

УДК 69.059.4:69.059.7

М.М.Торегельдин, О.Б.Сельдюгаев, Н.К.Танашева

*Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова
(E-mail: seldugaev@rambler.ru)*

Пылевзрывозащита на угольных шахтах с использованием сланцевых заслонов

В статье приведены результаты испытаний сланцевых заслонов различной конструкции в условиях полигона в ударной трубе протяженностью более 100 метров, имитирующей шахтную выработку с использованием метана для производства взрыва. Ударная труба смонтирована из железобетонной трубы марки ТНГ-1420, рассчитанной на рабочее давление до 10 атмосфер. Основным элементом сланцевых заслонов, исследуемых в экспериментах, является инертная пыль, заполненная в стандартные полипропиленовые (бумажные) мешки по 25 кг и полиэтиленовые сосуды водяных заслонов (ВЗП), загружаемые инертной пылью по 10 кг, применяемые в настоящее время на шахтах УД АО «АрселорМиттал Темиртау». Калибровка (тарирование) датчиков давления осуществлялась с помощью специально сконструированной и изготовленной установки и разработанного программного модуля для ПК. Установлено, что сланцевые заслоны обладают эффективным пламегасящим эффектом, а сетчатый заслон понижает энергию ударной волны.

Ключевые слова: безопасность работ, газ метан, угольная пыль, угольная шахта, сланцевый заслон, локализация взрыва, техника безопасности.

Пассивные или конструктивные средства взрывозащиты во всех горнодобывающих странах традиционно оснащаются пламегасящим средством «вода» или «инертная пыль». В то время как вода применяется в так называемых «водяных корытных заслонах» или в заслонах с водяными карманами (мешками), инертная пыль традиционно применяется в так называемых «сланцевых заслонах».

Решения в пользу или против применения определенного пламегасящего средства принимаются как с технической точки зрения, так и под действием влияния других факторов: мнения специалистов исследовательских организаций, активность и технические нововведения поставщиков сосудов для пламегасящих средств, технические предписания горного надзора и т.п.

Находящиеся в настоящее время в международном применении различные альтернативы пассивных противовзрывных заслонов доказали свою эффективность именно в гашении пламени взрыва и, таким образом, право на использование в угольных шахтах.

На шахтах УД АО «АрселорМиттал Темиртау» при выполнении мероприятий по предупреждению и локализации взрывов угольной пыли осуществляются сланцевая пылевзрывозащита, гидрорпылевзрывозащита или их комбинирование. При сланцевой пылевзрывозащите для локализации взрывов устанавливаются сланцевые заслоны с загрузкой инертной пылью. С 2009 г. поставка инертной пыли производится расфасованной в полипропиленовые (бумажные) мешки весом 25 кг (английский стандарт) [1].

Используемые в настоящее время на шахтах пылевзрывозащитные мешки с инертной пылью на полках сланцевого заслона подрезаются по бокам (периметру) с целью мгновенного их распыления по сечению выработки при взрыве метана и угольной пыли. Однако в процессе эксплуатации сланцевая пыль со временем высыпается из боковых надрезов, вследствие чего часть порошкового

заслона теряется и соответственно при взрыве снижается его пылевзрывогасящий эффект. Поэтому частью исследований является исключение потерь сланцевого заслона в полипропиленовых мешках путем нанесения разреза в средней части в виде (X), за исключением уголков.

При использовании водяных заслонов в полиэтиленовых сосудах, подвешиваемых на крючках к крепи по периметру выработки, происходит значительная потеря влаги из-за естественного ее испарения, что требует частого (периодического) пополнения сосуда водой до необходимого объема и, соответственно, значительных трудозатрат. С целью исключения последних возникла необходимость исследовать эффективность работы пылевых заслонов взамен водяных путем заполнения полиэтиленовых сосудов водяных заслонов (ВЗП) инертной пылью массой до 10 кг.

