



**ЗАО «Межведомственная комиссия по взрывному делу» при Академии горных наук
(ЗАО «МВК по ВД при АГН»)**

107140, Москва, ул. Краснопрудная, д.1, стр.1, а/я 133

Тел/факс: (495) 558-82-71, 558-80-81

E-mail: mail@mvkmine.ru

WEB: <http://mvkmine.ru>

УДК 622

УТВЕРЖДАЮ:

Генеральный директор
ЗАО «МВК по ВД при АГН»



Ю.В. Горлов

2014 г.

**ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
АНАЛИЗ
ДЕЙСТВУЮЩИХ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ
СИСТЕМ ЛОКАЛИЗАЦИИ ВЗРЫВОВ И
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ**

Научный руководитель,
директор по научной
работе, д-р техн. наук

А.В. Джигрин

подпись, дата

Москва 2014

РЕФЕРАТ

Отчет 91 с., 25 рисунков, 6 таблиц, 51 источник.

ВЗРЫВ, УДАРНАЯ ВОЛНА, ФРОНТ ПЛАМЕНИ, ЛОКАЛИЗАЦИЯ ВЗРЫВОВ, ГОРНАЯ ВЫРАБОТКА, МЕТАН, УГОЛЬНАЯ ПЫЛЬ, ВЗРЫВО-ЛОКАЛИЗУЮЩИЙ ЗАСЛОН

В рамках реализации поручения научно-технического совета Минэнерго (протокол НТС от 24.11.2013, письмо Минэнерго от 08.10.2013 № АЯ13/11) в части анализа действующих в угольных шахтах систем локализации взрывов и оценки эффективности их применения выполнена научно-исследовательская работа.

В работе принимают участие специалисты Национального научного центра горного производства – Института горного дела им.А.А.Скочинского (ННЦ ГП-ИГД им.А.А.Скочинского), механико-математического ф-та Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова (МГУ), Федерального государственного бюджетного учреждения «Институт проблем комплексного освоения недр» Российской академии наук (ИПКОН РАН), ЗАО «Межведомственная комиссия по взрывному делу при Академии горных наук».

ННЦ ГП-ИГД им.А.А.Скочинского – главный научный центр на территории России фундаментальных и прикладных исследований в области горного дела, специализируется на постановке и решении задач инновационного развития угледобывающих и перерабатывающих предприятий, научно-технического сопровождения их производственной деятельности, повышения безопасности горного производства, развития отраслевой горной науки в новых экономических условиях.

ИПКОН РАН является головной организацией среди всех Институтов горного профиля Российской Академии наук по программам Президиума РАН, Отделения наук о Земле РАН и грантам Минобрнауки РФ.

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова – ведущий, один из старейших и крупнейших классических университетов России, один из центров отечественной науки и культуры.

МВК по ВД при АГН – разработчик и изготовитель единственных внедренных в эксплуатацию на угольных шахтах России и Украины автоматических систем взрывоподавления-локализации взрывов.

Область применения – угольные шахты, опасные по взрывам метана и угольной пыли.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	10
1 Анализ процесса развития взрывов метана и угольной пыли.....	13
1.1. Взаимодействие пламени с ударной волной при взрыве уголь- ной пыли.....	15
1.2. Влияние летучих веществ	20
1.3. Влияние негорючих веществ и влаги.....	22
1.4. Влияние дисперсного состава пыли.....	23
2 Анализ поражающих факторов от взрывов пылегазовоздушных смесей в угольных шахтах и оценка степени их опасности	26
3 Существующие и применяемые в России средства предупрежде- ния и локализации взрывов	33
3.1 Средства предупреждения взрывов метана.....	33
3.1.1 Система предупреждения взрывов «СТАРТ».....	33
3.1.2 Автоматическая система «СЛВА»	34
3.2. Средства локализации взрывов метана и(или)угольной пыли	37
3.2.1 Сланцевые заслоны.....	37
3.2.2 Водяные заслоны.....	39
3.2.3 Автоматические системы взрывоподавления-локализации взрывов типа АСВП-ЛВ(.1М)	41
3.3. Неприменяемые типы заслонов: рассредоточенные, вспомога- тельные, заслоны с неполной нагрузкой	45
4 Анализ аварий и эффективности средств локализации взрывов в угольных шахтах	46
4.1 Аварии на российских и зарубежных угольных шахтах.	46
4.2 Анализ эффективности средств локализации взрывов в уголь- ных шахтах.....	49
4.2.1. Авария, произошедшая 19.03.2007 в филиале «Шахта «Улья- новская»	51
4.2.2. Авария, произошедшая 24.05.2007 г в горных выработках шахты «Юбилейная»	54
4.2.3. Авария, произошедшая 08.02.2006г в горных выработках шахты «Томская»	55

4.2.4. Авария, произошедшая 25.06.2007 г. в горных выработках шахты «Комсомольская» ОАО «Воркутауголь».....	56
4.2.5. Авария, произошедшая 11.02.2013г. в горных выработках шахты «Воркутинская» ОАО «Воркутауголь»	57
4.2.6 Авария, произошедшая 18.11.2007 г. на арендном предприятии «Шахта им. А.Ф. Засядько» (Украина)	60
5. Рекомендации по применению средств локализации взрывов в зависимости от эффективности их применения	63
5.1. Эффективность средств локализации взрывов в угольной шахте...	63
5.2. Выбор средств локализации взрывов в угольных шахтах.....	64
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	71
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	74
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Комментарии к отчету СУЭК «Анализ действующих в угольных шахтах систем локализации взрывов и оценка эффективности их применения» (письмо СУЭК №02-2/2020 от 31.03.2014 г на имя Зам.Министра энергетики РФ Яновского А.Б.)	78

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В настоящем отчете о НИР применяют следующие термины с соответствующими определениями.

ВМП – вентилятор местного проветривания

ВПВ – верхний предел взрываемости

ВШ – вентиляционный штрек

ИТР – инженерно-технические работники

КШ – конвейерный штрек

МВС – метановоздушная смесь

МОТ – Международной организации труда

НПВ – нижний предел взрываемости

ОВК – оптимальная взрывчатая концентрация

ПБ – правила безопасности

ПЛА – план ликвидации аварии

РУ – рельсовый уклон

УВВ – Ударная воздушная волна

УЛВ – устройство локализации взрыва

ФП – фронт пламени

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Автоматический взрыволокализирующий заслон – средство локализации взрыва, представляющее собой автоматическую систему взрывоподавления и локализации взрыва, выполняющую в определенной технологической последовательности без содействия человека весь цикл операций по созданию огнетушащей среды с заданными параметрами на пути распространения фронта пламени внезапно возникшего взрыва пылегазовоздушной смеси;

автоматический способ локализации взрыва – способ, при котором облако огнетушащего вещества на пути распространения фронта пламени взрыва пылегазовоздушной смеси создается за счет внутренней, запасенной в самом взрыволокализирующем заслоне, энергии (энергии сжатого воздуха или газов, образующихся при сгорании газогенерирующих веществ);

взвешиваемость (инертной пыли) – плотность пылевого облака инертной пыли через определенный промежуток времени после распыления.

Взвешиваемость инертной пыли измеряется в процентах по отношению к эталонной угольной пыли. Плотность пылевого облака инертной пыли в зависимости от взвешиваемости подразделяют следующим образом: удовлетворительная (при взвешиваемости 70 % и более); средняя (при взвешиваемости от 50 до 70 %); неудовлетворительная (при взвешиваемости менее 50 %);

взрыв – процесс выделения энергии за короткий промежуток времени, связанный с мгновенным физико-химическим изменением состояния вещества, приводящим к возникновению скачка давления или ударно-воздушной волны, сопровождающийся излучением и образованием сжатых газов или паров, способных производить работу;

взрыволокализирующий заслон – средство локализации взрывов, предназначенное для локализации (предотвращения распространения) взрывов пылегазовоздушных смесей в горных выработках угольных шахт;

взрывоподавление – принудительное предотвращение распространения пламени и высокотемпературных продуктов горения. Взрывоподавление обеспечивается автоматическими системами;

водяная завеса – водовоздушная среда длительного действия, создаваемая с помощью форсунок для обеспыливания вентиляционной струи и снижения пылеотложения в вентиляционных штреках;

вспышка – кратковременное и интенсивное сгорание ограниченных объемов горючих рудничных газов и угольной пыли, не сопровождающееся образованием ударно-воздушной волны и разрушением горных выработок;

гидропылевзрывозащита – мероприятия по предотвращению возникновения взрывчатых пылегазовоздушных смесей в атмосфере угольных шахт с применением воды или воды со связующими составами. Для локализации взрывов пылегазовоздушных смесей применяют водяные или автоматические взрыволокализирующие заслоны;

инерционность срабатывания (взрыволокализирующего заслона) – время с момента получения исполняющего импульса на срабатывающее (пусковое) устройство заслона до момента начала выброса огнетушащего вещества в атмосферу горной выработки;

комбинированная пылевзрывозащита – мероприятия по предотвращению возникновения взрывчатых пылегазовоздушных смесей в атмосфере угольных шахт с применением инертной пыли и воды или воды со связующими составами и уборки пыли (смывка пыли, пылеулавливание). Для локализации взрывов пылегазовоздушных смесей применяют сланцевые, водяные или автоматические взрыволокализирующие заслоны;

локализация взрыва – предотвращение распространения пламени и высокотемпературных продуктов горения посредством специальных технических устройств;

локализация взрывов пылегазовоздушных смесей в угольной шахте – предотвращение возможности дальнейшего распространения по горным выработкам фронта пламени, образованного в результате взрыва пылегазовоздушной смеси;

облако – дисперсия в атмосфере какого-либо вещества в любом из возможных фазовых состояний. Выделяют твердые, жидкие и (или) газообразные фазовые состояния дисперсии;

огнетушащий порошок – вещество, обладающее физико-химическими свойствами, позволяющими создать условия для предотвращения горения, вспышек и распространения по горным выработкам фронта пламени, образованного в результате взрыва пылеметановоздушной смеси;

пассивный взрыволокализирующий заслон – средство локализации взрыва, представляющее собой сланцевый или водяной заслон, в виде полок или емкостей с запасом огнетушащего вещества (инертной пыли или воды), который переводится во взвешенное состояние энергией ударно-воздушной волны, образованной в результате взрыва пылегазовоздушной смеси;

пассивный способ локализации взрыва – способ, при котором облако огнетушащего вещества на пути распространения фронта пламени взрыва пылегазовоздушной смеси создается за счет внешней (по отношению к взрыволокализирующему заслону) энергии (например, за счет энергии ударно-воздушной волны);

пламя – зона горения в газовой фазе с видимым излучением;

пылевзрывозащита шахты – комплекс мероприятий, направленный на предотвращение возникновения взрывчатых пылевоздушных смесей в атмосфере угольных шахт и локализацию взрывов пылегазовоздушных смесей. Различают сланцевую пылевзрывозащиту, гидропылевзрывозащиту и комбинированную пылевзрывозащиту;

пылегазовоздушная смесь – распределение угольной пыли в воздухе в концентрации, способной взрываться, и взрывоопасная концентрация горючего газа (метана) в воздухе;

сланцевая пылевзрывозащита – мероприятия по предотвращению возникновения взрывчатых пылегазовоздушных смесей в атмосфере угольных шахт с применением инертной пыли. Для локализации взрывов пылегазовоздушных смесей применяют сланцевые или автоматические взрыволокализирующие заслоны;

скорость распространения ударно-воздушной волны – расстояние, пройденное фронтом ударно-воздушной волны в единицу времени;

скорость распространения фронта пламени – расстояние, пройденное фронтом пламени в единицу времени;

способ локализации взрывов пылегазовоздушных смесей в угольной шахте – действие или совокупность действий, направленных на достижение поставленной цели. Различают пассивный и автоматический способы локализации взрывов;

средство локализации взрывов – техническое устройство, предназначенное для локализации в ограниченном пространстве и предотвращения дальнейшего распространения взрыва пылегазовоздушной

смеси, срабатывающее от ударно-воздушной волны или излучения фронта пламени, внезапно возникшего взрыва пылегазовоздушной смеси с быстроедействием, достаточным для формирования облака огнетушащего вещества до прихода фронта пламени;

средства предупреждения взрыва – технические устройства, предназначенные для инертизации шахтной атмосферы и отложившейся угольной пыли с целью предотвращения возникновения взрывчатых пылевоздушных смесей в атмосфере угольных шахт и для устранения источников воспламенения;

ударно-воздушная волна – однократный скачок уплотнения, распространяющийся по горной выработке со сверхзвуковой скоростью;

фронт пламени – движущаяся по горной выработке зона химической реакции и нагретых газов;

фронт ударно-воздушной волны – движущаяся по горной выработке зона мгновенного изменения (увеличения) давления, плотности и температуры среды.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время борьба со взрывами метана и угольной пыли – одна из актуальнейших проблем обеспечения безопасных условий труда горнорабочих в шахтах, разрабатывающих пласты, опасные по взрывам пыли. При неудовлетворительном состоянии средств пылевзрывозащиты даже локальные взрывы метана или взвешенной угольной пыли, возникшие в каком-либо месте горных выработок, способны распространиться на значительное расстояние. В последние годы в результате интенсификации угледобычи за счет технического перевооружения угольной промышленности и внедрения высокопроизводительных горных машин при все усложняющихся горно-геологических и горно-технических условиях резко увеличились пылеобразование и газообильность шахт, что привело к повышенной опасности взрывов.

Ведение проходческих и очистных работ в опасных по выделениям метана и образованиям витающих и отлагающихся на поверхностях тонкодисперсных угольных пылей может привести к воспламенению метановоздушных смесей и взрывам газа и угольной пыли. Особенностью взрывов является неограниченное самораспространение реакции взрывчатого превращения.

Все случаи горения в угольных шахтах, начиная от медленных процессов (низкотемпературное окисление и нагревание угля в разрушенных трещинах под воздействием горного давления угольных целиках и в скоплениях угля в выработанном пространстве и т.п.) и кончая быстротекающими процессами взрывного или детонационного горения метана, обусловлены экзотермическими реакциями окисления органических веществ кислородом воздуха. То есть газовая среда, способная к горению или к распространению взрывного процесса, состоит из горючего компонента и окислителя, которые в процессе горения или взрыва тесно взаимодействуют друг с другом.

Детонационная волна при взрывах – это перманентно подпитываемая энергией взрыва незатухающая ударная волна, которая представляет собой распространяющуюся поверхность детонации, на которой происходит резкий, скачкообразный рост давления, сопровождающийся сжатием, нагревом и изменением скорости движения потока. Таким образом, ударная волна является зоной сжатия, распространяющаяся по среде со скоростью, превышающей скорость звука.

В зависимости от наличия взрывчатой смеси выделяют три вида взрывов (не принимая во внимание выгорание и вспышку метана без последствий и травмирования людей): взрыв метана, взрыв угольной пыли, взрыв метана и угольной пыли. В плане ликвидации аварий на газовой шахте, отрабатывающей пласты, пыль которых опасна по взрывчатости, в ПЛА обычно включают одну позицию «Взрыв метана и угольной пыли», но для каждой выработки (группы выработок) и технологического комплекса по приему угля на поверхности. С целью сокращения числа позиций в ПЛА «Взрыв метана и угольной пыли» объединяют с мероприятиями для «Пожара» в одну позицию. На негазовых шахтах совместно расписывают меры для «Взрыва пыли» и «Пожара».

Исходя из мощности источника и количества взорвавшегося метана и угольной пыли, взрывы условно разделяют на три категории:

а) слабые взрывы, которые происходят при незначительном местном скоплении метана. В этом случае срываются вентиляционные трубы, выбивается только что поставленная крепь (без разрушения целостности ее элементов). Работающие в выработке люди получают ожоги средней или легкой тяжести и отравление, но остаются живыми.

При ведении горных работ и нарушении проветривания бывают выгорание метана, вспышки-хлопки без явных видимых разрушений. При загорании метана, особенно после производства взрывных работ, положение часто усугубляется в результате неправильных действий рабочих и ИТР, которые, обнаружив загорание, отключают электроэнергию и останавливают ВМП;

б) взрывы средней величины, которые обычно возникают при наличии в выработках значительных объемов метана в куполах и слоевых скоплениях. Такой взрыв, например, происшедший в забое проводимой выработки, распространяется на всю выработку, разрушает сланцевые заслоны, крепление, находящиеся в забое люди погибают или получают тяжелые ожоги и отравления;

в) взрывы большой разрушительной силы с катастрофическими последствиями, которые происходят в основном по схеме, аналогичной протеканию взрывов средней величины, с разницей в том, что начальный взрыв метана в данном случае поднимает в воздух большое количество угольной пыли, находящейся на почве, бортах выработок, в пустотах закрепленного пространства, и взрывает ее. По мере распространения взрыва – ударной волны по выработке она поднимает все новые порции пыли, и взрыв иногда распространяется на 5-7 км. Взрывы большой силы и с тяжелыми последствиями также происходят в

результате выдувания-вытеснения первичным взрывом больших объемов метана из необрушившегося выработанного пространства лавы (купола обрушения), особенно при труднообрушаемых породах кровли. В рассматриваемом случае первоначальный взрыв метана (возможно, даже вспышка) является своеобразным электродетонатором для находящейся в выработке угольной пыли.

В отчете не содержатся сведения, которые могли бы составить предмет изобретения или открытия.

1. АНАЛИЗ ПРОЦЕССА РАЗВИТИЯ ВЗРЫВОВ МЕТАНА И УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ

При разработке различных средств локализации взрывов (сланцевых и водяных заслонов, различных автоматических средств взрывоподавления) одной из основных задач является своевременное создание в зоне очага или на пути распространяющегося по выработке взрыва взрывогасящей среды. Исходя из этого, для определения основных временных параметров средств локализации взрывов, а также установления оптимальных расстояний их от потенциальных очагов, при которых обеспечивается устойчивое гашение пламени, был исследован процесс возникновения и распространения по выработкам взрывов, и, в частности, определены скорости перемещения фронта пламени при различных источниках воспламенения пылегазовых взрывчатых смесей.

В результате проведенных экспериментов установлено, что распространение фронта пламени при взрывах метановоздушной и пылеметановоздушной смесей носит нестационарный, пульсационный характер (рис.1.1 а, б и в). Горение бедной метановоздушной смеси также имеет неустойчивый характер, и в ряде случаев она гаснет в пределах загазированной зоны (рис.1.1 г).

Проведенные опыты показывают, что на участке выработки длиной до 30 м от очага скорость распространения пламени может изменяться от нескольких единиц до нескольких сотен метров в секунду.

Ввиду того, что скорость распространения пламени при взрыве метано- и пылеметановоздушных сред носит пульсационный характер и не подчиняется какой-либо закономерности, в металлической штольне был изучен процесс возникновения и распространения пламени взрыва (горения) во времени.

В результате проведенных экспериментальных исследований были получены уравнения для определения скорости распространения пламени (U , м/с) в зависимости от относительного изменения выхода летучих веществ (V_c^{daf} , %) и относительного изменения концентрации угольной пыли (k):

$$U = 67,4 \ln(V_c^{daf} / 7,3) \quad (1.1)$$

$$U = 46,2 \ln(k / 16,6) \quad (1.2)$$

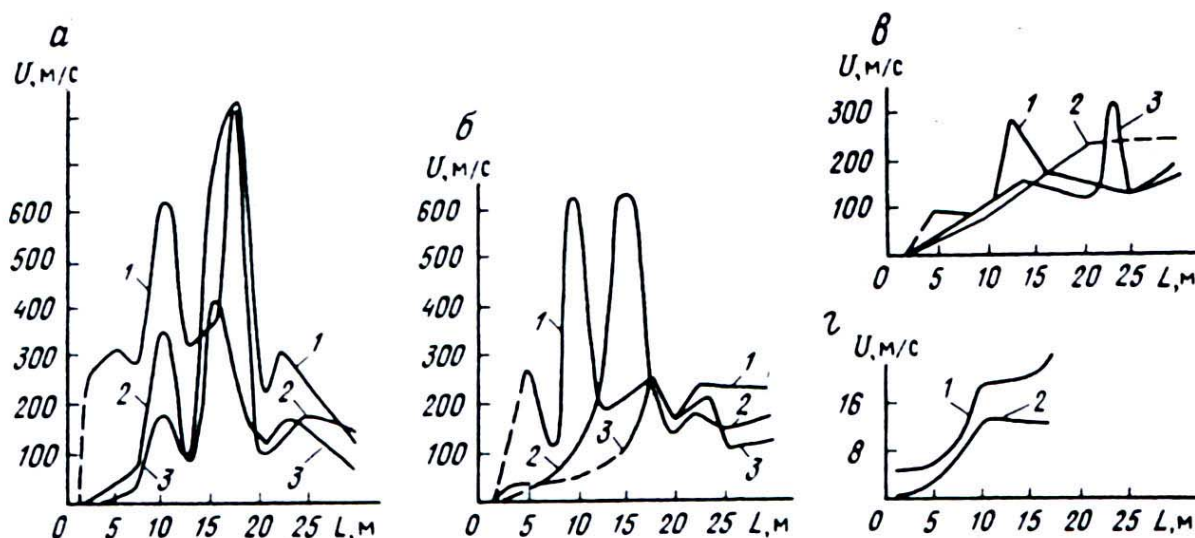


Рис.1.1. Характер изменения скорости пламени взрыва метана и пылеметано-воздушной смеси при различных инициаторах:

а – 9,5 % по объему CH_4 ; б – 9,5 % по объему CH_4 и взвешенная угольная пыль;
 в – 9,5 % по объему и взвешенная и отложившаяся угольная пыль (инициаторы взрыва:
 заряд ВВ (1), специальный электродетонатор (2), алюминиево-бариевый зажигатель (3));
 з – 16 % по объему CH_4 (1) и 21 % по объему CH_4 (2) (инициатор взрыва – алюминиево-бариевый зажигатель)

Однако, уравнения (1.1) и (1.2) справедливы лишь для средних значений скорости распространения пламени на некотором участке выработки, так как они не учитывают влияние теплопроводности и шероховатости стенок, неравномерность концентрации пылевого облака в выработке и др.

