

ПЫЛЬ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Узагальноно сучасні дані про властивості вугільного та породного пилу, що утворюється при веденні гірничих робіт у шахтах. Наведено дані про вибуховість вугільного пилу. Розглянуто вражаючі фактори об'ємного вибуху пило - газо - повітряних сумішей (ПГПС). Оцінюється ефективність сучасних способів попередження та локалізації ПГПС.

Ключові слова: шахта, вугільний пил, вибух, захист.

Обобщены современные данные о свойствах угольной и породной пыли, образующейся при ведении горных работ в шахтах. Приведены данные о взрывчатости угольной пыли. Рассмотрены поражающие факторы объёмного взрыва пыле – газо - воздушных смесей (ПГВС). Оценивается эффективность современных способов предупреждения и локализации ПГВС.

Ключевые слова: шахта, угольная пыль, взрыв, защита.

Summarizes current data on the properties of coal and rock dust generated during mining operations in the mines. The data on the explosiveness of coal dust. Examined the factors affecting the volume explosions of dust - the gas - air mixtures (DGAM). Assesses the effectiveness of modern methods of prevention and containment DGAM.

Key words: mine, coal dust, explosion, protection.

Настоящая статья имеет целью обобщить современные сведения о свойствах пыли угольных шахт. Ее содержание будет полезно прежде всего для горных инженеров угледобывающих предприятий.

1. Вещественный состав угольной пыли.

Шахтная пыль состоит в основном из угольных и породных частиц. В ее состав могут входить примеси металлов, которые образуются при истирании коронок рабочих органов выемочных и проходческих машин, рельсов и других трущихся металлических поверхностей. Качественный состав угольной пыли определяется инградентами угля в массиве, а породной – минералогическим составом вмещающих пород и породных прослоев. Количественное и качественное содержание компонентов в составе пыли несколько отличается от массива, что объясняется различными физическими свойствами – хрупкостью твердостью и т.д.

Наиболее полно вещественный состав шахтной пыли изучался в МакНИИ. Во вмещающих породах шахт Донбасса минеральный спектр представлен следующими видами: кварц, полевые шпаты, слюды, гидрослюды, кальцит, доломит, магнезит. Сернистые соединения железа (пирит, марказит), окислы и гидроокислы железа, лимонит, сидерит – распространены в виде примесей. Тяжелые минералы (циркон, рутил, турмалин) встречаются в незначительном количестве.

С точки зрения влияния на возникновение профзаболеваний вредность пыли определяется двумя факторами – размером пылевых частиц и минеральным составом витающей пыли. Известно, что аэрозольные частицы диаметром 10 мкм и немного выше оседают в бронхах человека и являются причиной пылевого бронхита. Развитие пневмокониоза определяется накоплением в альвеолах легких пылеватых частиц диаметром 2,5 мкм. Более крупные частицы диаметром до 8 мкм проникают в альвеолы в

незначительном количестве, однако они гораздо медленнее выводятся из организма. По данным О.Н. Лисая в пробе пыли весом 125,3г содержание частиц размером 0-0,05мм составляет 24,09%.

Из всех ингредиентов вещественного состава, содержание которых определяет вредность пыли для здоровья человека наиболее опасна свободная и связанная двуокись кремния. Обобщенные сведения о содержании SiO_2 свободного в витающей пыли очистных забоев донецких углей (по данным МакНИИ) приведены в таблице 1.

Таблица 1

Содержание SiO_2 свободного в пыли углей Донбасса.

| Группы разрабатываемых пластов | Марка углей | Зольность пластовая. % | Содержание SiO_2 в золе % | Расчетное содержание свободного SiO_2 % |
|--------------------------------|--------------------|------------------------|------------------------------------|--|
| Крутые пласты | Г, К, ГЖ, ТОС, ПА | 28,5 | 39 | 3,3 |
| Антрациты | ТА, ПА | 20,2 | 43 | 3,9 |
| Пологие пласты сухих углей | Д, Г, ГЖ, К, ОС, Т | 19,5 | 38 | 3,0 |
| Пологие пласты влажных углей | Д, Г, Ж | 22,5 | 47 | 5,5 |

Как видно из таблицы, наибольшее содержание двуокиси кремния приурочено к пластам с влажными углями, которые развиты в Красноармейском угленосном районе.

