Г.П.ПАРАМОНОВ
Санкт-Петербургский горный институт, Россия

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА КОЛЧЕДАННЫХ РУДНИКАХ

Проведение выработок и очистных работ по колчеданным рудам в ряде случаев сопровождается взрывами сульфидной пыли, при которых выделяется большое количество сернистого газа, значительно превышающее допустимое по нормам, что приводит к увеличению времени проветривания и длительным простоям забоев, а иногда и к тяжелым отравлениям людей. Выделение сернистого газа происходит и в обычных забоях, не опасных по взрыву сульфидной пыли, что обусловлено низкой температурой ее воспламенения (около 400-450 °С). Для повышения безопасности взрывных работ необходимы исследования кинетики воспламенения и взрыва сульфидной пыли.

В настоящее время наиболее полно изучены процессы воспламенения пылевоздушных систем в угольных шахтах. Исследования кинетики воспламенения сульфидов как в России, так и за рубежом малочисленны и связаны, в основном, с изучением металлургических процессов. Установлен адсорбционный механизм воспламенительного окисления сульфидов. При этом выделены следующие стадии процесса:

• адсорбция молекулярного кислорода на поверхности сульфида и его диссоциация на атомарный кислород;

• диффузия кислорода внутрь кристаллической решетки сульфида и обратная диффузия серы на поверхность раздела фаз;

• образование первичных соединений сульфида с атомарным кислородом типа сульфата;

• химическое взаимодействие образовавшегося промежуточного продукта (сульфата) с оставшимся сульфидом, образование оксида и выделение (десорбция) сернистого ангидрида.

Основная реакция окисления сульфидов в общем виде может быть представлена уравнением

$$2MeS + 3O_2 + N_2 = 2MeO + 2SO_2 + N_2.$$

Основным источником воспламенения сульфидной пыли являются газообразные продукты детонации, имеющие температуру 2000-3000 °С. Снижения температуры продуктов взрыва можно достичь введением в состав ВВ инертных наполнителей. Однако для достижения критической температуры, при которой воспламенения не произойдет, придется ввести в состав ВВ значительное количество наполнителей, что приведет к потере мощности ВВ, что нежелательно при отбойке колчеданных руд, крепость которых по шкале Протодьяконова $f = 15 \div 18$.

Для предотвращения взрывов пыли перспективно применение внутренней забойки, которая препятствует свободному выбросу продуктов взрыва из шпура (скважины) и не допускает непосредственного контакта газов с атмосферой забоя в начальный момент взрыва. Время задержки продуктов взрыва в зарядной полости должно быть достаточным для того, чтобы они охладились до температуры ниже критической. Высокой эффективностью задержки выброса продуктов взрыва из зарядной полости обладают профилированные забойки – новый класс забоек, разработанных на основе газодинамического эффекта. Экспериментальные исследования [3, 5] показали, что время запирания газообразных продуктов взрыва в зарядной полости примерно 15-20 мс. Этого времени достаточно для снижения температуры продуктов взрыва и, возможно, для разогрева частиц ингибиторов в составе ВВ.

Для обоснования выбора типа ингибитора для снижения выброса сернистого газа и его возможного применения в составе ВВ были проведены экспериментальные исследования воспламенения сульфидной пыли с различными наполнителями. Для исследования была взята пыль сплошной пиритовой руды Гайского месторождения с содержанием серы более 35 %.

Отечественные и зарубежные исследователи показали, что ингибирующим свойством по отношению к газовым и пылегазовым смесям обладают