На большой протяженности выработки следует ожидать иной характер распространения пламени. Неравномерность концентрации угольной пыли приводит к неравномерному распространению пламени. Его скорость будет то возрастать в зоне оптимальной концентрации угольной пыли, то снижаться до минимальной в зоне концентраций, близких к нижнему пределу ее взрываемости.

1.1. Взаимодействие пламени с ударной волной при взрыве угольной пыли

В практике борьбы со взрывами угольной пыли наибольший интерес представляет взаимосвязь между пламенем и ударной волной при распространении взрыва по выработке.

Вследствие интенсивного горения газообразных продуктов пиролиза угольной пыли и поршневого действия распространяющегося пламени на фронте ударной волны поддерживается определенное давление. Параметры ударной волны и скорость распространения пламени взаимосвязаны. С возрастанием скорости распространения пламени давление на фронте ударной волны увеличивается, а следовательно, растет и ее скорость.

Обработка многочисленных результатов экспериментальных взрывов угольной пыли, произведенных в опытной шахте МакНИИ, а так же некоторых соответствующих экспериментов опытной шахты «Барбара» (Польша) позволили получить эмпирическое уравнение, которое с высокой точностью ($\pm 12\%$) описывает изменение давления на фронте ударной волны в зависимости от скорости распространения пламени

$$\Delta P_{\phi} = 10^5 (U - 56,3) / 65,3 \quad (1.3)$$

Решая это уравнение относительно скорости пламени, имеем

$$U = 0,65 \cdot 10^{-3} \Delta P_{\phi} + 56,3 \quad (1.4)$$

Из уравнения (1.4) видно, что при скорости распространения 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 энергии ударной волны в этом случае недостаточно для перехода угольной пыли во взвешенное состояние.

Взаимосвязь между скоростью распространения ударной волны и давлением выражается уравнением (1.3). Анализ уравнений (1.3) и (1.4) показывает, что при увеличении давления на фронте ударной волны скорость распространения пламени растет быстрее, чем скорость ударной волны, в силу чего при определенном значении ΔP_{ϕ} они могут быть равными, т.е. отношение $U/v_y = 1$.

Подставив вместо U значения из уравнения (1.4) и обозначив это отношение через M_B , получим

$$v_y = U_0 \sqrt{\frac{P_0 + 0,86 \Delta P_\phi}{P_0}}$$

$$M_B = \frac{0,65 \cdot 10^{-3} \Delta P_\phi + 56,3}{U_0 \sqrt{\frac{P_0 + 0,86 \Delta P_\phi}{P_0}}} \quad (1.5)$$

Данное уравнение описывает процесс протекающего взрыва, согласно которому при $M_B = 1$ взрыв угольной пыли должен носить детонационный характер. В соответствии с произведенными расчетами давление на фронте ударной волны при этом должно быть $22,5 \cdot 10^5$ Па, скорость распространения детонации – 1500 м/с.

В настоящее время наиболее распространенный и достоверный способ установления взрывоопасности угольной пыли любого пласта – непосредственное испытание ее на взрываемость в лабораторных приборах, штольнях или опытных шахтах. Эффективность способов и средств борьбы со взрывами в шахтах, как правило, определяется также экспериментальным путем.

Экспериментальные взрывы проводят:

- в опытных шахтах и штольнях, в которых можно создать условия наиболее близкие, а в ряде случаев одинаковые с условиями взрыва в шахтах;
- в лабораторных штольнях и с помощью приборов – устанавливают относительные показатели взрываемости угольной пыли, а также относительную эффективность взрывозащитных мероприятий.

Опытные шахты и штольни имеются почти во всех угледобывающих странах. В СССР опыты большого масштаба проводились в металлической штольне и опытной шахте МакНИИ.

Опыты по исследованию взрываемости пыли пластов угля различной стадии метаморфизма ($V_c^{daf} = 9,8 - 30,6$ %) проводились в рабочей выработке опытной шахты, которая запылялась искусственно приготовленной угольной пылью из расчета $0,350$ кг/м³. Инициирование взрывов угольной пыли осуществлялось принятым источником воспламенения.

На рис.1.2 показана зависимость скорости распространения пламени при взрыве пыли различных шахтопластов угля от длины запыленного участка,

причем на первых 40 м выработки характер изменения скорости в рассматриваемых опытах практически одинаков. Анализ результатов проводился по двум зонам: I – на участке выработки длиной 40 м, где заканчивается влияние источника воспламенения, II – остальном участке, где взрыв распространяется только за счет отложившейся угольной пыли. Примечательно, что скорость пламени взрыва как в I, так и во II зонах изменяется пульсационно, что объясняется нестационарностью процесса протекания взрыва аэродисперсных систем. При этом наиболее представительным показателем, характеризующим в общих чертах закономерности; изменения скорости распространения пламени в зависимости от стадии метаморфизма угля, может быть среднее ее значение как в конкретном опыте, так и для шахтопласта в целом. Скорости распространения пламени взрыва пыли различных шахтопластов угля изменяются в довольно широких пределах.

Так, в общем объеме полученных данных скорость распространения пламени взрыва изменяется от 5 до 500 м/с. Наблюдаются также значительные ее колебания в опытах с пылью одного и того же шахтопласта.

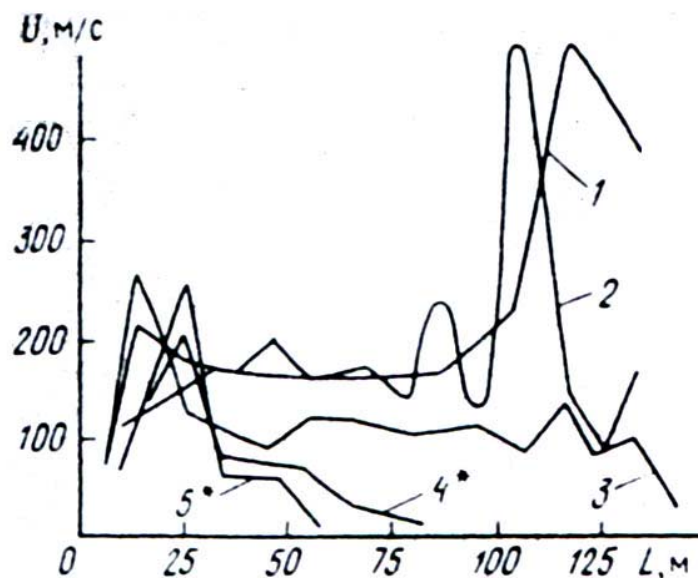


Рис.1.2. Зависимость скорости распространения пламени U от длины запыленного участка выработки L при взрыве пыли на различных пластах угля:

1 – пл. l_3 ; $V_c^{daf} = 23,5 \%$; 2 – пл. m_3 , $V_c^{daf} = 30,6 \%$; 3 – пл. k_4^{2H} , $V_c^{daf} = 18,1 \%$;

4* – пл. m_3 , $V_c^{daf} = 9,8 \%$; 5* – пл. h_{10}^B , $V_c^{daf} = 11,3 \%$

(* – взрыв не распространился по запыленному участку выработки)

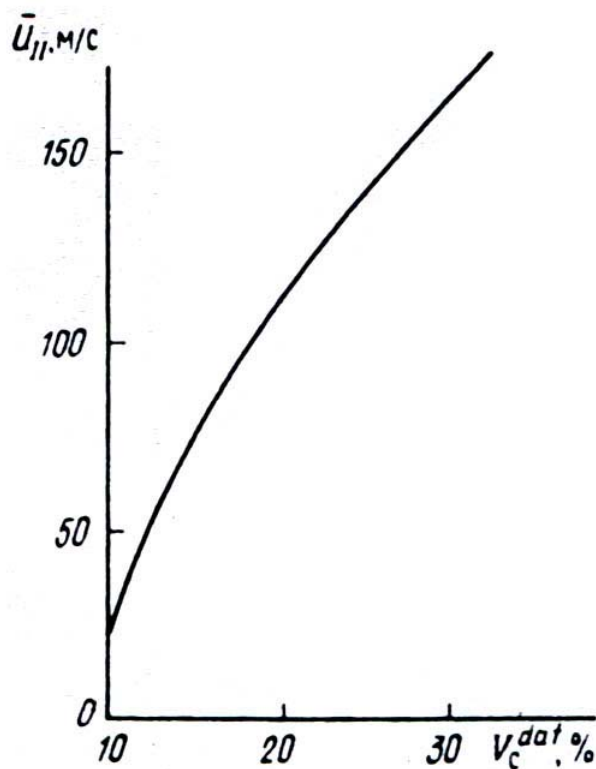


Рис. 1.3. Зависимость средней скорости распространения пламени взрывов угольной пыли от выхода летучих веществ V_c^{daf}

Анализ результатов экспериментов позволил установить, что в зоне действия источника воспламенения средняя скорость распространения пламени взрыва пылегазовоздушной среды в основном не зависит от выхода летучих веществ из пыли, определяется условиями инициирования взрыва и составляет 144 м/с с коэффициентом вариации 13,5 %.

Средние значения скорости распространения пламени взрыва угольной пыли во II зоне, где исключено влияние источника воспламенения, зависит от выхода летучих веществ (рис.1.3). Следует отметить, что значения скорости распространения пламени, измеренные во II зоне, колеблются около среднего ее значения в большей степени, чем в I зоне.

Значительный интерес представляет процесс распространения пламени взрыва угольной пыли на криволинейном участке горной выработки. В некоторых экспериментах при проведении такого участка в опытной шахте пламя взрыва ускоряется. При этом максимальное ускорение наблюдалось в опыте с пылью пласта k_4^{2H} когда на криволинейном участке скорость пламени возросла со 192 до 1650 м/с, т.е. в 8,6 раза.

В других опытах скорость распространения пламени на криволинейном участке составляла 149-1250 м/с. После выхода на прямую часть выработки скорость, как правило, снижалась, но в отдельных опытах с использованием пыли пластов k_4^{2H} и l_3 она все же оставалась достаточно высокой и составляла 400-667 м/с.

Взрыв пылевого аэрозоля в свете современной теории горения можно представить следующим образом: за счет энергии источника воспламенения угольные частицы прогреваются и выделяют продукты пиролиза, которые образуют вокруг них газовую оболочку. При соответствующих температурных условиях и взрывчатой концентрации происходит воспламенение газовой оболочки. Тепловой импульс от горячей частицы за счет излучения и теплопроводности передается к негорящим, которые, воспламеняясь, являются источником воспламенения других. При этом происходит нарастание температуры и создаются условия для развития быстрого лавинообразного процесса горения. Так как одновременно воспламеняется огромное количество угольных частиц, образуется непрерывный фронт пламени, структура которого в системе координат «температура – расстояние» показана на рис.1.4.

Взрываемость угольной пыли определяется физико-химическими свойствами разрабатываемого шахтопласта и горнотехническими условиями, при которых возможно протекание взрыва.

К физико-химическим свойствам относятся: стадия метаморфизма угля, количественно выражаемая выходом летучих веществ, содержание золы и влаги в угле, дисперсность витающей и отложившейся угольной пыли.

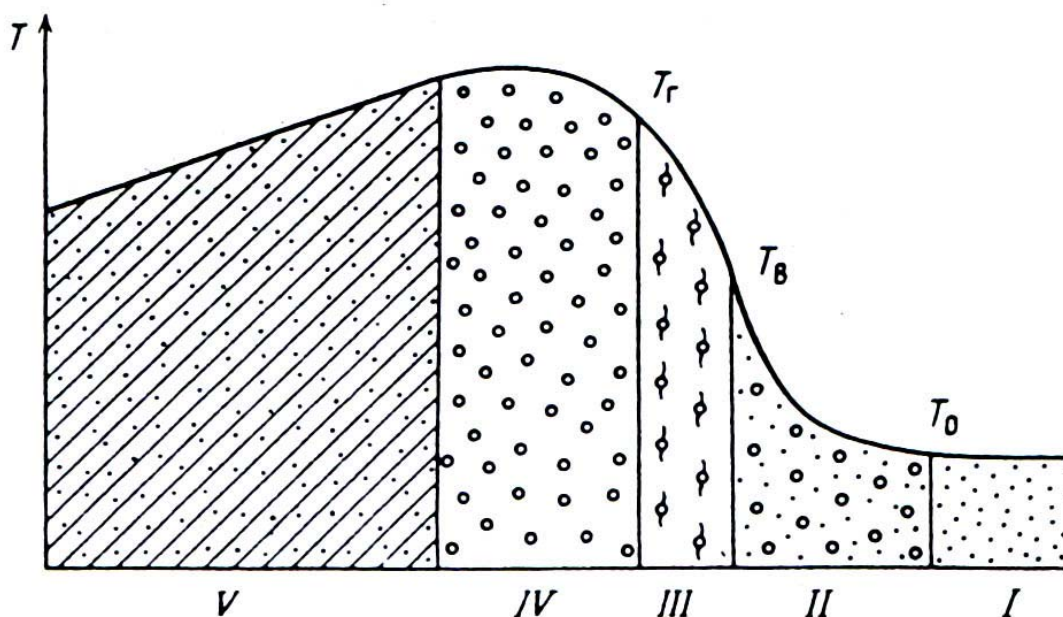


Рис.1.4. Зоны непрерывного фронта пламени в облаке угольной пыли:

T_0 , T_B , T_r – абсолютные температуры, соответственно, начальная, воспламенения и горения;

I – исходная пылевоздушная смесь; II – зона подогрева смеси;

III – зона кинетического горения; IV – зона горения коксового остатка;

V – продукты взрыва

К горнотехническим условиям относятся: концентрация взвешенной и отложившейся угольной пыли в горной выработке, источник воспламенения, содержание метана в атмосфере.

Степень влияния перечисленных факторов на взрываемость угольной пыли различна.

1.2. Влияние летучих веществ

Связь между выходом летучих веществ и взрываемостью угольной пыли установлена давно и в настоящее время ни у кого не вызывает сомнений. Однако на характер этой связи нет единой точки зрения. В особенности это относится к роли отдельных составляющих продуктов пиролиза. Тем не менее общепризнано, что с ростом летучих веществ взрываемость угольной пыли возрастает, и существует предельное значение выхода летучих, при котором пыль перестает взрываться. В качестве таких граничных пределов взрываемости угольной пыли в отдельных странах приняты различные значения выхода летучих веществ.

В действующих в угольных и сланцевых шахтах Правилам безопасности к опасным по взрыву пыли относятся пласты угля с выходом летучих веществ 15 % и более, а также пласты угля (кроме антрацитов) с меньшим выходом летучих, взрываемость пыли которых установлена лабораторными испытаниями. Это обосновано систематическим анализом данных испытаний пыли на взрываемость, при $V_c^{daf} \leq 6$ % все испытанные пробы угольной пыли невзрывчатые. При увеличении выхода летучих веществ частота появления невзрывчатых проб снижается, а при $V_c^{daf} = 15$ % и более все испытанные пробы угольной пыли оказались взрывчатыми.

Значительные отклонения в граничных пределах взрываемости угольной пыли объясняются различием методик определения выхода летучих веществ и взрываемости пыли. Вместе с тем следует отметить, что угольная пыль шахтопластов с выходом летучих веществ 6 % и менее согласно принятым как у нас, так и за рубежом методикам испытаний является невзрывчатой.

Исследования химического состава продуктов термического разложения угля показали, что основными компонентами летучих веществ, обуславливающими взрываемость угольной пыли, являются смолистые вещества и непредельные углеводороды на том основании, что смолы начинают выделяться при более низких температурах, а непредельные углеводороды имеют низкий концентрационный предел взрываемости. Влияние остальных компонентов летучих веществ имеет второстепенное значение. Однако какая-либо количественная зависимость взрываемости пыли от выхода этих компонентов не установлена и не дано объяснение факту взрываемости угольной пыли с выходом летучих веществ менее 10 %, которые практически не содержат смолистых веществ.

Исходя из представлений о структуре угольного вещества, при термическом воздействии на пылеугольные частицы в первую очередь открываются наиболее удаленные от центрального ядра цепи боковых групп молекул. При этом из продуктов термического пиролиза, синтеза и остатков боковых групп образуются газообразные, жидкие и твердые вещества. Газообразные продукты представляют собой смесь газов, состоящую из CO_2 ; CO ; H_2 ; CH_4 ; C_2H_6 и др. Учитывая то, что процесс взрыва угольной пыли протекает быстро, за время подготовки к нему частицы пылевого облака прогреваются до температуры значительно меньшей, чем температура источника воспламенения (фронта пламени). Пиролиз пыли происходит в низкотемпературном режиме, а газообраз-

ные продукты характеризуются высоким содержанием метана, его гомологов и непредельных углеводородов. Последнее дает возможность считать, что основной компонент газообразных продуктов пиролиза, определяющий взрываемость угольной пыли, – метан.

Для углей с выходом летучих веществ до 30 % прослеживается строгая закономерность между содержанием метана в продуктах пиролиза и степенью взрываемости пыли, что используется для соответствующей классификации угольных пластов.

Поскольку процесс горения при взрыве аэрозвеси происходит в потоке, то при столкновении пылинок их жидкие пленки могут сливаться, при остывании образуя сплошную массу, заполненную газообразными и твердыми продуктами пиролиза. Такие образования называются «коксыком» и служат одним из признаков, по которому судят об участии угольной пыли во взрыве при расследовании аварий в шахтах. Образование «коксыков» присуще только пыли спекающихся углей (Г, Ж, К, ОС). При взрыве пыли неспекающихся углей (Б, Д, Т) «коксыков» не образуется и ее участие во взрыве можно установить только по убыли летучих веществ.

1.3. Влияние негорючих веществ и влаги

Минеральные негорючие вещества являются составляющими углей и по своему происхождению могут быть разделены на две группы, одна из которых представляет золу внутреннюю, или конституционную, и вторая – внешнюю. Конституционная зола характеризуется тем, что негорючие вещества химически связаны с угольным веществом, равномерно распределены в угле, а следовательно, и в пыли. Ее содержание невелико и обычно не превышает 2 %. Содержание внешней золы в основном определяется технологией добычи угля.

Зола как инертная добавка снижает взрываемость угольной пыли из-за экранирующего действия и затрат тепла на ее нагрев, тем самым уменьшая тепловой баланс системы. Кроме того, негорючие твердые вещества в смеси с угольной-пылью, находясь в состоянии аэрозоля, разжижают концентрацию взрывчатых частиц и на стадии термического пиролиза способствуют обрыву реакционных цепей по принципу «стенки».

Указанные свойства негорючих веществ обусловили применение инертной, пыли для предупреждения и локализации взрывов угольной пыли.

На взрываемость угольной пыли оказывает влияние и вещественный состав негорючих компонентов. Например, если они представлены карбонатами, то при нагревании до 1073K и более из них выделяется значительное количество (12-15 % об.) углекислого газа, примесь которого в продуктах пиролиза повышает концентрационный предел взрываемости горючих газов.

Влияние содержания негорючих веществ на взрываемость пыли пластов различной стадии метаморфизма сказывается неодинаково. Для угольной пыли с выходом летучих веществ менее 15 % влияние содержания негорючих компонентов сказывается значительнее, чем это имеет место при большем выходе летучих веществ. Исследованиями МакНИИ установлено, что взрываемость угольной пыли с выходом летучих веществ менее 15 % существенно снижается при содержании золы 20-30 %. В ряде случаев такого содержания золы бывает достаточно, чтобы полностью нейтрализовать взрываемость пыли. С увеличением выхода летучих веществ более 15 % степень влияния естественной зольности уменьшается. При выходе летучих веществ более 30 % естественная зольность не оказывает влияния на взрываемость угольной пыли.