Забои подготовительных, очистных выработок, места перекрепления и подрывки горных выработок и другие рабочие места, где в витающей пыли содержание свободной двуокиси кремния в течение рабочей смены составляет 10% и более относятся к силикозоопасным. Установление таких мест осуществляется геологической службой шахты на основе лабораторных определений качественного и количественного состава пыли. Отбор проб витающей пыли осуществляется работниками ВГСЧ, а лабораторный анализ производится компетентными геолого-разведочными организациями. Общие сведения о содержании SiO_2 свободного в различных литотипах боковых пород приводятся в геологических отчетах по детальной разведке или переоценке запасов шахтного поля.

2. Дисперсный состав пыли и форма частиц.

Пыль это мелкие частицы неправильной формы в виде отдельных зерен или собранных в агрегаты. Форма частиц определяется их размерами по длине, ширине и толщине. По соотношению этих размеров выделено 6 морфотипов. Преобладание того или иного типа зависит от структуры, излома, твердости, хрупкости угля. Для частиц более 40 микрон их форма определяется микротрещиноватостью углей. Для практической характеристики формы мелкой частицы используют следующие понятия: эквивалентный диаметр (диаметр шара с объемом, равным объему частицы) d_v , проекционный диаметр (диаметр круга с площадью, равной площади проекции частицы) d_n , сидементационный диаметр (диаметр шара, имеющего одинаковую с частицей скорость падения) d_c .

Частицы размером более 10 мкм оседают в неподвижном воздухе с возрастающей скоростью и не диффундируют; размером 0,25-10 мкм – оседают с постоянной скоростью; размером менее 0,25 мкм – находятся в броуновском движении и энергично

диффундируют. Скорость оседания частиц V м/сек, в зависимости от размера, описывается уравнением Стокса:

$$V = \frac{d \cdot p}{18\mu}, \text{ (м/сек)} \quad (1)$$

где: d – размер частиц, м; p – плотность частицы, кг/м³; μ – динамическая вязкость воздуха, Н/м².

Угольная пыль размером 10 мкм на расстоянии 1м от почвы достигает ее за 4 мин., а при диаметре 1 мкм – за 7 часов. Частицы диаметром 1-2мкм практически не оседают. Степень дисперсности угольной пыли в шахтах определяется физико-механическими свойствами угля, способами разрушения массива, видом погрузки, скоростью и турбулентностью вентиляционных потоков. Для практической оценки дисперсности угольной пыли пользуются понятием массового содержания каждого размера.

По данным МакНИИ, основанным на более чем 4000 проб по 80 шахтам составлена таблица дисперсного состава витающей пыли (табл. 2).

Таблица 2.

Массовое содержание витающей пыли в углях пологих пластов Донбасса.