Исследования эффективности предлагаемых способов и средств пылевзрывозащиты были выполнены в рамках НИР между ДГП «КазНИИБГП» и УД АО «АрселорМиттал Темиртау» в 2010 г.

Соисполнителем НИР был Центральный штаб профессиональных аварийно-спасательных служб, в частности филиал ВАСС «Көмір» Карагандинского бассейна.

При подготовке испытательного полигона и непосредственно при проведении экспериментальных взрывов для приемочных испытаний порошковых и водяных заслонов в комбинации с огнезащитной сеткой на договорной основе участвовали и другие организации. Расчеты элементов ударной трубы Т-1420 на прочность и техническую экспертизу выполнило ТОО «Интеграл – 2006».

Метрологическое и информационное обеспечение, включающее датчики давления и регистрации пламени, программное обеспечение, разработано и изготовлено АО «Казчерметавтоматика». Работы по монтажу заслонов, установке ограждающих перемычек, формированию зоны с взрывной концентрацией метано-воздушной смеси, разгазирование и демонтаж оборудования после взрывов производились военизированным подразделением филиала ВАСС «Көмір» как газоопасные работы по плану мероприятий, утвержденному и согласованному в установленном порядке.

Работы по восстановлению испытательного полигона, основной частью которого является ударная труба, изготовлению и тестированию метрологической системы были завершены в октябре 2010 г., а экспериментальные взрывы для проведения приемочных испытаний заслонов начаты 05.11.2010 г.

За период с 5 по 17 ноября 2010 г. произведено 5 экспериментальных взрывов с целью испытаний различных видов заслонов и их комбинаций в части способности локализовать воздействие ударной волны и пламени и препятствовать дальнейшему их распространению.

Полигон в районе Чкаловского водохранилища представляет собой железобетонную испытательную конструкцию общей длиной 117 м, включающую взрывную камеру с трубой для вентиляции газов, секционную ударную трубу, переходное кольцо, квадратный тоннель, бетонное ограждение, помещение для оборудования и паттерны для установки датчиков.

Основными элементами данной конструкции являются ударная труба из железобетона общей длиной 93 м, состоящая из 18 секций по 5 м, и железобетонного тоннеля длиной 20 м с паттернами для установок датчиков давления и пламени (рис. 1).



Рисунок 1. Момент загазирования ударной трубы метаном

Ударная труба смонтирована из железобетонной трубы марки ТНГ-1420, рассчитанной на рабочее давление до 10 атмосфер. Трубы марки ТНГ-1420 соответствуют ГОСТу 26819-86

«Трубы железобетонные напорные со стальным сердечником. Технические условия». Исходные материалы для изготовления этих труб следующие:

- портландцемент марки не ниже 400 по ГОСТу 10178-85 для изготовления труб, предназначенных к эксплуатации в грунтах и грунтовых водах с содержанием сульфат-ионов до 5000мг/л;
- сульфатостойкий портландцемент марки не ниже 400 по ГОСТу 22266-76 для изготовления труб, предназначенных для эксплуатации в грунтах и грунтовых водах с содержанием сульфат – ионов до 5000мг/л;
- песок по ГОСТу 10268-80, фракция песка более 5мм подлежит отсеву;
- вода по ГОСТу 23732-79 для приготовления бетона;
- сталь холоднокатаная обыкновенного качества марки ВСтЗсп или ВСтЗпс толщиной 3–5 мм;
- горячекатаная лента толщиной 4 мм из углеродистой качественной конструкционной стали марки 08кп или 10кп по ГОСТу 1050-74 для изготовления калиброванных соединительных колец (втулка, раструб) и закладочных изделий электрозащиты;
- арматурная проволока класса Вр-1 диаметром 5мм по ГОСТу 6727-80*, класса Врп-1 диаметром 6 мм по ТУ 14-170-119-80 или класс СЭТО по ТУ 14-4-1120-82 для армирования труб;
- проволока цинковая или алюминиевая диаметром 1-2,2 для металлизации калиброванных соединительных колец. Сорты проволоки алюминиевой АТ (твердая, нагартованная), АПГ (полутвердая, полунагартованная) и АМ (мягкая, отожженная).

