



УДК 622.807

**В.Ю. ТЫЩУК**, канд. техн. наук, с.н.с., заведующий лабораторией

ГП «НИИ безопасности труда и экологии в горнорудной и металлургической промышленности» (ГП «НИИБТГ»), г. Кривой Рог

## ЗАЩИТА АТМОСФЕРЫ ОТ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ПРИ МАССОВЫХ ВЗРЫВАХ В КАРЬЕРАХ

Представлены новые способ и средство для борьбы с пылью и вредными газами при массовых взрывах в карьерах. Способ включает формирование в скважинах и на поверхности блока твердой увлажненной забойки. В качестве средства для увлажнения забойки разработан новый пылегазоподавляющий водный раствор углещелочного реагента с концентрацией один-два массовых процента.

**Ключевые слова:** карьер, взрывы, породы, пыль, газы, пылегазоподавление.

Открытая разработка железорудных месторождений интенсивно развивается. Соответственно увеличиваются объемы взрывных работ и выбросы в атмосферу пыли и вредных газов – оксида углерода и оксидов азота. Результаты исследований по определению удельных выбросов пыли и вредных газов при массовых взрывах (МВ) представлены в табл. 1 и 2.

**Таблица 1 – Удельные выбросы пыли в зависимости от типов взрывчатых веществ (ВВ) и горных пород**

Тип породы	Тип ВВ	Удельное пылевыведение	
		кг/м³ породы	кг/кг ВВ
Окисленные кварциты	Граммонит 79/21	0,145–0,191	0,209–0,260
Сланцы	Граммонит 79/21	0,160–0,211	0,192–0,226
Магнетитовые (железистые) кварциты	Граммонит 79/21	0,121–0,142	0,143–0,162
Окисленные кварциты	Украинит ПП-2Б	0,109–0,163	0,137–0,218
Сланцы	Украинит ПП-2Б	0,171–0,173	0,157–0,171
Магнетитовые (железистые) кварциты	Украинит ПП-2Б	0,106–0,120	0,106–0,118

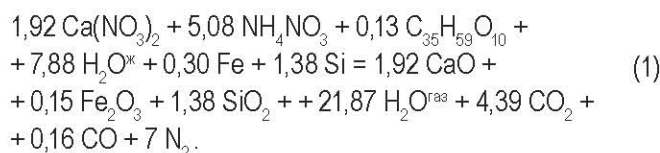
Исследования ГП «НИИБТГ» показали, что концентрация пыли на границе санитарно-защитной зоны карьеров может в десятки раз превышать ПДК, поэтому сокращение пылегазовых выбросов при МВ является важной и актуальной задачей.

**Таблица 2 – Удельные выбросы газов в зависимости от взрывчатых веществ и горных пород (л/кг ВВ)**

Тип породы	Тип ВВ	Удельное выделение газов	
		Газы	л/кг ВВ
Окисленные кварциты	Граммонит 79/21	СО	5,01–7,92
		NO <sub>2</sub>	0,13–0,231
Сланцы	Граммонит 79/21	СО	3,92–7,23
		NO <sub>2</sub>	0,17–0,211
Магнетитовые (железистые) кварциты	Граммонит 79/21	СО	6,85–6,93
		NO <sub>2</sub>	0,16–0,20
Окисленные кварциты	Украинит ПП-2Б	СО	4,24–5,85
		NO <sub>2</sub>	0,09–0,19
Сланцы	Украинит ПП-2Б	СО	4,19–6,72
		NO <sub>2</sub>	0,09–0,10
Магнетитовые (железистые) кварциты	Украинит ПП-2Б	СО	4,88–5,25
		NO <sub>2</sub>	0,07–0,31

Наиболее распространенный способ пылеподавления при МВ – использование гидрозабоек [1]. Его недостаток состоит в том, что в состав гидрозабоек входит полимер, имеющий большой отрицательный кислородный баланс – минус 343 %, а это приводит к дополнительному образованию оксида углерода СО.

Рассмотрим данное явление на примере ВВ Украинита ПП-2Б. Реакция его взрывчатого разложения имеет следующий вид:



Из (1) следует, что излишек СО будет составлять 3,58 л. Кислородный баланс (КБ) Украинита ПП-2Б находится в пределах минус 0,18–2,15 %, а среднее значение составляет -1,17 %. Влияние полимера (за пределами 100 % ВВ) можно определять по табл. 3, составленной с учетом того, что КБ полимера равняется минус 343,0 %.

**Таблица 3 – Значение кислородного баланса Украинита ПП-2Б в зависимости от массы полимерной пленки в ВВ**

Излишек полимера, г/кг ВВ	Излишек полимера, (>100 % ВВ), %	Поправка к КБ ВВ, %	КБ Украинит ПП-2Б + полимер, %
1	0,1	-0,343	-1,51
2	0,2	-0,686	-1,86
5	0,5	-1,715	-2,89
10	1,0	-3,430	-4,50
20	2,0	-6,860	-8,03

Как следует из табл. 3, превышение массы полимера на 0,2 % приводит к образованию до 21  $\text{дм}^3$  СО на 1 кг ВВ. При этом термодинамическая ситуация не способствует образованию оксидов азота.