| Марка угля | Среднее содержание пластовой влаги, % | Средняя зольность пласта, % | Средний выход летучих веществ, % | Средняя Относительная пористость угля, % | Средний объем пор занятых влагой, % | Среднее массовое содержание фракций (%) взвешенной пыли при размерах частиц, мкм | | | | Средний медианный диаметр взвешенной пыли, мкм |
|---|---------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|--|-------------------------------------|--|------|-------|----------|--|
| | | | | | | Менее 5 | 5-10 | 10-30 | более 30 | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Очистные забои | | | | | | | | | | |
| А | 6.5 | 17 | 4.0 | 12.3 | 4.2 | 6 | 12 | 44 | 38 | 24 |
| ПА | 6.3 | 18 | 6.0 | 10.3 | 4.1 | 3 | 9 | 57 | 31 | 23 |
| Т | 6.0 | 16 | 11.5 | 8.1 | 4.0 | 9 | 13 | 46 | 32 | 22 |
| ОС | 5.0 | 17 | 17.0 | 9.7 | 3.4 | 12 | 11 | 36 | 41 | 21 |
| К | 5.5 | 17 | 23.5 | 10.0 | 3.9 | 12 | 13 | 40 | 35 | 22 |
| Ж | 6.5 | 22 | 31.0 | 12.7 | 4.6 | 15 | 12 | 30 | 43 | 24 |
| Г | 11.5 | 18 | 35.5 | 15.8 | 8.6 | 7 | 10 | 37 | 46 | 29 |
| Д | 14 | 18 | 41.0 | 18.6 | 10.8 | 6 | 11 | 33 | 50 | 30 |
| Б | - | - | - | - | - | 7 | 9 | 31 | 53 | 33 |
| Забои подготовительных выработок | | | | | | | | | | |
| А | 6.0 | 17 | 3.4 | 13.6 | 4.0 | 4 | 7 | 23 | 66 | 42 |
| ПА | 5.3 | 16 | 6.5 | 9.9 | 3.5 | 3 | 5 | 29 | 63 | 40 |
| Т | 3.7 | 20 | 14.0 | 8.6 | 2.4 | 3 | 5 | 29 | 63 | 38 |
| ОС | 4.7 | 17 | 17.0 | 9.7 | 3.6 | 7 | 10 | 33 | 50 | 30 |
| К | 3.9 | 17 | 21.6 | 10.6 | 2.8 | 7 | 9 | 33 | 51 | 31 |
| Ж | 5.6 | 14 | 28.4 | 12.8 | 4.2 | 10 | 10 | 29 | 51 | 32 |
| Г | 7.8 | 16 | 37.3 | 17.3 | 5.1 | 5 | 6 | 21 | 68 | 50 |
| Вентиляционные штреки вблизи лав | | | | | | | | | | |
| А | 5.7 | 17 | 3.9 | 12.9 | 3.7 | 10 | 13 | 47 | 30 | 20 |
| ПА | 3.3 | 14 | 6.5 | 10.8 | 2.2 | 10 | 15 | 48 | 27 | 19 |
| Т | 5.0 | 18 | 13.5 | 8.7 | 3.4 | 10 | 16 | 54 | 20 | 17 |
| ОС | 4.7 | 17 | 17.0 | 9.7 | 3.0 | 15 | 16 | 45 | 24 | 16 |
| К | 4.9 | 16 | 20.5 | 9.9 | 3.5 | 12 | 17 | 51 | 20 | 16 |
| Ж | 4.2 | 22 | 27.4 | 12.5 | 2.0 | 17 | 15 | 42 | 26 | 16 |
| Г | 7.9 | 19 | 37.1 | 16.8 | 6.1 | 9 | 16 | 53 | 22 | 18 |
| Д | 16.0 | 18 | 40.0 | 18.6 | 12.4 | 9 | 9 | 34 | 48 | 27 |

Из таблицы видно, что размеры частиц увеличиваются с повышением пористости и влажности углей. Наибольший размер пылеватых частиц зафиксирован в забоях подготовительных выработок, а наименьший в вентиляционных штреках вблизи лав.

3. Электрические свойства пыли.

Частицы пыли несут на себе определенный электрический заряд. Электризация происходит как в результате адсорбции ионов из газовой среды, так и в результате трения частиц о различные поверхности и друг о друга. В потоке пыли всегда есть положительно и отрицательно заряженные частицы. Установлено, что сразу после распыления 90 частиц из 100 приобретают заряд. Величина заряда определяется диэлектрической проницаемостью углей. Со временем величина заряда снижается, а знак заряда может поменяться на противоположный. Максимальные значения удельной напряженности получены для коксующихся углей марок Ж, К, О, С, а минимальные для марок Д, Г, Т. Электризация возрастает с увеличением скорости воздуха, снижения температуры и влажности воздушной среды.

4. Оптические свойства.

Свет, проходя через пылевую среду, ослабляется из-за рассеяния и адсорбции.

Интенсивность рассеяния зависит от размера частиц, их концентрации, коэффициента преломления и угла рассеяния. В целом интенсивность рассеяния зависит от параметра $\xi = 2\pi r_c$ (r_c – размер частицы). При ξ значительно меньше 1 рассеяние пропорционально r_c^6 (для частиц размером до 1 мкм). При $\xi = 1$ рассеяние пропорционально r_c^n при $n = 2 \dots 6$ (для частиц размером 0,1 – 1 мкм). При ξ больше 1 интегральная интенсивность рассеяния пропорциональна r_c^2 . Явление поглощения света подчиняется закону Бугера:

$$I_{\text{пр}} = I_0 e^{-kl} \quad (2)$$

где $I_{\text{пр}}$ – интенсивность света, прошедшего через частицы пыли, лк; I_0 – интенсивность падающего на пыль света, лк; k – коэффициент поглощения света; l – толщина поглощающего слоя, м.

Поглощение зависит от дисперсности пыли. По мере приближения размера частиц к длине световой волны поглощение света увеличивается. На основе оптических свойств света создан прибор для замера концентрации угольной пыли в горных выработках.

