



# БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ISSN 0409-2961

8.2006

Ежемесячный массовый научно-производственный журнал широкого профиля



**27** августа  
**День шахтера**

# День шахтера

УДК 622.86:622.812:622.814

© А.В. Джигрин, А.Ю. Горлов, С.Н. Подображин, 2006

## ЛОКАЛИЗАЦИЯ ВЗРЫВОВ МЕТАНА И УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ АВТОМАТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

А.В. ДЖИГРИН, д-р техн. наук, А.Ю. ГОРЛОВ, инженер (ЗАО «МВК по ВД при АГН», Россия),  
С.Н. ПОДОБРАЖИН, канд. техн. наук (Ростехнадзор)

**В** соответствии с требованиями Правил безопасности в угольных шахтах (ПБ 05-618—03) на шахтах, опасных по газу и разрабатывающих пласты, опасные по взрывам пыли, наряду с мероприятиями по их предупреждению, должны применяться средства локализации и предотвращения распространения по горным выработкам на большее расстояние уже возникших взрывов (средства пылевзрывозащиты). Необходимость использования средств пылевзрывозащиты обусловлена принципиальной невозможностью обеспечить абсолютную надежность всех вместе взятых средств предупреждения взрывов метана и угольной пыли в шахтах.

До настоящего времени, как в России, так и за рубежом, в качестве основного средства пылевзрывозащиты использовали пассивные водяные или сланцевые заслоны, с помощью которых на шахтах изолировали наиболее вероятные очаги взрывов, к числу которых относятся, в первую очередь, очистные и подготовительные забои. В них, согласно статистическому анализу данных об авариях за 50-летний период на шахтах СССР и России, происходит соответственно 45,5 и 36,5 % случаев взрывов. При этом в 80 % таких аварий источниками воспламенения взрывчатой метановоздушной или пылевогнетановоздушной смеси служили неисправное электрооборудование, взрывные работы и фрикционное искрение при работе выемочных и проходческих комбайнов, а также буровых станков [1].

Основной недостаток применяемого в настоящее время способа локализации взрывов с использованием водяных и сланцевых заслонов — сложность достижения их эффективности, которая обеспечивается при полном переводе всей массы инертной пыли (воды) во взвешенное состояние; сохранении инертной пыли (воды) во взвешенном состоянии до момента прихода фронта пламени.

Первое условие реализуется при применении наиболее легко разрушаемых конструкций полок (или сосудов), а также при расположении заслонов на оптимальном расстоянии от места возникновения взрыва или входа фронта пламени в выработку. При расстояниях от 100 до 220 м для создания

надежной локализации взрывов пыли необходима удельная весовая нагрузка инертной пыли 50–150 кг на 1 м<sup>2</sup> поперечного сечения выработки. В случае расположения заслонов близко к возможному месту возникновения взрыва или, напротив, далее 250–300 м для гашения взрывов требуются все большие весовые нагрузки. Согласно нормативу количество сланцевой пыли, размещаемой на полках, должно определяться из расчета 400 кг на 1 м<sup>2</sup> поперечного сечения выработки, что соответствует, например, для выработки площадью сечения 15 м<sup>2</sup> — 6000 кг на один заслон.

Второе условие обеспечивается при расположении рядов полок (сосудов) заслона на оптимальном расстоянии друг от друга, составляющем 2–3 м и соответствующем времени существования облака 0,4–0,6 с. Если условия не позволяют достичь такого расположения, то необходимо сократить данное расстояние до 1 м, но при этом снижается надежность заслона. При меньших расстояниях концентрация инертной пыли (воды) в облаке становится настолько велика (20–25 кг/м<sup>3</sup>), что оно за 0,05–0,10 с оседает и к моменту подхода фронта пламени не сохраняется. Увеличение расстояния между рядами полок (сосудов) более 5 м нерационально, так как снижение концентрации инертной пыли (воды) обуславливает неполное использование механизмов действия заслона.

Следует отметить, что все параметры применяемых пассивных сланцевых заслонов введены в действие в соответствии с Правилами безопасности в каменноугольной и сланцевой промышленности, утвержденными народным комиссаром топливной промышленности СССР (приказ от 23.09.1939 № 497/а).

