

УДК 622.807

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА И СРЕДСТВА ПЫЛЕГАЗОПОДАВЛЕНИЯ ПРИ МАССОВЫХ ВЗРЫВАХ В КАРЬЕРАХ**

**Тыщук В.Ю., к. т. н., с.н.с., заведующий лабораторией  
ГП «Научно-исследовательский институт безопасности труда и экологии в горнорудной и металлургической промышленности» (ГП «НИИБТГ»), г. Кривой Рог  
50000, г. Кривой Рог, ул. Первомайская, 12  
[ndibpgiac@mg.net.ua](mailto:ndibpgiac@mg.net.ua)**

Наведені результати досліджень способу та засобу пилогазопридушення при масових вибухах у кар'єрах, які дозволяють знизити викиди пилу в атмосферу на 58,0 – 65,0% та оксиду вуглецю на 62,0 – 64,0%. Спосіб включає операції формування біля гирла свердловини та на поверхні блоку захисного екрану у вигляді шару подрібнених порід, що зволожені пилогазоподавляючим розчином. Наведені значення параметрів способу та засобу пилогазопридушення при масових вибухах.

**Ключові слова:** кар'єр, вибухи, пил, газ, пилогазопридушення.

The results of researches means dust-and-gas suppression during mass explosions in the quarry the permit lower concentration dust in the 58,0 – 65,0 % and monoxide carbine in the 62,0 – 64,0%. Presentation meaning the parameter means dust-and-gas suppression during mass explosions in the quarry.

**Key words:** quarry, explosions, dust, gas, suppression.

**Введение.** При проведении массовых взрывов в карьерах в атмосферу выделяются большие объемы пыли и вредных газов – оксидов азота и оксида углерода.

Выполненными нами исследованиями установлено, что через несколько часов после взрывов концентрации вредных веществ в атмосфере рабочих зон карьеров имеют следующие значения: пыли 5–10 мг/м<sup>3</sup> при ПДК 2-4 мг/м<sup>3</sup>, оксида углерода 40–200 мг/м<sup>3</sup> при ПДК 20 мг/м<sup>3</sup>, а оксидов азота 1,0–7,0 мг/м<sup>3</sup> при ПДК 5 мг/м<sup>3</sup>. Концентрация газов определялась в сотрудничестве с горноспасательными службами, которые первыми входили в зону, где был произведен взрыв.

Выделившиеся в результате взрыва вредные выбросы не только загрязняют атмосферу рабочих зон карьеров, но и выносятся за пределы карьеров, загрязняя окружающую среду.

Результаты наших исследований в условиях карьеров Кривбасса показали, что запыленность атмосферного воздуха в жилых массивах на границе санитарно-защитной зоны от карьеров, размер которой составляет 1500 м, достигает 17,8–60,4 мг/м<sup>3</sup> при максимально разовой ПДК для жилых массивов равной 0,3 мг/м<sup>3</sup>. Поэтому решение проблемы борьбы с пылегазовыми выбросами при массовых взрывах является важной и актуальной задачей.

Решение этой проблемы тесно связано с выполнением государственных научно-технических программ приоритетных направлений развития науки и техники на 2002-2006 г. в части сохранения окружающей природной среды и стабильного развития, утвержденных постановлением Кабинета Министров Украины от 24.12.2001 №1716, Национальной программы улучшения состояния

безопасности, гигиены труда и производственной среды на 2001-2005 г.

**Анализ предыдущих исследований.** Существующие способы пылегазоподавления при массовых взрывах в карьерах условно можно разделить на две группы. Первая группа – это способы, основанные на борьбе с выделившимися в атмосферу вредными выбросами, а вторая – объединяет способы, основанные на предотвращении пылегазовыделения при подрывании пород взрывом. Первая группа способов включает операцию орошения пылегазового облака (ПГО) водой или водой с добавками теплопоглощающих реагентов [1]. Недостатком способа является то, что он малоэффективный на крупных карьерах, где подрываются большие объемы пород. Невысокая эффективность способа обусловлена тем, что образующееся пылегазовое облако имеет большой объем и является высокоэнергетическим объектом, что не позволяет в полной мере оросить его и осадить пыль. Для предотвращения пылевыведения при массовых взрывах также используется внутренняя, в скважинах, и внешняя, на поверхности подрываемого блока, гидрозабойка [2]. Нерешенной проблемой реализации этого способа является то, что при увеличении массы скважинного заряда более 450 кг эффективность пылеподавления снижается и при использовании внутренней гидрозабойки составляет около 50 %.