Наружный слой бетона труб должен быть пропитан композицией из петролатума (90+2%) и жирных высших кислот (10+1%) на глубину не менее 10 и не более 18 мм.

Обследование труб ТНГ-1420 полностью подтвердило характеристики, приведенные выше.

Разгонная часть ударной трубы длиной 93 метра смонтирована из секций по 5 метров со сваркой мест стыковок металлических вставок. Для усиления герметичности с наружной стороны швы между секциями труб покрыты бетоном (балласт и цемент марки 400) и защищены бекроном, с внутренней стороны покрыты строительным гипсом.

В заранее предусмотренных местах разгонной трубы в процессе монтажа выполнены 12 сквозных отверстий диаметром 40 миллиметров для последующей установки в них датчиков измерения давления и регистрации пламени, подачи метана или другого газа для имитации взрыва (рис. 2). Во внутренней части трубы на каждом стыке секций приварены кольца из катанки диаметром 6 мм для крепления элементов заслона.

Разгонная часть ударной трубы соединена с взрывной камерой и с тоннельной частью квадратного сечения 2х2 метра длиной около 20 метров с бетонированием мест соединений с трубой. Общая протяженность ударной трубы Т – 1420 вместе со взрывной камерой и тоннельной частью составляет 117 метров.

Основным элементом сланцевых заслонов исследуемых в экспериментах является инертная пыль, заполненная в стандартные полипропиленовые (бумажные) мешки по 25 кг и полиэтиленовые сосуды водяных заслонов (ВЗП), загружаемые инертной пылью по 10 кг, применяемые в настоящее время на шахтах УД АО «АрселорМиттал Темиртау».

Механизм пылевзрывозащиты с использованием сланцевых заслонов основан на том, что под действием ударной волны взрыва происходит мелкодисперсное распыление инертной пыли из емкостей (мешок-сосуд) на пути прохождения фронта ударной волны вследствие их механического разрушения и последующего адгезионного взаимодействия частиц угольной пыли с инертной, приводящего к значительному уменьшению удельной поверхности угольного аэрозоля и аэрозоля и, как следствие этого, к гашению пламени [2].



Рисунок 2. Паттерна для установки датчиков и поджига

Для измерения давления с целью оценки эффективности различных заслонов по гашению пламени и гашению (затуханию) ударной волны разработаны и изготовлены специальные датчики, устанавливаемые в ударной трубе в соответствии со схемой расстановки заслонов и расположением их по отношению к зоне загазования.

Конструктивно корпус и мембрана датчика давления изготовлены из дюралюминия марки ВД – 95, который практически не имеет остаточной деформации после серии действия нагрузки и ее снятия, что имеет важное и принципиальное значение при измерении механических деформации.

Корпусы датчиков имеют цилиндрическую форму с плоским широким фланцем в месте крепления датчика к пазу в ударной трубе. В верхней части датчика присутствует съемная крышка на резьбе, к торцу которой приклеены тензорезисторы сопротивления. На фланце выполнены 4 отверстия для надежного герметичного крепления корпуса датчика к пазу в ударной трубе. Сигнальные магистрали крепятся к датчику с помощью разьема УНЦРГ-09, что позволяет разделять датчики и по мере необходимости подсоединять кабели.

Измерительным элементом датчика давления является тензорезистор, который наклеивается на тонкую мембрану и изменяет свое электрическое сопротивление при деформации мембраны под действием давления. Компенсационный тензорезистор, включаемый в измерительный мост, наклеен на корпус датчика, для исключения влияния температурного фактора при измерениях. К каждому датчику давления разработан и изготовлен усилитель сигнала на базе ТЛ072, смонтированный недалеко от датчика, что позволяет располагать основной блок устройства считывания на расстоянии от 60 до 100 метров.