Эффективность пассивных заслонов носит вероятностный характер, и, даже при полном соблюдении таких параметров, вероятность отказа составляет 1/300 (т.е. один из 300 взрывов проходит заслон). Допустимые отступления от оптимальных параметров установки заслонов увеличивают вероятность отказа до 1/100. Однако в реальных условиях шахт вероятность эффективного срабатывания сланцевых заслонов всегда намно-

го ниже вследствие определенных неточностей в установке и погрешностей в эксплуатации заслонов. Кроме того, принцип действия применяемых водяных и сланцевых заслонов имеет пассивный характер, и их скорость срабатывания несравнима с динамикой распространения фронта пламени по горным выработкам. По техническим возможностям пассивные заслоны имеют ограниченный диапазон эффективного срабатывания, как показали экспериментальные исследования, выполненные в опытной штолле МакНИИ (Украина), они могут локализовать взрыв метана и(или) пыли в лучшем случае лишь при скоростях распространения взрыва от 120 до 280 м/с.

Все это в итоге приводит к тому, что за многие десятилетия, начиная с 20-х годов XX столетия, в шахтах, оборудованных сланцевыми и водяными заслонами, не всегда удавалось локализовать взрывы метана и угольной пыли и предотвратить развитие их в крупные аварии с человеческими жертвами и большим материальным ущербом.

Для повышения эффективности взрывозащиты требуется совершенствование существующих и разработка новых средств и способов борьбы с взрывами метана и угольной пыли, что, безусловно, является актуальной научно-технической задачей.

Один из перспективных способов решения поставленной задачи, состоящей в коренном усовершенствовании взрывозащиты угольных шахт, — использование автоматических средств гашения вспышек (взрывов) газа и пыли.

Любая автоматическая система гашения (локализации) вспышек (взрывов) газа и пыли, а также пожаров, независимо от конкретного назначения и конструкции, состоит из трех основных элементов:

- огнетушащего вещества, предназначенного для создания в зоне реакции вспышки (взрыва) среды, подавляющей горение газа и пыли;

- исполнительного (взрывоподавляющего) устройства, предназначенного для принудительного диспергирования и подачи огнетушащего вещества в зону реакции вспышки (взрыва) таким образом, чтобы в ней образовалась пламегасящая среда с равномерным распределением гасящего материала требуемой концентрации;

- датчика, реагирующего на вспышку или взрыв и выдающего управляющий сигнал на срабатывание исполнительного устройства.

В качестве огнетушащего материала в рассмотренных выше автоматических системах локализации вспышек (взрывов) используются самые различные вещества — от простых флегматизаторов (инертной пыли или воды), гасящее действие которых состоит в снижении температуры до уровня, при котором прерывается горение, до высокоеф-

ективных ингибиторов горения на основе легко-разлагающихся солей, обработанных специальными гидрофобизирующими и разрыхляющими добавками, способными погасить пламя вспышки (взрыва) при сравнительно малых удельных расходах, около 0,01–0,10 кг/м<sup>3</sup> защищаемого объема выработки [2].

Анализ принципа действия и конструкции различных исполнительных взрывоподавляющих устройств показал, что для принудительного выброса дисперсного огнетушащего вещества из контейнера в зону вспышки может быть использована потенциальная энергия сжатой пружины; энергия взрывающего заряда; энергия сжатых газов, образующихся при сгорании в замкнутом объеме специальных газогенерирующих составов; энергия сжатого или сжиженного газа, помещенного в сосуды высокого давления.

Устройства, в которых для выброса пламегасящего материала используются указанные источники энергии, проверены специалистами ЗАО «МВК по ВД при АГН» в ходе многочисленных исследований по гашению экспериментальных взрывов метана и угольной пыли в условиях, близких к натуральным. В результате были определены их основные преимущества и недостатки, а также область применения.

Так, механический привод, работающий от сжатой пружины, из-за большой инерционности и относительно малого запаса энергии может быть использован только для опрокидывания полок с инертной пылью или сосудов с водой в заслонах ПЗМ-2, когда окончательное диспергирование пламегасящего материала и распределение его по зоне реакции осуществляется за счет энергии ударной волны самого взрыва.