Более эффективным является разработанный нами способ пылегазоподавления, включающий операции формирования на поверхности подрываемого блока пород, защитного экрана (покрытия), представляющего собой слой разрыхленных пород, а также внутренней забойки в скважинах, которые затем увлажняются пылегазоподавляющим раствором до максимальной молекулярной

влагоємкості [3]. В якості матеріала забойки і захитного екрана використовуються породи фракції 0–10 мм, використовуються звичайно як забочний матеріал для скважинних зарядів. Захитний екран представляє собою шар розрухлених порід фракцій 0–10 мм, товщиною околу 0,15 м, сформований на поверхності подрываемого блока.

Однако, в цьому способі не в повній мірі обосновані параметри захитного екрана. Основними з них являються об'єм порід і товщина їх шару на поверхності блока. Обоснование параметрів захитного екрана можна здійснити на основі результатів досліджень фізических процесів, протекаючих при взаємодії пылегазового потоку з складаючими породами екрана.

**Цель работы.** Определение параметров защитного экрана методом расчетно-аналитических исследований физических процессов, протекающих на границе «взрывные газы» - «твердые частицы пород, увлажненные пылегазоподавляющим раствором» и определение эффективности способа и средства пылегазоподавления при массовых взрывах.

Исходя из цели, в работе решались следующие задачи: провести аналитические исследования газодинамических и термодинамических характеристик пылегазового потока, термодинамических свойств разрухлених горных пород после прохождения через них пылегазового потока; определить характер движения пылегазового потока в атмосфере после взаимодействия с породами защитного экрана; установить параметры защитного экрана на поверхности подрываемого блока; провести промышленные исследования способа и средства пылегазоподавления при массовых взрывах в карьерах.

**Материалы и результаты исследований.** Исходя из цели и задач, рассмотрим физические характеристики газов, образующихся после взрывов. Эти газы имеют большую тепловую энергию. Например, теплота взрыва аммиачной селитры составляет 1425 кДж/кг [4]. Данные, приведенные в работе [5], свидетельствуют, что приблизительно 10% величины энергии газов после взрыва выносятся в атмосферу. Выбор толщины экрана может быть определен на основании нижеприведенных расчетов.

Обоснование числовых значений параметров покрытий осуществим на основании газодинамических и термодинамических характеристик пылегазового потока и термических свойств пород.

Температуру газов после прохождения через защитный экран определяем по формуле, приведенной в работе [5], К:

$$T_m = T_z - (T_z - T_0) \exp \{-3\alpha t / (r_m \rho_m C_m)\}, \quad (1)$$

где  $T_z$  - температура газовой фазы после взрыва, К;  $T_0$  - температура твердой фазы, К;  $\alpha$  - коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup> · К);  $t$  - время контакта газа с забойкой, с;  $r_m$  - радиус твердой

частицы защитного экрана, м;  $\rho_m$  - плотность твердой частицы, кг/м<sup>3</sup>;  $C_m$  - теплоемкость частицы, Дж/(кг · К).

Значение указанных параметров принято из работы [5].

$T_z$  - 2500 К;  $T_0$  - 300 К;  $\alpha$  - 1520 Вт/(м<sup>2</sup> · К);  $t$  - 0,05 с; частицы пород принимаем монодисперсными с радиусами  $r_m = 0,003$  м и  $r_m = 0,005$  м;  $\rho_m$  - 2500 кг/м<sup>3</sup>;  $C_m$  - 800 Дж/(кг · К).

В результате расчетов установлено, что при  $r_m = 0,003$  м;  $T_m = 384$  К, т. е. прирост температуры ( $\Delta T$ ) твердой фазы составит:  $\Delta T = T_m - T_0 = 384$  К - 300 К = 84 К, а при  $r_m = 0,005$  м;  $T_m = 350$  К;  $\Delta T = T_m - T_0 = 350$  К - 300 К = 50 К.

