

ВЛИЯНИЕ ВОДНЫХ И ВОЗДУШНЫХ ОБОЛОЧЕК НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЗРЫВОВ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ

В.С. Прокопенко, канд. техн. наук (ЗАО «Техновзрыв»)

Наведено результати чисельного розв'язання початково-крайової задачі про вибух свердловинного заряду, оточеного повітряною або водною оболонкою. Досліджено вплив параметрів чотирьох типів вибухових речовин та семи типів гірських порід на радіус зони руйнування.

Из известных публикаций и результатов теоретических и экспериментальных исследований автора [1, 2] следует, что наличие водных или воздушных оболочек вокруг скважинных зарядов взрывчатых веществ (ВВ) ведет к повышению использования энергии взрыва при дроблении горных пород. В связи с этим важным является исследование влияния водных и воздушных оболочек на эффективность взрывов различных типов ВВ, в том числе и местного приготовления, в породах различной крепости.

Рассматривается связанная задача для полнагрегатной системы продукты детонации–вода (воздух)–горная порода, обусловленная связанностью полей термодинамических величин в этих средах, изучаемых в рамках механики сплошных сред [2]. Уравнения движения для продуктов детонации, воды (воздуха) и горной породы представляют собой законы сохранения массы, импульса и энергии в подвижных Лагранжевых координатах. Полагается, что расширение продуктов детонации происходит по двучленному изэнтропическому уравнению [3]. Уравнением состояния воды служит экспериментально полученное уравнение Тэта. Уравнением состояния воздуха является уравнение состояния идеального газа в энергетической форме. Поведение горной породы описывается в рамках упруго-пластической дилатансионной модели с неассоциативным законом течения и переменной скоростью дилатансии [4, 5]. Данная система уравнений дополняется соответствующими начальными и граничными условиями.

Для аппроксимации исходной системы дифференциальных уравнений в частных производных применялся метод конечных разностей с использованием разностной схемы второго порядка точности по пространственной и временной координатам. Для обеспечения сквозного счета на гладких течениях и на разрывах в разностную схему вводится линейно-квадратическая искусственная вязкость. Условием устойчивости этой разностной схемы типа «крест» является условие типа Куранта [6].

Таблица 1. Физико-механические характеристики горных пород

Наименование	Плотность $\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	Пористость n , %	$E \cdot 10^{10}$, Па	ν	$\sigma^* \cdot 10^{10}$, Па			Скорость дилатансии	Коэффициент крепости [7]
					на сжатие	на растяжение	на сдвиг		
Аргиллит	2,36-2,5	5,4-5,6	3-7	0,2-0,28	54-770	8-120	13-260	1,17	3,6-8
Алевролит	2,54	5,2	4,5-5	0,3	520-800	46-71	170-230	-1,17	0,7-5,8
Базальт	2,72-2,73	0,3-0,7	3,3-8,7	0,23-0,25	825-2020	90-193	170-360	1,23	15,4
Гранит	2,6	1	7,1	0,23	1600	115	180	1,22	8,6-15,3
Известняк	2,7-2,71	0,8-12	6,5-10,7	0,22	670-1170	94-102	145-280	1,18	2,4-11,4
Мрамор	2,8	-	6	0,2	890	96	240	1,19	6,8-6,9
Песчаник		0,4-11	3-7	0,69-0,13	940-1200	94-420	280-420	1,2	6,2-11,4

Исследования проводились с целью установления влияния крепости горных пород и типов ВВ на эффективность применения зарядов в воздушной или водной оболочке. Рассматривался скважинный заряд диаметром $d_0 = 0,18$ м в полости диаметром $d_n = 0,22$ м. Исследовались горные породы различной степени прочности, коэффициент крепости которых выбирался согласно [7]. Физико-механические характеристики этих пород приведены в табл. 1. В расчетах использовались как промышленные ВВ (граммонит 79/21), так и ВВ местного приготовления, физико-механические параметры которых представлены в табл. 2.

Приняты следующие обозначения: ρ_n – плотность ВВ; Q – теплота взрывчатого превращения; P_n и D – начальное давление и скорость детонации; k_n – показатель политропы продуктов детонации; A , B , k_0 , n_0 – параметры двучленного уравнения состояния продуктов детонации.