При использовании в исполнительном устройстве для диспергирования и выброса пламегасящего материала энергии детонации заряда взрывчатого вещества (ВВ) достигается высокая эффективность и низкая инерционность процесса создания гасящей среды, что особенно важно при гашении в начальной стадии быстро развивающихся вспышек метана и угольной пыли. Как было экспериментально установлено, успешное гашение таких взрывов возможно лишь при условии создания в зоне реакции и на пути распространяющегося по выработке фронта пламени гасящего облака по всему сечению горной выработки за время не более 15–30 мс. Однако продолжительность существования пламегасящего облака, созданного устройством, функционирующим на энергии детонации заряда ВВ, крайне мала и не обеспечивает устойчивого гашения слабых и средних взрывов, т.е. при скоростях распространения фронта пламени по выработке меньше 100 м/с.

Для устранения этого недостатка были разработаны комбинированные (двухступенчатые) исполнительные устройства, в которых на первой стадии пламегасящий дисперсный материал подается в очаг взрыва с помощью детонации заряда ВВ, а на второй — сжатым газом, содержащимся в баллоне или образовавшимся при горении газогенерирующего состава. Основной недостаток устройств, использующих энергию детонации ВВ, — высокая скорость выброса ингибитора, при которой может быть травмирован человек. Это обстоятельство обуславливает большую опасность таких устройств при ложных срабатываниях автоматических систем, вероятность которых не может быть полностью исключена. Особенно велика такая опасность при использовании устройств, в которых диспергирование пламегасящего вещества осуществляется детонацией заряда ВВ из легко разрушаемых контейнеров. Эта опасность существенно снижается, если дисперсный материал и рабочий заряд ВВ помещены в прочную неразрушаемую оболочку, а пламегасящее вещество выбрасывается через специальные распыляющие сопла в строго определенном направлении. Однако в данном случае значительно увеличиваются масса и габариты устройства, что усложняет его эксплуатацию.

Необходимо также отметить и общий недостаток, присущий всем рассмотренным выше типам исполнительных устройств: освобождение сжатой пружины и инициирование рабочего заряда происходит с помощью электродетонаторов, обладающих чувствительностью к ударам и толчкам, что может послужить источником ложных срабатываний таких устройств, установленных в горных выработках шахты. В связи с этим подобные устройства должны быть оснащены специальными средствами защиты электродетонаторов от внешних (посторонних) воздействий.

Устройства, в которых диспергирование и выброс пламегасящего материала осуществляются газами, образующимися при горении специальных газогенерирующих составов, обладают определенными достоинствами. Для поджигания газогенерирующего состава используется не электродетонатор, а электровоспламенитель, что делает такие устройства нечувствительными к ударам и толчкам. Следовательно, снижается вероятность ложных срабатываний системы. Также проще и обслуживание таких устройств. Принимая во внимание, что быстродействие подобных устройств вполне достаточно для гашения на начальной стадии вспышек метана и угольной пыли (при использовании быстрогорящих газогенерирующих составов), можно считать возможным их применение в автоматических системах. Такие системы полез-

ны для гашения вспышек метана при защите скоплений электрооборудования в шахтах или местах возможного фрикционного искрения. Для локализации динамично развивающихся взрывов метана и (или) угольной пыли быстродействия таких систем недостаточно. Важное требование к ним — отсутствие в составе образующихся газов ядовитых или высокотоксичных химических соединений. Кроме того, использование в них штатных средств инициирования вместо электровоспламенителя лишает системы с газогенерирующими составами преимуществ по сравнению с системами, содержащими ВВ, что вдобавок влечет за собой необходимость выполнения всех мероприятий, положенных при допуске ВВ, или устройств, содержащих ВВ, к применению. Все это значительно усложняет эксплуатацию таких систем в угольных шахтах.

Для диспергирования огнетушащего материала также можно использовать энергию сжатого воздуха или инертного газа (азот, фреон и т.п.). При этом рабочий газ содержится или в отдельном сосуде или в одном сосуде с жидким или порошкообразным огнегасящим веществом. Запуск таких устройств осуществляется с помощью взрыво-разрушаемых (обычно электродетонатором) диафрагм или механически открываемых клапанов. Преимущество данного способа диспергирования и выброса огнегасящего вещества состоит в минимальной инерционности процесса создания пламегасящей среды, автономности системы (при использовании механически открываемого клапана), возможности плавного регулирования (в определенных пределах), с помощью дросселирующих отверстий, времени существования гасящего облака, также возможности текущего контроля работоспособности этих систем по показаниям давления газа в рабочей камере. К недостатку таких устройств можно отнести определенную потенциальную опасность для горнорабочих и обслуживающего персонала, обусловленную постоянным размещением в выработке сосудов, работающих под высоким давлением.