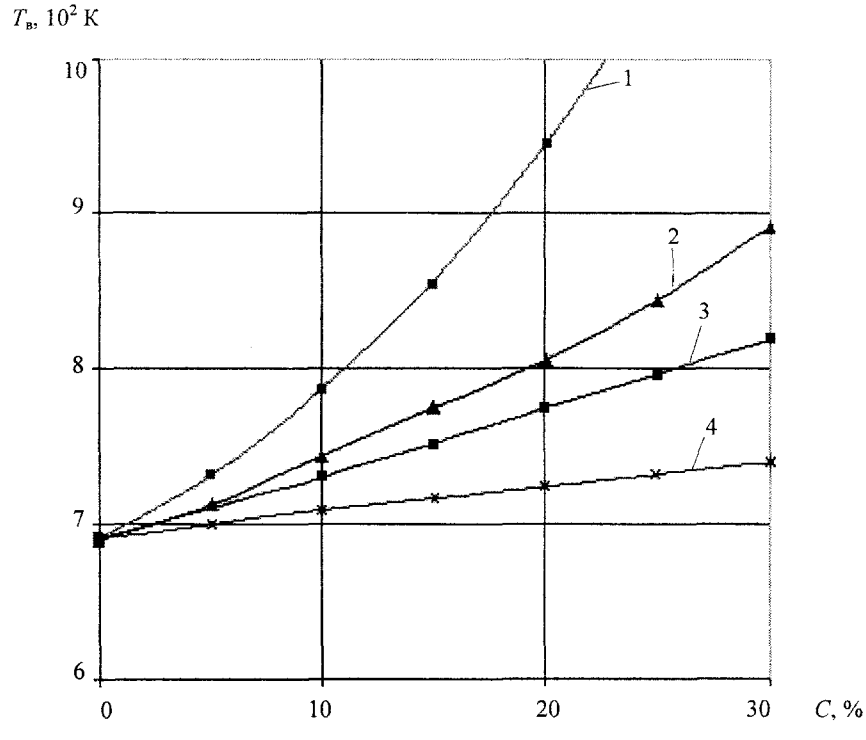


Рис.1. Зависимость температуры воспламенения $T_в$ сульфидной пыли от концентрации наполнителей C
1 – NH_4Cl; 2 – KCl; 3 – $CaCO_3$; 4 – SiO_2

соли щелочных и щелочно-земельных металлов, а также хлористый аммоний. Поэтому для исследования влияния наполнителей ингибиторов на температуру воспламенения сульфидной пыли выбраны KCl, NH_4Cl и $CaCO_3$. В качестве инертной примеси использовалась кварцевая пыль.

Все исследуемые наполнители измельчались до той же дисперсности, что и сульфидная пыль (-75 мкм). Перед опытами наполнители и пыль просушивались и перемешивались в различных пропорциях.

Экспериментальное определение температуры воспламенения взвешенной сульфидной пыли проводилось по методике, утвержденной ГОСТ 12.1.044-84, на установках, разработанных в Санкт-Петербургском горном институте. Анализ результатов (рис.1) показывает, что наибольшее повышение температуры воспламенения достигается при введении хлористого аммония, что обусловлено прежде всего низкой температурой разложения (примерно 648 К) по сравнению с температурой разложения $CaCO_3$ (1200 К). Инертная примесь SiO_2 (до 30 %) практически не оказывает существенного влияния. Установлено также, что при увеличении температуры в реакционной камере $CaCO_3$ становится более эффективным наполнителем, чем NH_4Cl. Это, очевидно, связано с более полным прогревом частиц и, следовательно, значительным отводом тепла из зоны горения.

Для выяснения роли наполнителя в зоне горения (ингибитор или флегматизатор) воспользуемся термодинамическим методом определения характеристик равновесия произвольных гетерогенных систем. Метод основан на принципе максимизации энтропии:

$$\sum \nu_i \cdot S_i \rightarrow \max ,$$

где ν_i – число молей i-й компоненты.

При расчете равновесного состояния системы приняты следующие данные и допущения:

- концентрация наполнителей NH_4Cl, KCl, $CaCO_3$ в составе пиритной пыли 10 %;
- температура взрыва $T_{взр}$ = 1143 К, давление взрыва $P_{взр}$ = 88 кПа, $T_в$ = 673 К;
- неполнота сгорания частиц сульфидной пыли и неравномерность смешивания не учитываются.

