

Шеменев Валерий Геннадиевич
кандидат технических наук,
заведующий лабораторией разрушения
горных пород,
Институт горного дела УрО РАН,
620219, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58,
e-mail: rgp@igduran.ru

Синицын Виктор Александрович
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
лаборатории разрушения горных пород,
Институт горного дела УрО РАН

Меньшиков Павел Владимирович
младший научный сотрудник
лаборатории разрушения горных пород,
Институт горного дела УрО РАН,
e-mail: menshikovpv@mail.ru.

**МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКВИВАЛЕНТА
РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЭВВ
(НИТРОНИТА Э-70) ПО ОТНОШЕНИЮ
К ЭТАЛОННОМУ ВВ***

Аннотация:

Установлено, что основные характеристики взрывчатых веществ (ВВ) можно определять в производственных условиях. На основании проведенных экспериментальных исследований разработана методика определения эквивалента (переводного коэффициента по работоспособности) эмульсионного взрывчатого вещества (ЭВВ) Нитронит Э-70 по отношению к эталонному ВВ. Полученные экспериментально показатели позволяют рассчитать и другие характеристики, необходимые для обеспечения рациональных параметров буровзрывных работ.

Ключевые слова: взрывчатые вещества, эквивалент взрывчатого вещества, скорость детонации

Shemenev Valery G.
candidate of technical sciences,
the head of rocks' breaking laboratory,
The Institute of Mining UB RAS
620219, Yekaterinburg,
Mamin-Sibiriyak st., 58,
e-mail: rgp@igduran.ru

Sinizin Victor A.
candidate of technical sciences,
senior researcher
of the rocks' breaking laboratory,
The Institute of Mining UB RAS

Menshikov Pavel V.
junior researcher
of the rocks' breaking laboratory,
The Institute of Mining UB RAS
e-mail: menshikovpv@mail.ru.

**THE METHODS OF EXPERIMENTAL
DETERMINATION THE SERVICEABILITY
EQUIVALENT OF EMULSIVE EXPLOSIVE
NITROGEN E-70 WITH RESPECT TO
STANDARD EXPLOSIVE AGENT**

Abstract:

It has been established that the main characteristics of explosives can be determined in production environment. In terms of the performed experimental studies the procedure of determining the equivalent (conversion factor for efficiency) to the Nitronit E-70 emulsion explosive with respect to a standard explosive. Experimentally obtained indices allow calculating some other characteristics necessary for providing rational parameters of blasting operations.

Key words: explosives, the explosive equivalent, detonation velocity

Любой конкретный тип ВВ может быть охарактеризован некоторым набором параметров, инвариантных относительно различных условий взрывания. Такими параметрами являются плотность заряжания, скорость детонации, теплота взрыва, значение массовой скорости разлета продуктов взрыва, давление и удельная энергия в точке Чепмена-Жуге. Следует отметить, что теоретический расчет этих величин по известному структурно-химическому составу ВВ невозможен, за исключением теплоты взрыва из-за малой изученности быстропротекающих процессов в конденсированной среде на молекулярном уровне. Поэтому получение характеристик ВВ, необходимых для решения задач по расчету параметров буровзрывных работ, возможно с помощью экспериментальных методов [1].

* Работа выполнена в рамках конкурсного проекта ОНЗ-20 № 12-Т-51021 «Обеспечение устойчивого развития горнодобывающего комплекса», финансируемого Уральским отделением РАН

Исходя из этого актуальной задачей является разработка методики аналитического и экспериментального определения основных характеристик ВВ, в частности ЭВВ и ВВ на основе обратных эмульсий [1].

Экспериментальное исследование взрывчатых характеристик ВВ на основе обратных эмульсий имеет ряд существенных особенностей, связанных, в первую очередь, с большим критическим диаметром этих составов. Большой критический диаметр, с одной стороны, обеспечивает низкую чувствительность взрывчатых веществ к механическим воздействиям и, следовательно, позволяет широко механизировать их изготовление и применение, а с другой стороны, требует проведения экспериментов с зарядами большого веса, что влечет за собой отказ от традиционных лабораторных методов исследования. В частности, различные способы определения работоспособности (бомба Трауця, испытание в мортире, метод маятника и т. д.) становятся непригодными для этого типа ВВ. Определение взрывчатых характеристик таких ВВ приходится проводить в производственных или полигонных условиях [2, 3, 4].

Методика расчета основана на результатах анализа полученных данных ударно-воздушного воздействия от взрывов сосредоточенных зарядов (в гильзах), записанных на сейсморегастраторы MiniMate Plus (InstanTel, Канада). Метод измерения давления на фронте ударно-воздушных волн (УВВ) основан на регистрации колебаний с использованием линейного микрофона с записью на цифровой сейсморегастратор MiniMate Plus. Целью испытаний, которые основывались на результатах воздействия избыточного давления ударно-воздушной волны, являлось получение экспериментальным путем эквивалента (переводного коэффициента) ЭВВ Нитронита Э-70 с гладкой и пористой аммиачной селитрой по отношению к эталонному ВВ (Аммонит 6ЖВ).

