэффициент полезного действия взрыва η , который при взрыве ВВ зависит от энергии взрыва заряда, параметров зарядания и свойств горных пород:

$$\eta = \frac{(n^2 + 1) \cdot f \cdot W^2 \cdot \left(\frac{d_{ВВ}}{d_{ш}}\right)^2}{3,927625 \cdot 10^{-7} \cdot M_{ВВ}^{0,6677} \cdot \rho_{ВВ}^{0,333} \cdot Q_V}, \quad (1)$$

где n – показатель действия взрыва в горной породе;
 f – крепость пород по шкале проф. М.М. Протождьяконова;
 W – линия наименьшего сопротивления, м;
 $d_{ВВ}, d_{ш}$ – диаметр заряда ВВ и диаметр шпура (скважины) соответственно, м;
 $M_{ВВ}$ – масса одновременно взрываемого ВВ, кг;
 $\rho_{ВВ}$ – плотность ВВ в заряде, кг/м³;
 Q_V – удельная теплота взрыва ВВ, Дж/кг.

Так как затраты энергии ВВ на разрушение горных пород определяются условиями взрывания зарядов ВВ и их прочностными характеристиками, то учитывая примерное равенство параметров зарядания ВВ при взрывных работах в скважинах, получим, что в этом случае η зависит от параметра P , который равен:

$$\eta = \varphi(P) = (n + 1) \cdot f \cdot W^2 \cdot \left(\frac{d_{ВВ}}{d_{ш}}\right)^2 \quad (2)$$

Подставив конкретные значения η и параметра P для условий: обычных взрывных работ (сухое взрывание) - P_s , гидровзрывания - P_r , и взрывание сухих зарядов, но в обводненных условиях - P_o получим эмпирические зависимости:

а) сухое взрывание:

$$\eta = \varphi(P_s) = \frac{0,04080745 + 0,071772306 \cdot P_s}{1 - 0,12031389 \cdot P_s + 0,010608224 \cdot P_s^2}, \quad (3)$$

среднеквадратичное отклонение $S = 0,066$, коэффициент корреляции $/r/ = 0,967$;

б) гидровзрывание:

$$\eta = \varphi(P_r) = \frac{1,0129}{1 + 10,5243 \exp[-0,493031 \cdot P_r]}, \quad (4)$$

среднеквадратичное отклонение $S = 0,0639$, коэффициент корреляции $/r/ = 0,992$;

в) взрывание в обводненном массиве:

$$\eta = \varphi(P_o) = \frac{3,01244 \cdot 10^{-10} + 1447,7231 \cdot P_o}{1 + 13464,564 \cdot P_o - 1293,7788 \cdot P_o^2}, \quad (5)$$

среднеквадратичное отклонение $S = 0,0085$, коэффициент корреляции $/r/ = 0,998$.

Фугасность ВВ, взрываемых в различных условиях, оценивали по результатам испытаний ВВ в свинцовых бомбах, с помощью параметра - $\frac{V_K}{V_{BB}}$ (здесь V_K – конечный объем канала свинцовой бомбы после взрыва в ней заряда ВВ; V_{BB} – объем заряда ВВ).

Для сухого взрывания заряда ВВ без воды получено уравнение:

$$\left(\frac{V_K}{V_M}\right)_c = 0,58855117 + 1,0734938 \cdot 10^{-5} (\rho_{BB} \cdot Q_V) - 1,2272882 \cdot 10^{-13} (\rho_{BB} \cdot Q_V)^2, \quad (6)$$

среднеквадратичное отклонение $S = 1,72$, коэффициент корреляции $/r/ = 0,997$.

Для гидровзрывания заряда с гидрозабойкой в свинцовой бомбе получено уравнение:

$$\left(\frac{V_K}{V_M}\right)_c = -3,1597009 + 1,3790452 \cdot 10^{-5} (\rho_{BB} \cdot Q_{BB}) - 3,1180824 \cdot 10^{-13} (\rho_{BB} \cdot Q_V)^2, \quad (7)$$

среднеквадратичное отклонение $S = 5,582$, коэффициент корреляции $/r/ = 0,98$.

В зависимостях (6) и (7) величина произведения $\rho_{BB} \cdot Q_V$ характеризует плотность энергии ВВ в единице объема (кДж/м³).