ГП «НИИБТГ» разработан новый способ пылегазоподавления при МВ, исключающий применение в скважинах полимерной пленки. Способ включает формирование на поверхности подрываемого блока защитного экрана (покрытия), представляющего собой слой разрыхленных пород, а также внутренней забойки в скважинах, которые увлажняют пылегазоподавляющим раствором до максимальной молекулярной влагоемкости. В качестве материала забойки и защитного экрана необходимо использовать фракции породы 0–20 мм, которые обычно являются штатным забоечным материалом для скважинных зарядов.

Параметры защитного экрана определены по результатам расчетно-аналитических исследований физических процессов, протекающих на границе «взрывные газы – твердые частицы пород». Основные физические факторы, которые использовались для определения этих параметров, – термодинамические характеристики пылегазового потока, выделяющегося из подорванной горной массы, и термодинамические свойства разрыхленных горных пород при прохождении через них пылегазового потока.

Известно, что основной объем пылегазового потока выделяется из зоны пластической деформации подрываемого блока пород. Эта зона находится в пределах 1 м вокруг скважины. Средний размер частиц защитного экрана ( $r_m$ ) составляет 0,003–0,005 м, поэтому все термодинамические расчеты проводились для частиц пород именно таких размеров.

Получены следующие расчетные параметры защитного экрана в радиусе 1 м вокруг скважины: при  $r_T = 0,003$  м толщина защитного слоя составит 0,133 м, а при  $r_T = 0,005$  м – 0,219 м. Толщину экрана на остальной части блока можно определить из выражения:  $h = 0,01 H$ , где  $H$  – высота уступа подрываемых пород, м.

В соответствии с поставленными задачами были выявлены и проанализированы основные свойства растворов, которые в наибольшей степени могут влиять на эффективность пылеподавления при МВ в карьерах.

После подрывания пород в случае использования для пылеподавления твердой увлажненной забойки или гидрозабойки над поверхностью блока формируется двухфазная среда, состоящая из твердых частиц и жидкости. При этом происходит смачивание пыли, обусловленное адгезионным взаимодействием между жидкостью и твердым телом. Таким образом, главным свойством пылегазоподавляющих растворов должна быть их высокая смачивающая способность.

Однако и мелкодисперсные капли, и тонкий слой влаги на частицах породы способны быстро испаряться. При этом частицы жидкости отталкиваются друг от друга и создают направленный ток воздуха, препятствующий осаждению пыли. В связи с этим необходимо, чтобы происходила коагуляция пылевидных частиц в укрупненные агрегаты (конгломераты). Это в дальнейшем обеспечит осаждение пылегазового облака на поверхность блока. Следовательно, вторым основным свойством растворов должна быть их способность коагулировать пылевидные частицы в пылегазовоздушной среде. Причем между пылевидными частицами должна образоваться прочная адгезионная связь, иначе в процессе движения пылевых агрегатов в воздушной среде будет происходить их диспергирование на изначальные частицы. В связи с этим третьим основным свойством растворов должна быть их способность склеивать мелкодисперсные частицы пород.

Следовательно, растворы, которые необходимо принять для пылеподавления при МВ в карьерах, должны обладать смачивающей, коагулирующей и клеящей способностями. Для исследований, которые проводились в карьере ОАО «Ингулецкий ГОК», использовались водный раствор углещелочного реагента (УЩР), потенциально способный (в силу своих свойств) эффективно связывать пыль, и внешняя гидрозабойка.

Результаты исследований, представленные в табл. 4, показывают, что применение водного раствора УЩР как единственного средства для пылегазоподавления позволяет уменьшить концентрации пыли и СО в атмосфере после МВ на 58,0 % и 62,1 %, снизить концентрацию СО в горной массе на 74,7 % и достичь полной нейтрализации оксидов азота.



**Таблица 4 – Результаты промышленных исследований опытного образца, способа и средства пылегазоподавления при МВ (в числителе – предельные значения, в знаменателе – средние)**

Тип раствора (средства)	Концентрации вредных выбросов в облаке после взрыва, мг/м³			Концентрации вредных газов в подорванной взрывом горной массе, мг/м³	
	пыль	СО	NO <sub>2</sub>	СО	NO <sub>2</sub>
Без средств пылегазоподавления	1320,0–1400,0 1340,0	245,0–260,0 251,3	6,0–8,0 7,5	2750,0–2875,0 2843,7	7,0–9,0 8,0
Внешняя водная забойка в полиэтиленовых рукавах (штатная забойка в карьере)	1040,0–1100,0 1070,0	215,0–220,0 218,3	4,0–5,0 4,2	2625,0–2875,0 2812,5	7,0–9,0 7,8
Водный раствор УЩР, конц. 1 мас. %	520,0–580,0 550,0	90,0–100,0 95,0	0	625,0–750,0 718,8	2,0–4,0 3,0