Результаты расчетов по выбранной термодинамической модели позволяют записать реакции окисления сульфидной пыли следующим образом для разных наполнителей и температур воспламенения 673 и 1143 К соответственно:

- наполнитель $CaCO_3$

$$Fe_{5,25}S_{10,5}Ca_{0,7}C_{0,7}O_{20,84} \rightarrow 1{,}64Fe_2O_3 + 0{,}7CO_2 + 1{,}96FeS_2 + 0{,}7CaSO_4 + 5{,}8SO_2 ;$$

$$Fe_{5,25}S_{10,5}Ca_{0,7}C_{0,7}O_{20,84} \rightarrow 2{,}67FeS + 0{,}69CO_2 + 0{,}24S_2 + 0{,}7CaSO_4 + 6{,}6SO_2 + 0{,}85Fe_3O_4 ;$$

- наполнитель KCl

$$Fe_{5,25}S_{10,5}K_{0,94}Cl_{0,94}O_{18,74} \rightarrow 0{,}94KCl + 1{,}7Fe_2O_3 + 1{,}84FeS + 6{,}8SO_2;$$

$$Fe_{5,25}S_{10,5}K_{0,94}Cl_{0,94}O_{18,74} \rightarrow 2{,}4FeS + 0{,}908KCl + 0{,}937Fe_3O_4 + 7{,}4SO_2 + 0{,}27S_2 + 0{,}0206KCl^{газ};$$

- наполнитель NH_4Cl

$$Fe_{5,25}S_{10,5}N_{1,3}Cl_{1,3}H_{5,2}O_{18,74} \rightarrow$$
$$\rightarrow 1{,}4Fe_2O_3 + 2{,}17FeS_2 + 2{,}17H_2O + 2{,}27FeCl_3 + 0{,}84HCl + 6{,}14SO_2 + 0{,}65N_2;$$

$$Fe_{5,25}S_{10,5}N_{1,3}Cl_{1,3}H_{5,2}O_{18,74} \rightarrow$$
$$\rightarrow 0{,}74Fe_3O_4 + 1{,}93H_2O + 2{,}97FeS + 1{,}23HCl + 6{,}9SO_2 + 0{,}27S_2 + 0{,}65N_2.$$

Анализ результатов расчета и эксперимента позволяет сделать вывод о том, что хлориды металлов и хлористый аммоний ведут себя как флегматизаторы по отношению к горению и взрыву сульфидной пыли, а карбонат кальция является ингибитором.

Для выяснения влияния наполнителей на температуру продуктов взрыва были проведены эксперименты на модельных зарядах гексогена. Температура измерялась цветовым методом. На основе экспериментальных данных построена графическая зависимость изменения температуры продуктов взрыва от процентного содержания различных наполнителей одинаковой дисперсности (средний размер частицы примерно $25 \cdot 10^{-6}$ м). Полученные результаты (рис.2) показывают, что введение в состав гексогена 10 % инертных добавок снижает температуру продуктов детонации с 4200 К (чистый порошкообразный гексоген) до 3000 К. Дальнейшее увеличение содержания солей в пределах испытанных значений влияет на снижение температуры незначительно. Такая закономерность изменения температуры обусловлена значительным разогревом частиц наполнителей за счет всестороннего ударного сжатия и обтекания их высокотемпературными продуктами детонации.

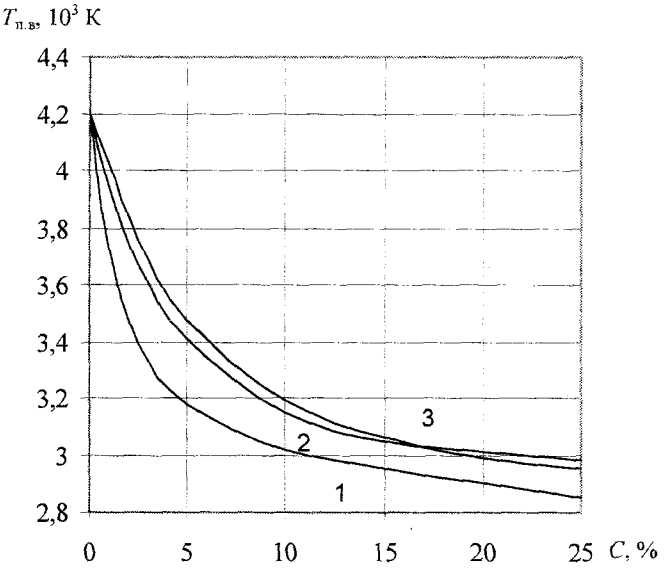


Рис.2. Зависимость температуры продуктов взрыва $T_{п.в}$ от содержания наполнителей в составе ВВ
1 – NH_4Cl, 2 – $CaCO_3$, 3 – KCl

