

I. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 622.81

А.В. ВОЛОДИН, зав. лаб.,

В.Д. АШИХМИН, ст. науч. сотрудник; МакНИИ, г. Макеевка

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ВЗРЫВОЗАЩИТЫ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПО ДИНАМИКЕ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЛАКА ОГNETУШАЩЕГО ВЕЩЕСТВА

Показаны недостатки существующей методики испытаний автоматических средств взрывозащиты горных выработок и обоснован метод определения эффективности локализации взрыва пылевоздушной среды по динамике формирования облака огнетушащего вещества средствами локализации взрывов угольной пыли.

Ключевые слова: угольная пыль, локализация взрыва, метод испытаний, огнетушащие вещества, автоматические системы, пассивные заслоны.

Взрывы пылевоздушной среды в угольных шахтах, несмотря на ряд организационно-технических мероприятий по их предупреждению и локализации, приводят к групповому травмированию, гибели людей, разрушению горных выработок, техники и оборудования, и, как следствие, к тяжелым негативным социальным, технологическим, экономическим и экологическим последствиям.

В соответствии с НПАОТ 10.0-1.01-16 “Правила безопасности в угольных шахтах” на шахтах, разрабатывающих угольные пласты, опасные по взрывам угольной пыли, наряду с мероприятиями по их предупреждению, должны применяться средства, предназначенные для предотвращения распространения взрыва пылевоздушной среды по сети горных выработок [1].

В настоящее время для локализации взрывов угольной пыли применяются пассивные водяные или сланцевые заслоны и автоматические системы.

К недостаткам пассивных заслонов относятся большая инерционность срабатывания, приводящая к эффективному гашению взрыва при

ограниченном диапазоне скоростей фронта пламени, и малоэффективность при гашении взрывов метанопылевоздушной среды. Для устранения указанных недостатков разрабатываются автоматические системы локализации взрывов метанопылевоздушной среды. Подобные системы максимально возможно исключают влияние “человеческого фактора”, а при подключении их к системам КАГИ или УТАС позволят определить характеристики взрыва, протяженность его распространения, что в свою очередь позволит более оперативно проводить аварийно-спасательные работы.

Разработка новых средств взрывозащиты горных выработок неотъемлемо связана с испытаниями на надежность срабатывания и эффективность локализации взрывов пылевоздушной среды. Испытания проводятся в опытных шахтах, штреках и т.д. Оценка эффективности средств локализации взрывов производится по способности средств взрывозащиты гасить пламя взрыва пылевоздушной среды. Основным и существенным недостатком испытаний является привязка к определенному, фиксированному поперечному сечению выработки, что не позволяет обоснованно применять испытываемые средства локализации взрывов угольной пыли в выработках большего сечения. Таким образом, актуальным направлением обеспечения пылевзрывобезопасности в горных выработках является разработка метода оценки разрабатываемых автоматических систем в различных горнотехнических условиях.

Целью настоящей работы является оценка существующей методики испытаний средств взрывозащиты горных выработок и обоснование метода определения эффективности локализации взрыва пылевоздушной среды по динамике формирования облака огнетушащего веществами.

Взрывоподавляющее действие автоматических систем локализации взрывов пылевоздушной среды (далее – АСЛВ) состоит в создании на пути, распространяющегося по выработке, фронта пламени взрыва угольной пыли облака диспергированного огнетушащего вещества. В настоящее время в качестве пламегасящего вещества в АСЛВ применяются ингибиторы – огнетушащие порошки. Гасящее действие огнетушащего порошка заключается в прерывании цепной реакции горения за счет химического связывания активных центров, в результате которого образуются негорючие соединения, и происходит охлаждение зоны горения ниже температуры воспламенения угольной пыли [2].

Обрыв цепной реакции при гашении пламени взрыва бывает двух типов: гомогенный (в объеме) и гетерогенный (на твердой поверхности).

Гомогенный обрыв цепи возможен либо при столкновении активных центров между собой с образованием устойчивых побочных продуктов (процесс рекомбинации активных центров), либо при реакции активного центра с посторонней молекулой без регенерации.