Важнейший элемент автоматических систем гашения, определяющий возможность своевременного обнаружения вспышки (взрыва), — датчик, реагирующий на какое-либо физическое явление, сопровождающее вспышку или взрыв, и выдающий сигнал на срабатывание исполнительного устройства. Как известно, любая вспышка (взрыв) метановоздушной или пылеметановоздушной среды сопровождается возникновением пламени, которое характеризуется значительным повышением температуры в зоне реакции и в окружающей среде, а также служит источником интенсивного электромагнитного или светового излучения в широком диапазоне частот. Кроме того,

на определенной стадии развития взрывного процесса возникает ударная воздушная волна (УВВ), представляющая собой распространяющуюся по выработке зону повышенного давления. Все эти физические процессы, сопровождающие взрыв, могут быть зафиксированы с помощью специальных устройств, что позволяет использовать их в автоматических системах локализации в качестве датчиков, реагирующих на возникновение вспышки или взрыва.

Распространение получили датчики, реагирующие на высокую температуру пламени взрыва или пожара. В качестве чувствительного элемента таких датчиков в основном применяют различные термопары. К преимуществам таких датчиков следует отнести их высокую помехозащищенность и сравнительно простое устройство. Однако, несмотря на высокую чувствительность и сравнительно небольшую инерционность термопар, для срабатывания такого датчика необходим непосредственный контакт с пламенем. В связи с этим, для обеспечения своевременного диспергирования пламегасящего вещества перед подходом фронта пламени взрыва необходимо увеличивать расстояние между датчиком и исполнительным (взрывным) устройством до нескольких десятков метров. При этом, естественно, теряется основное преимущество автоматических систем — способность погасить взрыв (вспышку) на начальной стадии развития.

Перспективны, с точки зрения обеспечения быстродействия ждущих автоматических систем гашения взрывов, оптические датчики, реагирующие на световое излучение пламени, главным образом в инфракрасной и ультрафиолетовой частях спектра. Как показали специальные исследования спектрального состава излучения пламени взрывов метана и угольной пыли, различных источников рудничного освещения, а также поглощения ультрафиолетового и инфракрасного излучения взвешенной в воздухе угольной и породной пылью, наиболее подходящими для шахтных автоматических систем взрывоподавления являются оптические датчики, чувствительные к инфракрасному излучению пламени, снабженные светофильтрами, не пропускающими излучение с длиной волны меньше  $1,1 \cdot 10^{-6}$  м. Однако применение таких датчиков ограничено возможностью ложного срабатывания от воздействия других источников света и сложностью защиты оптических деталей от запыления в подземных горных выработках.

Как показал анализ результатов ряда исследований, возможно применение датчиков, реагирующих на повышение давления, т.е. на наличие УВВ. Такие датчики показали свою надежность и избирательность, поскольку они выдают сигнал

на срабатывание автоматической системы только при взрывах метана (угольной пыли) и не реагируют на случайные вспышки. Однако следует учитывать, что при их разработке необходимо точно выставлять порог срабатывания: с одной стороны, повышая чувствительность (для гарантированного обнаружения взрывов в начальной стадии возникновения), с другой — борясь с ложными срабатываниями от посторонних помех (например, при ведении взрывных работ). Исследования показали, что оптимальный порог срабатывания таких систем должен быть порядка 0,02 МПа.