5. Взрывчатые свойства угольной пыли.

Угольная пыль способна взрываться. В Донбассе начало изучения взрывчатости угольной пыли было положено Д.Г. Левицким, Н.Н. Черницыным в 1910г. в Макеевской центральной спасательной станции. Их работами, проведенными в 1914-1915г.г., были признаны опасными по взрывчатости угольной пыли 24 пласта на шахтах Донбасса. На сегодняшний день установлено, что основными факторами, влияющими на взрывчатость угольной пыли, являются ее дисперсность, концентрация, выход летучих веществ, зольность, содержание влаги, вид источника воспламенения и состав рудничного воздуха. Во взрыве принимают участие частицы размером до 1000 мкм. В наибольшей степени взрывчатыми свойствами обладают частицы размером до 75 мкм. Максимум взрывчатости наблюдается во фракции менее 10 мкм. Далее она снижается ввиду аутогезии мелких частиц. Таким образом, по мере удаления от источника образования пыль становится более взрывоопасной. С увеличением выхода летучих веществ (V^r)

взрывчатость пыли также возрастает. По данным МакНИИ, при $V^r = 15\%$ все пробы оказались взрывчатыми. Для углей с $V^r = 15...30\%$ прослеживается закономерность между содержанием метана в продуктах пиролиза и степенью взрывчатости пыли. При $V^r < 6\%$ угольная пыль становится не взрывчатой. Это свидетельствует о том что, взрыв пыли происходит в газовой фазе, т. е. в процессе зарождения и распространения взрыва решающую роль играют аэрозвеси – газообразные продукты пиролиза. Для протекания химических процессов пиролиза необходимо определенное время температурного воздействия (“розжиг”), которое называется периодом индукции. Для разных стадий метаморфизма углей, а значит и для различных значений V^r , период индукции взрыва составляет 40...250 мс. Концентрация газов пиролиза, достаточная для протекания, взрыва составляет не более 42% от их полного объема. Температура воспламенения угольной пыли, в зависимости от V^r , составляет 850...1120К. Скорость движения фронта пламени при взрыве пыли превышает скорость звука ($M > 1$). Впереди фронта пламени распространяется мощная волна детонации с давлением на ее фронте до 10 МПа. Механизм воспламенения и горения летучих веществ в углях, в смеси с воздухом является цепочно-тепловым и в этом отношении не отличается от других газоздушных смесей (ГВС).

Взрыв облака пыле-газо-воздушных смесей (ПГВС) является объемным взрывом, в отличие от взрывов конденсированных ВВ (КВВ). При значительной протяженности запыленной горной выработки создаются все условия для мощного объемного взрыва, а ее форма внутренние неровности и загромождения усиливают эффект взрыва. Как показано в работе Гельфанда Б.Е., наличие в полостях, имеющих форму трубы, плоскостей отражения, способствует наложению отраженных ударных волн на основную с увеличением ее разрушительных параметров: температуры, избыточного давления, скорости детонации и т. д.

Основными поражающими факторами объемного взрыва являются – давление на фронте ударной волны, температура и состав продуктов окисления, вакуумный эффект.

Для количественной оценки мощности взрыва ПГВС целесообразно использовать понятие - импульс давления:

$$J_p = P \cdot t, \text{ МПа} \cdot \text{мс} \quad (3)$$

где P – давление на фронте ударной волны, МПа; t – продолжительность действия ударной волны, мс.

Очевидно, что при прочих адекватных условиях разрушительное воздействие объемного “заряда” значительно больше, чем заряда КВВ.

Время полной детонации пылевого облака t_n определяется как:

$$t_n = \frac{r}{\sqrt{2Q_m(y^2 - 1)}}, \text{ с} \quad (4)$$

где Q_m – удельная теплота взрыва (Дж/кг); y - показатель адиабаты продуктов детонации.

Минимальная концентрация пыли, при которой возможно распространение взрыва называется нижним пределом взрывчатости (НПВ). С достаточной для практики точностью НПВ для углей с $V^r = 10-30\%$ можно определять по формуле:

$$C_{\text{НПВ}} = 53,3 \exp(-0,045V^{\Gamma}) + 1,4 \exp(-0,032 V^{\Gamma})A^{\text{с}}, \text{ г/м}^3 \quad (5)$$

где $A^{\text{с}}$ – зольность угольной пыли, %.