Тепловые потери, затраченные на нагрев твердой фазы, определяются по формуле, Дж:

$$Q_m = m_m C_m \Delta T, \quad (2)$$

где  $m_m$  - масса твердой фазы на поверхности блока, кг.

Результаты расчетов показали, что тепловые потери в породах фракции  $r_m = 0,003$  м составят  $Q_m = 1 \cdot 800 \cdot 84 = 67200$  Дж = 67,2 кДж, а в породах фракции  $r_m = 0,005$  м они будут равны  $Q_m = 1 \cdot 800 \cdot 50 = 40000$  Дж = 40 кДж.

При длине заряда в скважине 10 пог. м и ее диаметре 0,25 м, плотности ВВ 1000 кг/м<sup>3</sup> и теплоте взрыва 1425 кДж/кг суммарно теплота взрыва при 0,49 т ВВ в скважине составит 698250 кДж.

Принимая, что энергия газов, поступающих в атмосферу после взрыва, составляет приблизительно 10% от фактически образованной энергии взрыва, масса твердой фазы для поглощения этой тепловой энергии составит: для пород с размером частиц  $r_m = 0,003$  м:  $m_m = 698250 / 67,5 = 1039$  кг; при  $\rho_m = 2500$  кг/м<sup>3</sup> объем пород  $V$  составит - 0,42 м<sup>3</sup>; для пород с размером частиц  $r_m = 0,005$  м:  $m_m = 698250 / 40 = 1745$  кг; при  $\rho_m = 2500$  кг/м<sup>3</sup>  $V = 0,69$  м<sup>3</sup>.

Таким образом, определен один из основных параметров защитного экрана - масса твердой фазы на поверхности блока по критерию поглощения энергии газов, поступающих в атмосферу взрыва заряда ВВ в одной скважине.

Другой важный параметр защитного экрана - его толщина на поверхности блока.

Известно, что основной объем пылегазового потока выделяется из зоны пластической деформации подрываемого блока пород. Эта зона находится в радиусе, равном около 1 м от скважины по всей ее длине.

При известном объеме пород, который необходимо сформировать на поверхности блока, толщину слоя экрана можно определить по выражению, м:

$$h = V / S, \quad (3)$$

где  $S$  - площадь зоны пластической деформации на поверхности блока, м<sup>2</sup>.

Результаты расчетов показали, что при  $R = 1$  м;  $S = 3,14$  м<sup>2</sup> толщина слоя экрана при  $r_m = 0,003$  м составит 0,133 м; а при  $r_m = 0,005$  м будет равняться 0,219 м.

Исходя из этого, параметры защитного экрана в радиусе 1 м вокруг скважины следующие: при  $r_m = 0,003$  м толщина его слоя составит 0,133 м, а при  $r_m = 0,005$  м толщина будет равной 0,219 м. Приблизительно таким же слоем пород необходимо покрыть остальную обнаженную поверхность блока, т. к. она тоже является источником пылевыделения, но в меньшей степени.

Рассмотрим адсорбционные явления в системе «породные частицы экрана – пылевидные частицы потока». В адсорбции важным параметром является площадь адсорбента и адсорбата.

Удельная поверхность адсорбента рассчитывается по выражению, м<sup>2</sup>/кг:

$$S_{уд} = 6 \cdot m / d_{n.ср} \cdot \rho_m, \quad (4)$$

где  $m$  – масса разрыхленных пород, кг;  $d_{n.ср}$  – средний размер фракций пород, м.

Проведем обоснование необходимого объема пород защитного экрана по критерию его пылеулавливающей способности. При толщине экрана 0,219 м над зоной пластической деформации, находящейся в радиусе 1 м от скважины, объем пород для каждой скважины составит около 0,5 м<sup>3</sup> (1250 кг).

Результаты расчета суммарной поверхности забоечного материала массой 1250 кг на одну скважину с учетом удельных поверхностей фракций пород, представленных в таблице, показали, что она составляет 3543 м<sup>2</sup>.