Присутствующая в угле влага проявляет себя двояко. С одной стороны, она действует как инертная добавка, с другой – как фактор, способствующий аутогезии мелких частиц, ведущей к уменьшению удельной поверхности пыли и, следовательно, к снижению ее взрываемости. В силу большой удельной теплоемкости и теплоты испарения она при равной массе поглощает в 4,5-5 раз больше тепла, чем инертная пыль. Содержание естественной влаги в угле незначительно и не оказывает заметного влияния на взрываемость угольной пыли. Но если отложившаяся пыль увлажнена до 12 % и более, то она не способна переходить во взвешенное состояние и создавать взрывоопасные концентрации.

1.4. Влияние дисперсного состава пыли

Многочисленными исследованиями установлено, что степень дисперсности является существенным фактором, определяющим взрываемость угольной пыли. Во взрыве пыли принимают участие частицы разных размеров ≤ 1000 мкм, причем взрываемость угольной пыли с увеличением дисперсности растет.

Влияние дисперсного состава угольной пыли на ее взрываемость подробно изучалось в МакНИИ [3]. Исследования проводились в лабораторных

приборах с пылями шахтопластов различной стадии метаморфизма следующих фракций: 600-300; 300-150; 150-75; 75-50; 50-30; 30-10 и менее 10 мкм, а для угля с высоким выходом летучих веществ ($V_c^{daf} = 40,5 \%$) менее 5 мкм.

На рис.1.5 показана зависимость взрываемости угольной пыли от среднего размера ее частиц. При этом в качестве показателя взрываемости принято удельное давление, развиваемое при взрыве пыли в замкнутом объеме. В двух случаях наблюдалось снижение показателя взрываемости для фракции менее 10 мкм. Причина снижения этого показателя для высокодисперсной пыли – аутогезия, происходящая тем эффективнее, чем мельче пыль. Это было доказано с помощью небольшой добавки пыли крупной фракции, резко снижающей аутогезию, но практически не изменяющей суммарную удельную поверхность. В результате такой добавки достигалось значительное повышение взрываемости пыли фракции менее 10 мкм.

Заслуживают внимания исследования, выполненные В. Цыбульским (Польша). В экспериментальной шахте им изучалась взрываемость пылей одного и того же пласта с содержанием в одной 85 % частиц размером менее 75 мкм и в другой 96,3 % частиц размером менее 15 мкм. Для первой пыли на нейтрализацию ее взрываемости потребовалась добавка инертной пыли, равная 4 кг на 1 кг угольной, для второй – 6,7 кг.

Таким образом, взрываемость угольной пыли растет с увеличением степени дисперсности, поэтому угольная пыль в горных выработках шахты по мере удаления от источника пылеобразования потенциально более взрывоопасна.

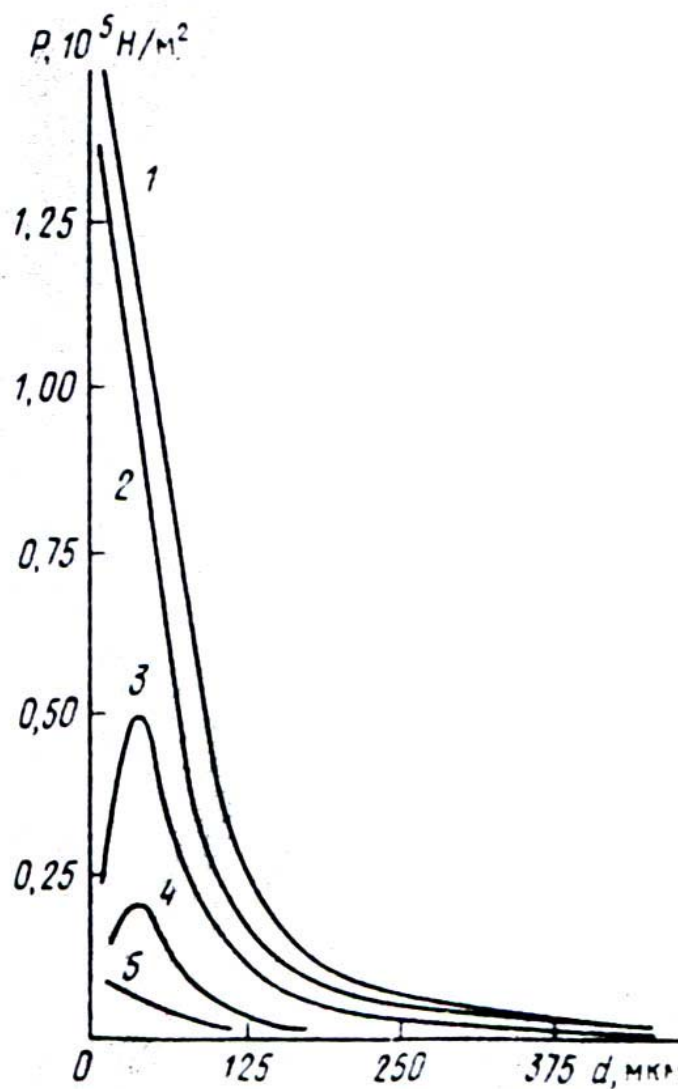


Рис. 1.5. Зависимость давления P , развиваемого при взрыве угольной пыли, от размера частиц

1 – пл. h_1 , $V_c^{daf} = 40,5 \%$; 2 – пл. m_3 , $V_c^{daf} = 34,5 \%$;
 3 – пл. k_8 , $V_c^{daf} = 24,0 \%$; 4 – пл. h_{10} , $V_c^{daf} = 17,5 \%$;
 5 – пл. h_3 , $V_c^{daf} = 10,5 \%$.

2. АНАЛИЗ ПОРАЖАЮЩИХ ФАКТОРОВ ОТ ВЗРЫВОВ ПЫЛЕГАЗОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ И ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ИХ ОПАСНОСТИ

Поражающие факторы взрыва – факторы, воздействие которых приводит к травме, отравлению или гибели людей, занятых на подземных работах, а также к внезапному нарушению нормального состояния горных выработок, изменению состава рудничной атмосферы, повреждению оборудования, механизмов, различных устройств и сооружений при наличии избыточного давления или разрежения, а также высокой температуре; зона поражения при взрывах (вспышках) газа и пыли в угольных шахтах – это совокупность горных выработок, на которые воздействовал хотя бы один поражающий фактор взрыва.

К поражающим факторам относятся фронт пламени, ударная волна и изменения состава шахтной атмосферы [3].

Фронт пламени представляет собой движущиеся по выработке зону химической реакции и нагретые газы. Скорость распространения фронта пламени может изменяться в широких пределах, начиная от скорости нормального горения, составляющей от 1 до 2,5 м/с, до максимальной экспериментально установленной скорости распространения детонационного взрыва, составляющей 2500 м/с.

Фронт пламени может двигаться по выработке наподобие поршня, по мере движения собирая (за счет вовлечения в совместное с ним движение новых количеств смеси) все большее количество воздуха и горючих компонентов. Протяженность такого поршня может быть различной — от десятых долей метра для наиболее медленного распространения фронта пламени до нескольких десятков для детонационных взрывов.

При прохождении фронта пламени:

- люди получают термические ожоги; в результате высокой скорости движения фронта пламени одежда с человека может быть сорвана, что увеличивает поверхность ожогов, вследствие чего возникают обширные и глубокие термические ожоги, причем не только кожи, но и слизистых оболочек органов дыхания и даже органов пищеварения (пищевода и желудка);

- повреждаются электрическое оборудование и, в особенности, кабели (в частности, разрушается изоляция токоведущих жил), при этом возможно обра-

зование вторичных источников воспламенения, представляющее особую опасность;

- в шахтах могут возникнуть пожары, тушение которых осложняется необходимостью подачи большого количества воздуха для разбавления продуктов взрыва и предотвращения вторичных взрывов; практически все наиболее мощные взрывы сопровождались возникновением рудничных пожаров.

Ударная волна представляет собой распространяющийся со сверхзвуковой скоростью скачок давления. Если выделить определенное сечение выработки на пути следования ударной волны, то перед ее прохождением давление равно атмосферному, а с ее приходом оно скачкообразно повышается до максимума и затем снижается, причем в процессе этого снижения оно может оказаться и ниже атмосферного.

При распространении прямой ударной волны избыточные давления на ее фронте могут изменяться от нескольких сот гПа до 2 МПа; при наложении и отражении прямых ударных волн могут создаваться давления до 10 МПа.

Скорость распространения ударной волны не может быть менее скорости звука, составляющей 340 м/с, а для наиболее сильных взрывов (детонационного типа) лишь незначительно превышает скорость распространения фронта пламени или равна ей. По мере ослабления ударная волна превращается в звуковую.

Прохождения прямой, отраженной и косых ударных волн вызывают:

- механические травмы людей, которые в большинстве случаев имеют комбинированный и множественный характер; сочетание механических травм с термическими ожогами затрудняет оказание первой помощи пострадавшим и требует очень осторожного обращения с последними;

- перемещения и повреждения электрического и механического оборудования, в результате чего в выработках, по которым проследовала ударная волна, могут возникать источники вторичного воспламенения;

- разрушения горной крепи, а нередко и сплошные завалы выработок на большом протяжении, вследствие чего нарушаются пути проветривания, сильно осложняются мероприятия по ликвидации аварии и спасению пострадавших.

В таблице 2.1 приведены сравнительные данные, полученные в работе [4] по действию избыточных давлений на фронте ударных волн, образующихся при взрывах метана и угольной пыли в шахтах.

Таблица 2.1 – Сравнительные данные по действию избыточного давления на фронте ударной волны

Избыточное давление, МПа	Действие давления на различные объекты и оснащение горных выработок		Характер действия (степень тяжести механических травм)
	наименование объекта или оснащения	характер действия давления на данные объекты или вид оснащения	
1	2	3	4
0,003-0,01	Крепь и оборудование	Отсутствие заметных механических повреждений	Отсутствие травм
0,011-0,02	Деревянная крепь	Частичное разрушение (наклонение кругов, выбивание отдельных стоек или верхняков), особенно при недостаточном расклинивании	Головокружение, легкие травмы (ушибы)
	Вентиляционные сооружения (перемычки)	Нарушение герметичности (в случае недостаточного их закрепления)	
0,021-0,06	Деревянная крепь	Значительные разрушения (полное выбивание кругов на расстоянии нескольких метров). Образование куполов	Травмы средней тяжести при давлении до 0,04МПа: контузии, потеря сознания, вывихи конечностей, переломы
	Вентиляционные сооружения		
	Вентиляционные трубопроводы	Полное обрушение, иногда с образованием куполов Обрываются с крепи, деформируются с нарушением целостности	

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4
0,021-0,06	Кабели и электросети	Обрываются с нарушением целостности изоляции	Тяжелые травмы при давлении до 0,06МПа: повреждения внутренних органов, тяжелые сотрясения мозга, вывихи и переломы
	Оборудование массой до 1 т (лебедки, ВМП, пускатели и т. П.)	Смещение с фундаментов, опрокидывание, поломки, деформации рамы	
0,061-0,3	Шахтные вагонетки порожние	Деформация боковых стенок кузова	Крайне тяжелые травмы, вплоть до нарушения целостности организма — при давлениях до 0,15 МПа
	Деревянная крепь	Полное разрушение с образованием сплошных завалов	
	Сборный железобетон	Значительные разрушения с образованием куполов	
	Металлическая крепь и бетонная крепь	Частичное разрушение с образованием трещин, выведением крепи из рабочего положения и деформацией	
	Монолитный железобетон	Незначительные повреждения (трещины) и отслаивания	Значительная вероятность смертельного поражения (примерно 75 %) — при давлениях до 0,3 МПа
	Железнодорожные пути шахтного транспорта	Отрыв рельсов от шпал, деформация рельсов	
	Оборудование массой до 1 т	Нарушение целостности, деформации, перемещения	
	Шахтные вагонетки (груженые)	Сбрасывание с рельсов Общая деформация кузова и рамы	
	Оборудование массой более 1 т (комбайны, электровозы)	Опрокидывание, смещения, деформация частей и деталей	

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4
0,31-0,65	Сборный железобетон и металлическая крепь	Полное разрушение на всем протяжении выработки с образованием сплошного завала	Уже при давлениях 0,4 МПа 100 %-ная вероятность смертельного поражения людей
	Бетонная крепь	Значительные повреждения с образованием куполов	Уже при давлениях 0,4 МПа 100 %-ная вероятность смертельного поражения людей
	Монолитный железобетон	Частичные разрушения с образованием глубоких трещин и нарушением целостности бетона	
	Оборудование и оснащение	Полное разрушение	
0,66-1,7	Бетонная крепь	Полное разрушение с образованием сплошных завалов	
	Монолитный железобетон	Значительные разрушения с повреждением арматуры и образованием куполов	
>1,7	Монолитный железобетон	Полное разрушение с образованием сплошных завалов	

Изменения в составе шахтной атмосферы. При взрывах метана и угольной пыли происходят следующие изменения в составе шахтной атмосферы: поглощается кислород при окислительных реакциях; выделяются ядовитые и вредные для здоровья человека газы; образуются взрывчатые газы.

Количественно эти изменения зависят от участвующих во взрыве горючих компонентов (метан, угольная пыль или их смесь), а также от концентрации этих компонентов.

Так как метан представляет собой газ постоянных физических и химических свойств, каждой его концентрации соответствует однозначная концентрация определенного газового продукта его взрыва.

Напротив, физические и химические свойства угольных пылей в зависимости от их дисперсности и состава весьма различны. В связи с этим одной и той же концентрации угольной пыли могут соответствовать различные концентрации конечных газовых продуктов взрыва.

Выделение, ядовитых и вредных для здоровья человека газов зависит от полноты сгорания горючих компонентов. При полном сгорании образуются двуокись углерода (углекислота) и водяные пары.

Известно, что при высоких концентрациях двуокиси углерода (более 5 %) она действует как ядовитый газ, растворяясь в плазме крови, и может вызвать смертельное отравление даже при концентрации кислорода, достаточной для дыхания.

Высокие концентрации водяного пара опасны тем, что благодаря высокой их теплоемкости они несут большой запас тепла. К тому же при конденсации водяных паров на слизистой оболочке органов дыхания выделяется скрытая теплота парообразования $2,3 \cdot 10^6$ Дж/кг. Поэтому вдыхание нагретых водяных паров связано с глубокими ожогами внутренних органов.

Оксид углерода представляет собой продукт неполного сгорания, в связи с этим при взрывах метана его выделение максимально при ВПВ. При взрывах угольной пыли максимальное выделение окиси углерода имеет место при ОВК; напротив, при ВПВ его выделение уменьшается, так как полнота сгорания увеличивается в результате участия кислорода, адсорбированного на поверхности угольной пыли. Выделение взрывчатых газов происходит только при неполном сгорании, поэтому при взрывах метана и угольной пыли максимальное выделение водорода происходит при ВПВ.

При взрывах угольной пыли в значительных количествах выделяется метан в смеси с его гомологами, образующимися при термической ее деструкции.

В сумме горючие газы (оксид углерода, водород, метан и его гомологи) могут загазировать по НПВ 6,3 объема чистого воздуха по отношению к объему распространения фронта пламени.

Сравнительная степень опасности рассматриваемых трех поражающих факторов в первую очередь связана с объемом их распространения: наименьший имеет фронт пламени, который обычно распространяется на десятки и сотни метров и только в исключительно редких случаях на километры; больший имеет ударная волна, которая, как правило, распространяется на километры и нередко выбрасывается на поверхность на расстояние до 2-4 км; еще больший объем распространения имеют продукты взрыва, что обуславливается наличием деятельного проветривания и возникновением после взрыва новых аэродинамических связей.

Однако, необходимо заметить, что локализация взрыва – подавление его в ограниченной области шахтных выработок, значительно минимизирует все поражающие факторы, несмотря на то, что борьба ведется только с фронтом пламени. Это связано с тем, что слабо развившийся взрыв не производит критического количества вредных продуктов относительно объема шахтного воздуха, а ударная волна от него не вызывает разрушения уже на относительно малом расстоянии от эпицентра, поскольку ликвидирована энергетическая подпитка от новых взрывов невозможных из-за остановки фронта пламени.

Поэтому остановка фронта пламени – основного фактора, вызывающего дальнейшие более мощные взрывы – является первичной задачей взрыволокализирующего заслона.

3. СУЩЕСТВУЮЩИЕ И ПРИМЕНЯЕМЫЕ В РОССИИ СРЕДСТВА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ЛОКАЛИЗАЦИИ ВЗРЫВОВ

3.1. Средства предупреждения взрывов метана

3.1.1. Система предупреждения взрывов «СТАРТ»

Обществом с ограниченной ответственностью «Научно-производственным предприятием «Шахтпожсервис» (ООО «НПП «Шахтпожсервис») разработано устройство ВЗЛ(У) «СТАРТ».

Данное оборудование представляет собой автоматическую водяную завесу (АВЗ), укомплектованную дополнительными сетчатыми преградами, призванными уменьшить давление на фронте ударной воздушной волны от возможного взрыва метана или угольной пыли (см.рис.3.1).

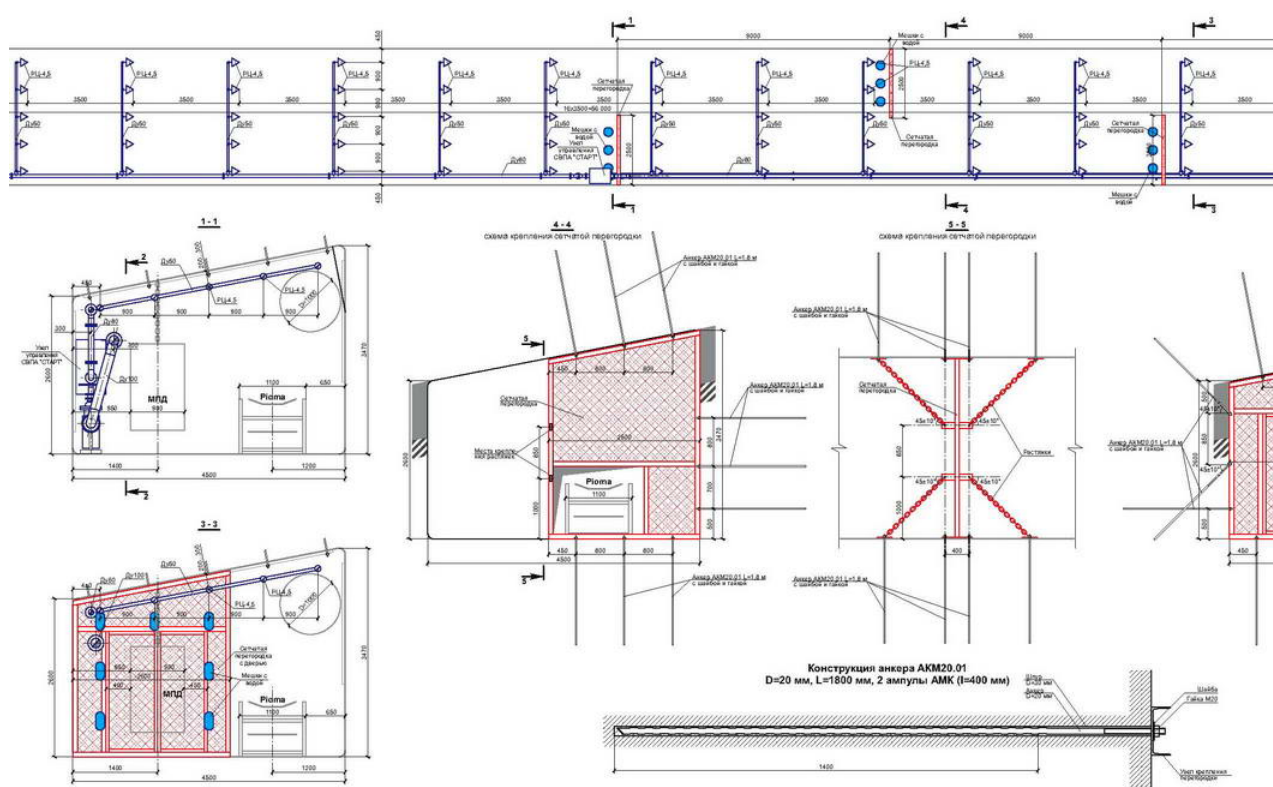


Рис.3.1. Схема автоматической водяной завесы ВЗЛ(У) «СТАРТ»

Данное устройство ошибочно называют устройством локализации взрывов, т.к. согласно своим конструктивным особенностям оно относится к средствам предупреждения взрыва (см. Федеральные нормы и правила в области

промышленной безопасности «Инструкция по локализации и предупреждению взрывов пылегазовоздушных смесей в угольных шахтах» [27], ГОСТ Р 54777-2011 «Автоматические системы взрывоподавления — локализации взрывов метанопылевоздушных смесей в угольных шахтах. Общие технические требования. Методы испытаний») [36].