Для углей с большим V^{Γ} НПВ может достигать $300 \text{ (г/м}^3\text{)}$. Присутствие метана в горных выработках приводит к усилению взрыва и снижению НПВ. В таких случаях НПВ рассчитывается по формуле

$$C_{\text{CH}_4} = 53,3 \exp(-0,045V^{\Gamma} - 0,69M) + 1,4 \exp(-0,032 V^{\Gamma})A^{\text{с}}, \text{ г/м}^3 \quad (6)$$

где M - содержание метана в % при $0 < M < 6$.

В практических расчетах для определения границы безопасной зоны, т.е. НПВ смеси, можно использовать зависимость:

$$\left(\frac{X_{\text{CH}_4}}{X_{\text{CH}_4, \text{НПВ}}} \right) + \sqrt[3]{\frac{C_{\text{п}}}{C_{\text{пНПВ}}}} = 1 \quad (7)$$

где $C_{\text{п}}$ – концентрация взвешенной угольной пыли, г/м^3 ; $C_{\text{пНПВ}}$ – нижний предел взрываемости пылевоздушной среды конкретного угольного пласта, г/м^3 ; X_{CH_4} – концентрация метана, % об.; $X_{\text{CH}_4, \text{НПВ}}$ – нижний предел взрываемости метановоздушной среды, % об.

Механизм протекания взрыва ГПВС конвективно-теплопроводный: воспламенение очередных слоев происходит от предыдущего. Расширяясь таким образом, высокоскоростные течения за счет инерции создают разрежение за зоной воспламенения. Подобный эффект будет иметь место при воспламенении облака ГПВС в центральной части, когда пламя распространяется в разные стороны от зоны воспламенения (вакуумный эффект). Признаком его служит разрыв сосудов находящихся при атмосферном давлении. При травмировании персонала наблюдается разрывы внутренних органов: легких, печени, черепной коробки ит.п.

В соответствии с требованиями Правил безопасности на шахтах, разрабатывающих пласты опасные по взрывам метана и угольной пыли, наряду с мерами по предупреждению взрывов должна применяться вторая линия пылевзрывозащиты: локализация уже возникших взрывов.

До настоящего времени в Украине и в странах СНГ в качестве второй линии пылевзрывозащиты используют пассивные водяные или сланцевые заслоны. Взрыволокализирующее действие пассивного заслона состоит в создании гасящей среды, представляющей собой облако диспергированного пламегасящего вещества (воды или инертной пыли). При этом сланцевый заслон может локализовать взрыв лишь на определенной стадии развития взрывного процесса и в очень узком диапазоне скоростей распространения пламени: $140 - 280 \text{ м/с}$.

В самом принципе действия сланцевых заслонов заложено противоречие. При слабых взрывах ударная волна не в состоянии опрокинуть полки с инертной пылью, а при больших скоростях движения взрывной волны заслон не успевает сработать (инерционность сланцевых заслонов более 2 с). Авария на шахте Ульяновская (Кузбасс) произошедшая 19.03. 2007г и унесшая более 100 жизней, показала неэффективность сланцевых заслонов. Все заслоны были разбиты и сланцевая пыль рассыпана по горной выработке, однако взрыв угольной пыли не только не был локализован, но продолжал развиваться за ними. В настоящее время в большинстве угледобывающих стран отказались от использования сланцевых заслонов.

Несколько эффективнее применять водяные заслоны из пленочных сосудов типа “водяной мешок”. Подобные водяные заслоны сработали в условиях реальных взрывов на шахтах Кузбасса (Распадская в 2005 г., Кушеяковская в 2006г., Комсомолец в 2007г.) Минимальный эффект от срабатывания водяных заслонов может быть определен по уравнению:

$$P_{\text{пр}} = 0,866 (\ell / 500)^{0,2350} (P_v / P_a - 1)^{0,2701}, \quad (8)$$

где $P_{\text{пр}} = (1 - P/P_v)$;

P – давление за преградой, МПа;

P_v – давление в ударной волне, МПа;

ℓ - длина взрывозащитной части заслона, м;

P_a – атмосферное давление, МПа.

Уравнение (1) справедливо для длины взрывозащитной части заслона в пределах от 5 до 15 м, давлений в исходной ударной волне – не более 1,6 МПа и концентрации воды в заслоне - 30 кг/м³.