Для обоснования применения в составе ВВ карбоната кальция как ингибитора взрыва сульфидной пыли необходимо решить задачу о прогреве частиц наполнителя при взрыве заряда ВВ, так как ингибирующие свойства карбоната кальция могут быть проявлены только при условии его диссоциации.

Решение поставленной задачи осуществлялось методами математического моделирования. Предполагалось, что применение профилированной забойки позволит задержать истечение продуктов взрыва (ПВ) из шпура, обеспечив тем самым условия для диссоциации частиц наполнителя и максимально возможных потерь энергии ПВ.

В качестве объектов моделирования использовались составы промышленных ВВ: АС-4, АС-8, 6ЖВ с 5-процентной добавкой наполнителя $CaCO_3$ в качестве ингибитора и NH_4Cl, KCl – флегматизатора. Радиус частиц наполнителя менялся в диапазоне от 10 до 150 мкм.

Рассмотрим следующую математическую модель процесса разогрева частиц наполнителя ПВ. Частицы кальцита равномерно распределены по всему объему ВВ и имеют форму шара одинакового диаметра. Поскольку длительность задержки ПВ в шпуре с помощью профилированной забойки примерно $15 \cdot 10^{-3}$ с, что существенно больше времени детонации заряда и распространения по нему волны разгрузки ($0{,}8 \cdot 10^{-3}$ с), будем считать процесс взаимодействия частиц с ПВ «квазистатическим». Тогда температура и давление распределены равномерно по всему объему шпура и неизменны.

Температура ПВ в шпуре в этом случае [1]

$$T_ш = T_0 \left(\frac{\rho_ш}{\rho_0} \right)^{k-1},$$

где T_0 – температура ПВ при мгновенной детонации; ρ_0 – плотность ПВ при детонации; $\rho_ш$ – плотность ПВ в шпуре; $k = 1{,}3$ – коэффициент адиабатического расширения ПВ.

Соотношение плотностей ПВ определяется из закона сохранения массы

$$\frac{\rho_0}{\rho_ш} = \left(\frac{d_ш}{d_0} \right)^2,$$

где d_0 и $d_ш$ – диаметры заряда и шпура соответственно.

Начальная температура ПВ

$$T_0 = T_в\left(1-\alpha_1\frac{\rho_0}{\rho}\right),$$

где $T_в$ – температура ПВ чистого ВВ; α_1 – концентрация наполнителя в ВВ; ρ – плотность наполнителя.

Тогда температура в шпуре на время задержки ПВ

$$T_0 = T_в\left(1-\alpha_1\frac{\rho_0}{\rho}\right)\left(\frac{d_0}{d_ш}\right)^{2(k-1)}. \quad (1)$$

Будем считать, что в связи с кратковременностью ударного нагружения частиц наполнителя детонационной волной основным механизмом их разогрева будет конвективный теплообмен с обтекающими их ПВ. При этом диссоциация частиц начнется, когда температура во всем объеме шара достигнет критической величины. Поскольку кальцит при температуре 1200 К диссоциируется без плавления на CaO и CO_2 [1, 2], то температуру 1200 К и следует считать критической. Поставленную задачу стационарного конвективного теплообмена можно решить методом разделения переменных Фурье. Тогда общее решение примет вид

$$\Theta_1(r,t) = \sum_{n=1}^{\infty} C_n \frac{\sin\mu_n\frac{r}{R}}{r} e^{-\mu_n^2 F_0},$$

где μ_n – собственные числа; $F_0 = \frac{a}{R^2}t$ – критерий Фурье; R – радиус шпура; r – радиус частицы; C_n – постоянные, определяемые из начального условия в виде $\Theta_1(r,t) = \Theta_{10} = T_{ср} - T_0$; $T_{ср}$ – средняя температура разогрева шара.