В табл. 5 приведен дисперсный состав пылевых частиц, которые образовались после МВ в карьере ОАО «Ингулецкий ГОК». Результаты исследований свидетельствуют, что водный раствор УЩР способствует коагуляции пылевидных частиц, благодаря чему они практически не выносятся за пределы карьера. Этот вывод подтверждают результаты дисперсного анализа пыли на границе санитарно-защитной зоны (СЗЗ) карьера. Они показывают, что 96,3 % пылинок, которые находятся в атмосфере жилых массивов, отсутствуют в пылевых выбросах, отобранных над блоком, где для пылегазоподавления использовался водный раствор УЩР.

Сравним экономическую эффективность разных способов и средств пылегазоподавления при МВ в карьерах – разработанного способа с применением твердой забойки, увлажненной раствором УЩР, и известных способов с использованием внутренней и внешней гидрозабоек. Эффективность улавливания пыли по каждому из способов составит (в пересчете на одну скважину) соответственно 0,120 кг, 0,074 кг, 0,036 кг.

Общая методика определения эффективности способа пылегазоподавления как с экономической, так и с технической точек зрения может быть формализована соотношением

$$F = E/C, \tag{2}$$

где F – эффективность (продуктивность) способа; E – эффект (результат); C – экономические затраты (ресурсы).

Если в числителе формулы (2) массу уловленной пыли выразить в тоннах, продуктивность указанных способов составит соответственно, т/грн, 0,00750; 0,00170; 0,00084.

В работе [3] приведены данные, согласно которым экологический ущерб от 1 т выбросов пыли достигает 210 долл. США. При курсе НБУ 1 долл. США=8,0 грн это будет составлять 1680 грн. Следовательно, экономический эффект от предотвращенного экологического

**Таблица 5 – Дисперсный состав (%) пылевых частиц, образующихся после МВ в карьере ОАО «Ингулецкий ГОК» в зависимости от типа пылегазоподавляющего раствора**

Место отбора пылевых проб	Размер пылевых частиц, мкм							
	< 1,4	1,4–4,2	4,2–10,0	10–15	15–30	30–45	45–100	>100
на границе СЗЗ	51,16	39,12	6,02	3,0	0,44	0,21	0,05	–
Тип пылеподавляющего раствора – вода								
20 м от блока	9,44	10,11	10,43	10,45	13,17	18,26	28,14	–
Тип пылеподавляющего раствора – водный раствор УЩР								
20 м от блока	–	–	–	10,2	11,46	12,95	57,61	7,77
Без средств пылегазоподавления								
20 м от блока	10,67	11,24	12,46	14,15	15,88	17,37	18,24	–

ущерба (в пересчете на одну скважину) при использовании разработанного способа составит 201,6 грн, а при использовании существующих способов с внутренней и внешней гидрозабойкой – соответственно 124,4 грн и 60,5 грн.

### ВЫВОДЫ

В результате выполненных исследований адсорбции пыли и вредных газов в двухфазной «твердой – жидкой» среде обоснован способ пылегазоподавления при массовых взрывах в карьерах, включающий формирование в скважинах и на поверхности блока пылегазоподавляющего средства, представляющего собой слой дисперсных частиц пород, увлажненных водным раствором УЩР. Эффективность способа составляет 58–82 %, а продуктивность – 0,0075 т пыли на 1 грн затрат. Экономический эффект по критерию предотвращенного экологического ущерба при использовании предложенного способа составляет 201,6 грн на одну скважину.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. **Ефремов, Э.И.** Проблемы экологии массовых взрывов в карьерах / Э.И. Ефремов, П.В. Бересневич, В.Д. Петренко. – Д. : Січ, 1996. – 179 с.
2. **Економіка підприємства** / під ред. А.В. Шегеди. – К. : Знання-Пресс, 2002. – 335 с.
3. **Мельник, Л.Г.** Екологічна економіка : підручник / Л.Г. Мельник. – Суми : Університетська книга, 2003. – 384 с.

*Поступила в редакцію 15.04.2012*

Наведено нові способи і засоби для боротьби з пилом та шкідливими газами при масових вибухах у залізорудних кар'єрах. Спосіб включає формування в свердловинах і на поверхні підривного блоку твердої зволоженої забивки. Як засіб для зволоження забивки розроблено пилосаглушувальний водний розчин вуглекислого реагенту з концентрацією 1–2 масових відсотків.

It is proposed methods and new tool to control dust and hazard gases during large explosions in mines. Method includes forming of hard wetted stem in wells and on block surface. As tool for wetting of stem the new dust-gas control solution – water solution of coal-alkali reagent (CAR) with concentration 1-2 mass % was developed.