Устройство монтируется в горной выработке, и срабатывает от сигнала датчика по превышения концентрации метана, реагируя на угрозу взрыва. При этом происходит подача воды через форсунки орошения в пространство горной выработки. Реагировать на собственно взрыв устройство не может хотя бы по причине инерционности конструкции. На заполнение водой трубопроводной сети и выхода на рабочий режим потребуется несколько секунд, что при высоких скоростях распространения взрыва неприменимо.

По данным разработчика, устройство сохраняет работоспособность при возникновении взрыва – после прохождения ударной воздушной волны. Данное заявление не подкреплено испытаниями и находится в противоречии с очевидными физическими явлениями. Давление ударной волны при взрыве угольной пыли может достигать 1,7 МПа, при этом конструкция будет разрушена (см. главу 4).

Дополнительные сетчатые преграды, призванные уменьшить давление на фронте распространяющейся ударной волны, зачастую могут иметь эффект. Однако, снижение давления ударной волны целесообразно только после локализации взрыва, когда тот не имеет подпитки от взрывающихся новых объемов метана и угольной пыли. Поэтому целесообразно сетчатые перегородки ВЗЛ(У) «СТАРТ» использовать совместно с альтернативными взрыволокализирующими заслонами, а саму систему рекомендовать к испытанию в качестве средства предупреждения взрыва.

Дополнительно следует заметить, что нет сведений об эксплуатации данного устройства в условиях действующей угольной шахты и его реальной эффективности, поэтому можно считать целесообразным продолжать работы над устройством, но в настоящее время не рассматривать его в качестве защитного средства для шахт.

3.1.2. Автоматическая система «СЛВА»

Автоматическая система СЛВА разработана на Украине, однако поставлялась на угольные шахты России. Она предназначена для подавления вос-

пламенения метана для предотвращения взрыва метана и (или) угольной пыли в начальной стадии его развития в горных выработках угольных шахт путем принудительной подачи огнетушащего порошка в зону очага воспламенения. Системы СЛВА состоят из двух или трёх, в зависимости от сечения выработки, взрывоподавляющих устройств (рис. 3.2), датчиков пламени с фотоприемником излучения, блока обработки информации, служащего для преобразования сигнала от датчиков пламени, выдачи импульса тока на электровоспламенители газогенерирующих зарядов взрывзрывоподавляющих устройств, контроля и сигнализации состояния электронной части системы и сетевого источника питания.

Внешний вид системы показан на рис.3.3.

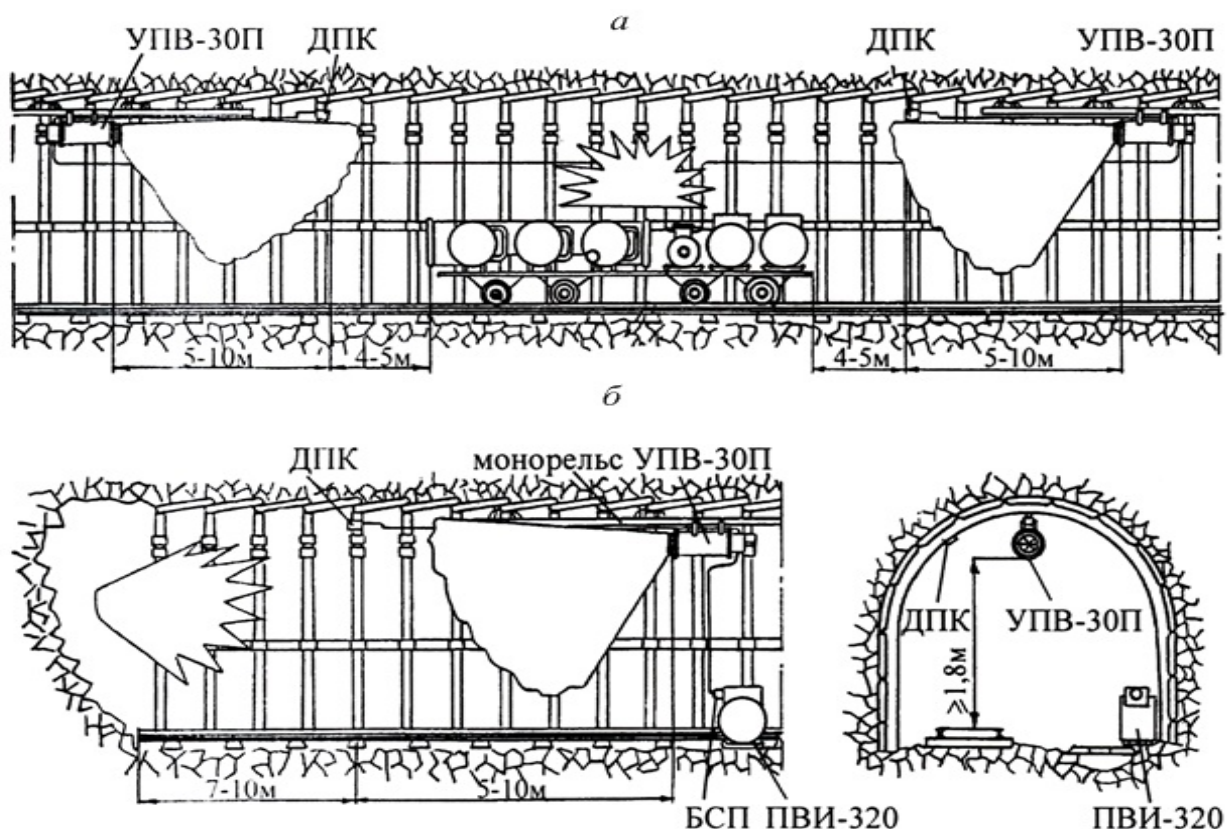


Рис.3.2. Автоматическая система СЛВА в горной выработке

К недостаткам этой системы можно отнести наличие автономного блока питания, а также то, что при работе в режиме «ожидания» на поверхность стекла датчиков осаждается слой пыли, что снижает надежность действия всей системы. Исследованиями МакНИИ установлено, что угольная и инертная

пыль даже при незначительном отложении ее на стекле сильно задерживает ультрафиолетовое излучение.

Также, наличие в системе газогенератора взрывного действия влечет за собой требования по строгому контролю и учету данного узла – в связи с возможностью его использования в преступных целях.



Рис.3.3. Внешний вид автоматической системы СЛВА

Однако, локализация вспышек метана, еще не перешедших во взрыв, является актуальной задачей. Помимо установки взрыволокализирующих заслонов в сети горных выработок, дополнительное применение систем типа СЛВА может быть эффективным. При этом обязательно должно быть обеспечено постоянное техническое обслуживание и контроль датчиков, а также строгий учет применяемого газогенератора взрывного действия.

3.2. Средства локализации взрывов метана и(или)угольной пыли

3.2.1. Сланцевые заслоны

Сланцевый пассивный заслон начал применяться в конце 19 века, и в настоящее время продолжает находить широкое применение на угольных шахтах.

Сланцевые заслоны (рис.3.4) монтируется длиной не менее 20 м из ряда устанавливаемых под кровлей поперек выработок полок с инертной пылью. Полки сланцевого заслона выполняются жесткой конструкции или свободнолежащим настилом.

Ширина полок сланцевого заслона жесткой конструкции находится в пределах 250–500 мм, полки сланцевого заслона жесткой конструкции устанавливаются в выработках площадью сечения до 10 м².

Ширина полок сланцевого заслона при свободнолежащем настиле – 600–800 мм, полки со свободнолежащим настилом устанавливаются в выработках сечением более 7 м².

Полки сланцевого заслона устанавливаются на расстоянии:

- от кровли выработки до верхней части полки не менее 200 мм и не более 300 мм;
- между полками не менее их ширины.

В выработках, оборудованных вентиляционным ставом, полки сланцевого заслона устанавливаются не более чем на 100 мм от вентиляционного става.

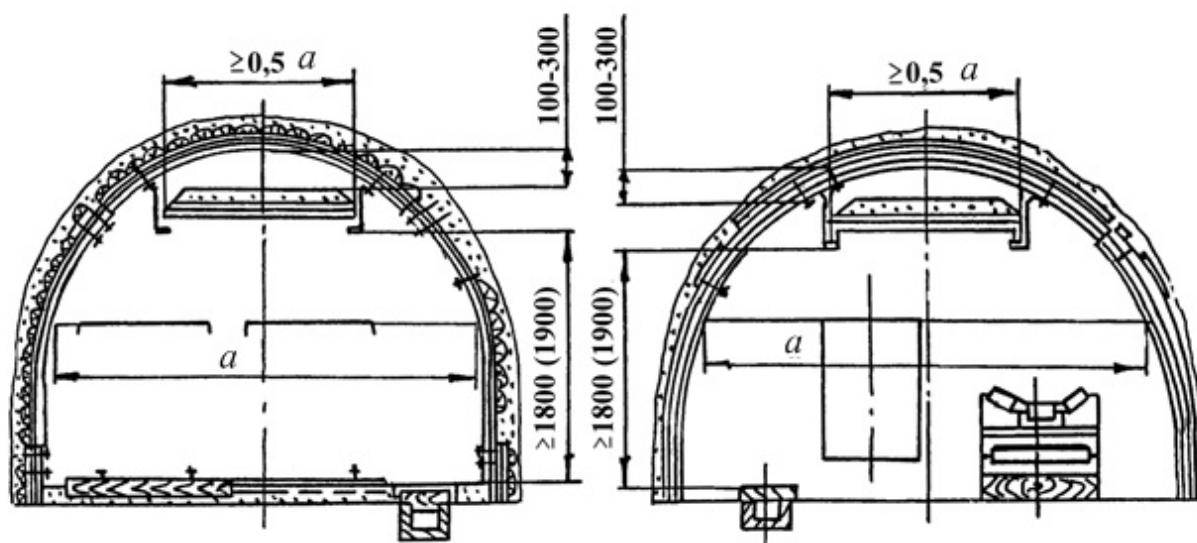


Рис. 3.4. Схема установки сланцевых заслонов

Количество инертной пыли в сланцевых заслонах определяется из расчета 400 кг на 1 м² сечения горной выработки в свету в месте установки заслона, и может достигать нескольких тонн.

При возникновении взрыва, ударная воздушная волна подходит к заслону и разрушает его, формируя облако инертной пыли на пути следующего за ударной волной фронта пламени. Для формирования облака инертной пыли требуется более 200-400 мс - в силу значительной инертности тяжелых конструкций заслона и огромной массы инертной пыли. Это не позволяет подавлять взрывы с большими скоростями распространения фронта пламени – т.к. к моменту прихода фронта пламени огнетушащее облако еще не сформировано. Также сланцевая пыль быстро оседает на почву выработки, не локализуя медленно подходящий фронт пламени от самых слабых балансирующих взрывов. Поэтому сланцевый заслон может показать свою эффективность только на развившемся балансирующем взрыве и при начале слабого взрыва, и принципиально не в состоянии подавить начальные балансирующие, развившиеся слабые или сильные взрывы.

Кроме того, в установленном в шахте сланцевом заслоне должна применяться инертная пыль, отвечающая показателям качества ГОСТ Р 51569-2000 «Пыль инертная. Технические условия». Однако, при нахождении в шахтной атмосфере, открытая к атмосферным воздействиям инертная пыль в сланцевом заслоне проявляет тенденцию к слеживаемости и накоплению влаги. Тяжелая, слежавшаяся и слипшаяся масса инертной пыли в таком заслоне просто уже не удовлетворяет требованиям стандарта, не поднимется в воздух при воздействии на нее ударной волны от взрыва, и заслон либо не сформируется, либо область локализации возможных взрывов уменьшится еще больше.

Для того, чтобы гарантировать качество инертной пыли в сланцевом заслоне, ее состояние необходимо контролировать, согласно ГОСТ Р 51063-97 «Пыль инертная. Методы испытаний», и постоянно заменять на свежую. Однако, шахты зачастую не выполняют, или не полностью выполняют подобные работы в связи с их трудоемкостью, и сланцевые заслоны находятся в неудовлетворительном состоянии. Данная практика приводит к серьезным последствиям (см. раздел 4).

3.2.2. Водяные заслоны

Водяной заслон начал применяться в 50-х годах 20 века. Он состоит из рядов монтируемых под кровлей поперек выработки полок с размещенными на них жесткими сосудами или из пленочных сосудов, изготовленных из полимерных материалов (рис.3.5, 3.6).

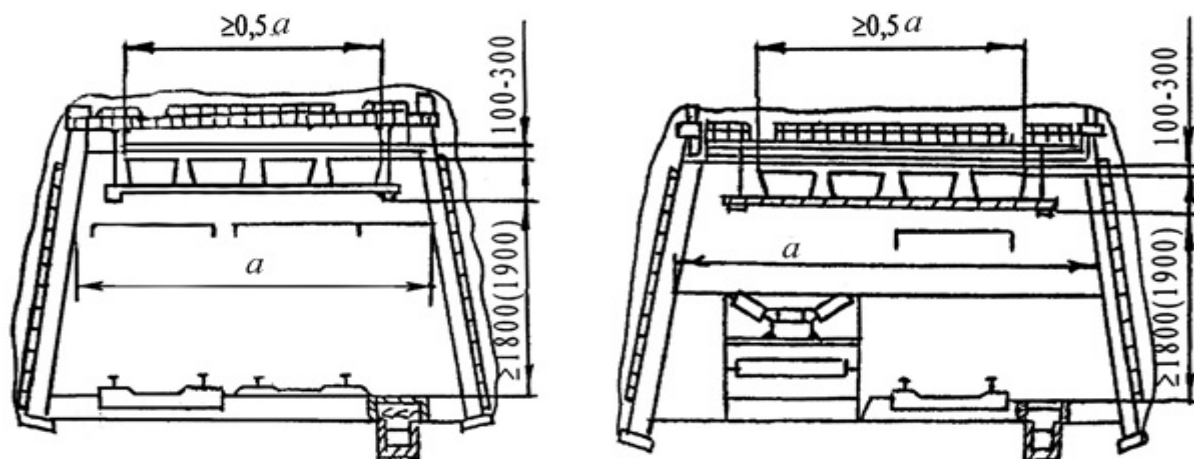


Рис. 3.5. Схема установки водяных заслонов

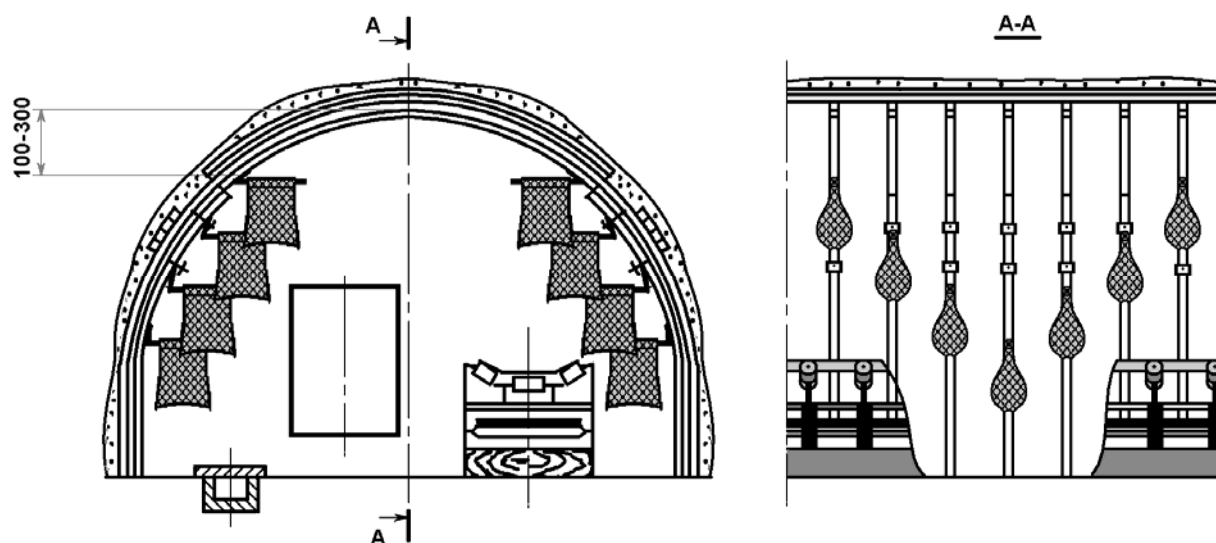


Рис. 3.6. Схема установки водяного заслона из водяных карманов

Полки водяного заслона устанавливаются таким образом, чтобы расстояние от кровли выработки до верха, размещенного на них жесткого сосуда, было не менее 100 мм и не более 300 мм. Полки для размещения сосудов устанавливаются шириной не менее 150 мм. Сосуды и водяные карманы имеют объем не более 80 л.

В сосуды водяного заслона и водяные карманы заливается вода, водные растворы, или другие огнетушащие жидкости. Количество огнетушащей жид-

кости в водяных заслонах определяется из расчета 440 л на 1 м² поперечного сечения горной выработки в свету в месте установки заслона.

Сосуды на полках устанавливаются в два и более ряда. Сосуды на соседних полках устанавливаются таким образом, чтобы промежутки между сосудами, установленными на одной полке, были перекрыты сосудами, установленными на соседней полке. При этом сосудами, установленными на каждой полке, должно быть перекрыто не менее 50 % ширины горной выработки.

Водяные карманы под кровлей выработки монтируются на расстоянии 100–300 мм от кровли горной выработки.

Для формирования взвешенного водяного аэрозоля в атмосфере горной выработки требуется не менее 150 мс. Высокая инерционность не позволяет подавлять взрывы с большими скоростями распространения фронта пламени. Также водяная аэрозоль быстро (примерно через 0,25 с) оседает на почву выработки, не локализуя медленно подходящий фронт пламени от балансирующих взрывов. Поэтому водяной заслон может показать свою эффективность только на слабых взрывах, и не в состоянии подавить балансирующие или сильные взрывы.

Кроме того, воду сложно перевести в мелкодисперсную аэрозоль (особенно, при низком давлении на фронте ударной волны) и часто при взрывах она распыляется только на крупные капли, что уменьшает область локализации возможных взрывов.

Испытания, проведенные МакНИИ, в опытных штреках показали, что водяные заслоны с сосудами из различных пластмасс эффективно гасят пламя взрывов угольной пыли, распространяющихся со скоростью 85–285 м/с.

Исследованиями также установлено, что водяные заслоны эффективно гасят взрывы угольной пыли, если сосудами перекрыто не менее 50% ширины выработки. При этом расстояние между кровлей и верхней кромкой сосуда должно быть не менее 100 и не более 600 мм.

Испытания, проведенные в подземной штольне опытной шахты «Барбара» (Польша), водяных карманов (водяных мешков) показали, что они эффективно гасили взрывы при скорости фронта пламени 110÷140 м/с.

3.2.3. Автоматические системы взрывоподавления-локализации взрывов типа АСВП-ЛВ(.1М)

Автоматические системы взрывоподавления-локализации взрывов типа АСВП-ЛВ(.1М) представляют собой автономное устройство (см.рис.3.7-3.8). Система в горной выработке крепятся к анкерам и (или) к элементам крепи, снаряжается огнетушащим порошком массой 25 кг и имеет емкость со сжатым воздухом высокого давления. Система полностью автономна и не требует подачи внешнего электропитания, не имеет в составе пиротехнического заряда.

АСВП-ЛВ(.1М) компактны, легко крепятся к специально установленным анкерам или к элементам крепи.

На одном участке выработки устанавливается одна или несколько АСВП-ЛВ(.1М). Установленные АСВП-ЛВ(.1М) обеспечивают необходимую концентрацию огнетушащего вещества на участке их установки.