Тогда

$$\Theta_{10} = \sum_{n=1}^{\infty} C_n \frac{\sin\mu_n\frac{r}{R}}{r}.$$

Используя также метод Фурье, найдем

$$C_n = \frac{2(\sin\mu_n - \mu_n\cos\mu_n)}{(\mu_n - \sin\mu_n\cos\mu_n)}\frac{R}{\mu_n}.$$

Окончательно общее решение задачи имеет вид

$$\Theta = \frac{T(r,t)-T_0}{T_{ср}-T_0} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty}\frac{2(\sin\mu_n - \mu_n\cos\mu_n)}{\mu_n - \sin\mu_n\cos\mu_n}\frac{R}{r\mu_n}\sin\mu_n\frac{r}{R}e^{-\mu_n^2 F_0}. \quad (2)$$

Зная закон изменения температуры в шаре во времени (2), можно не только рассчитать температуру шара в любой точке и для любого момента времени, но и определить количество тепла, расходуемого на его разогрев. При этом для простоты решения достаточно определить среднюю интегральную температуру по его толщине:

$$\overline{T}(t) = \frac{1}{R^2}\int_0^R r^2 T(r,t)dr. \quad (3)$$

Подставляя в интеграл (3) зависимость температуры от времени в виде (2) и интегрируя, получим

$$\overline{\Theta} = \frac{\overline{T}(t) - T_0}{T_{cp} - T_0} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} B_n e^{-\mu_T^2 F_0},$$

где $B_n = \frac{6B_i^2}{\mu_n^2(\mu_n^2 + \mathrm{Bi}^2 - \mathrm{Bi})}$ – постоянные коэффициенты; Bi – число Био.

Зная среднюю температуру разогрева шара, легко определить удельный расход тепла:

$$q_{уд} = c\rho\left[\overline{T}(t) - T_0\right],$$

и полный расход тепла на разогрев частицы за время t:

$$q = q_{уд}\frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi r^3 c\rho\left[\overline{T}(t) - T_0\right],$$

где c – теплоемкость частиц вещества.

Учитывая, что число частиц наполнителя в ВВ

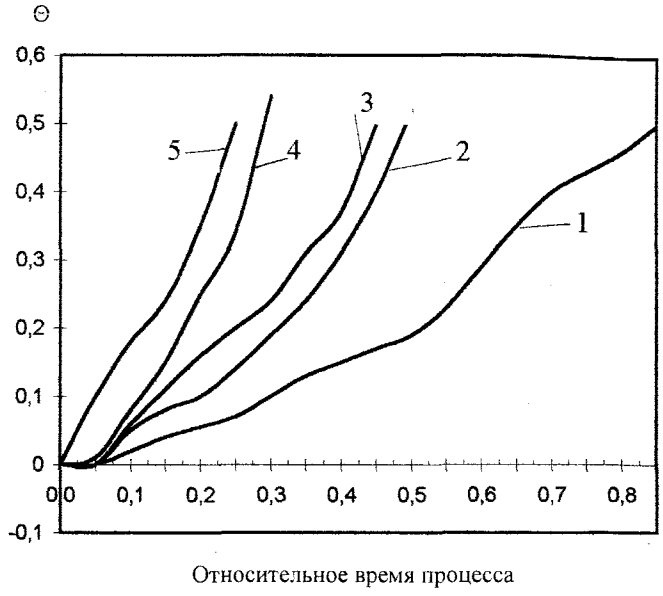


Рис.3. Изменение температуры от времени процесса в центре частицы радиусом 10, 25, 50, 75 и 100 мкм (соответственно кривые 1, 2, 3, 4 и 5)

$$N = \frac{\alpha_1 m_{ВВ}}{0{,}75\pi r^3}$$

(здесь $m_{ВВ}$ – масса заряда ВВ), можно определить теплопотери на разогрев наполнителя:

$$Q_1 = \alpha_1 c m_{ВВ}\left[\overline{T}(t) - T_0\right].$$

Отсюда снижение температуры в ПВ за счет теплопотерь на разогрев наполнителя

$$\Delta T_1 = \alpha_1 \frac{c}{c_{ВВ}}\left[\overline{T}(t) - T_0\right], \qquad (4)$$

где $c_{ВВ}$ – теплоемкость ВВ.

