

УДК 622.235.2

В.Ф. Джос, Н.А. Зинько, В.И. Филь

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТОРОВ ФИЗИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ЗАРЯДОВ ПРОСТЕЙШИХ БЕСТРОТИЛОВЫХ ВВ

У статті розглянуті питання досягнення фізичної стабільності зарядів простіших вибухових речовин різними засобами. Приведені аналітичні рішення механізму стікання горючої рідини по колонці заряду ВР. Розглянуті деякі засоби, які підвищують фізичну стабільність зарядів простіших ВР, їх вибухову ефективність та екологічну безпеку.

ИГТМ НАН Украины совместно с работниками Навоийского горно-металлургического комбината (НГМК) проведены комплексные исследования, направленные на создание эффективных, экологически безопасных и дешевых ВВ простейшего состава на основе компонентов производимых в Республике Узбекистан.

В составах простейших ВВ, прошедших испытания в полигонных и промышленных условиях, применялась аммиачная селитра (изготавливается на «Навоиазот»), ее дробленые гранулы (с размером отдельностей менее 1 мм), дизельное топливо, отработанные масла двигателей внутреннего сгорания карьерного автотранспорта, дисперсный алюминий, угольный порошок, отходы железного скрапа, измельченная бумажная мешкотара из под мешков с ВВ, различные виды поверхностно-активных веществ и загустителей.

Во всех разработанных рецептурах простейших ВВ в качестве окислителя выступает аммиачная селитра. Жидкие и твердые горючие добавки представлены разнообразными органическими веществами, которые имеют различную теплотворную способность – от высоких ее значений (дисперсный алюминий, дизельное топливо) до низких показателей теплотворности (измельченная бумажная мешкотара).

Важной задачей при разработке и испытаниях рецептур простейших ВВ было не только получение высоких взрывчатых характеристик (скорость детонации ВВ, теплота и работоспособность взрыва), но и достижение физической стабильности зарядов (отсутствие миграции жидких горючих компонентов по колонке заряда), что достигалось путем введения в рецептурный состав простейших ВВ дробленых гранул аммиачной селитры, обладающих большой удельной поверхностью, а также различных видов поверхностно-активных веществ и загустителей (карбоксиметилцеллюлоза, полиакриламид и т.п.). Это позволяет исключить миграцию жидкого горючего компонента в составе простейших ВВ, изготавливаемых на месте производства взрывных работ.

Экологическая эффективность испытываемых рецептур простейших ВВ обеспечивалась рациональным соотношением между окислителем (АС) и го-

рючими добавками (жидкими и твердыми), критерием которого являлся такой важный параметр как значение величины кислородного баланса. В случае обеспечения нулевого или близкого к нему кислородного баланса снижаются объемы выброса ядовитых газов. Кроме того, значительно уменьшается вредное воздействие пылегазовых выбросов при массовых взрывах на окружающую среду. При соблюдении условий качественного механического смешения твердой и жидкой фазы в составах простейших ВВ дизтопливо равномерно распределяется по поверхности каждой гранулы АС с образованием на них пленки. Под действием сил гравитации дизтопливо начинает двигаться по поверхности гранул АС в нижнюю часть заряда со скоростью:

$$V_x = -\frac{\rho \cdot g \cdot x^2}{2\mu} + \frac{\rho \cdot g \cdot \ell \cdot x}{\mu}, \quad (1)$$

где  $x$  – расстояние от поверхности гранул АС до точки, где определяется скорость  $V_x$ , м;  $\ell$  – толщина пленки жидкости, м;  $\rho$  – плотность горючего компонента, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\mu$  – вязкость жидкой горючей добавки, Па·с.

В реальных зарядах часть жидкой фазы удерживается в порах гранул АС неограниченное время за счет действия капиллярных сил. Обозначим массовую долю жидкости (дизтоплива) входящую в состав ВВ через  $N$ , долю жидкости (ДТ) неподверженной стеканию через  $n$ , тогда массовая доля жидкости, подверженной стеканию, будет  $N - n$ . Если простейшее ВВ перед заряджением было изготовлено однородным, то на гранулах АС образуется пленка горючей жидкости толщиной:

$$\ell = \frac{(N - n) \cdot \rho_3}{f \cdot \rho}, \quad (2)$$

где  $\rho_3$  – плотность заряда, кг/м<sup>3</sup>;  $f$  – удельная поверхность гранул АС, м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>;  $\rho$  – плотность жидкости горючей добавки (ДТ), кг/м<sup>3</sup>.

В случае, когда заряд ВВ состоит из монодисперсной массы сферических частиц диаметром  $d$ , то

$$f = \frac{6(1 - \varepsilon)}{d}, \quad (3)$$

где  $\varepsilon$  – порозность материала твердого компонента (АС),

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_n}{\rho_m}; \quad (4)$$

$\rho_n$  – насыпная плотность гранул, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_m$  – плотность материала гранул, кг/м<sup>3</sup>. Для полидисперсной массы частиц АС:

$$d = 1 / \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{d_i}, \quad (5)$$

где  $x_i$  – массовая доля гранул с диаметром  $d_i$ . Максимальной скоростью стекания обладает внешний слой жидкости (ДТ), для которого соблюдается условие

$$V_{\max} = \frac{\rho \cdot g \cdot \ell^2}{2\mu}. \quad (6)$$

Время стекания жидкой фазы выражается формулой:

$$T = \frac{H}{V_{\max}} = \frac{2H\mu}{\rho g \ell^2}, \quad (7)$$

где  $H$  – высота колонки заряда простейшего ВВ, м.