Гетерогенный обрыв цепи происходит на стенках выработки или на поверхности специально вводимых в него тел или твердых витающих макрочастиц. Механизм гетерогенного обрыва связан с сорбцией на поверхности активных центров с их последующей рекомбинацией, поэтому скорость гетерогенного обрыва цепей напрямую зависит от концентрации посторонних микрочастиц [3]. Согласно гетерогенному механизму обрыва цепи, высокая эффективность действия порошковых ингибиторов определяется их свойствами отводить активные центры из зоны реакции путем захвата их своей твердой поверхностью. Адсорбция поверхностью частиц ингибитора приводит к обязательному изъятию центра (формальдегида, гидроксила и др.) из зоны реакции, в то время как удар активного центра о стенку канала (выработки) не обязательно приводит к его гибели [4].

Пламегасящая концентрация ингибиторов зависит в основном от:

- содержания метана в смеси;
- мощности источника воспламенения;
- дисперсности частиц и состояния их поверхности;
- химической природы ингибиторов.

Отвод тепла из зоны горения и вероятность разрыва цепной реакции горения пылевоздушной среды за счет рекомбинации активных центров напрямую зависит от расхода и физико-химических свойств огнетушащего вещества. Следовательно, для локализации вспышки во взрывчатой среде необходимым условием является соблюдение следующего требования: концентрация огнетушащего вещества в облаке, создаваемая АСЛВ, должна быть больше или равна минимальной концентрации огнетушащего вещества, при которой достигается локализация взрыва (пламегасящая концентрация).

Толщина фронта пламени при избыточном давлении 0,1 МПа, как правило, не превышает нескольких десятых миллиметра [5]. Поэтому фронт пламени можно считать поверхностью, разделяющей горючую среду и нагретые продукты реакции горения. Все участки фронта пламени, независимо от его формы, можно считать равноценными – на каждой единице площади поверхности фронта в единицу времени сгорает одно и то же количество горючей среды и, следовательно, выделяется одинаковое количество тепловой энергии, поддерживающей цепную реакцию горения пылевоздушной среды. Таким образом, для эффективной локализации взрыва пылевоздушной среды, на каждую единицу площади фронта пламени должно приходиться количество огнетушащего вещества, достаточное для прекращения реакции горения – пламегасящая концентрация.

При диспергировании огнетушащего вещества АСЛВ практически невозможно достичь равномерной его концентрации по сечению выработки. Таким образом, для достижения эффективной локализации взрыва пы-

левоздушной среды необходимо, чтобы концентрация огнетушащего вещества в облаке, создаваемом системой, была равна произведению пламегасящей концентрации и коэффициента неравномерности распределения огнетушащего вещества по сечению выработки при срабатывании АСЛВ (k_n), который равен отношению максимальной концентрации огнетушащего вещества в сечении выработки к пламегасящей концентрации. Данный коэффициент неравномерности зависит от энергии, затраченной на распыление огнетушащего вещества, а, следовательно, от параметров исполнительного механизма и конструкции бункера-распылителя АСЛВ.

Для исключения явления “проскока” пламени взрыва через огнетушащую среду, при срабатывании АСЛВ должно достигаться полное перекрытие выработки облаком огнетушащего вещества хотя бы в одном сечении.

Анализ необходимых условий для эффективной локализации взрыва угольной пыли позволяет определить следующие требования к АСЛВ:

1. Расход огнетушащего порошка, при срабатывании АСЛВ, с учетом теплоемкости и ингибирующей способности, должен превышать минимальную пламегасящую концентрацию в k_n раз.

2. АСЛВ должна обеспечивать полное перекрытие хотя бы одного сечения выработки облаком огнетушащего вещества к моменту подхода фронта пламени взрыва.

3. При локализации взрыва в горных выработках дисперсные системы формируют путем распыления (тем или иным способом) в рудничной атмосфере жидких или порошковых веществ. Поэтому такие системы называются неустойчивыми – с течением времени содержание дисперсной фазы в них непрерывно снижаются. Таким образом, концентрация огнетушащего вещества в выработке к моменту подхода фронта пламени взрыва должна быть минимальной пламегасящей в каждой точке площади поверхности фронта пламени.

4. Скорость фронта пламени вдоль выработки является основной характеристикой процесса взрыва. При скорости фронта пламени по пылевому облаку около 60 м/с давление на фронте ударной волны менее $0,02 \cdot 10^5$ Па. При меньшем давлении происходит затухание взрыва, так как энергия ударной волны в этом случае недостаточна для перехода угольной пыли во взвешенное состояние [2]. Таким образом, АСЛВ должны срабатывать и гасить пламя взрыва пылевоздушной среды при минимальной скорости распространения фронта пламени 60 м/с или минимальном значении давления ударной волны $0,02 \cdot 10^5$ Па.