Таблица 2. Физико-механические характеристики ВВ и продуктов взрыва

Тип ВВ Параметры	Граммонит 79/21	Тетрамон ГС	Акватол Т-20	Гранулит Д-5 сухой	Гранулит Д-5 влажный
ρ_n	1000	750	1500	900	1268
Q	4320	3692	3640	3740	2991
k_n	1,9	1,98	3,0	1,9	1,9
k_0	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
P_n	2,43	1,428	11,76	1,61	3,54
D	3600	2382	5600	3026	3779
A	18,55	$-2,84 \cdot 10^{18}$	4,08	$1,4 \cdot 10^5$	2,938
B	$2,24 \cdot 10^5$	$3,46 \cdot 10^5$	$-1,53 \cdot 10^4$	$-1,973 \cdot 10^5$	$3,685 \cdot 10^5$
n_0	2,6	-3,62	2,98	1,443	2,71

На рис. 1, 2 приведены зависимости отношения R_0/R_{00} (R_0 – радиус зоны дробления при взрыве заряда в оболочке; R_{00} – радиус зоны дробления при взрыве заряда без оболочки) от крепости породы σ^* (σ^* – предел прочности на сжатие). Рис. 1 соответствует взрыву заряда в оболочке с водой и без нее, рис. 2 – с воздухом и без него. Следует отметить, что в случае водной оболочки применялся гранулит Д-5 влажностью 10 %, а в случае воздушной оболочки – сухой гранулит Д-5. Из рисунков следует, что для взрывов зарядов как с воздушной, так и с водной оболочкой характерна одна и та же закономерность – чем меньше крепость породы, тем эффективнее применение оболочки вокруг заряда ВВ. Из сопоставления рис. 1 и 2 можно сделать вывод, что для всех исследуемых пород более эффективным является применение водной, а не воздушной оболочки.

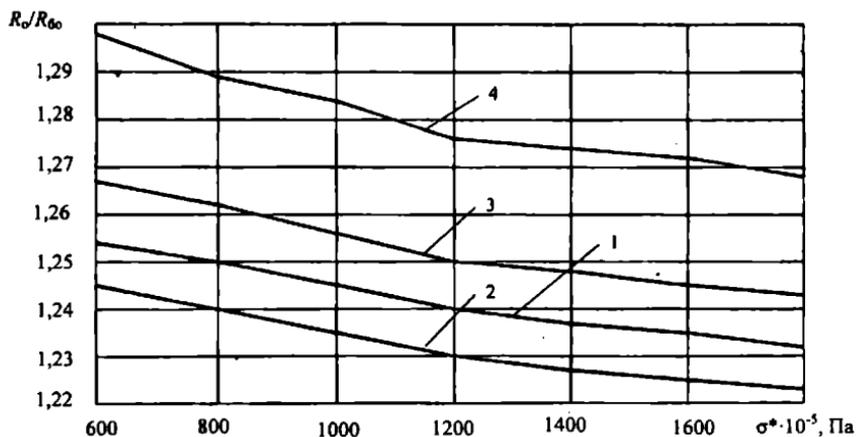


Рис. 1. Зависимость отношения радиусов зон дробления породы при взрывах в водной оболочке и без нее соответственно от предела прочности на сжатие для различных пород и типов ВВ: 1 – влажный граммонит Д-5; 2 – тетрамон ГС; 3 – граммонит 79/21; 4 – акватол Т-20

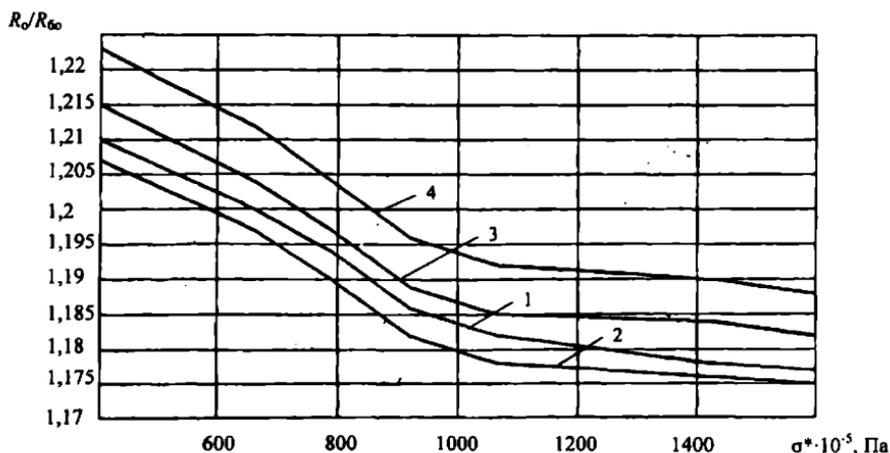


Рис. 2. Зависимость отношения радиусов зон дробления породы при взрывах в воздушной оболочке и без нее соответственно от предела прочности на сжатие для различных типов ВВ: 1 – сухой граммонит Д-5; 2 – тетрамон ГС; 3 – граммонит 79/21; 4 – акватол Т-20