Технические характеристики системы приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1. – Технические характеристики системы АСВП-ЛВ.1М

Параметр	Значение
Длина создаваемого взрыволокализующего заслона (облака огнетушащего порошка)	не менее 30 м
Минимальная чувствительность срабатывания системы (давление на фронте ударно-воздушной волны)	0,02 МПа
Инерционность срабатывания системы	15-20 мс
Масса огнетушащего порошка	Не менее 25 кг
Объём рабочей полости	3290 см ³
Рабочее давление сжатого воздуха в рабочей полости	9.8-13.8 МПа (100-140 кгс/см ²)
Масса системы	не более 89 кг



Рис.3.7. Внешний вид автоматической системы взрывоподавления-локализации взрывов типа АСВП-ЛВ(.1М)

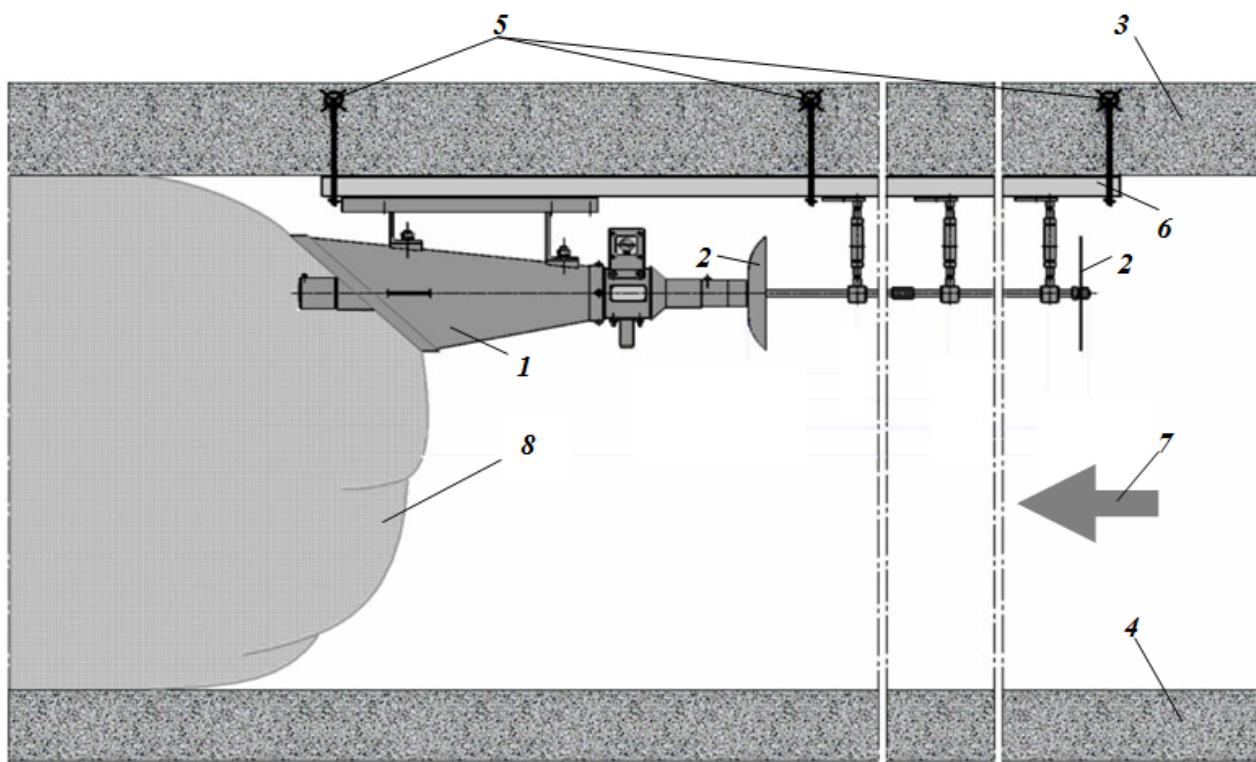


Рис.3.8. Автоматическая система взрывоподавления-локализации взрывов типа АСВП-ЛВ(.1М), смонтированная в горной выработке
 1 – АСВП-ЛВ(.1М); 2 – приемные щиты; 3 – кровля выработки; 4 – почва выработки; 5 – анкерная крепь; 6 – крепежная конструкция; 7 – направление распространения фронтов ударно-воздушной волны и пламени, образованных в результате взрыва метановоздушной смеси и (или) угольной пыли; 8 – облако из огнетушащего порошка во взвешенном состоянии

Системы АСВП-ЛВ(.1М) устанавливаются в направлении распространения возможного взрыва, приемными щитами в сторону прихода ударной воздушной волны. При вероятном приходе взрыва с любой стороны выработки, устанавливают две разнонаправленные системы АСВП-ЛВ(.1М).

В случае, если взрыв пришел с противоположной от направления установки системы стороны, она, согласно своим конструктивным особенностям, может сработать и сформировать облако огнетушащего порошка на пути подходящего фронта пламени, локализуя взрыв, однако такой режим работы будет нештатным.

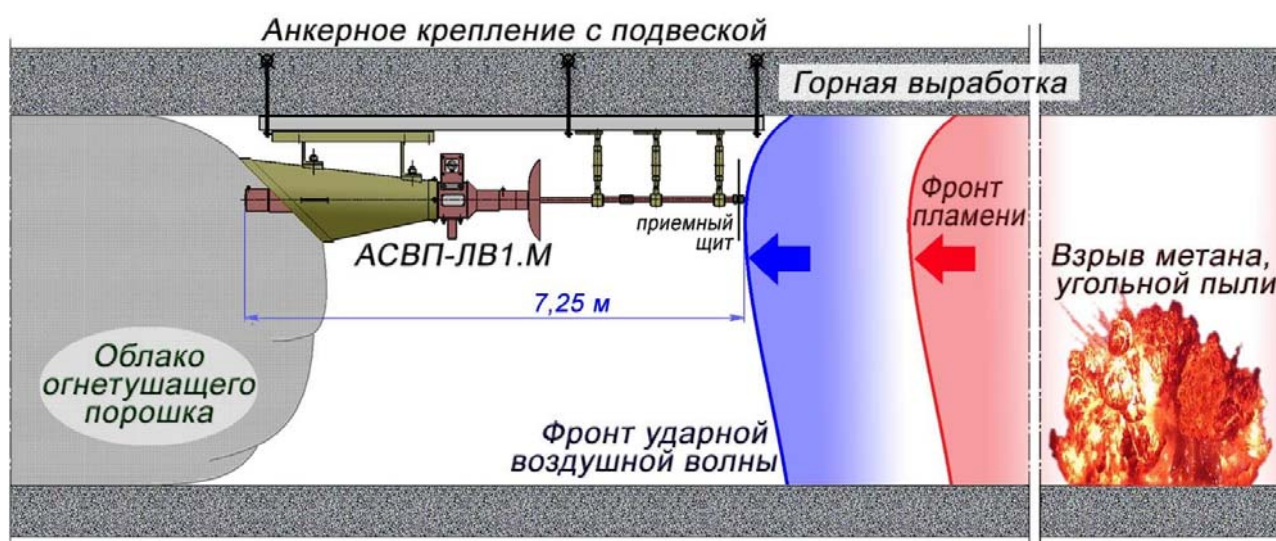


Рис. 3.9. Принцип действия автоматической системы взрывоподавления-локализации взрывов типа АСВП-ЛВ(.1М)

Система АСВП-ЛВ.1М работает в ждущем режиме и приводится в действие ударной воздушной волной (УВВ), образованной в результате взрыва метано-пылевоздушной смеси. От воздействия УВВ на приёмный щит АСВП-ЛВ.1М происходит динамическое выбрасывание в пространство горной выработки огнетушащего порошка энергией сжатого воздуха, находящегося под высоким давлением в рабочей полости системы (см.рис.3.9). Система спроектирована таким образом, что данный процесс происходит за очень короткое время - порядка 20 мс, в результате чего в объёме горной выработки по всему её сечению на пути распространения фронта пламени формируется надёжный заслон в виде долгоживущего облака огнетушащего порошка во взвешенном состоянии. Свойства применяемого огнетушащего порошка таковы, что для прекращения распространения взрыва достаточная концентрация – от 10 г/м^3

[45, 46]. По исследованиям МакНИИ при развитии взрыва в динамики достаточная концентрация может увеличиться до 3 раз. Это учтено в системе АСВП-ЛВ(.1М), она спроектирована таким образом, что имеющийся в ее бункере порошок формирует облако с концентрацией не менее чем в 5 раз больше достаточной на протяжении 30 метров. Отметим, что длина облака в 30 м – это тоже двойным запасом. По рекомендациям МакНИИ для локализации взрыва достаточно облака длиной 15 м

Этот заслон в виде облака огнетушащего порошка, выброшенного в горную выработку сработавшей автоматической системой ликвидирует подошедший фронт пламени (гасит его) и прекращает (локализует) процесс распространения взрывов по сети горных выработок.

Эффективность систем АСВП-ЛВ(.1М) подтверждена многочисленными испытаниями в России, Украине и Китае на стендах, и опытных штольнях в условиях, максимально приближенным к реальным.

Системы АСВП-ЛВ(.1М) имеют разрешение на применение в России, Украине и Китае на угольных шахтах в качестве взрыволокализирующих заслонов.

Системы АСВП-ЛВ(.1М) соответствуют требованиям нормативных документов

- Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по локализации и предупреждению взрывов пылегазовоздушных смесей в угольных шахтах» (утверждена приказом по Ростехнадзору №634 от 06 ноября 2012г., зарегистрирована в Минюсте 25 декабря 2012г, рег.№ 26359) [27];

- Правила безопасности в угольных шахтах ПБ 05-618-03 [26];

- Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах» (2014г., утверждены приказом по Ростехнадзору №550 от 19 ноября 2013г., зарегистрированы в Минюсте 31 декабря 2013г, рег.№ 30961);

- ГОСТ Р 54777-2011 «Автоматические системы взрывоподавления - локализации взрывов метанопылевоздушных смесей в угольных шахтах. Общие технические требования. Методы испытаний» (утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 декабря 2011г. № 989-СТ, дата введения — 01.01.2013) [36].

Системы АСВП-ЛВ, (АСВП-ЛВ.1М) доказали свою работоспособность и эффективность в реальных условиях действующих шахт России и Украины. Эффективность же пассивных заслонов (сланцевых или водяных) не отмечена ни при одной аварии за всю историю их применения (см. раздел 4).

3.3. Неприменяемые типы заслонов: рассредоточенные, вспомогательные, заслоны с неполной нагрузкой

Согласно требованиям Правил безопасности в угольных шахтах ПБ-05-618-03 [26], п.297: «до внедрения автоматических систем локализации взрывов метана и (или) угольной пыли защита забоев и горных выработок должна осуществляться рассредоточенными сланцевыми или водяными заслонами».

Данное требование было обусловлено тем, что зачастую в выработках (например, в дренажных и поддерживаемых выработках) невозможно разместить сланцевый или водяной заслон с полной нагрузкой – в связи с его значительными габаритами. Для выхода из этой ситуации было разрешено применять заслоны с пониженной нагрузкой, или рассредоточенные заслоны - поскольку в то время автоматические системы взрывоподавления только разрабатывались и не были внедрены на шахты.

В новых «Правилах безопасности в угольных шахтах» (2014г., Утверждены приказом по Ростехнадзору №550 от 19 ноября 2013г., зарегистрированы в Минюсте 31 декабря 2013г, рег.№ 30961) и действующих Федеральных норм и правилах в области промышленной безопасности «Инструкция по локализации и предупреждению взрывов пылегазовоздушных смесей в угольных шахтах» [27] нет допуска к применению рассредоточенных заслонов, заслонов с неполной нагрузкой, а также изъят термин «вспомогательные» заслоны. Согласно требованиям нормативных документов «В горных выработках шахты устанавливают средства взрывозащиты, обеспечивающие локализацию взрывов [согласно их технических характеристик]».

Следовательно, разрешено применять любые допущенные средства локализации взрывов, в соответствии с их техническими характеристиками.

Если топология горных выработок не позволяет установить сланцевый или водяной заслон с необходимой нормой огнетушащего вещества, следует использовать автоматические системы взрывоподавления-локализации взрывов, которые имеют подходящие габариты.

4 АНАЛИЗ АВАРИЙ И ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ ЛОКАЛИЗАЦИИ ВЗРЫВОВ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

4.1. Аварии на российских и зарубежных угольных шахтах

Добыча угля во всех странах мира сопровождалась авариями и катастрофами, в результате которых пострадали миллионы горнорабочих. Перечень только наиболее крупных аварий и катастроф, происшедших в XX-XXI веке на зарубежных шахтах, представлены в таблице 4.1 свидетельствует о большом количестве человеческих жертв на угольных предприятиях [1].

Таблица 4.1 – Наиболее крупные катастрофы, происшедшие на Российских и зарубежных угольных шахтах в XX-XXI веках.

Год	Страна	Наименование шахты (фирмы, компании, города, штата, бассейна)	Вид аварии	Число смертельно пострадавших человек
1	2	3	4	5
1900	США	Унтер-Кортерс-Софилд	Взрыв	200
1902	США	Фретервилль, штат Тенесси	Взрыв	201
1906	Франция	Шахта Кюрьер	Взрыв	1230
1906	Япония	Шахта в г. Нагассаки	Взрыв	250
1907	США	Дермайн, г. Питсбург	Взрыв	250
1907	США	Иоленд, г. Питсбург	Взрыв	500
1907	США	Дарр Джекобе Крук	Взрыв	239
1907	США	Шахты компании Фермонт	Взрыв	400
1907	Япония	Тогоока, провинц. Бунго	Взрыв	471
1908	Германия	Радбод, Вестфалия	Взрыв	335
1908	США	Мариани, г. Питсбург	Взрыв	300
1908	США	Ш. Общества св. Павла Черри	Взрыв	260
1909	США	Черри	Пожар	267
1910	Мексика	Паоло	Пожар	200
1910	Англия	Ш. № 3, Халтон	Пожар	344
1911	США	Ш. Никевилле, штат Тенеси	Пожар	202

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5
1911	США	Претория	Пожар	341
1912	Япония	Юбари, остров Иессо	Взрыв	283
1913	Англия	Сенгенгенидд	Взрыв	439
1913	Англия	Юниверсал, Кардифф	Взрыв	427
1913	США	Каусон, Нью-Мексико	Взрыв	325
1914	Колумбия	Хильрест, Кельгтон	Взрыв	206
1942	Япония	Хонкейко, Маньчжурия	Взрыв	1527
1946	Германия	Гимберг	Взрыв	404
1958	Индия	Анансоль	Взрыв	218
1962	Германия	Луизенталь	Взрыв	299
1963	Япония	Микава	Взрыв	457
1965	Индия	Бохори	Взрыв	375
1965	Югославия	Добрня	Взрыв	375
1965	Япония	Ямано	Взрыв	331
1969	Мексика	Барратерано	Взрыв	300
1969	США	Консол № 9, Консолидейшн Коул	Взрыв	78
1972	Родезия	Банки	Взрыв	400
1975	Польша	Силезия	Взрыв	34
1975	Индия	Часнала	Взрыв	431
1975	Индия	Дханабад штат Бихар	Взрыв	272
1982	Англия	Кардован	Взрыв	40
1983	ЮАР	Хлобейн	Взрыв	64
1985	Франция	Симон	Взрыв	22
1988	ЮАР	Видпнатерсранд	Взрыв	32
1988	Япония	Минами Юбара	Взрыв	61
1989	Перу	Наска	Взрыв	205
1989	Югославия	Скотка	Взрыв	90
1990	Югославия	Добрня	Взрыв	178
1992	Россия	Им. Шевякова ПО Юкузбассуголь	Взрыв	25

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5
1992	Турция	Казлу	Взрыв	201
1993	Россия	ш.Центральная, Челябинскуголь	Взрыв	26
1995	Россия	ш.Первомайская, Северокузбасуголь	Взрыв	45
1997	Россия	ш.Заряновская ПО Южкузбассу-голь	Взрыв	67
1997	Россия	ш.Центральная ПО Воркутауголь	Взрыв	62
1997	Россия	Баренцбург, Шпицберген	Взрыв	23
1997	Турция	Армушкук	Взрыв	217
1998	Китай	Ляонинь	Взрыв	77
1999	Китай	Северо-восточный бассейн	Взрыв	48
1999	Украина	им.А.Ф.Засядько	Взрыв	39
2000	Китай	Мучунгун	Взрыв	118
2000	Украина	им.Н.П.Баранова	Взрыв	80
2007	Украина	им.А.Ф.Засядько	Взрыв	104
2007	Россия	Ульяновская	Взрыв	111
2007	Россия	Юбилейная	Взрыв	39
2008	Казахстан	Абайская	Взрыв	39
2010	Россия	Распадская	Взрыв	93
Примечание: В таблице нет данных по СССР из-за закрытости информации				

В мире ежегодно травмируются до 200 тыс. шахтеров в том числе 6-10 тыс. чел. со смертельным исходом. Наибольшее число травм происходит на шахтах Китайской народной республики (КНР), где ежедневно в результате несчастных случаев на угольных шахтах гибнет более 1000 шахтеров, а в 1995 году число погибших в этой стране превысило 10 тыс. 400 горняков. Только в период с 1990 по 2000 г. в КНР произошло 27 мощных взрывов газа и пыли, в результате которых погибло 1908 человек [1].

За последние 30 лет даже на относительно мало аварийных польских шахтах произошло 15 взрывов метановоздушной смеси, при этом пострадало 426 человек, в т. ч. 219-смертельно [1]. В этот период имели место 17 катастрофических взрывов газа и пыли на шахтах Российской Федерации, Югославии, Японии, а также в ФРГ, Турции, Перу, Тайване, Мозамбике и др.

Вместе с тем, в ведущих угледобывающих странах в послевоенные годы и особенно в последние 10 лет число аварий и катастроф с групповым травматизмом и количество единичных смертельных несчастных случаев значительно снизилось. Об этом свидетельствуют материалы Международной организации труда (МОТ), иностранных литературных источников и отдельных специалистов.

Наибольшее число смертельно пострадавших в целом и на 1 млн. тон добычи угля среди ведущих угледобывающих стран приходится на Китай и Украину.

В других же странах, кроме КНР, при значительном росте добычи угля число смертельных случаев снизилось в полтора - два и более раз. Особенно характерен низкий уровень травматизма с тяжкими последствиями на угольных предприятиях Австралии, США и Германии. Резко уменьшился такой травматизм на 1 млн. т добычи в ЮАР, где достаточно сложные горно-геологические условия в угольных шахтах.

4.2 Анализ эффективности средств локализации взрывов в угольных шахтах

Анализ эффективности пассивных заслонов за период их эксплуатации в СССР и России – более 100 лет для сланцевых и более 50 лет для водяных заслонов – показал, что если происходит взрыв метана с участием во взрыве угольно пыли, или взрыв угольной пыли, то, как правило, эти взрывы не локализуются и выходят на дневную поверхность. По экспертным оценкам (т.к. все аварии в СССР засекречивались) в этих авариях погибло более 1000 человек, на угольных шахтах мира погибло несколько десятков тысяч человек.

Перечислим наиболее крупные аварии, произошедших на шахтах современной России, где взрывозащита осуществлялась только пассивными взрыволокализирующими заслонами – сланцевыми и водяными (таблица 4.2):

Таблица 4.2 – Аварии на шахтах современной России, где взрывозащита осуществлялась только пассивными взрыволокализирующими заслонами

Шахта	Дата аварии	Авария	Погибло, чел	Тип взрывозащиты
Шевякова, г. Междуреченск	1.12.1992	взрыв метана и угольной пыли	25	Применялась сланцевая пылевзрывозащита и только пассивные заслоны
Первомайская, г. Березовский	4.9.1995	выброс метана и взрыв МВС	15	Применялась сланцевая пылевзрывозащита и только пассивные сланцевые заслоны
Зыряновская, г. Новокузнецк	2.12.1997	взрыв метана с участием угольной пыли	67	Применялась сланцевая пылевзрывозащита и только пассивные заслоны
Тайжина, г. Осинники	10.4.2004	взрыв метана с участием угольной пыли	47	Применялась сланцевая пылевзрывозащита и только пассивные заслоны
Листвяжная, г. Белово	28.10.2004	взрыв метано-воздушной смеси	13	Применялась сланцевая пылевзрывозащита и только пассивные заслоны
Есаульская, г. Новокузнецк	9.2.2005	взрыв метано-воздушной смеси	25	Применялась сланцевая пылевзрывозащита и только пассивные заслоны
Распадская, г. Междуреченск	8-9.5.2010	взрыв метана с участием угольной пыли	91	Применялась сланцевая пылевзрывозащита и только пассивные водяные заслоны

Остановимся более подробно а авариях в угольных шахтах, где применялись не только пассивные взрыволокализирующие заслоны, но и автоматические системы типа АСВП-ЛВ(.1М).

Авария произошла 19.03.2007 г., произошел взрыв МВС с участием угольной пыли, при этом погибло 110 человек. На шахте применялась сланцевая пылевзрывозащита, и, наряду с более чем 15-ю сланцевыми заслонами были установлены системы взрывоподавления-локализации взрывов АСВП-ЛВ.

[illegible]

51

В результате взрыва угольной пыли сланцевые заслоны были разбиты, сланцевая пыль рассыпана по почве выработок. Однако взрыв угольной пыли не только не был локализован, но и продолжал развиваться, т.е. основную функцию по локализации взрывов угольной пыли сланцевые заслоны не выполнили. Остановка фронта пламени (и гашение ударно-воздушной волны) произошло только за сработавшими системами АСВП-ЛВ.