В СССР в 80-х годах XX столетия испытания экспериментальных образцов основных функциональных узлов опытных образцов автоматических систем в металлической штолне МакНИИ и опытной штолне «Гранит» ВНПО «Респиратор» (Украина) показали, что они позволяют устойчиво гасить взрывы пылеметановоздушных смесей при наибольее взрывоопасных концентрациях, инициированных любыми возможными в шахтах источниками воспламенения, в том числе и детонацией свободно подвешенного (открытого) заряда ВВ. При этом источники воспламенения могут находиться как в тупике выработки, так и посреди загазованного участка. Надежное гашение взрывов, инициированных детонацией заряда ВВ в тупике выработки, обеспечивается автоматическим взрывоподавляющим устройством, содержащим не менее 30 кг ингибитора при длине облака не менее 15 м и удельном расходе ингибитора 0,10–0,15 кг на 1 м<sup>3</sup> объема защищаемой выработки. В настоящее время в России применяются более эффективные огнетушащие порошки П-АГС и ИСТО-1. По данным ВостНИИ, при содержании таких порошков не менее 0,01 кг на 1 м<sup>3</sup> объема защищаемой выработки исключается возможность воспламенения метановоздушной смеси.

К настоящему времени, как в России, так и за рубежом, накоплен достаточный опыт создания шахтных автоматических систем взрывоподавления, предназначенных для защиты различных конкретных объектов — подготовленных забоев, проходческих и выемочных комбайнов и т.д. В ходе разработок были созданы многочисленные варианты основных элементов и узлов таких систем, а их совершенствование продолжается и по сей день.

Обобщая вышеизложенное, можно отметить, что автоматические системы локализации взрывов метана и угольной пыли должны:

обеспечивать выброс в зону реакции и на пути распространяющегося по выработке фронта пламени гасящего облака за время около 15–30 мс при достаточной чувствительности к взрыву метана и угольной пыли;

обеспечивать прекращение процесса взрыва при удельных концентрациях этих порошков 0,01–0,10 кг/м<sup>3</sup>;

обладать высокой надежностью срабатывания, а также иметь систему контроля ее работоспособности;

иметь защиту от самопроизвольного ложного срабатывания;

не содержать элементы, которые могут быть источником выделения ядовитых или токсичных химических соединений;

быть простыми в технологическом обслуживании, иметь большой срок эксплуатации (не менее 5–10 лет).

В настоящее время в России сертифицированы и допущены к применению две автоматические системы взрывоподавления: СЛВА (разработчик — МакНИИ, производитель — ОАО Конотопский завод «Красный металлист», Украина) и АСВП-ЛВ (разработчик и производитель — ЗАО «Межведомственная комиссия по взрывному делу при Академии горных наук», Россия).

СЛВА позволяет:

автоматически обнаруживать пламя в начальной стадии возникновения пожара оптическим ИК-датчиком;

подавать огнегасящее вещество в защищаемую зону сжатым воздухом, генерируемым при горении газогенерирующего заряда, воспламеняемого пиротехническим электровоспламенителем;

контролировать исправность функциональных узлов;

резервировать питание устройств подавления взрыва.

#### Техническая характеристика СЛВА

Исполнение составных частей.....	РО, РВ, Иа
Время создания взрывогасящей среды, мс .....	100
Длина зоны взрывогасящей среды .....	
при площади сечения выработки 10 м <sup>2</sup> , м .....	15
Минимальный диаметр регистрируемого очага воспламенения с расстояния 5 м, м .....	0,7
Минимальный угол обзора датчика, градус .....	70
Напряжение питания, В .....	36
Потребляемая мощность, Вт .....	5

Размеры, мм:

датчика пламени .....	160×65×60
устройства подавления взрыва .....	1000×490×440
блока сопряжения с пускателем .....	225×70×120

Масса, кг:

датчика пламени .....	0,5
устройства подавления взрыва .....	65

Система СЛВА устанавливается у потенциальных очагов возникновения взрывов метана или угольной пыли (распределительные пункты подготовительных и очистных забоев, совокупность машин и электрооборудования на сопряжениях очис-

тных забоев со штреками, пусковая аппаратура и электроприводы ленточных конвейеров и перегружателей, совокупность электрооборудования на исходящей струе воздуха).

АСВП-ЛВ обеспечивает:

автономное функционирование без необходимости подвода электроэнергии и любых шахтных коммуникаций;

автоматическое срабатывание при воздействии УВВ на приемный щит системы;

подачу огнегасящего вещества, гарантируя прекрытие всего сечения горной выработки до прихода фронта пламени;

контроль герметичности рабочей полости и давления сжатого воздуха.