5. Важным параметром, влияющим на эффективность локализации взрыва АСЛВ, является время создания облака огнетушащего вещества, то есть промежуток времени от получения соответствующего сигнала датчи-

ком автоматической системы до полного перекрытия сечения выработки облаком огнетушащего вещества необходимой концентрации:

$$t_c = t_{и} + t_{д} + t_{п}, \quad (1)$$

где t_c – время, необходимое для создания облака огнетушащего вещества, с;
 $t_{и}$ – инерционность, с;
 $t_{д}$ – время диспергирования огнетушащего вещества, с;
 $t_{п}$ – время перекрытия сечения выработки облаком огнетушащего вещества, с.

При этом, $t_{и}$ – промежуток времени с момента подачи соответствующего сигнала к датчику АСЛВ до начала выброса огнетушащего вещества; $t_{д}$ – время, затраченное на выброс огнетушащего вещества из бункера АСЛВ; $t_{п}$ – промежуток времени с момента полного выброса огнетушащего вещества и до полного перекрытия сечения выработки облаком огнетушащего вещества. Параметры $t_{и}$ и $t_{д}$ зависят от конструкции АСЛВ, а параметр $t_{п}$, кроме того, от площади поперечного сечения выработки. Таким образом, временные параметры должны определяться отдельно для каждого типа АСЛВ.

ВЫВОДЫ

1. Успешное испытание АСЛВ в опытных шахтах или штольнях не дает права применять ее в выработках с площадью поперечного сечения большей, чем при испытаниях только на основе расчетного значения концентрации ингибитора вследствие неравномерности распределения огнетушащего вещества при срабатывании АСЛВ и увеличения времени срабатывания за счет увеличения времени перекрытия сечения выработки облаком огнетушащего вещества $t_{п}$ в выражении (1).

2. Для применения АСЛВ в выработках с большим сечением, чем при проведении испытаний в опытных шахтах или штольнях, необходимо дополнительно измерять вертикальную и горизонтальную составляющие скорости формирования облака огнетушащего вещества и коэффициент неравномерности его распределения в выработке. При этом должны выполняться следующие требования:

– минимальная концентрация ингибитора в каждой точке площади поверхности фронта пламени должна быть не менее пламегасящей с учетом неравномерности его распространения в горной выработке при срабатывании АСЛВ;

– время создания облака огнетушащего вещества АСЛВ должно быть не более промежутка времени с момента обнаружения датчиком автоматической системы признаков взрыва МПВС до подхода пламени взрыва к сформированному облаку огнетушащего вещества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила безопасности в угольных шахтах: НПАОТ 10.0-1.01-16. – Донецк, 2016. – 218 с. – (Нормативный правовой документ Гортехнадзора ДНР).
2. Борьба со взрывами угольной пыли в шахтах / [Нецепляев М.И., Любимова А.И., Петрухин П.М. и др.]. – М.: Недра, 1992. – 300 с.
3. Айруни А.Т. Теория и практика борьбы с рудничными газами на больших глубинах / Айруни А.Т. – М.: Недра, 1981. – 335 с.
4. Шевцов Н.Р. Взрывозащита горных выработок (курс лекций): Учебное пособие для вузов / Шевцов Н.Р. – Донецк: ДонГТУ, 2002. – 280 с.
5. Кудинов Ю.В. О механизме взрыва угольной пыли / Ю.В. Кудинов, А.В. Володин // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. / МакНИИ. – Макеевка: МакНИИ. – 2013. – № 1 (31). – С. 139-143.

Получено: 04.09.17

VALIDATION OF EVALUATION METHOD OF AUTOMATIC SYSTEMS EFFICIENCY FOR EXPLOSION SAFETY OF MINE OPENINGS DUE TO DYNAMIC OF FIRE EXTINGUISHING AGENT CLOUD FORMING

The weaknesses of existing testing method of automatic explosion protection systems of mine workings have been showed; the method for efficiency determination of explosion localization due to dynamic of fire extinguishing agent cloud forming has been validated.

Keywords: coal dust, explosion localization, test method, fire extinguishing agents, automatic systems, passive barriers.