Две системы АСВП-ЛВ №05-40 и 05-113 были установлены в вентиляционном штреке 50-11бис длиной порядка 2 км, при этом АСВП-ЛВ №05-40 защищала сопряжение штрека с лавой 50-11бис, а АСВП-ЛВ №05-113 – сопряжение штрека с путевым уклоном; там же, в районе этого сопряжения был установлен сланцевый заслон. Следует обратить внимание на тот факт, что системы АСВП-ЛВ были установлены таким образом, что защищали только от взрыва, который мог выйти только из очистного забоя. Шахта на рекомендации разработчика об установке двух разнонаправленных систем АСВП-ЛВ для защиты и от взрыва, который мог прийти со стороны путевого уклона не отреагировала, посчитав, что в этом случае будет достаточно одного пассивного сланцевого заслона. Кроме того, нужно отметить, что перенос системы АСВП-ЛВ №05-113 был произведен силами шахты, без привлечения авторизованных сотрудников сервисного центра, что является нарушением эксплуатации системы, и, зачастую, может повлечь за собой неисправность в ее работе.

В результате чего, в вентиляционном штреке 50-11бис в районе сбоек №3 и №4 погибло 4 человека, т.к. взрыв в штрек зашел со стороны путевого уклона, а сланцевый заслон не локализовал взрыв.

Кроме того, в конвейерном уклоне пл.50 (север) было установлено 8 систем АСВП-ЛВ парами по 2 штуки через 300 м. Из Акта комиссии по расследованию [38] 2 пары систем АСВП-ЛВ, к которым подошел взрыв, сработали, последние к выходу нет. Но и не было следов разрушений, т.е. и не было ударно-воздушной волны с давлением выше порога срабатывания – поэтому они и не должны были сработать. Таким образом, сработавшими автоматическими системами был произведен выброс огнетушащего порошка в количестве, достаточном для локализации взрыва. Системы АСВП-ЛВ выполнили основную свою функцию – локализовали взрыв угольной пыли.

В заключении «Комиссионной комплексной горнотехнической судебной экспертизы, по аварии, произошедшей в филиале «Шахта «Ульяновская» ОАО «Объединенная угольная компания «Южкузбассуголь» 19 марта 2007г» [37] в

рамках уголовного дела, возбужденного Главным следственным управлением Следственного комитета при прокуратуре РФ, было установлено, что все 110 человек погибли в сети горных выработок, которые защищались пассивными сланцевыми заслонами. В выводах было отмечено:

1. Характер аварии представляет собой взрыв метанопылевоздушной смеси.

2. Наиболее вероятным местом возникновения аварии является район сопряжения монтажной камеры 50-15 и конвейерного штрека 50-15.

3. Причиной возникновения аварии явилось формирование взрывоопасной метановоздушной смеси, как в самой монтажной камере 50-15, так и на сопряжении с конвейерным штреком 50-15 при работе комбайна 12ВМ15 проводившего расширение выработки.

4. Механизм аварии. Сначала произошел взрыв метановоздушной смеси, затем с вовлечением в процесс угольной пыли он развился до взрыва метанопылевоздушной смеси. Развитию взрыва и его дальнейшего распространения по сети горных выработок способствовала отложившаяся угольная пыль в этих выработках с превышением нижнего концентрационного предела ее взрываемости.

5. Огромный ущерб от аварии связан с широким применением для обеспечения безопасности технически неэффективных средств локализации взрывов – сланцевых взрыволокализирующих заслонов, которые в очередной раз оказались бесполезными при защите выработок от распространения по ним взрывов метанопылевоздушной смеси. Внедрение современных более эффективных средств локализации взрывов – автоматических систем ограничивается устаревшими Правилами безопасности в угольных шахтах.

6. При расследовании аварии не было объективной оценки работы технических средств локализации взрывов метана и угольной пыли:

- не проводился сравнительный анализ динамики распространения взрыва в районе расположения средств локализации взрывов: автоматических систем АСВП-ЛВ и сланцевых заслонов.

- выводы об эффективности автоматических систем делались по второстепенным факторам – частичному остатку огнетушащего порошка в бункере без определения его количества.

- не проводилась проверка записей в рабочих журналах по обслуживанию автоматических систем АСВП-ЛВ;

7. Применение автоматической системы АСВП-ЛВ №05-40 позволило локализовать взрыв в 150-200м от сопряжения лавы 50-11 «бис» с вентиляционным штреком 50-11 «бис»; также применение спаренных автоматических систем АСВП-ЛВ №06-137 и №06-282 позволило локализовать взрыв пылевоздушной смеси в конвейерном уклоне пласта 50 выше сбойки №7 на расстоянии 400-450м после прохождения ударной воздушной волны.

4.2.2. Авария, произошедшая 24.05.2007 г в горных выработках шахты «Юбилейная»

Авария произошла 24 мая 2007 года. Произошел взрыв МВС с участием угольной пыли, при этом погибло 39 человек. На шахте применялась сланцевая пылевзрывозащита, и, наряду с со сланцевыми заслонами были установлены системы взрывоподавления-локализации взрывов АСВП-ЛВ.

Схема аварийного участка представлена на рис.4.2.

Схема аварийного участка ш.Юбилейная

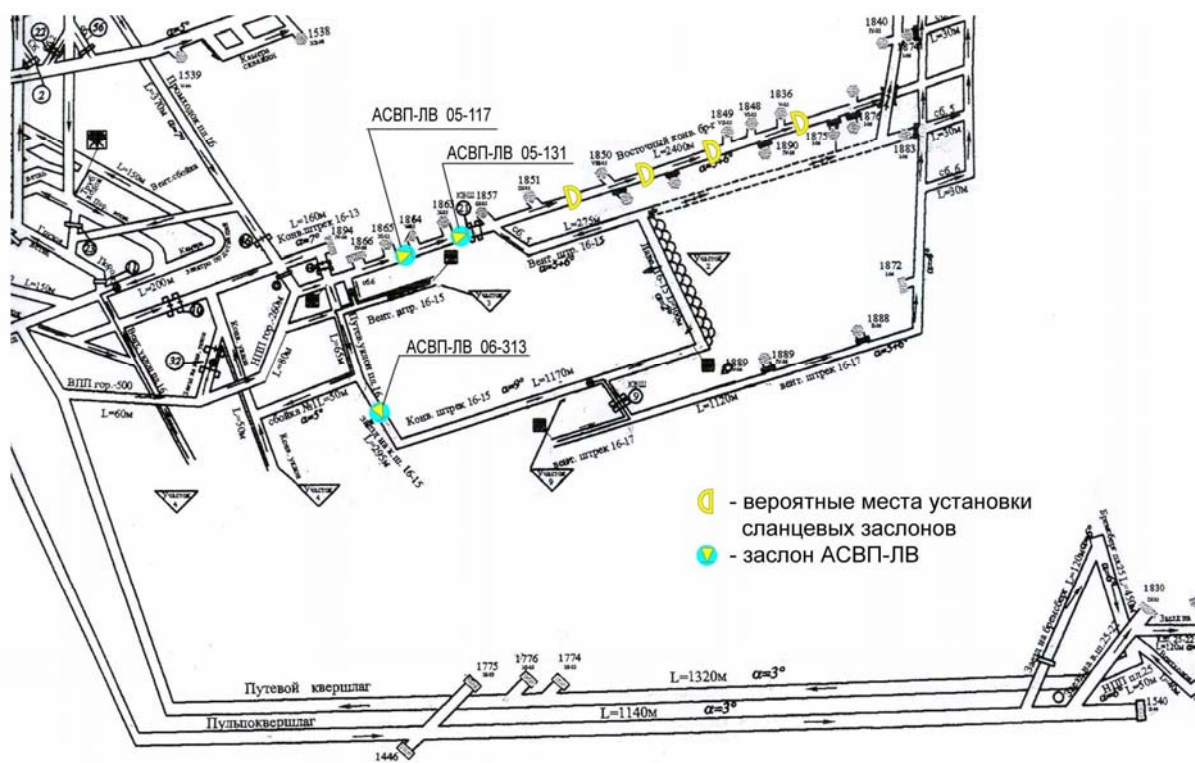


Рис.4.2. Схема аварийного участка

Сеть горны выработок защищалась в основном пассивными сланцевыми заслонами. В шахте было установлено только 3 автоматические системы.

Системы АСВП-ЛВ №05-117 и №05-131 защищали сопряжение Восточного конвейерного бремсберга с Путевым уклоном пл.16, а система АСВП-ЛВ №06-313 защищала сопряжение Путевого уклона пл.16 с конвейерным штреком 16-15. Взрыв МВС и угольной пыли за системами АСВП-ЛВ был локализован, а за ними не погиб ни один человек, все 39 погибших находились в сети горных выработок, которые защищались сланцевыми заслонами.

4.2.3. Авария, произошедшая 08.02.2006г в горных выработках шахты «Томская»

На шахте «Томская» ОАО ОУК «Южкузбассуголь» 08.02.2006г произошел взрыв МВС с возможным участием угольной пыли, травмировано 10 человек, 1 из них смертельно.

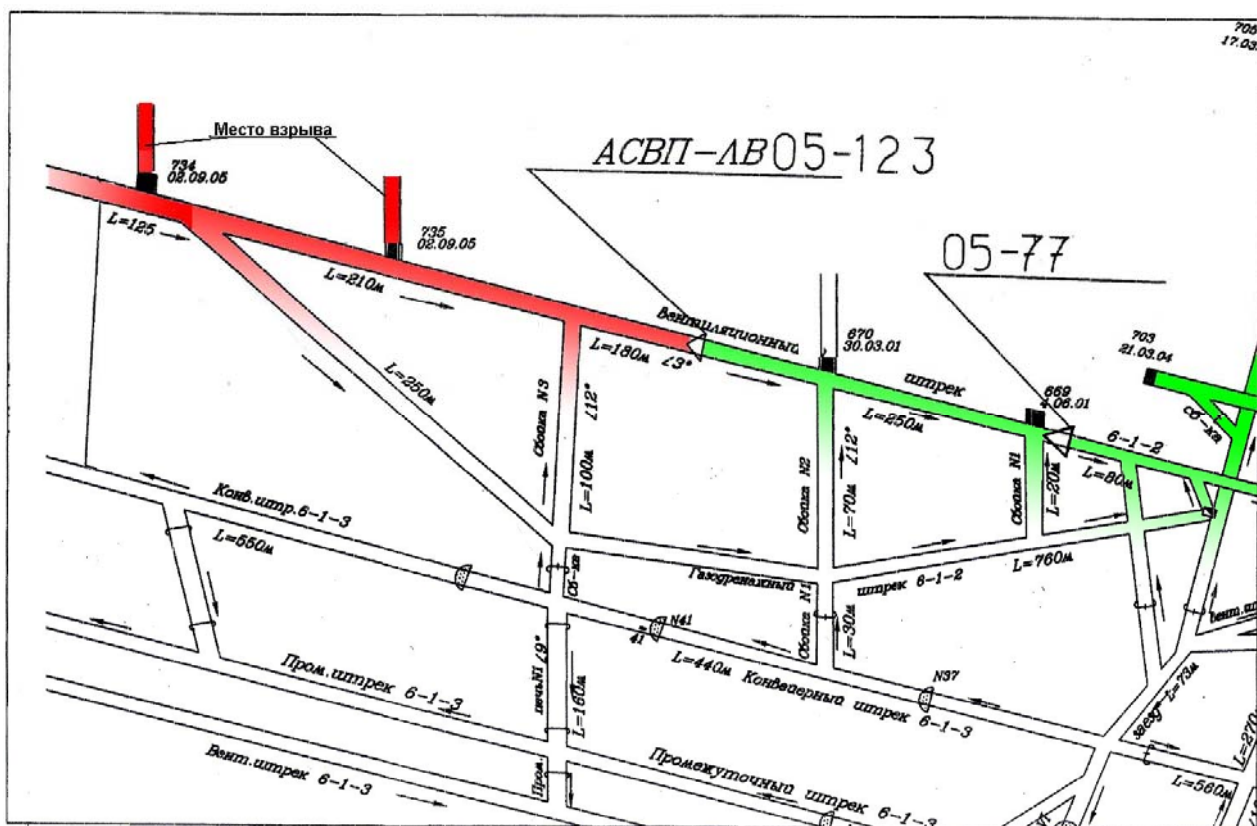


Рис.4.3. Схема аварийного участка

На аварийном участке в вентиляционном штреке 6-1-2 было установлено две системы АСВП-ЛВ №05-123 и №05-77 (рис.4.3). Первая из них сработала, локализовав дальнейшее распространение взрыва. Ударная волна, не имея в дальнейшем энергетической подпитки от новых взрывов, ослабла естественным образом, и, при подходе ко второй системе, имела давление ниже порога срабатывания. В соответствии с техническими характеристиками, вторая система не должна была сработать, так как взрыв уже был локализован сработавшей первой автоматической системой и не вышел за пределы выемочного участка.

Данный факт был отмечен в решении специального совещания Ростехнадзора от 12.04.2006г.

4.2.4. Авария, произошедшая 25.06.2007 г. в горных выработках шахты «Комсомольская» ОАО «Воркутауголь»

На шахте «Комсомольская» 25 июня 2007 г. произошел взрыв МВС с возможным участием угольной пыли, погибло 11 человек в эпицентре взрыва, который находился в конвейерном штреке 722-с пл.Мощный.

Схема аварийного участка ш.Комсомольская

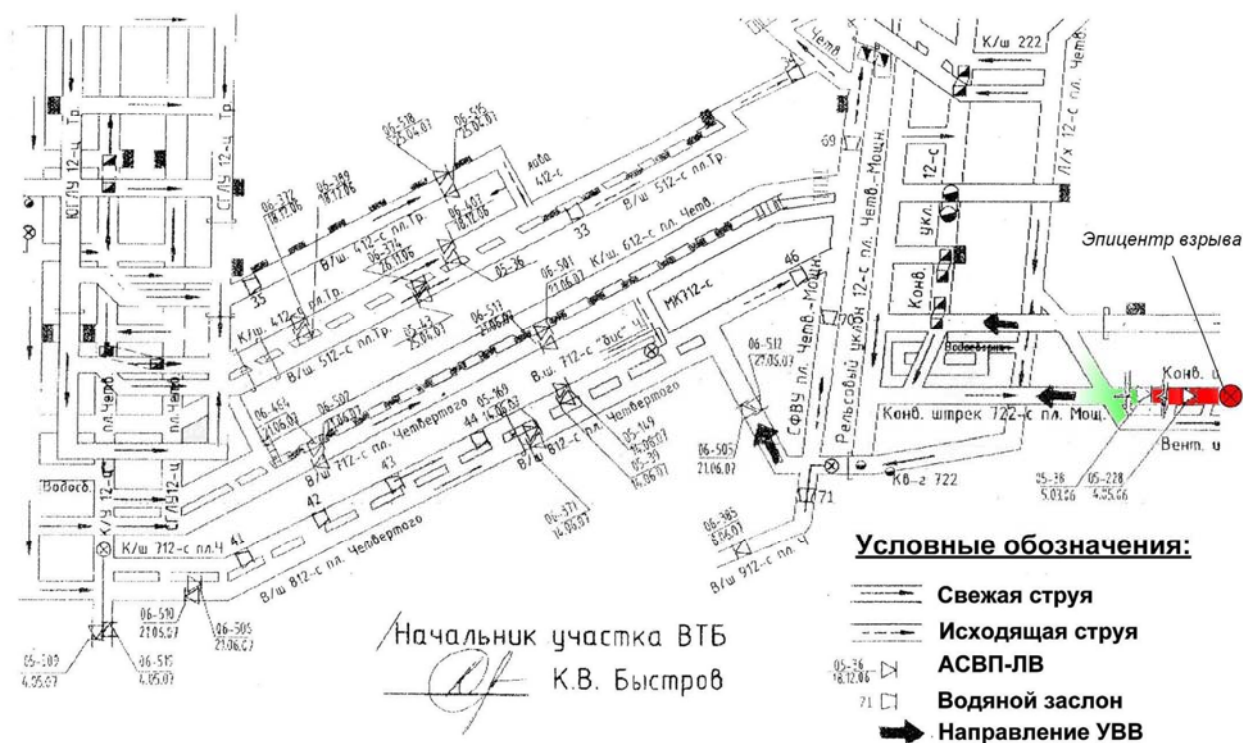


Рис.4.4. Схема аварийного участка

В этой выработке было установлено две система АСВП-ЛВ №05-228 и №05-38. Взрыв за системами АСВП-ЛВ был локализован.

4.2.5. Авария, произошедшая 11.02.2013г. в горных выработках шахты «Воркутинская» ОАО «Воркутауголь»

Шахта «Воркутинская» - угледобывающее предприятие в городе Воркуте (Республика Коми), является структурным подразделением ОАО «Воркутауголь». Предприятие было сдано в эксплуатацию в 1973 году с производственной мощностью 1,8 млн. тонн угля в год. Шахта отрабатывает пласты «Тройной» и «Четвертной».

Для локализации возможных взрывов метана и угольной пыли на шахте были установлены современные взрыволокализирующие заслоны на базе автоматических систем АСВП-ЛВ.1М.

11 февраля 2013 года на выемочном участке лавы 832-ю пл. Тройного произошел взрыв метана. Вероятное место возникновения взрыва – конвейерный штрек 832-ю (КШ 832-ю) между пикетами ПК9 и ПК33. Образованные в результате взрыва метана и угольной пыли фронты ударной воздушной волны (УВВ) и пламени (ФП) от места взрыва распространялись в трёх направлениях (рис.4.5):

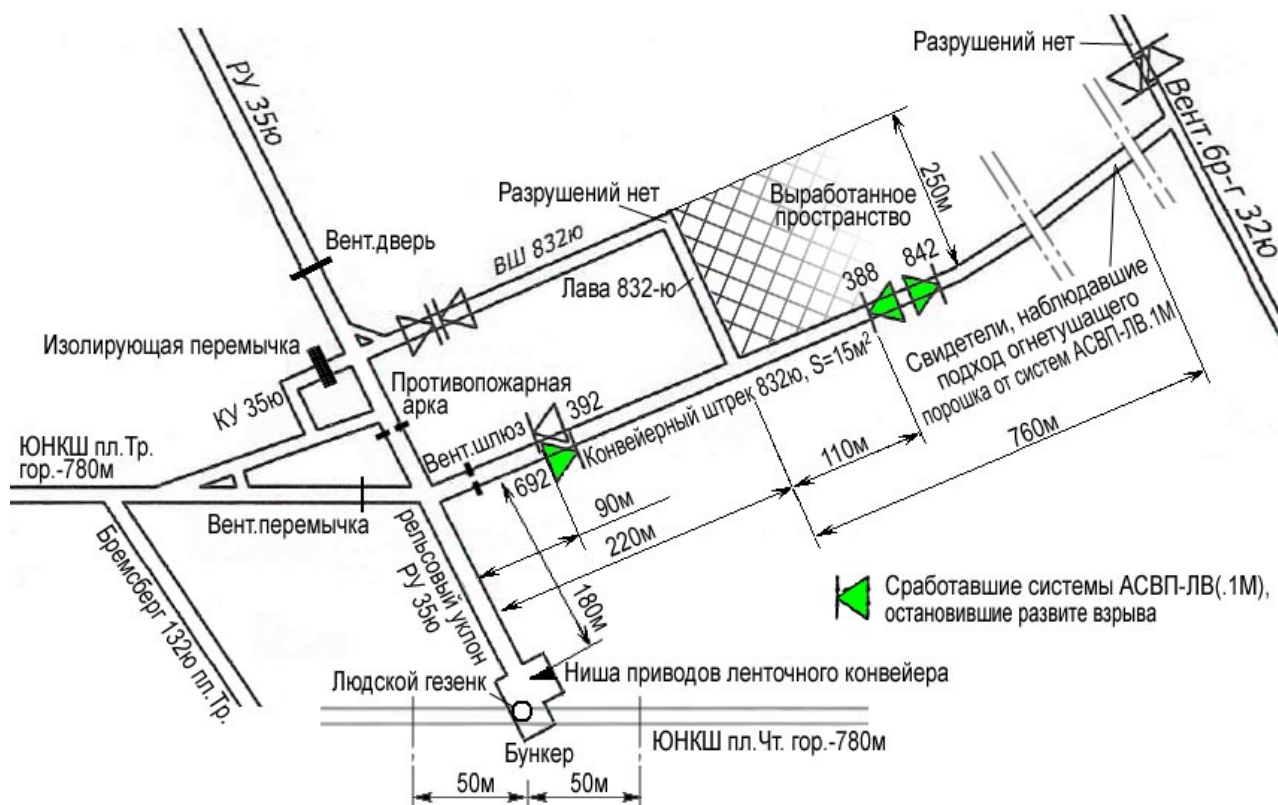


Рис. 4.5. Схема аварийного участка

- вверх по лаве 832-ю,
- на юг в сторону вентиляционного бремсберга 832-ю (ВБ 832-ю),
- по КШ 832-ю на север в сторону рельсового уклона 35-ю (РУ 35-ю).

Распространяясь вверх по лаве 832-ю, УВВ и ФП потеряли свою интенсивность, вследствие ухода их в выработанное пространство лавы, где и затухли. Поэтому две системы АСВП-ЛВ.1М, установленные в вентиляционном штреке 832-ю, участие в локализации взрывов угольной пыли не принимали.