Калибровка (тарирование) датчиков давления осуществлялась с помощью специально сконструированной и изготовленной установки и разработанного программного модуля для ПК. В процесс калибровки датчиков давления используется специальное устройство, позволяющее плавно изменять значение давления на калибруемом датчике. Предварительно фиксируется нулевой сигнал при нулевом давлении, выполняется расчет нуля, а затем при данном давлении рассчитывается переводной коэффициент выходного сигнала аналогово-цифрового преобразователя в давление. Величина этого коэффициента зависит только от параметров усилителя сигнала и остается неизменной.

Давление газа через редуктор поступает на вход устройства калибровки и фиксируется манометром модели 112-02 или любым подходящим по диаметру входного клапана и максимально измеряемому давлению. Манометр проверен, точность измерения 0,4.

Поскольку известно, что тензометры сопротивления имеют линейную характеристику зависимости выходного сигнала от величины нагрузки (в данном случае давления), калибровка производилась одной точкой при давлении 2,5 атмосферы с использованием баллона с сжатым газом пропаном.

По калибровочному графику вычислен передаточный коэффициент для всех датчиков давления, равный 0,227 атм./ед. сигнала АЦП. Повторная калибровка проводится в случаях переклейки датчиков или изменении параметров усилителя сигналов.

Одним из основных требований к заслонам для предотвращения и локализации взрывов газа и угольной пыли в шахтах является исключение или, по крайней мере, уменьшение проскока пламени через заслон. Для наблюдений за продвижением пламени и протяженности его распространения при проведении экспериментальных взрывов в процессе приемочных испытаний заслонов спроектированы и изготовлены специальные датчики регистрации пламени. Места установки датчиков пламени определялись в каждом конкретном случае в зависимости от характера и цели каждого эксперимента.

Конструктивно корпус датчика пламени выполнен аналогично датчику давления, в одном конце которого вмонтирован фотодиод марки ФД-263.

Разработанное специальное программное обеспечение системы измерений при проведении приемочных испытаний заслонов выполняет следующие функции:

- прием и обработка информации от аналого-цифрового преобразователя и запись ее в базу данных;
- установка и расчет нуля при калибровке датчиков давления;
- расчет и запоминание коэффициента передачи при калибровке датчиков давления;
- установка нулей датчиков давления и пламени перед экспериментальным взрывом;
- опрос датчиков и считывание информации от АЦП одновременно по 16 каналам (т.е. датчикам) через 0,002 с;
- запись информации с заданным интервалом в табличной форме и хранение в базе данных по каждой дате, каждому взрыву и по каждому датчику;
- представление динамики измеряемого параметра в графическом виде;
- возможность выдачи на экран одного любого датчика или одновременно нужной группы датчиков с уменьшением или увеличением масштаба графика;
- возможность просмотра информации в табличной форме при необходимости более тщательного анализа динамики измеренного параметра.

Программные модули написаны на современном языке C++ фирмы «Borland», представляют пользователю удобный интерфейс при работе с измерительной системой.

Сланцевые заслоны из инертной пыли укладывались в ударной трубе на деревянные полки по диаметру трубы и подвешивались на крюках по ее периметру на смонтированных металлоконструкциях.

Ввиду отсутствия на полигоне стационарного источника электроэнергии напряжение 220 в на источник воспламенения (поджиг) подавалось от генератора HONDA модели ZSQF5.0-3 мощностью 5.5 квт. Питание аппаратной части измерительной системы и переносного персонального компьютера осуществлялось от автомобильного аккумулятора 12 в через частотный преобразователь.