Начиная с конца 60-х годов, во многих странах интенсивно проводятся научные исследования по созданию ждущих автоматических систем гашения вспышек (взрывов) в горных выработках шахт.

Одна из них - система АСВП-ЛВ допущена к применению на шахтах Украины.

Условия работы системы автоматической взрывозащиты горных выработок при взрывных работах характеризуют следующие особенности:

- незамкнутость объекта защиты (горной выработки), наличие технологической и аэродинамической связи с другими объектами (забоями), в которых в момент взрыва могут находиться люди;
- большая протяженность горной выработки, наличие в ней куполов и пустот за крепью, в которых возможно образование взрывоопасной смеси;
- наличие в атмосфере горных выработок, кроме газообразной взрывчатой смеси, значительного количества взрывоопасной угольной пыли;
- источник воспламенения взрывоопасной среды - инициирует воспламенение с начальными скоростями от нескольких сантиметров до сотен метров в секунду в зависимости от условия возникновения воспламенения.

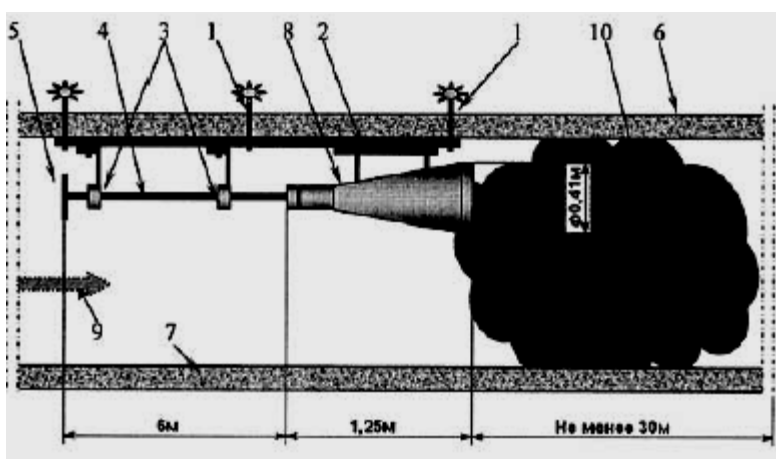


Рис 1. Принципиальная схема установки в горной выработке с использованием анкерного крепления и габаритные размеры АСВП-ЛВ.

1 - анкерное крепление; 2 –подвеска; 3 – поддержки; 4 –выносные штанги; 5 – приёмный щит; 6 – кровля выработки; 7 – почва выработки; 8 –устройство локализации взрыва (УЛВ); 9 –направление распространения взрыва (фронтов ударно-воздушной волны и пламени).

Рабочее давление сжатого воздуха в рабочей полости УЛВ – 12 МПа. Инерционность срабатывания системы - 15 мс. Длина создаваемого заслона (облака) пламегасящей среды не менее 30 м. Масса системы не более 76 кг.

10 таких систем было установлено на шахте Ульяновская (Россия). После взрыва было отмечено, что сработали 5 систем. Остальные не сработали ввиду отсутствия в подошедшей к ним ударной волне с низким, неопасным давлением. За установленными и сработавшими автоматическими системами АСВП-ЛВ - не погиб не один человек. МАК НИИ совместно с НПО «Респиратор» и ОАО «Красный металлист» разработана автоматическая система СВША. Система СВША работает в непрерывном ждущем режиме. При появлении в зоне обзора ДП пламени взрыва (вспышки) метана или угольной пыли последний формирует управляющий сигнал, открывающий электронный ключ блока энергонакопления, от которого импульсом тока воспламеняется пиротехнический электровоспламенитель газогенерирующего заряда. В результате быстрого сгорания газогенерирующего заряда образуется большое количество газов, поступающих в контейнер и выбрасывающих ингибитор в зону очага воспламенения. Благодаря применению фотоприемника, чувствительного в ИК области спектра, и соответствующего оптического фильтра датчик не реагирует на источники рудничного освещения (головные светильники, фары электровоза и других машин). Скорость создания взрывоподавляющей среды не менее 100 м³/с.

В Центральном научно-исследовательском институте химии и механики (г. Москва) разработан пожаротушащий комплекс для угольных шахт, основанный также на принципе мгновенного срабатывания при фиксации световой вспышки (очага воспламенения). Технические характеристики комплекса: время обнаружения очага воспламенения – не более $40 \cdot 10^{-6}$ с; минимальное время задержки срабатывания – не более 0,012 с.