Распространяясь по КШ 832-ю на юг в сторону ВБ 32-ю, фронт УВВ привёл в действие взрыволокализирующий заслон, состоящий из двух автоматических систем АСВП-ЛВ.1М на ПК 33 и ПК 34. Эти системы были установлены противоположно направленно – для локализации возможного прихода ФП с любой стороны выработки. В данном случае сработали обе системы, причём одна система сработала в нештатном режиме, выбросила в горную выработку огнетушащий порошок и ликвидировали подошедший ФП и прекратили процесс распространения взрывов, то есть локализовали дальнейшие взрывы метана и угольной пыли.

Далее, УВВ, продолжая двигаться по КШ 832-ю на юг в сторону ВБ 832-ю, и не имея подпитки от новых взрывов угольной пыли, постепенно теряла свою интенсивность за счёт диссипации вплоть до полного затухания.

Распространяясь по КШ 832-ю на север в сторону РУ 35-ю УВВ привела в действие взрыволокализирующий заслон, состоящий из двух спаренных автоматических систем АСВП-ЛВ.1М на ПК 9. Эти системы также были установлены противоположно направленно – для локализации возможного прихода ФП с любой стороны выработки. Автоматическая система с направленным приёмным щитом в сторону лавы 832-ю сработала, выбросила в горную выработку огнетушащий порошок и ликвидировала подошедший ФП, прекратив процесс распространения взрывов, то есть локализовала дальнейшие взрывы метана и угольной пыли. Вторая система АСВП-ЛВ.1М, смонтированная в направлении, противоположном распространению УВВ не сработала, т.к. для нее приход УВВ со стороны лавы был в нештатном режиме.

Ещё достаточно мощная УВВ (и движущийся за ней поток продуктов взрыва и взвешенной угольной пыли), часть которой продолжала дефлагиро-

вать, не имея подпитки от новых взрывов угольной пыли, продолжала двигаться вперёд. Она разрушила вентиляционный шлюз, расположенный 40 м южнее сопряжения РУ 35-ю с КШ 832-ю пласта Тройного, а на сопряжении с РУ 35-ю разделилась на три потока.

Один поток УВВ пошел вверх по РУ 35-ю, разрушив противопожарную арку с дверьми в РУ 35-ю, расположенную в 15 м выше сопряжения с КШ 832-ю пл. Тройного, вентиляционную дверь в РУ 35-ю, расположенную выше заезда на вентиляционный штрек 832-ю (ВШ 832-ю) и изолирующую перемычку в конвейерном уклоне 35-ю пласта Тройного (КУ 35-ю) выше сбойки с РУ 35-ю пласта Тройного и, не имея подпитки от новых взрывов угольной пыли, вследствие ликвидации фронта пламени, постепенно терял свою интенсивность за счёт диссипации вплоть до полного затухания.

Второй поток УВВ пошёл прямо по южному нижнему конвейерному штраку пласта Тройного горизонт 780 м (ЮНКШ пл.Тр. гор.-780 м), также разрушил по ходу движения вентиляционную перемычку, расположенную 35 м севернее от сопряжения с РУ35-ю и, не имея подпитки от новых взрывов угольной пыли, вследствие ликвидации фронта пламени, также постепенно терял свою интенсивность за счёт диссипации вплоть до полного затухания.

Третий поток УВВ пошел вниз по РУ 35-ю против хода вентиляционной струи, и в нише камеры приводов повредил оборудование, далее через людской гезенк с РУ 35-ю пласта Тройного на южный нижний конвейерный штрек пласта четвертого гор. -780 (ЮНКШ пл. Чт. гор. -780) произведя небольшие разрушения в верхней его части вышел на ЮНКШ пл. Чт. гор. -780 м и, не имея подпитки от новых взрывов угольной пыли, вследствие ликвидации фронта пламени, терял свою интенсивность за счёт диссипации затух естественным образом севернее и южнее сопряжения с людским гезенком на расстоянии около 50 м.

Срабатывание автоматических систем и ликвидация ФП подтверждаются Актом комиссионного осмотра установок автоматических систем взрывоподавления-локализации взрывов [39], а также свидетельскими показаниями горнорабочих работавших в КШ 832-ю в 760 метрах южнее от лавы 832-ю, которые наблюдали вначале приход по конвейерному штраку УВВ с мелкими фракциями угля (штыба), а затем огнетушащего порошка от сработавших систем АСВП-ЛВ.1М – пыли белого "молочного" цвета (стр.68, 53-54. "Акта технического расследования причин аварии...") [41].

Факт того, что заслон АСВП-ЛВ сработал эффективно и остановил распространение взрыва также был отмечен в Информационном бюллетене № 04, 2013 г. Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору [40].

4.2.6 Авария, произошедшая 18.11.2007 г. на арендном предприятии «Шахта им. А.Ф. Засядько» (Украина)

В 3 часа 00 минут 18.11.2007 г. в подземных выработках арендного предприятия "Шахта им. А.Ф. Засядько", расположенного в западной части Донецко-Макеевского геолого-промышленного района на территории города Донецка, произошел взрыв метана и угольной пыли. Воздействию взрыва и последующего пожара, который возник в верхней части лавы подверглись 13,8 км горных выработок гор. 1078 м уклонного поля пл.1₁ и горно-шахтное оборудование.

Схема аварийного участка представлена на рисунке 4.6.

Для локализации взрывов угольной пыли во всех выработках АП "Шахта им. А.Ф. Засядько" были установлены сланцевые заслоны типа ПЗС-1 и сланцевые заслоны типа ПБС-1 в пленочных бесшовных сосудах. Кроме того, в 13 восточном конвейерном штреке для этой цели использованы автоматические системы взрывоподавления-локализации взрывов АСВП-ЛВ.

На схеме аварийного участка указаны места расстановки автоматических систем. Они были установлены в 13 восточном конвейерном штреке (всего установлено на протяжении штрека 6 установок АСВП ЛВ и одна - в тупиковой части выработки): на ПК 10 - 2 шт., ПК 37 - 2 шт., ПК 72 – 2 шт. и ПК 145 - 1 шт. Осмотренные в процессе обследования 13 восточного конвейерного штрека системы АСВП-ЛВ (6 шт. до ПК 72) оказались разрушенными, охранительные мембраны повреждены, приемные щиты согнуты, на одной из систем согнута выносная штанга, огнетушащий порошок выброшен из бункеров.

Распыленная сланцевая пыль из заслонов ПБС снизила скорость распространения взрыва, но полностью его не локализовали. Причиной последнего, по мнению экспертной комиссии, явилось экранирование части пространства выработки ленточным конвейером типа 2ЛТП-1000 с шириной ленты 1000 мм, что (по данным докт. техн. наук, проф. Шевцова Н.Р. и канд. техн. наук Нещепляева М.И.) не позволяет полностью погасить взрыв.

Одна из указанных Автоматических систем типа АСВП-ЛВ на ПК 72, серийный № 06-591, была выдана на поверхность и доставлена в лабораторию МакНИИ на испытание. Испытания показали, что автоматическая система типа АСВП-ЛВ находится в разряженном состоянии, т.е. она сработала в шахте. Анализ проб отложившейся угольной пыли, набранных на ПК 72 и ПК 8 (в 10-20 м от установленных систем АСВП-ЛВ) показал, что угольная пыль не приняла участия во взрыве. Это говорит о том, в месте расположения сработавшей автоматической системы огнетушащий порошок локализовал развитие взрыва угольной пыли. Следует отметить, что на этом участке горной выработки длиной около 600 м не погиб ни один человек, а горная выработка и конвейер остались не разрушенными.

Срабатывание автоматических систем подтверждаются Протоколом экспертизы системы подавления-локализации взрывов АСВП-ЛВ, выполненной МакНИИ [42], а также Актом ревизии в процессе разборки системы АСВП-ЛВ комиссией с привлечением специалистов ФГУП ННЦ-ГП ИГД им.А.А.Скочинского, МакНИИ и разработчика - ЗАО "МВК по ВД при АГН" [43].

После расследования аварии на АП "Шахта им. А.Ф. Засядько" государственным Макеевским научно-исследовательским институтом по безопасности работ в горной промышленности МакНИИ были проведены дополнительные испытания автоматических систем АСВП-ЛВ. По результатам дополнительных испытаний МакНИИ выдало положительное заключение экспертизы № 232.09.00.010.09 [44], на основании которого Госпромгорнадзором Украины выдано разрешение на эксплуатацию автоматических систем АСВП-ЛВ № 563.09.30-29.52.1 от 04.03.2009 г. в качестве основных заслонов вместо сланцевых заслонов.

Квалификация аварии

Изучив обстоятельства аварии 1 категории, которая произошла в очистных и подготовительных горных выработках горизонта 1078 м уклонного поля пл. I₁ шахты им. А.Ф.Засядько, а также условия, характер и динамику ее развития, экспертная комиссия квалифицировала данное происшествие как взрыв метановоздушной смеси с участием угольной пыли. Вследствие взрыва, продукты которого распространились на 13,8 км горных выработок, был смертельно травмирован 101 человек и возник экзогенный пожар в верхней части 13 восточной лавы.

5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ СРЕДСТВ ЛОКАЛИЗАЦИИ ВЗРЫВОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

5.1. Эффективность средств локализации взрывов в угольной шахте

Испытания, проведенные МакНИИ, в опытных штреках показали, что водяные заслоны, установленные из ряда монтируемых под кровлей поперек горной выработки полок с размещенными на них жесткими сосудами могут гасить взрывы при скорости фронта пламени $100\div 285$ м/с, испытания, проведенные в подземной штольне опытной шахты «Барбара» (Польша), показали следующее. Водяные заслоны из пленочных сосудов (водяных карманов) гасили взрывы при испытаниях при скорости распространения фронта пламени $110\div 140$ м/с. Исследованиями также установлено, что водяные заслоны гасят взрывы угольной пыли, если сосудами перекрыто не менее 50% ширины выработки. При этом расстояние между кровлей и верхней кромкой сосуда должно быть не менее 100 и не более 300 мм, полки для размещения сосудов должны устанавливаться шириной не менее 150 мм. Сосуды и водяные карманы имеют объем не более 80 л.

Испытания, проведенные в подземной штольне опытной шахты «Барбара» (Польша), сланцевых заслонов показали, что они гасят взрывы при скорости фронта пламени $80\div 235$ м/с.

Испытания, проведенные в подземной штольне Чунцинского научно-исследовательского угольного института (Китай), автоматических систем типа АСВП-ЛВ.1М показали, что они эффективно гасят взрывы, распространяющиеся со скоростью фронта пламени $40\div 660$ м/с. На одном участке выработки устанавливается одна или несколько АСВП-ЛВ.1М. Установленные АСВП-ЛВ.1М обеспечивают необходимую концентрацию огнетушащего вещества на участке их установки. В АСВП-ЛВ.1М применяются огнетушащие порошки типа «Исто-1», «П-АГС» и ингибитор ПВХ-1, концентрация которых более 10г/м^3 эффективно предотвращает взрыв метановоздушной смеси. При срабатывании АСВП-ЛВ.1М в подземной горной выработки должно обеспечиваться создание аэрозольного облака длиной не менее 30 м с концентрацию огнетушащего порошка более 40г/м^3 . По данным МакНИИ, для локализации взрыва пылегазовоздушной смесей любой мощности аэрозольный заслон из огнетушащего порошка должен быть длиной 15 м.

В автоматических системах применяются химически активные огнетушащие порошки, которые не только флегматизируют взрывоопасную пылегазовоздушную смесь, но и ингибируют. В пассивных же заслонах применяются только флегматизирующие вещества – вода или инертная пыль, эффективность которых естественно существенно ниже. Кроме того, применяемый в АСВП-ЛВ.1М огнетушащий порошок высоколетучий, поэтому он проникает во все пустоты и закрытые оборудованием места и тем самым надежно перекрывает сечение горной выработки на участке длиной не менее 30 м к моменту подхода фронта пламени.

Автоматические системы срабатывают почти в 10 раз быстрее пассивных заслонов, а время жизни аэрозольного облака, создаваемого автоматической системой больше более чем в 300 раз, чем у пассивных заслонов (менее 1 с для водяных заслонов и более 370 с для автоматических систем).

Сравнительная характеристика автоматических заслонов типа АСВП-ЛВ.1М и водяного заслона приведена в таблице 5.1.

5.2. Выбор средств локализации взрывов в угольных шахтах

Средства локализации взрывов в угольной шахте должны выбираться на основе исследований процесса возможного возникновения и распространения по выработкам взрывов, и, в частности, определения скорости перемещения фронта пламени в соответствии с таблицей 5.2.

Проведенное сравнение относительной опасности различных потенциальных очагов позволяет обосновать рациональный порядок расстановки по сети горных выработок взрыволокализирующих заслонов. В местах наибольшей опасности по вероятности взрывов пылегазовоздушных смесей в подземных горных выработках должны устанавливаться наиболее эффективные автоматической системы локализации взрывов, при котором будет обеспечено их гашение в начальной стадии развития в подавляющем большинстве случаев.

Автоматическими системами типа АСВП-ЛВ.1М в первую очередь должны быть оснащены:

- подготовительные забои, проводимые по углю или по углю и породе, вне зависимости от используемого способа проходки;
- распрядпункты очистных и подготовительных забоев, расположенные на откаточных или вентиляционных штреках, а также в призабойных участках подготовительных выработок;

- совокупность механизмов и электрооборудования на сопряжениях лав с откаточными и вентиляционными штреками;
- сопряжения откаточных и вентиляционных штреков с уклонами или бремсбергами;
- приводы конвейеров и перегружателей.

Рекомендуемые схемы расстановки взрыволокализирующих заслонов приведены на рис.5.1-5.5.

Таблица 5.1

Параметр	Система АСВП-ЛВ.1М	Водяной заслон
Расстояние распыления облака огнетушащего вещества	Однородное облако длиной 30-31 м с концентрацией в разы превышающей достаточную для локализации взрывов	Водяной туман протяженностью 3-5 м
Среднее время жизни облака	Более 370 с (с большим запасом достаточно для локализации подошедшего фронта пламени)	Для сосудов – 0,25 с Для водяных карманов – 0,16 с (часть взрывов не может быть локализована, т.к. водяная пыль уже оседает на землю)
Быстродействие	< 25 мс (срабатывание происходит до прихода фронта пламени)	150 мс (часть взрывов не может быть локализована, водяной заслон не успевает сформироваться)
Огнетушащее вещество	Надежно упакованный мелкодисперсный порошок – масса 25 кг	Вода, в количестве 430 л на квадратный метр сечения выработки на большом ее протяжении
Прочие аспекты	Размер 90% частиц огнетушащего порошка составляет менее 20 мкм; порошок высоколетучий и заполняет все пространства и пустоты	Вода зачастую распыляется на крупные фракции, не защищающие всю площадь сечения выработки, что может дать взрыву пройти через заслон

Таблица 5.2. Область применения взрыволокализирующих заслонов по стадиям развития взрыва [27]

	Стадии развития взрыва пылегазовоздушных смесей в горных выработках угольных шахт							
	Горение	Вспышка	Балансирующие взрывы	Слабые взрывы в начальной стадии их развития	Слабые взрывы	Сильные взрывы в начальной стадии их развития	Сильные взрывы	Детонационный взрыв
Характер протекания	Свободное горение в ограниченном объеме	Медленное распространение в ограниченном объеме	Вялое распространение с остановками	Распространение со скачками скорости	Распространение со скачками скорости	Бурное распространение	Бурное распространение с ускорением	Очень бурное распространение с предельной скоростью
Избыточное давление на фронте ударно-воздушной волны (УВВ), МПа	< 0,01	0,01 ÷ 0,02	0,02 ÷ 0,06	0,06 ÷ 0,15	0,15 ÷ 0,3	0,3 ÷ 0,65	0,65 ÷ 1,70	> 1,70
Скорость распространения ударно-воздушной волны (УВВ), м/с	0	< 367	< 416	416 ÷ 500	500 ÷ 635	635 ÷ 1000	1000 ÷ 1500	1500 ÷ 2500
Скорость распространения фронта пламени (ФП), м/с	< 1	1 ÷ 40	40 ÷ 100	100 ÷ 250	250 ÷ 340	340 ÷ 660	660 ÷ 1000	1000 ÷ 2500
Область применения взрыволокализирующих заслонов								
Сланцевые заслоны	(скорость ФП 80-235 м/с)							
Водяные заслоны	(скорость ФП 85-285 м/с)							
АСВП-ЛВ.1М	(скорость ФП 40-500 м/с)							

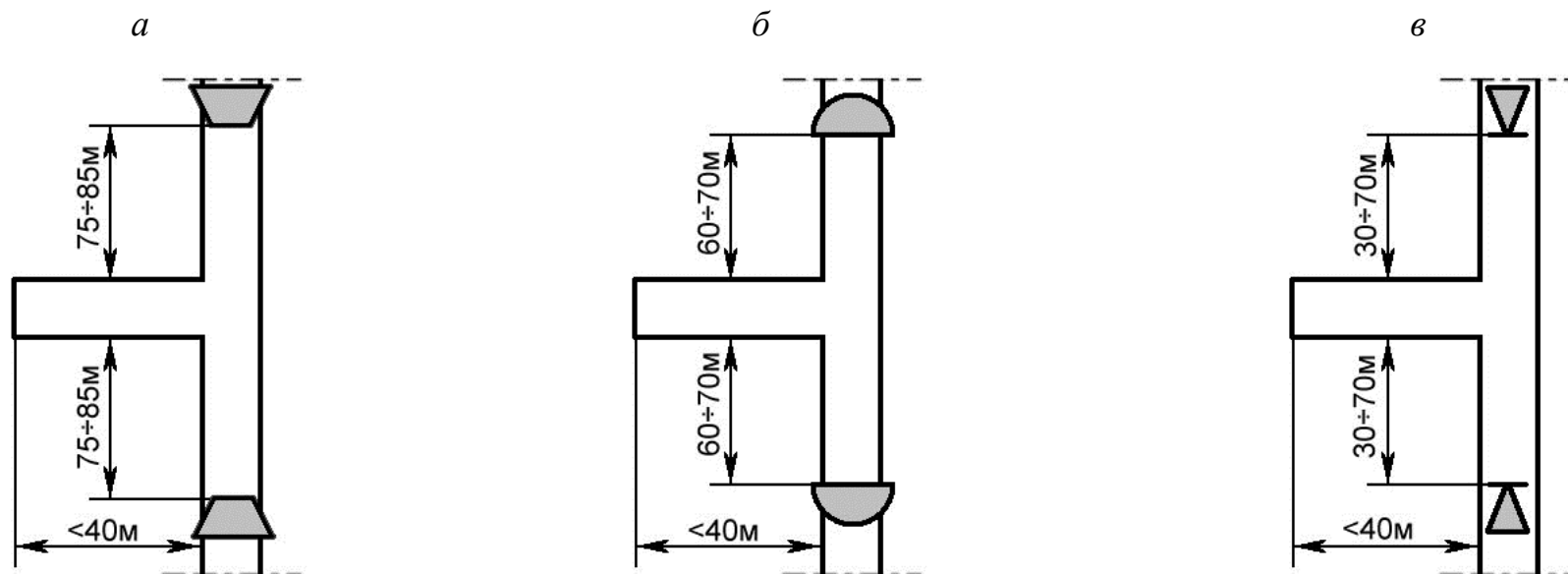


Рис. 5.1. Схемы установки взрыволокализирующих заслонов (а, б, в – варианты установки) в выработке, сопряженной с тупиковой подготовительной выработкой, проводимой по углю или по углю и горной породе, длиной меньше 40 м

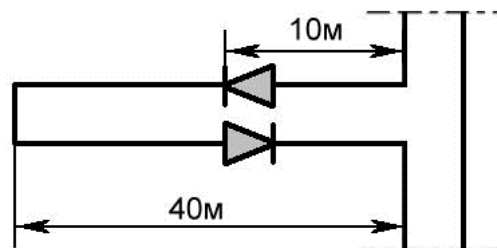


Рис. 5.2. Схема установки автоматических систем взрывоподавления-локализации взрывов в тупиковой подготовительной выработке длиной 40 м