Такое раздельное питание снижает помехи от работы генератора. Зона загазования нужного объема (23,1 м³) и требуемой концентрации метана (9–10 %) формировалась следующим способом. Внутри разгонной части ударной трубы в заранее запланированном месте устанавливалась первая перемычка из полиэтилена толщиной 0,08 мм, закрепленного на металлическом обруче диаметром (1,39 м) на внутренней части трубы. Обруч собран из двух частей, закрепленных на поворотной штанге, для обеспечения возможности выхода человека с респиратором из загазованной зоны.

После установки первой перемычки и ее герметизации устанавливаются заслоны согласно плану эксперимента, далее устанавливается вторая перемычка с герметизацией одной половины перемычки и закреплением вертикальной штанги.

Один или двое бойцов ВАСС «Көмір» в респираторах проходят в зону загазования, закрывается и герметизируется вторая половина перемычки. По сигналу бойцов внутри трубы начинается подача метана из баллона через редуктор и шланг, вставленный в отверстие в трубе. Метан подается под небольшим давлением (порядка 2 атм), чтобы обеспечить наиболее равномерное распределение его в зоне загазования.

Замер концентрации метана осуществляется бойцами внутри зоны загазования с помощью шахтного интерферометра ШИ-12. По достижении концентрации метана 9–10% подается сигнал на прекращение подачи метана. Бойцы выходят из зоны загазования, закрывается и герметизируется вторая половина перемычки. После этого весь персонал, задействованный в испытаниях, покидает внутреннюю часть ударной трубы.

Испытание сланцевых заслонов с инертной пылью было проведено 09.11.2010 г. Объем загазованной зоны при концентрации метана до 9,5% составил 23,2 м³. Количество инертной пыли в сланцевом заслоне составил 200 кг (8 мешков по 25 кг — английский стандарт). Мешки располагались на досках размером 1,39 м×0,6 м в три ряда, полностью перекрывая по диаметру сечение ударной трубы. Расстояние между сланцевым заслоном и перемычкой P₂ зоны загазования составляло 7,5 м. Общая длина заслона составляла 5 м с разрывом между рядами по 1,5 м.

Ударная волна достигла своего максимального значения за 0,2 сек. После прохождения через зону сланцевого заслона ударная волна снизилась до 8,8 атм., что было зафиксировано датчиком через 0,025 сек, а в тоннельной части ударной трубы на выходе уменьшилось до 3,7 атм. Незначительное снижение давления после заслона можно предположительно объяснить тем, что инертная пыль несколько затормозила развитие взрыва, но вместе с тем полностью локализовала пламя, которое достигло своего пика на фотодатчике через 0,075 сек.

Визуально, а также на видеокameraх не было отмечено образования пламени, хотя в зоне загазирования ее температура достигла значительных величин. Это подтверждается тем, что полиэтилен на перемышках после взрыва был полностью поплавлен (рис. 3).



Рисунок 3. Момент взрыва

По результатам акта проведенных испытаний по выполненным НИР с участием представителей УД АО «АрселорМиттал Темиртау», «ВАСС Көмір» и АО «Казчерметавтоматика» получено разрешение от Комитета по государственному контролю за чрезвычайными ситуациями и промышленной безопасностью МЧС РК на применение сланцевых заслонов с инертной пылью в полипропиленовых мешках с разрезом в средней части (X), за исключением уголков, и в полиэтиленовых сосудах водяных заслонов на шахтах, опасных по газу и пыли в Республике Казахстан [3].