При анализе и обобщении изложенных в статье данных широко использовалась вся информация в приведенном ниже списке литературы.

Список литературы

1. Аналитическая инженерная методика оценки затухания ударных волн при их прохождении через защитные сооружения. – Кемерово, 2003. – 40с.
2. Федорович А.П., Игишев В.Г. Оценка эффективности гашения ударных волн водяными заслонами. – Вестник Научного центра №2 2008г.
3. Борьба с угольной и породной пылью в шахтах / Петунин П.М., Гродель Г.С., Жилиев Н.И. и др./ 2-е изд., перераб. И доп. М.: Недра, 1981. – 271с.
4. Колесниченко Е.А., Колесниченко И.Е. Анализ причин и возможные методы предотвращения взрывов метана и пожаров в шахтах России. - Семинар №5. 2004 г. Интернет сеть.
5. Нецепляев М.И., Кашуба О.И. Автоматическая система взрывобезопасности и защиты сети горных выработок от взрывов метана и угольной пыли. - Доклад на симпозиуме Неделя горняка – 98 Москва, МГУ. Интернет сеть.
6. Забурдяев В.С. Пути предупреждения взрывов метана и угольной пыли в шахтах. - Семинар №5. 2004г. Интернет сеть.
7. Стефанюк Б.М., Сенкус В.В., Лукин К.Д. Физика флегматизации взрыва метано-воздушной смеси. 2008г. - Интернет сеть.

8. Поляков Ю.И. Теория проявления опасности: уровни охраны труда в среде с избыточным давлением после взрыва метановоздушной смеси. - Вестник Научного центра №2 2008г. Интернет сеть.
9. Ильин В.В, Рыбаков А.П., Козлов В.В. Анализ критериев возбуждения взрыва. - Известия Челябинского научного центра, вып. 4 (34), 2006. Интернет сеть.
10. Кардаков С.В., Федорова В.А Оценка поражающего действия взрывов реципиентов и их учет при проектировании производств продуктов разделения воздуха. - Технические газы, №1, 2009. Интернет сеть.
11. Христофоров Б.Д. Влияние свойств источника на действие взрыва в воздухе и в воде. – Физика горения и взрыва, 2004, т. 40 №6.
11. Горлов Ю.В., Горлов А.Ю. Принципы локализации взрывов пылеметановоздушных смесей автоматическими системами в горных выработках. – 2006г. Интернет сеть.
12. Кузьменко С.И., Самошкин В.И., Бучнев И.И., Гуськов В.А., Жигарев В.Д., Кудряшов В.Г. Автоматическая установка для предотвращения взрывов метана и угольной пыли в угольных шахтах. – 2004г. Интернет сеть.
13. Дигнес В.Р., Апальков А.С., Жолудев Е.Р. Ликвидация аварии в ООО «Шахта Листвяжная» ОАО ПО «Сибирь-Углюй». – Интернет сеть.
14. Государственный горный и металлургический надзор. Мероприятия по устранению причин аварии в филиале «Шахта Ульяновская» «ОУК «Южкузбассуголь». Ее последствий и предупреждение подобных происшествий. 05.07.2007г.- Интернет сеть.
15. Подображин А.С. Методы и средства пылевзрывозащиты горных выработок угольных шахт и пылевого контроля. – 2007г. Интернет сеть.
16. Взрывные явления. Оценка и последствия: В 2-х кН. Пер. с англ./ Бейкер У., Кокс П., Уэстайн П, и др.: Под ред. Я.Б. Зельдовича, Б.Е. Гельфанда. – Мир, 1986. – 384 с.
17. Ерыгин А.Т., Охапкин А.Ю. Результаты исследований воспламеняемости нагретых взрывоопасных смесей. –Семинар 22, 2008г. Интернет сеть.
18. Гельфанд Б.Е., Бартенев А.М., Медведев С.П., Поленов А.Н., Хомик С.В. Газодинамические явления при воспламенении и горении гомогенных смесей вблизи неплоских поверхностей. - Рос. Хим. Ж., 2001, т. 65., 3.
19. Подображин С.Н., Джигрин А.В., Горлов Ю.А. Взрывозащита угольных шахт. – «Пожарная автоматика 2007». Интернет сеть.
20. СНиП 2.01.54-84 (1998) Защитные сооружения гражданской обороны в подземных горных выработках