По представленной математической модели были произведены расчеты параметров процесса разогрева частиц кальцита и других веществ (рис.3, 4).

Полная диссоциация частицы считалась наступившей, когда температура в центре шара достигала температуры диссоциации кальцита. В относительных единицах $\Theta = 0{,}5$.

Учет того, что распад частиц происходит постепенно по достижению каждым эле-

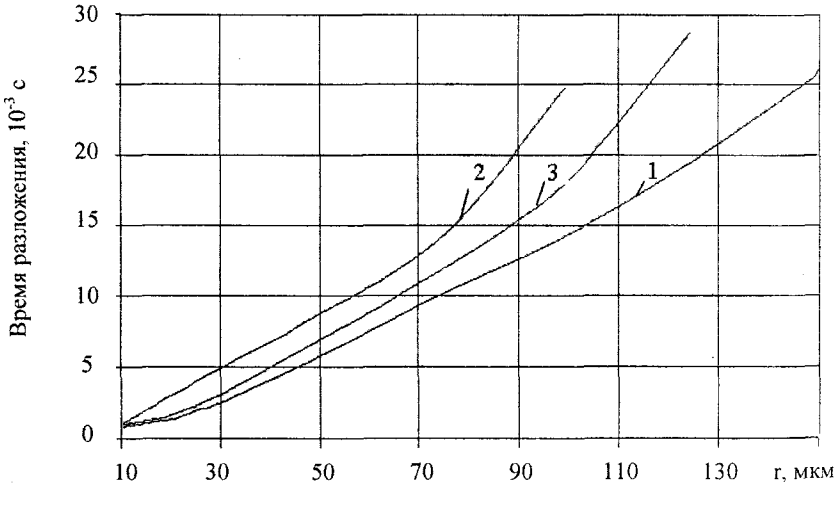


Рис.4. Зависимость времени разложения частиц от их размера
1 – $CaCO_3$, 2 – NH_4Cl, 3 – KCl

ментом внутреннего объема температуры $\Theta = 0{,}5$, расчет производился в рамках решения вышеприведенной задачи при пошаговом анализе температур внутри объема шара (табл.1).

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы. За время задержки истечения ПВ с помощью профилированной забойки, как показывают расчетные данные, произойдет полная диссоциация частиц кальцита радиусом от 10 до 100 мкм. Частицы бóльших размеров полностью не диссоциируются, однако большая часть их массы также разлагается. Так, при прогреве частиц радиусом 100 мкм за 15 мс он уменьшается до 71 мкм. Такое изменение размеров частицы означает, что почти 88 % ее распалось.

Кинетические кривые разогрева центра частиц во времени (см. рис.3), показывают, что разогрев частиц меньших размеров происходит более медленно и плавно, и только когда температура наружной поверхности частицы достигнет критической, процесс разогрева ускоряется. Следует отметить, что на рис.3 масштаб времени относительный, определяемый критерием Фурье, связывающим время процесса, размеры частицы и ее теплофизические параметры. Относительно медленный разогрев частиц меньшего размера определяется снижением числа Био для этих частиц, которое, в свою очередь, определяется их размером.

Как показывают результаты (табл.1), для частиц меньших размеров время прогрева наружной поверхности и время полного распада частицы незначительно отличаются друг от друга, т.е. основное время процесса для этих частиц занимает установление баланса между частицей и продуктами в результате теплообмена, после чего процесс распада частиц происходит с высокой скоростью. Вообще малое отличие t_1, t_2 и t'_2 практически во всем диапазоне размеров исследованных частиц связано с резким ухудшением условий теплообмена, с уменьшением размеров частиц во время постепенного распада.