Взрывчатые вещества размещались в картонных гильзах диаметром 90, 160 и 250 мм, длиной 900 мм. На полигоне гильзы устанавливались вертикально, как сосредоточенные заряды. Патрон-боевик Аммонита 6ЖВ располагался вертикально в верхней части гильзы и был полностью «утоплен» в заряде ВВ. Заряды ВВ на полигоне инициировались по очереди (Нитронит Э-70 с гладкой аммиачной селитрой, Нитронит Э-70 с пористой аммиачной селитрой и Аммонит 6ЖВ) с интервалом 15 мин (время, необходимое для монтажа взрывной сети). Сейсморегастраторы MiniMate Plus, измеряющие давление на фронте УВВ, располагались на расстоянии 250 м от взрыва. После проведения испытаний зарядов ВВ производилась обработка и анализ полученных результатов замеров максимального давления на фронте УВВ через программное обеспечение Blastware III [5, 6].

Если известны экспериментальные значения избыточного давления от взрыва заряда эталонного ВВ (Аммонит 6ЖВ) и зарядов испытуемых ВВ при прочих равных условиях, то возможно определение эквивалента (переводного коэффициента ВВ по работоспособности) [1, 6].

Эквивалент Нитронита Э-70 по отношению к Аммониту № 6ЖВ определялся по ударно-воздушной волне. Искомый эквивалент является отношением потоков энергии бегущей ударной волны с учетом поправки на разность масс зарядов. Поток энергии бегущей ударной волны (E , Дж/м²) определяется по формуле

$$E = \frac{\Delta P_0^2 \tau}{3\gamma c}, \quad (1)$$

где ΔP_0 – давление на фронте ударной воздушной волны, Па;

τ – продолжительность фазы сжатия ударной воздушной волны, сек.

Длительность фазы сжатия для расстояний $10 < R < 1000$ м/кг^{-1/3} УВВ равна

$$\tau = 6,594 \sqrt[3]{Q [\lg(0,4\bar{R})]^{0,4}} \quad (2)$$

Величина приведенного расстояния определяется следующим образом:

$$\bar{R} = \frac{R}{\sqrt[3]{Q}}, \text{ м/кг}^{-1/3}, \quad (3)$$

где γ – плотность воздуха = 1,29 кг/м³;

c – скорость звука в воздухе, м/с, которая определяется так:

$$c = 20,1\sqrt{T}, \quad (4)$$

где T – абсолютная температура воздуха, К.

Эквивалент исследуемого ВВ по отношению с каким-либо штатным ВВ (Гранулотол, Граммонит, Аммонит № 6ЖВ) h можно вычислить по уравнению

$$h = \left(\frac{Q_3}{Q_{\text{ЭВВ}}} \right)^{2/3} \cdot \frac{E_{\text{ЭВВ}}}{E}, \quad (5)$$

где Q_3 – масса эталонного ВВ, кг;

$Q_{\text{ЭВВ}}$ – масса испытуемого ВВ, кг;

$E_{\text{ЭВВ}}, E_3$ – поток энергии бегущей УВВ, соответственно, испытуемого и эталонного ВВ.

Эквиваленты испытуемых ВВ по ударной воздушной волне по отношению к Аммониту № 6ЖВ, определенные относительно потоков энергии бегущих ударных волн, представлены в табл. 1.

При диаметрах заряда 90, 160 и 250 мм эквивалент Нитронита Э-70 с гладкой аммиачной селитрой, имеющей плотность в заряде 1,206 г/см³ по отношению к Аммониту № 6ЖВ, составляет 1,1; 0,99 и 0,95, соответственно; для Нитронита Э-70 с пористой аммиачной селитрой с плотностью в заряде 1,225 г/см³ – 0,92; 0,99 и 0,94, соответственно.

Скорость звука в продуктах детонации определяется по уравнению (4), и для Нитронита Э-70 с пористой и гладкой селитрой приведена в табл. 2.

Скорость истечения продуктов детонации определяем по уравнению:

$$U = D - C \quad (6)$$

В результате проведенных экспериментальных исследований было установлено:

1. При диаметрах заряда 90, 160 и 250 мм эквивалент Нитронита Э-70 с гладкой аммиачной селитрой по отношению к Аммониту № 6ЖВ, с плотностью в заряде 1,206 г/см³, составляет 1,1; 0,99 и 0,95, соответственно; для Нитронита Э-70 с пористой аммиачной селитрой с плотностью в заряде 1,225 г/см³ – 0,92; 0,99 и 0,94, соответственно.