#### Техническая характеристика АСВП-ЛВ

Длина создаваемого заслона (облака) пламегасящей среды, м, не менее .....	30
Минимальная чувствительность срабатывания системы при давлении на фронте УВВ, МПа .....	0,02
Инерционность срабатывания системы, мс .....	15±20
Масса огнетушащего порошка П-АГС, кг, не менее .....	25
Объем рабочей полости, см <sup>3</sup> .....	1326
Рабочее давление сжатого воздуха в рабочей полости УЛВ, МПа (кгс/см <sup>2</sup> ) .....	12±15 % (120±15 %)
Масса системы, кг, не более .....	76

Конструктивные параметры автоматических систем АСВП-ЛВ выполнены таким образом, что к ним не требуется применять регламенты обслуживания, которые предназначены для сосудов, работающих под высоким давлением.

Автоматические системы АСВП-ЛВ могут быть использованы для защиты:

конвейерных выработок;

наклонных горных выработок, в том числе с углом наклона более 18°;

горных выработок, оборудованных монорельсовым транспортом;

очистных выработок;

подготовительных выработок, проводимых по углю или по углю и породе;

крыльев шахтного поля в каждом пласте;

пожарных участков;

подземных складов взрывчатых материалов.

Сравнительные характеристики применяемых в настоящее время в России устройств локализации взрывов метана и(или) угольной пыли приведены в таблице.

В МакНИИ сопоставили различные системы локализации взрывов и установили следующее:

система АСВП-ЛВ по времени получения информации о воспламенении метановоздушной

Параметры	АСВП-ЛВ	СЛВА	Заслон	
			водяной	сланцевый
Условие надежного срабатывания	Прохождение УВВ с давлением на фронте >0,02 МПа (балансирующий взрыв) 15–20 мс	Вспышка в непосредственной близости от выносного датчика До 100 мс	Прохождение УВВ с давлением на фронте >0,06 МПа (слабый взрыв)	
Инерционность срабатывания	Для порошков П-АГС >900 с	Для порошков ПВХ 2–3 с	250–600 мс	250–600 мс
Время жизни сформированного заслона			0,007–0,015 с	<1с
Область применения	Балансирующие взрывы, слабые взрывы, начало сильных взрывов 240 м	Вспышка, начало балансирующих взрывов 60 м	Слабые взрывы 25–40 м	25–40 м
Продвижение забоя без необходимости проведения монтажных работ с системой взрывоподавления	6 мес	6 мес	Постоянное обслуживание	3 мес
Время необслуживаемой эксплуатации	Нет	36 В	Нет	Нет
Потребление электроэнергии				

смеси превосходит сланцевые и водяные заслоны и практически не уступает по этому показателю системе СЛВА;

время включения механизма, создающего взрывоподавляющее облако, в системе АСВП-ЛВ составляет 15–20 мс, что в 5 раз меньше, чем в системе СЛВА и практически в 100 раз меньше времени начала опрокидывания полок сосудов сланцевых (водяных) заслонов;

по времени формирования взрывоподавляющего облака и по общему времени его создания (до полного перекрытия сечения выработки) система АСВП-ЛВ в десятки раз превосходит сланцевые и водяные заслоны и в несколько раз — систему СЛВА;

по чувствительности к воздействию взрыва (обнаружению последнего) система АСВП-ЛВ (минимальное давление срабатывания — 0,02 МПа) значительно превосходит сланцевые и водяные за-

слоны (0,05–0,07 МПа). СЛВА не реагирует на УВВ, сопровождающую взрыв метана и(или) угольной пыли, но имеет высокую чувствительность по обнаружению ИК-излучения от вспышек метана;

область применения системы АСВП-ЛВ идентична области применения сланцевых и водяных заслонов, а также дополнительно может использоваться в наклонных горных выработках с углом падения более 18° и в горных выработках, оборудованных монорельсовым транспортом.

#### Список литературы

1. Риск-анализ чрезвычайных ситуаций, связанных со взрывом метана и угольной пыли в шахтах / Ю.В. Горлов, А.В. Джигрин, А.В. Измалков, С.В. Ткаченко // М.: ФГУП ННЦ ГП — ИГД им. А.А. Скочинского, 2002. — 38 с.
2. Краснянский М.Е. Огнетушащие и взрывоволокализующие порошки. — Донецк: изд. «Донбасс», 1990. — 110 с.