В нижнюю часть заряда будет поступать жидкость (ДТ) с постоянной скоростью

$$V_{cp} = \frac{1}{\ell} \int_0^{\ell} V_x \cdot dx = \frac{\rho g \ell^2}{3\mu}. \quad (8)$$

В момент времени  $T$  по высоте колонки заряда с текущей координатой  $Y$  будет установлено следующее распределение толщины пленки жидкой фазы на гранулах АС –  $X$ .

$$\frac{Y}{V_x} = T; \quad T = \frac{2H\mu}{\rho g \ell^2},$$

то

$$\bar{Y} = H \left( -\frac{x^2}{\ell^2} + \frac{2x}{\ell} \right). \quad (9)$$

Средняя толщина подвижной пленки жидкости на поверхности гранул АС в момент времени  $T$  составит (в принятой системе координат)

$$\ell_T = \frac{1}{H} \left( \int_0^{\ell} Y dx + \ell H \right), \quad (10)$$

$$\ell_T = \ell/3.$$

Так как удельная поверхность гранул АС является величиной постоянной, то средняя толщина пленки характеризует общее количество жидкой горючей добавки в заряде простейшего ВВ. Очевидно, что по истечении времени в заряде остается треть от исходной массы подвижной (жидкой) части горючей добавки. Оставшаяся часть дизтоплива будет стекать с меньшей скоростью, так как будет снижаться общая толщина пленки на каждой грануле АС.

Связь толщины пленки на поверхности гранул АС в нижней части заряда от времени (время отсчитывается от момента, когда в заряде осталось 1/3 подвижной части жидкости, т.е. спустя  $T$  после окончания формирования заряда) выражается формулой:

$$\tau = \frac{\Delta Y}{V_x}, \quad (11)$$

где  $\Delta Y$  – расстояние от нижнего торца заряда до точки, где толщина плёнки на грануле АС равна  $\ell$ ;  $V_x$  – скорость движения горючей жидкости на расстоянии  $x$  от гранулы АС;

$$\tau = \frac{H\mu \left[ 1 - \left( \frac{2x}{\ell} - \frac{x^2}{\ell^2} \right) \right]}{\rho g x (\ell - 0,5x)}. \quad (12)$$

Согласно формулы (7) основными параметрами, влияющими на время  $T$  и поддающимися варьированию, являются высота колонки заряда  $H$  и вязкость жидкой горючей добавки  $\mu$ . Очевидно, что для зарядов с большей высотой колонки заряда допустимое время от момента заряжения до времени производства взрыва может быть увеличено, так как соотношение массовых долей компонентов простейшего ВВ более длительный промежуток времени сохраняется близким к оптимальному. Используя жидкие горючие добавки с увеличенной вязкостью (отработанные масла карьерного транспорта) можно добиться такого же эффекта. Отсюда следует, что применение сильновязких горючих добавок в составах простейших ВВ не исключает их миграцию, а лишь замедляет ее течение.

Увеличение общей массы жидкой горючей добавки  $N$ , приводит к росту толщины пленки на поверхности гранул АС в момент времени  $T$ . Однако само время  $T$  уменьшается пропорционально  $\ell^2$  и, таким образом увеличение допустимого времени нахождения смесового заряда простейшего ВВ в скважине будет незначительно.

Использование гранул АС с большим количеством пор (пористая аммиачная селитра) и введение в состав простейших ВВ компонентов с увеличенной удельной поверхностью (дробленые гранулы АС, дисперсный алюминий) приводит к снижению толщины пленки  $\ell$  (дизтоплива) и, в предельном случае, миграция жидкой фазы по высоте колонки заряда будет отсутствовать. При этом важное значение приобретает равномерное распределение жидкого горючего компонента по общей массе гранул АС (тщательное перемешивание смеси) для получения толщины пленки  $\ell$  равной величины.

Если жидкий горючий компонент обладает вязкоупругими свойствами и напряжение в пленке под действием гравитационных сил не превышает предельного упругого напряжения, характерного для данной горючей жидкости, то миграция жидкой фазы в заряде будет отсутствовать, что определит полную физическую стабильность заряда простейшего ВВ.

Расчетами, выполненными для условий ведения взрывных работ с использованием простейших ВВ на карьерах Навойского горно-металлургического комбината, определено, что при высоте колонки заряда 8-10 м время  $T$  составляет  $1,8 - 2,2 \cdot 10^5$  с или 48-58 часов.

Таким образом, время миграции 2/3 объемной массы жидкой горючей фазы по 10 метровой колонке заряда простейшего ВВ составляет 2-2,5 суток. Это говорит о том, что необходимо производить заряжение и взрывание указанного ВВ в указанные сроки. Только при соблюдении этого условия результаты дробления взрывом горных пород могут дать положительный эффект, что обеспечивает эффективную работу горно-транспортного оборудования на карьерах.