Сравнительный анализ уравнений (3), (4), (5), (6), (7) показал следующее. Уравнение (3) для условий сухого взрывания показывает, что зависимость имеет экстремальный характер изменения, достигая

максимального значения к.п.д. взрыва ($\eta = 0,85...0,90$) при значениях параметра P равного: $10,7 > P_s > 8$. В отличие от сухого взрывания зарядов ВВ при их гидровзрывании величина к.п.д. взрыва при этих значениях параметра $P = P_r = 10,0...11,5$ и более достигает максимального значения, которое стремится к единице ($\eta \rightarrow 1,0$). Весьма интересные показатели получены при взрывании зарядов в обводненных породах. В этих условиях так же, как и при гидровзрывании к.п.д. взрыва достигает максимального значения ($\eta \rightarrow 1$) при $P_o \geq 9,3$. Таким образом, установлено, что взрывные работы имеют гораздо большую эффективность, если они ведутся в условиях, когда заряды с ВВ окружены водой и гидрозабойкой или породы имеют достаточно сильную обводненность (влажность более 15%). Проверка полученного результата, осуществлялась путем сравнительных испытаний ВВ в бомбе Трауцля в условиях взрывания при наличии песчаной забойки (сухое взрывание) и с гидрозабойкой (гидровзрывание). Установлено, что параметр $\frac{V_K}{V_{BB}}$, который характеризует фугасность ВВ в условиях гидровзрывания, существенно выше, чем для сухого взрывания в среднем на 10...20% для всех ВВ – особенно эффективны ВВ при гидровзрывании, которые обладают жидкой консистенцией или имеют отрицательный кислородный баланс. Особый интерес представляют жидкие ВВ. Поэтому были проанализированы данные работы [3] при взрывании жидких и горячельющихся ВВ в скважинах, заполненных концентрированным раствором аммиачной селитры. Результаты данной работы обрабатывали с учетом зависимостей (3) и (4). Полученные результаты сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты взрывания жидких и горячельющихся ВВ в горных породах при показателе действия взрыва $n = 1$

Источник полученных данных	Значения к.п.д. для различных образцов двух видов ВВ			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
1	2	3	4	5
Экспериментальные исследования	Горячельющиеся			
	0,569	0,790	0,758	0,732
Расчеты по формуле (3)	0,853	0,758	0,725	0,863
Экспериментальные исследования	Жидкие (содержание воды в № 1 – 18%, № 2 – 10%, № 3 – 12%, № 4 – 15%)			
	0,883	0,981	0,934	0,990
Расчеты по формуле (4)	0,976	1,000	0,941	1,000

Сравнение показало, что жидкие ВВ дают результат, при котором к.п.д. их взрыва соответствует к.п.д. взрыва ВВ при гидровзрывании. Горячелюющиеся ВВ в скважине застывают, превращаясь в твердое ВВ; поэтому к.п.д. взрыва практически не отличается от обычного сухого взрывания ВВ.

Выводы

1. Установлено, что гидровзрывание повышает в горных породах к.п.д. взрыва ВВ на 10...20% по сравнению с обычным сухим.

2. Насыщение горных пород водой приводит к тому, что при их влажности 15% и более результаты взрыва ВВ аналогичны их гидровзрыванию.

3. Наиболее эффективно применять для гидровзрывания жидкие ВВ, которые дают наиболее высокий к.п.д. взрыва и существенно удешевляют и облегчают их применение, т.к. не требуют специальных зарядчиков на открытых работах, а в подземных условиях могут подаваться в шпурах при зарядании инертным газом, создающим одновременно в призабойном пространстве предохранительную среду при взрывных работах.

Литература:

1. Авербух А.Я., Василий Фомич Петрушевский. – Л.: Наука, 1976. – 97 с.
2. Шустов Н.В. Взрывогидравлический способ разрушения твердых сред. – М.: Недра, 1968. – 47 с.
3. Полевой метод сравнительной оценки работоспособности водосодержащих ВВ / Н.Ф. Адрианов, Т.С. Головкин, Б.В. Козловский, Ю.П. Мамашев: Сб. Взрывное дело. № 74/31. – М.: Недра, 1974. – С. 96-100.
4. Штетбахер А. Пороха и взрывчатые вещества. – М.: ОНТИ, 1936. – 610 с.
5. Светлов Б.Я., Яременко Н.Е. Теория и свойства промышленных взрывчатых веществ. – М.: Недра, 1973. – 206 с.
6. Наум Ф. Пороха и взрывчатые вещества. – Л.: Госхимтехиздат, 1933. – 195 с.