Масса пыли, выделяющаяся из блока при подрывании одной скважины, рассчитывается по формуле [6], кг:

$$M_{nex} = p_{zn} (1 - 1/\kappa^2) \zeta (d_n/D_k) V_{bl}, \quad (5)$$

где  $p_{zn}$  – плотность горных пород, кг/м<sup>3</sup>;  $\kappa$  – коэффициент разрыхления горных пород – 1,3;  $\zeta$  – безразмерный коэффициент, зависящий от структуры и механических свойств пород (принимается равным 1);  $d_n$  – средний размер пылинки, м;  $D_k$  – средний размер кусков пород в подорванном блоке, м;  $V_{bl}$  – объем подрываемого блока, м<sup>3</sup>.

Расчеты по формуле показывают, что при  $p=2500$  кг/м<sup>3</sup>;  $d_n=50$  мкм;  $D_k=0,2$  м; высоте блока 15 м и сетке скважин 6х6 м масса пыли, которая выделится при подрывании одной скважины, охватывающей блок, объемом 540 м<sup>3</sup>, составит около 138 кг. Следовательно, на 1 кг пыли приходится 9 кг разрыхленных пород защитного экрана.

Определим площадь сечения пылевидных частиц в пылегазовом потоке, выделяющихся с одной скважины. При этом принимается, что средний диаметр пылевидных частиц составляет 50 мкм. В данном случае площадь поперечного сечения пылинки составит 1·10<sup>-9</sup> м<sup>2</sup>. Общий объем пылевид-

ных частиц массой 138 кг, выделяющихся со скважины, при плотности пород 2500 кг/м<sup>3</sup> составит 0,055 м<sup>3</sup>. При объеме одной пылевидной частицы, диаметром 50 мкм, равном 6,54·10<sup>-14</sup> м<sup>3</sup>, общее количество пылевидных частиц в 138 кг пыли составит 84,09·10<sup>10</sup> штук. В этом случае, как показывают расчеты, общая площадь поперечного сечения всей массы пыли составит 840 м<sup>2</sup>. Сравнимая площадь адсорбента (породы защитного экрана) – 3543 м<sup>2</sup> и площадь поперечного сечения адсорбата (пыль) – 840 м<sup>2</sup> находим, что принятые 1250 кг пород экрана на одну скважину с большим запасом обеспечат поглощение пылегазового потока со скважины.

Использование защитного экрана, согласно законам аэродинамики, позволяет изменить газодинамические параметры выбросов продуктов взрыва за счет снижения скорости их вылета со скважины, а также из зоны пластической деформации.

Пылегазовый поток, взаимодействуя с частицами пород экрана, которые поднялись в атмосферу, теряет свою скорость за счет обмена импульсами между пылегазовой струей и породными частицами экрана, движущимися в противоположном направлении к поверхности блока. В результате масса поднимающейся струи увеличивается, однако скорость ее падает, ядро сужается, пока полностью не исчезнет, и струя начнет плавно распространяться в горизонтальном направлении. При этом пылевые конгломераты постепенно осядут в карьере, в результате чего будет предотвращено распространение пыли в карьерном пространстве и вынос ее за границы карьера.

Исследования по пылегазоподавлению при массовых взрывах проводились в карьере ОАО «Ингулецкий ГОК» в летний и зимний периоды года. В качестве средства пылегазоподавления был принят водный раствор углещелочного реагента (УЩР), концентрации 1 – 2 мас.%. Приготовление раствора УЩР производилось в цистерне гидромониторной поливочной машины. Для этого в цистерну автомашины высыпалась определенная порция УЩР и затем доливалась вода. Растворение УЩР происходило самопроизвольно без применения специального внешнего воздействия. Затем машина выезжала на блок пород, который подлежал подрыванию взрывом, и техническими представителями ОАО ППП «Кривбассвзрывпром» производилось увлажнение забойки в скважинах, слоя пород защитного экрана вокруг скважин и между скважинами. Расход раствора контролировался специальным расходомером, которым была оснащена поливочная машина.

Перед взрывом, на расстоянии 20 – 30 м от подрываемого блока были установлены специальные пылегазозаборные устройства, которые срабатывали после взрыва под воздействием сейсмического толчка. Отобранные пробы анализировались с целью определения концентраций пыли и вредных газов в пылегазовом облаке.

Результаты исследований способа и средства пылегазоподавления (водного раствора УЩР) при массовых взрывах в карьерах в летний и зимний

период года представлены, соответственно, в табл. 1. и табл.2.