Таблица 1

Результаты расчета процесса разогрева и распада частиц наполнителя $CaCO_3$

Размер частиц, 10^{-6} м	Bi	t_1, 10^{-3} с	t_2, 10^{-3} с	t'_2, 10^{-3} с	$\overline{\Theta}_{ср}$
10	0,26	0,56	0,64	0,63	0,55
25	0,65	1,2	1,5	1,44	0,63
50	1,35	4,5	5,8	5,5	0,71
75	1,95	5,7	10,2	9,5	0,77
100	2,6	5,9	14,2	13,1	0,79
150	4,1	5,0	27,5	24,1	0,56

Примечание. t_1 – время нагрева наружной поверхности до температуры распада; t_2 – время нагрева центра шара до температуры распада; t'_2 – время прогрева центра шара до температуры распада с учетом постепенного распада частиц; $\overline{\Theta}_{ср}$ – средняя безразмерная температура в шаре в момент его распада.

Следует отметить, что процессом распада частиц можно управлять не только с помощью изменения их размеров. Изменяя такие характеристики наполнителя, как плотность, теплоемкость и теплопроводность, которые входят в состав критериев Био и Фурье, можно также управлять процессом диссоциации. Рост плотности и теплоемкости аналогичен увеличению размеров частиц, а увеличение теплопроводности – уменьшению их размеров.

График зависимости средней температуры частицы от ее размеров (см. рис.4) показывает, что с ростом размера частиц растет и ее средняя температура, а значит, растут и удельные потери и, как следует из формулы (4), уменьшается температура ПВ.

Увеличение концентрации наполнителя приводит к дальнейшему снижению температуры ПД. Максимальный эффект может быть получен при качественном запирания ПД и при использовании частиц наполнителя максимальных размеров, при которых возможна полная диссоциация частиц.

При отсутствии профилированной забойки в шпуре процесс диссоциации частиц будет иным. В этом случае частицы наполнителя будут находиться в условиях, описанных выше, только до момента истечения ПВ из шпура.

Таким образом, выполненные расчеты подтверждают возможность применения в составе ВВ карбоната кальция в качестве ингибитора воспламенения и взрыва сульфидной пыли.

Наличие инертного наполнителя в составе промышленного взрывчатого вещества влияет на его детонационную способность, снижает температуру продуктов взрыва.

Сравнение расчетных данных с экспериментальными [4] показывает хорошую сходимость до 15-процентного содержания наполнителей в заряде ВВ. Дальнейшее увеличение содержания наполнителей в заряде приводит к значительному расхождению результатов эксперимента с расчетом. Обусловлено это тем, что увеличение концентрации наполнителей заметно разбавляет смесь и способствует снижению удельной энергии на единицу поверхности наполнителя. Это приводит к уменьшению температуры разогрева частиц добавки и снижению их теплопоглотительных свойств, поэтому в дальнейшем наполнитель ведет себя как инертная добавка.

Таким образом, влияние инертной добавки на свойства ВВ зависит не только от степени ее измельчения, но и от содержания в составе ВВ.

Для исследования взаимосвязи влияния ингибиторов горения и взрыва сульфидной пыли в составе ВВ на выброс сернистого газа была проведена серия опытных взрывов на Гайском руднике в забоях тупиковых выработок, пройденных по сульфидным рудам, опасным по взрыву сульфидной пыли. Для создания наиболее благоприятных условий воспламенения пыли профилактические мероприятия по предотвращению взрывов пыли не применялись.

Для экспериментов были выбраны два наполнителя: хлористый калий как флегматизатор по отношению к воспламенению сульфидной пыли (серия 1) и карбонат кальция как ингибитор (серия 2). Радиус частиц наполнителей 100-500 мкм, дополнительному измельчению эти добавки не подвергались. В качестве ВВ применялся аммонит 6ЖВ. Были изготовлены заряды аммонита с содержанием наполнителей 5, 10, 15 и 30 %.