2. Таким образом, в среднем 1 л (1 объем) заряда ЭВВ Нитронит Э-70 с пористой аммиачной селитрой по фугасному действию взрыва эквивалентен 1,05 л (1,05 объему) заряда Аммонита 6ЖВ, а 1 л (1 объем) заряда ВВ Нитронита Э-70 с гладкой аммиачной селитрой по фугасному действию взрыва эквивалентен 1 л (1 объему) заряда Аммонита 6ЖВ. Также при диаметре заряда 160 мм наблюдается эквивалентность по фугасному действию взрывов объема Нитронита Э-70 с разными селитрами к объему Аммонита 6ЖВ.

Экспериментальное определение эквивалента Нитронита Э-70 по отношению к эталонному ВВ

| № гильзы заряда | Наименование ВВ | Диаметр гильзы, мм | Объем взорванного ВВ, дм ³ | Масса ВВ в заряде, кг (без учета ПД) | Плотность ВВ в заряде, г/см ³ | Тип промежуточного детонатора (ПД) | Давление на фронте УВВ, Па | Продолжительность фазы сжатия УВВ, с | Поток энергии бегущей УВВ, Дж/м ² | Эквивалент h по УВВ относительно гранулола, определенный по энергии бегущих волн |
|-----------------|---|--------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--|-------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|--|--|
| 1 | Аммонит 6ЖВ | 90 | 6 | 5,2 | 0,9* | Патрон Аммонита 6ЖВ Ø32 мм по 200 г | 134 | 0,01433 | 193,22 | 1,00 |
| 2 | | 160 | 18 | 16,3 | | | 140 | 0,02016 | 296,72 | 1,00 |
| 3 | | 250 | 44 | 39,7 | | | 486 | 0,02622 | 4650,60 | 1,00 |
| 4 | Нитронит Э-70 с гладкой аммиачной селитрой | 90 | 6 | 6,9 | 1,206** | | 148 | 0,01559 | 256,43 | 1,10 |
| 5 | | 160 | 18 | 21,8 | | | 146,9 | 0,02197 | 356,02 | 0,99 |
| 6 | | 250 | 44 | 53,3 | | | 500 | 0,02859 | 5367,33 | 0,95 |
| 7 | Нитронит Э-70 с пористой аммиачной селитрой | 90 | 6 | 7,0 | 1,225** | | 136 | 0,01566 | 217,51 | 0,92 |
| 8 | | 160 | 18 | 22,2 | | | 147,8 | 0,02209 | 362,37 | 0,99 |
| 9 | | 250 | 44 | 54,1 | | | 500 | 0,02871 | 5389,86 | 0,94 |

Примечание: сейсморегистраторы MiniMate Plus, измеряющие давление на фронте УВВ, располагались на расстоянии 250 м от взрыва.

* – плотность ВВ задавалась согласно ГОСТ 21984-7;

** – плотность ВВ задавалась согласно проведенным измерениям

Скорость распространения продуктов детонации

| Плотность заряда, кг/дм ³ | Наименование ВВ | Скорость детонации, м/с | Местная скорость звука в ПД, м/с | Скорость распространения продуктов детонации, м/с |
|--------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|----------------------------------|---|
| 1,206 | Нитронит Э-70 с гладкой селитрой | 3324 | 344,1 | 2979,9 |
| | | 3736 | 344,1 | 3391,9 |
| | | 4195 | 344,1 | 3850,9 |
| 1,225 | Нитронит Э-70 с пористой селитрой | 2755 | 344,1 | 2410,9 |
| | | 4130 | 344,1 | 3785,9 |
| | | 4773 | 344,1 | 4428,9 |

3. Разработана методика экспериментального определения скорости детонации и давления на фронте ударной воздушной волны эмульсионных ВВ с применением приборов InstantelVODMate, MinimatePlus. Экспериментальные данные позволяют определить показатель политропы, местную скорость продуктов детонации и другие основные характеристики ЭВВ, позволяющие более обоснованно подходить к определению рациональных параметров БВР.

Литература

1. Синицын В.А. Повышение эффективности горной массы на карьерах с применением ВВ на основе обратных эмульсий: дис. ... канд. техн. наук / В.А. Синицын. – ИГД УрО РАН. – Екатеринбург, 2007. – 144 с.
2. ГОСТ 14839.19-69. Взрывчатые вещества промышленные. Методы определения полноты детонации (с Изменением № 1). – М.: Изд-во стандартов, 1986.
3. Дубнов Л. В. Промышленные взрывчатые вещества / Л.В. Дубнов, Н. С. Бахаревич, А. И. Романов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1982. - 327 с.
4. Мосинец В. Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах / В.Н. Мосинец. – М.: Недра, 1976.
5. Методика измерений скорости сейсмических колебаний и давления на фронте ударной воздушной волны с использованием цифрового сейсморегистратора MiniMate Plus, устройства регистрации и анализа УРАН и автономного измерителя-регистратора АИР. СТО 01.01.001 – 2011 г. / ИГД УрО РАН. – Екатеринбург: УрО РАН, 2011.
6. Скорость детонации взрывчатых веществ. Методика измерений реостатным методом с использованием измерителя скорости детонации VODMate. СТО 01.01.004 – 2011 г. / ИГД УрО РАН. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2011.