Результаты выполненной научно-исследовательской работы позволяют сделать следующие выводы:

- 1) сланцевые заслоны обладают эффективным пламегасящим эффектом, а сетчатый заслон понижает энергию ударной волны;
- 2) испытание сланцевых заслонов в сочетании с огнезащитной сеткой конструкции «Плотникова» показало, что в таком варианте заслон проявляет максимальную эффективность и тем самым обеспечивает полное затухание ударной волны и гашение пламени;
- 3) по результатам проведенных испытаний ДГП «КазНИИБГП» считает возможным применение сланцевых заслонов с инертной пылью в полипропиленовых мешках с разрезом в средней части (X), за исключением уголков, и полиэтиленовых сосудах водяных заслонов, как в отдельности, так и в сочетании с сетчатым заслоном, в зависимости от условий производства на предприятиях УД АО «АрселорМиттал Темиртау»;
- 4) учитывая чрезвычайную актуальность проблемы, ДГП «КазНИИБГП» считает необходимым проведение дальнейших экспериментов по испытаниям взрывоподавляющих устройств, в том числе и порошковых заслонов различного исполнения с добавками химических присадок.

Список литературы

- 1 Кишин Б.Ф., Журавлев В.П., Рыжих Л.И. Борьба с пылевыведением в шахтах. — М.: Недра, 1983. — 213 с.
- 2 Лихачев Л.Я., Трубицин А.В. и др. Борьба с пылью при работе горных комбайнов. — Кемерово, 1974. — 56 с.
- 3 Методические рекомендации по борьбе с пылью и пылевзрывозащите на угольных шахтах. — Караганда, 2011. — 133 с.

М.М.Торегельдин, О.Б.Сельдюгаев, Н.К.Танашева

Қатпарлы бөгеттерді қолдану арқылы көмір шахталарында шаң-жарылыстан қорғаныс

Мақалада метанды қолданумен жарылыс жасау үшін ұзындығы 100 м асатын, шахта өндірісін көрсететін соққы құбырында полигон жағдайында түрлі конструкциядағы қатпарлы бөгеттерді тәжірибеден өткізу кезіндегі нәтижелер көрсетілген. Соққы құбыры жұмыс қысымы 10 атмосфераға дейін шамаланған ТНГ-1420 маркалы темір-бетонды құбырдан құрастырылған. Зерттелетін тәжірибелердегі қатпарлы бөгеттеде негізгі элемент 25 кг-дық стандартты полипропиленді (қағаз) қаптарға толтырылған инертті шаң және қазіргі кезде ҚД «АрселорМиттал Теміртау» АҚ шахталарында қолданылатын 10 кг-дық инертті шаңмен толтырылған су бөгеттерінің полиэтиленді ыдыстары болып табылады. Қысым датчиктерін калибрлеу (ыдыстарға салу) арнайы құрастырылып жасалған қондырғының және ДҚ ПК үшін өңделген программалық модулінің көмегімен жүзеге асты. Қатпарлы бөгеттер өрт сөндіруде тиімді ие болатыны, ал торлы бөгет соққы толқынының энергиясын азайтатыны анықталған.

M.M.Toregeldin, O.B.Seldyugaev, N.K.Tanasheva

Protection against dust explosions in coal mines using shale barriers

This paper presents the results of the tests shale barriers of various designs in a range in the shock tube length of over 100 meters, simulating the mine workings with the use of methane for the production of explosion. The shock tube is mounted of a concrete pipe brand TNG-1420 designed for operating pressures up to 10 atmospheres. The main element of shale barriers investigated in experiments is filled with inert dust in standard polypropylene (paper) bags of 25 kg and plastic containers of water barriers (CDW) loaded inert dust 10 kg currently in use in mines UD JSC «ArcelorMittal Temirtau». Calibration (tare) pressure sensors was carried out using a specially designed and manufactured to install and designed software module for PC. It was found that the shale barriers have an effective flame arrester effect and mesh barrier reduces the shock energy.

References

- 1 Kirin B.F., Jyравlev V.P., Rижih L.I. *Combating dust emissions in the mines*, Moscow: Nedra, 1983, 213 p.
- 2 Lihachev L.Ya., Trybicin A.V. *Combating dust during operation of mining machines*, Kemerovo, 1974, 156 p.
- 3 Guidelines for the Prevention of dust explosions in coal mines, Karaganda, 2011, 133 p.