Для опытных взрывов бурились шпуры диаметром 45 мм и глубиной 1,8 м. Масса шпурового заряда во всех опытах была одинаковой и составляла 1 кг. Чтобы снизить влияние свойств горных пород на результаты взрывов, за один прием взрывалось четыре одинаковых заряда. В каждой серии опытов взрывались заряды различной конструкции.

Измерение концентрации сернистого газа осуществлялось хроматографическим методом с использованием переносного хроматографа ХПМ-4. Контроль замера газа проводился экспресс-методом с помощью прибора ГХ.

Серия опытных взрывов была проведена по сплошной пиритовой руде с содержанием пиритной серы 47,2 %, с коэффициентом взрывчатости руды 1,85.

Таблица 2

Изменение концентрации сернистого газа после взрыва

Номер опыта	Конструкция заряда		Концентрация SO_2 после взрыва через времена t, %	
	Концентрация наполнителя, %	Наличие забойки	t = 5 мин	t = 15 мин
1	–	Нет	0,05/0,047	0,0042/0,0128
2	5	Есть	0,027/0,015	0,0058/0,0018
3	10	–"–	0,024/0,005	0,0046/0,00087
4	15	–"–	0,022/0,0027	0,0034/0,00043
5	30	–"–	0,018/0,0012	0,0029/0,00024
6	10	Нет	0,036/0,026	0,004/0,002
7	–	Есть	0,32/0,315	0,052/0,17

Примечание. В числителе и знаменателе – для серий 1 и 2 соответственно

Анализ результатов (табл.2) показывает, что хлористый калий проявляет свои свойства как флегматизатор и на снижение выброса сернистого газа существенно не влияет. Увеличение его содержания в составе ВВ до 30 % снижает детонационные характеристики заряда и ведет к уменьшению выброса двуокиси серы. Карбонат кальция более эффективно проявляет свои ингибирующие свойства. При содержании в составе ВВ 10-15 % $CaCO_3$ выброс сернистого газа уменьшается по отношению к чистому ВВ с 0,315 до 0,075 %. Дальнейшее увеличение содер-

жания карбоната кальция в составе ВВ, очевидно, нежелательно, так как ведет к снижению детонационных характеристик ВВ и уменьшает эффективность взрыва.

Результаты экспериментов продемонстрировали также эффективность работы профилированной забойки. Присутствие забойки исключает взрыв сульфидной пыли, но одновременно за счет вынужденного выжигания серы увеличивает выброс сернистого газа. Для борьбы с этим отрицательным явлением необходимо введение в состав ВВ наполнителей-ингибиторов, наличие которых даже в отсутствии забойки приводит к снижению выброса сернистого газа.

Таким образом, результаты экспериментов подтверждают высокую эффективность введения карбоната кальция в состав ВВ с целью предупреждения взрыва сульфидной пыли и снижения выброса сернистого газа, а также применения профилированной забойки как средства предупреждения взрыва пыли.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Баум Ф.А.* Термостойкие взрывчатые вещества и их действие в глубоких скважинах / Ф.А.Баум, А.С.Державец, Н.С.Санасарян и др. М.: Недра, 1969.

2. *Баум Ф.А.* Физика взрыва / Ф.А.Баум, Л.П.Орленко, К.П.Станюкович и др. М.: Наука, 1975.

3. *Парамонов Г.П.* Исследование эффективности применения газодинамических запирающих устройств в качестве забойки скважинных зарядов / Г.П.Парамонов, М.Г.Менжулин, Ю.А.Миронов, А.Н.Шишов // Взрывное дело. 1998. № 91/48.

4. *Парамонов Г.П.* Предупреждение взрывов сульфидной пыли на колчеданных рудниках / Санкт-Петербургский горный ин-т. СПб, 1999.

5. Пат. 2148784. Россия. Шпуровая забойка / Г.П.Парамонов, В.А.Артемов, Ю.А.Миронов // Бюл. изобр. 2000. № 13.