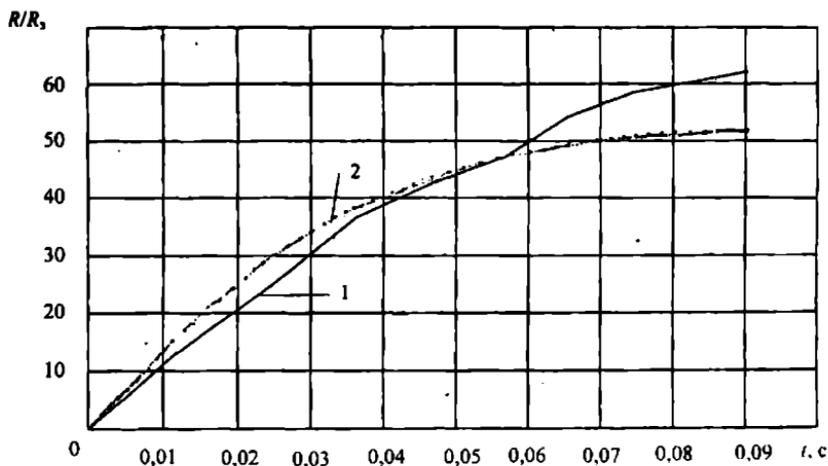


Рис. 3. Зависимость относительного радиуса зоны разрушения алеволита от времени при взрыве заряда тетрамона ГС: 1 — при наличии водной оболочки; 2 — без оболочки

На рис. 3 изображена зависимость радиуса зоны дробления R/R_0 (R_0 — радиус заряда) от времени при взрыве заряда тетрамона ГС в алеволите. Кривая 1 соответствует взрыву заряда с водной оболочкой, кривая 2 — без оболочки. На рис. 3 видно, что в ближней зоне разрушения происходит более интенсивно при взрыве заряда без оболочки. Это объясняется тем, что при взрыве любая оболочка вокруг заряда работает как демпфер. Она уменьшает максимальное давление, растягивая его во времени [1]. В то же время вода накапливает энергию, которая со временем передается в породу. Это и проявляется в том, что в дальней зоне ударная волна от взрыва заряда без оболочки угасает быстрее, чем от взрыва заряда с водной оболочкой. Поэтому отношение радиуса зоны разрушения при наличии оболочки к радиусу зоны разрушения без оболочки в алеволите составляет 1,24 (см. рис. 1) Следует отметить, что при аналогичных исследованиях взрыва заряда с водной оболочкой в алеволите при использовании, например, гранулита Д-5 влажностью 10 % отношение R_0/R_{00} составило 1,25 (см. рис. 1), то есть гранулит Д-5 оказался более эффективным. Это объясняется тем, что гранулит Д-5, имея более высокие детонационные характеристики, в ближней зоне дает более высокие параметры в ударной волне, однако при этом и диссипативные потери выше. Применение водной или воздушной оболочки вокруг заряда дает возможность избежать таких потерь. Чем выше детонационные характеристики ВВ, тем более эффективным является использование водной или воздушной оболочек, наличие которых позволяет растягивать импульс давления во времени, способствуя более полной передаче энергии деформируемой горной породе.

1. Прокопенко В.С. Обгрунтування ефективності вибуху свердловинних зарядів у полімерних оболонках // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія "Гірництво". Збірник наукових праць. – Київ: НТУУ "КПІ": ЗАТ "Техновибух", 1999. – Вип. 1. – С. 56–67.

2. Прокопенко В.С. Деформирование горных пород при взрывах скважинных зарядов в водных оболочках с учетом дилатансии // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія "Гірництво". Збірник наукових праць. – Київ: НТУУ "КПІ": ЗАТ "Техновибух", 2000. – Вип. 3. – С. 3–13.

3. Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станкович К.П. и др. Физика взрыва. – М.: Наука, 1975. – 704 с.

4. Капустянский С.М., Николаевский В.Н. Количественная формулировка упругопластической дилатансионной модели (на примере песчаника) // Известия АН СССР. МТТ. – 1984. – С. 113–124.

5. Капустянский С.М., Николаевский В.Н. Параметры упругопластической дилатансионной модели для геоматериалов // ПМТФ. – 1985. – № 6. – С. 145–150.

6. Уилкинс М.Л. Расчет упругопластических течений // Вычислительные методы в гидродинамике. – М.: Мир. – 1967. – С. 212–263.

7. Друкованый М.Ф., Дубнов Л.В., Миндели Э.О. Справочник по буровзрывным работам. – М.: Недра, 1976. – 631 с.

УДК 622.235

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО НАПРАВЛЕНИЯ ОТБОЙКИ ПОРОД ПРИ ВЗРЫВАХ В КАРЬЕРАХ

И.В. Косьмин, инж. (ЗАО «Техновзрыв»)

Викладено методика вибору раціонального напрямку відбійки трищинуватих порід та рекомендації щодо її вдосконалення. Основні висновки за результатами досліджень підтверджені в промислових умовах.

Требуемое качество дробления горных пород при их отбойке в карьерах обеспечивается при условии максимального использования полезной энергии взрыва. Выполнение этого условия зависит от правильного выбора технологических параметров и направления отбойки одиночными и групповыми зарядами взрывчатого вещества (ВВ). Направление отбойки, при котором обеспечивается интенсивное и равномерное дробление пород, в практике принято называть рациональным. Согласно [1] при дроблении средне- и крупноблочных массивов пород направление отбойки играет существенную роль и должно выбираться с учетом ориентировки и формы естественных отдельностей массива. Забой карьера (откос уступа) должен располагаться