**Таблица 1 – Результаты промышленных исследований пылегазоподавляющей способности водяного раствора углещелочного реагента в летний период**

Тип пылегазоподавляющего раствора (средства)	Концентрации вредных веществ в облаке после массового взрыва, мг/м <sup>3</sup>		
	пыль	СО	NO <sub>2</sub>
Без средств пылегазоподавления	<u>1320,0÷1400,0</u> 1340,0	<u>245,0÷260,0</u> 251,3	<u>6,0÷8,0</u> 7,5
Внешняя водяная забойка в полиэтиленовых рукавах (штатная забойка на карьере)	<u>1040,0÷1100,0</u> 1070,0	<u>251,0÷220,0</u> 218,3	<u>4,0÷5,0</u> 4,2
Водный раствор углещелочного реагента, концентрации 2 мас.%	<u>520,0-580,0</u> 550,0	<u>90,0÷100,0</u> 95,7	0

**Таблица 2 – Результаты промышленных исследований пылегазоподавляющей способности водяного раствора углещелочного реагента в зимний период**

Тип пылегазоподавляющего раствора (средства)	Концентрации вредных веществ в облаке после массового взрыва, мг/м <sup>3</sup>		
	пыль	СО	NO <sub>2</sub>
Без средств пылегазоподавления	<u>920,0 – 1000,0</u> 970,0	<u>152,0-160,0</u> 156,5	0
Водный раствор углещелочного реагента, концентрации 2 мас.%	<u>320,0-360,0</u> 340,0	<u>52,0-65,0</u> 56,7	0

Примечание: в числителе – граничные, в знаменателе – средние значения

Как видно из таблиц, концентрация пыли снизилась на 58,0 – 65,0%, оксида углерода на 62,0 – 64,0%, а оксиды азота отсутствовали.

**Выводы.** Аналитически установлено, что при прохождении взрывных газов через слой мелкодисперсных пород экрана происходит конвективная теплоотдача от газа породным частицам. За счет потери тепла пылегазовое облако теряет часть своей энергии, что ведет к снижению высоты его подъема и, тем самым, предотвращается вынос его за пределы карьерного пространства. Установлены параметры защитного экрана, толщина которого должна составлять 0,13 – 0,22 м, а объем пород на поверхности блока в зоне пластической деформации равен 0,5 м<sup>3</sup>. В качестве пылегазоподавляющего средства необходимо использовать водный раствор УЩР концентрации 1 – 2 мас.%.

Промышленные исследования по пылегазоподавлению при массовых взрывах показали, что эффективность снижения пыли составляет 58,0 – 65,0%, а оксида углерода – на 62,0 – 64,0%.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на определение эффективности пылегазоподавления с использованием увлажненной забойки и защитных экранов на карьерах с различными горно-геологическими условиями.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

- Зберовский А.В. Охрана атмосферы в экосистеме «карьер – окружающая среда - человек». - Днепропетровск: РИО АП ДКТ, 1997. – 136 с.
- Бересневич П.В., Наливайко В.Г. Снижение выбросов пыли и вредных газов в атмосферу карьеров и окружающую среду при массовых взрывах // Обзор. Информ. Серия Горнорудное производство. – М.: Ин-т «Черметинформация», 1989. – Вып. 4. – 24 с.
- Тишук В.Ю. Стан існуючих і розробка нових способів пилогазоподавлення при масових вибухах на кар'єрах // Зб. наук. праць: Охорона праці на підприємствах гірничо-металургійного комплексу. – Кривий Ріг. - НДІБПГ. – 2002. – С. 52 – 57.
- Гущин В.И. Задачник по взрывным работам. – М.: Недра, 1990. – 174 с.
- Ефремов Э.И., Бересневич П.В., Петренко В.Д. и др. Проблемы экологии массовых взрывов в карьерах. – Днепропетровск: Січ, 1996. – 179 с.
- Конорев М.М., Нестеренко Г.Ф. Вентиляция и пылегазоподавление в атмосфере карьеров. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2000. – С.241

Статья поступила 31.01.2007  
Рекомендовано к печати д.т.н., проф.  
Воробйовим В. В.