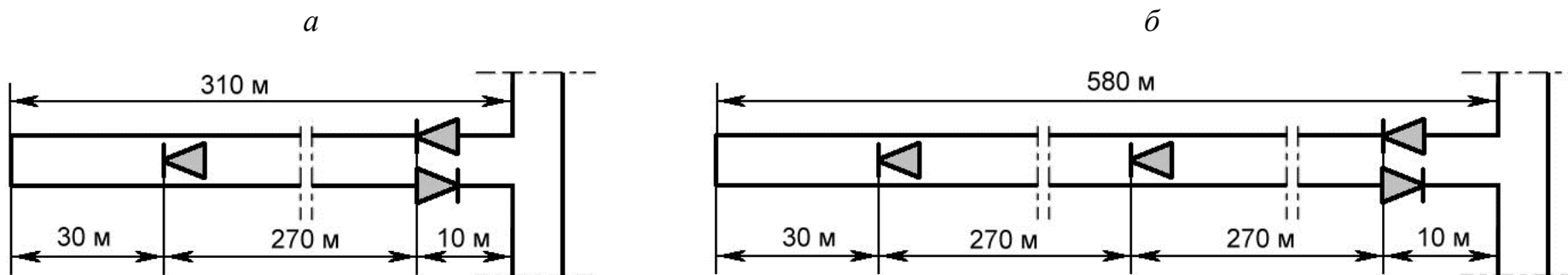


Рис. 5.3. Схемы установки автоматических систем взрывоподавления-локализации взрывов в тупиковой подготовительной выработке длиной 310 м (а), 580 м (б)

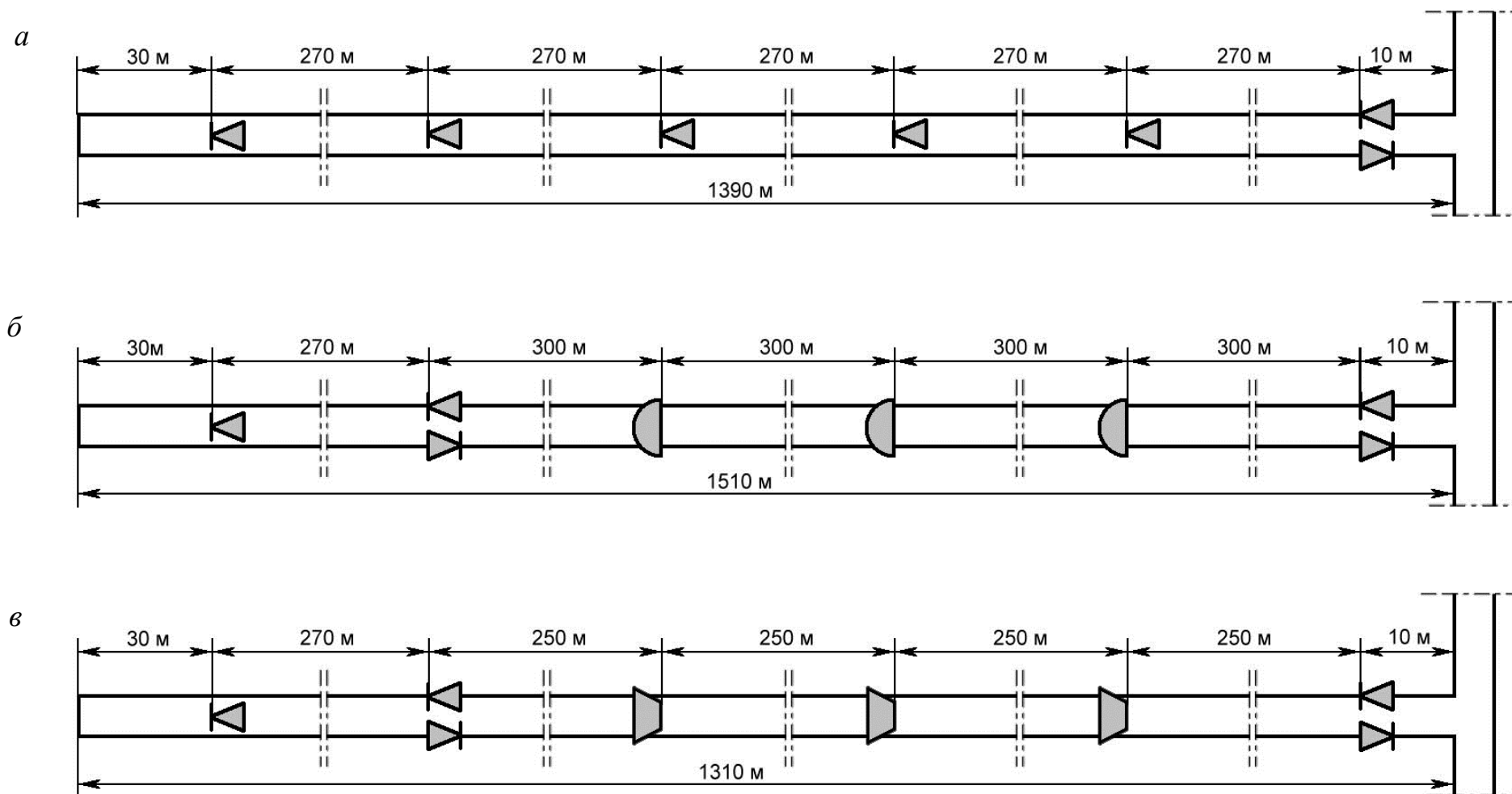


Рис.5.4. Схемы установки взрыволокализирующих заслонов в тупиковой подготовительной выработке длиной
 (а – с установкой автоматических систем взрывоподавления-локализации взрывов,
 б – с установкой автоматических систем взрывоподавления-локализации взрывов и сланцевых заслонов;
 в – с установкой автоматических систем взрывоподавления-локализации взрывов и водяных заслонов)

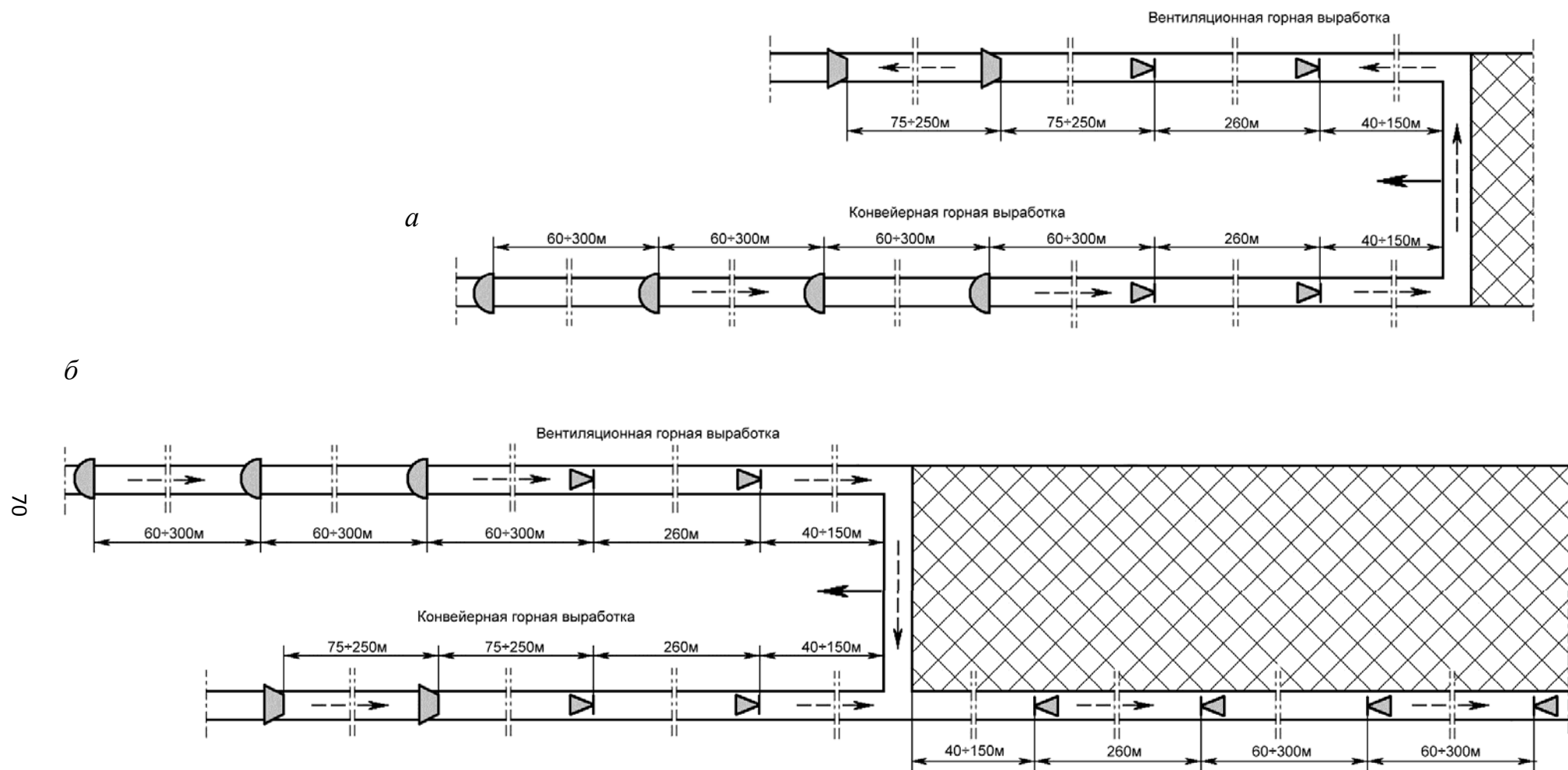


Рис.5.5. Схемы установки взрыволокализирующих заслонов от сопряжения с очистной выработкой по ходу движения забоя в конвейерной и вентиляционной выработках
(а – с возвратной схемой проветривания,
б – в конвейерной выработке, по которой отводится вентиляционный поток при прямооточных с подсвежением схемах проветривания).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате многочисленных экспериментальных исследований, выполненных отечественными и зарубежными специалистами, было установлено, что распространение фронта пламени при взрывах метановоздушной и пылеметановоздушной смесей носит нестационарный, пульсационный характер, не подчиняясь строгой закономерности. Ввиду этого, единственным достоверным способом исследования взрывных процессов является проведение экспериментальных взрывов в штольнях и опытных шахтах.

2. Экспериментальные данные по взрывам в штольне и опытной шахте МакНИИ показали, что в общем объеме полученных данных скорость распространения пламени взрыва изменяется от 5 до 500 м/с. Наблюдаются также значительные ее колебания в опытах с пылью одного и того же шахтопласта.

Значительный интерес представляет процесс распространения пламени взрыва угольной пыли на криволинейном участке горной выработки. В некоторых экспериментах при прохождении такого участка в опытной шахте пламя взрыва ускоряется. При этом максимальное ускорение наблюдалось в опыте с пылью пласта k_4^{2H} , когда на криволинейном участке скорость пламени возросла со 192 до 1650 м/с, т.е. в 8,6 раза.

После выхода на прямую часть выработки скорость, как правило, снижалась, но в отдельных опытах она все же оставалась достаточно высокой и составляла 400-667 м/с.

Вышеизложенные факты необходимо учитывать при выборе средств локализации взрывов метана и угольной пыли.

3. Установлено, что средство локализации может выполнять свое назначение только при соблюдении двух условий: огнетушащее облако должно перекрыть сечение выработки на участке заданной длины к моменту подхода фронта пламени; в выработке должна быть создана и поддерживаться в течение заданного времени концентрация гасящего вещества не ниже флегматизирующей.

Для автоматических заслонов типа АСВП-ЛВ концентрация огнетушащего вещества в заслоне C_D , в зависимости от сечения выработки, в 80-200 раз меньше, чем у пассивных заслонов, при этом время формирования огнетушащего вещества в заслоне t_ϕ меньше в 30 раз, а время его жизни больше чем в 300 раз.

4. Для повышения эффективности взрывозащиты горных выработок технологические схемы расстановки и выбор средств локализации взрывов метана и угольной пыли должны базироваться на оценке их технических характеристик в зависимости от скорости распространения фронта пламени по сети горных выработок.

Технические характеристики автоматической системы взрывоподавления-локализации взрывов (АСВП-ЛВ) обеспечивают локализацию взрыва метана и угольной пыли, фронт пламени которого распространяется со скоростью 40-660 м/с, в то время как пассивные сланцевые заслоны локализуют взрыв, фронт пламени которого распространяется со скоростью 80-235 м/с, а водяные заслоны – 100-285 м/с.

5. Согласно общепринятой терминологии и требованиям нормативных документов, функция взрыволокализирующего заслона – подавление распространения фронта пламени произошедшего взрыва для исключения возможности распространения взрывного процесса на протяженную сеть шахтных выработок. Снижение давления на фронте УВВ или изменение состава шахтной атмосферы не является функцией взрыволокализирующего заслона и не может считаться мерой его эффективности. Взрыволокализирующие заслоны, имеющие расширенный функционал допустимы, если увеличение числа выполняемых функций не снижает эффективности основной, но не обязательны к применению, т.к. выбор средств локализации взрыва должен проходить строго по качеству выполнения заслоном основной функции - подавление распространения фронта пламени.

6. Проведенный анализ аварий на угольных шахтах России и ближнего зарубежья, позволяет сделать следующие выводы:

- Применяемые пассивные средства локализации взрывов – сланцевые и водяные заслоны не в состоянии локализовать взрыв метана и угольной пыли. За последние годы на шахтах, защищенных только сланцевыми и водяными заслонами погибло более 300 человек.

- В авариях на шахтах, оснащенных как автоматическими системами взрывоподавления, так и пассивными сланцевыми и водяными заслонами, пострадавшие от взрыва шахтеры находились в выработках, защищенных пассивными сланцевыми и водяными заслонами, а также в областях, не защищенных заслонами. В авариях на шахтах, защищаемых только автоматическими системами взрыв не выходил за пределы аварийного участка и соседние выра-

ботки не пострадали. Это позволяет констатировать, что взрывозащита, основанная на устаревшем подходе применять пассивные сланцевые и водяные заслоны, неэффективна.

- В авариях на шахтах, защищённых автоматическими системами, взрыв не развился и не выходил на значительное расстояние от эпицентра в протяжённую сеть горных выработок. Это подтверждает эффективность применения автоматических систем локализации взрывов.

7. Согласно действующим нормативным документам, на угольных шахтах нет допуска к применению рассредоточенных заслонов, заслонов с неполной нагрузкой, а также изъят термин «вспомогательные» заслоны. В настоящее время в горных выработках шахты устанавливают средства взрывозащиты, обеспечивающие локализацию взрывов согласно их техническим характеристикам. Таким образом, действующая нормативная документация регламентирует применять любые допущенные в установленном порядке средства локализации взрывов, в соответствии с их техническими характеристиками.

Если топология горных выработок не позволяет установить сланцевый или водяной заслон с необходимой нормой огнетушащего вещества, следует использовать автоматические системы взрывоподавления-локализации взрывов, которые имеют подходящие габариты.

При этом все обязательные к защите горные выработки обязаны быть защищены взрыволокализирующими заслонами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Левкин Н.Б. Предотвращение аварий и травматизма в угольных шахтах Украины. – Донецк: Донбасс. 2002. – 392с.
2. Гражданкин А.И., Печеркин А.С., Иофис М.А. Угольные катастрофы в исторической России и мире // Безопасность труда в промышленности № 11, 2011 – С.56-65.
3. Борьба со взрывами угольной пыли в шахтах / М.И.Нецепляев, А.И.Любимова, П.М.Петрухин и др. – М.: Недра, 1992 – 298 с.
4. А.А.Мясников, С.П.Стариков, В.И.Чикун. Предупреждении взрывов газа и пыли в угольных шахтах. – М.: Недра, 1985. – 205 с.
5. Lebecki K/ Zagorenia pulowe w gornictwie – Katowice: CYG, 2004 – 486 с.
6. Хитрин Л.Н. Физика горения и взрыва. М.: Из-во МГУ, 1987 – 442с.
7. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.Н. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Физматгиз, 1963 – 632с.
8. Физический энциклопедический словарь. Том.5. Из-во «Советская энциклопедия», 1980 – С.228-234
9. Смирнов Н.Н. Зверев И.Н. Гетерогенное горение. М.: изд-во Моск.Универ. 1992.
10. Г.Гефнер, Справочная книга по горному делу, Берлин, 1921, 622 с.
11. Долгов Б.Е., Левицкий Д.Г. Взрывчатость угольной пыли. Харьков, «Уголь и руда», 1933, 203 с.
12. Левкин Н.Б. Предотвращение аварий и травматизм в угольных шахтах Украины. – Донецк: Донбасс. 2002. – 392 с.
13. Мясников А.А., Старков С.П., Чикун В.И. Предупреждение взрывов газа и пыли в угольных шахтах. – М.: Недра, 1985. – 205с.
14. Лавцевич В.П. Исследование и оценка метановзрывоопасности шахтных технологических систем. Автореф. докт. дис. Новосибирск, ИГД СО АН СССР, 1974.
15. Предупреждение взрывов пыли в угольных и сланцевых шахтах / П.М. Петрухин, М.И. Нецепляев, В.Н. Качан и др. М.: Недра, 1974.
16. К вопросу опасности вспышек метана и угольной пыли при работе выемочных и проходческих комбайнов // П.М. Петрухин, М.И. Нецепляев, П.Ф. Погорелов и др. – В кн.: Безопасность взрывных работ в угольных шахтах. Макеевка, 1975, вып. 6, С. 80-82.

17. Щетинков Е.С. Физика горения газов. М.: Наука, 1965.
18. Powell F. Billing K. The Use of Water in the Prevention of ignitions cause
19. Furno A.L., Sapko M.J., Lusik S.I., Watson R.W. An ignition suppression device for coal cutting equipment. - Proceedings of the 21 International conference of safety in mines research institutes. - Sydney, 1985, p. 661-668.
20. Coal dust explosion characteristics under atmosphere with methane gas coexistence / T.Tominaga, S.Matsuura, T.Komai and of hers. Proceedings of the XXII International Conference of the Research Institutes for Safety in mining China, Beijing, 1987. P.
21. Зенин В.И., Манжос Ю.В. Исследование воспламенения метано-воздушной смеси выгорающим зарядом. – В кн.: Безопасность взрывных работ в угольных шахтах. Макеевка, 1979. вып. 10. С. 3-6.
22. Кочерга Н.Г., Пилипенко В.В. О параметрах взрывозащитного орошения горных машин. - В кн.: Безопасная эксплуатация электромеханического оборудования в шахтах. Макеевка, изд. МакНИИ, 1983, с. 24-30.
23. Джигрин А.В., Горлов Ю.В., Измалков А.В., Ткаченко С.В. Риск-анализ чрезвычайных ситуаций, связанных со взрывом метана и угольной пыли в шахтах. – М., ИГД им.А.А.Скочинского, 2002. – 38с.
24. Джигрин А.В., Исаев И.Р., Мясников С.В. Прогнозирование взрывов газа и пыли в угольных шахтах // Безопасность труда в промышленности №4, 2010. – С.38-42.
25. Предупреждение взрывов пыли в угольных и сланцевых шахтах / П.М. Петрухин, М.И. Нецепляев, В.Н. Качан и др. М.: Недра, 1974. 304 с.
26. Правила безопасности в угольных шахтах ПБ 05-618-03.
27. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по локализации и предупреждению взрывов пылегазовоздушных смесей в угольных шахтах».
28. Отчет НИР «Разработать автоматическую систему локализации взрывов метана и угольной пыли по сети горных выработок» // МакНИИ, 1986, № гос.регистрации 0184.0049634.
29. Мешман Л.М., Груненков В.С. Взрывоподавляющие устройства. Обзорная информация. – М.: ЦНИИЭУголь, 1980.
30. Джигрин А.В., Горлов Ю.В., Чигрин В.Д. Автоматическая система взрывоподавления-локализации взрывов метановоздушной смеси и угольной

пыли в подземных горных выработках угольных шахт // Безопасность труда в промышленности №8, 2003 – С.22-26.

31. Джигрин А.В., Горлов Ю.В., Горлов К.В., Чигрин В.Д. Автоматическая система взрывоподавления-локализации взрывов метановоздушной смеси и угольной пыли // Безопасность труда в промышленности №10, 2004 – С.13-15.

32. Заключение экспертизы МакНИИ №232.09.00.010.09 по автоматической системе взрывоподавления-локализации взрывов АСВП-ЛВ.

33. Петрухин П.М., Качан В.Н. Теоретические основы пылевывозащиты способами, основанными на применении воды // Труды МакНИИ «Безопасность труда в угольных шахтах». Т. XXII. М.: Недра, 1972. С. 89-104.

34. Савенко С.К., Гурин А.А., Малый П.С. Ударные воздушные волны в горных выработках. М.: Недра, 1983. 198 с.

35. Смирнов Н.Н., Никитин В.Ф., Антоньев А.В., Исаев И.Р. Параметры распространения в выработках ударных и детонационных волн, образующихся при взрыве пылеметановоздушной смеси // Сб. «Взрывное дело» № 109/66. М.: ЗАО «МВК по ВД при АГН», 2013. – С.229-238.

36. ГОСТ Р 54777-2011 «Автоматические системы взрывоподавления - локализации взрывов метанопылевоздушных смесей в угольных шахтах. Общие технические требования. Методы испытаний»

37. Заключение комиссионной комплексной горнотехнической судебной экспертизы по аварии, произошедшей в филиале «Шахта «Ульяновская» ОАО «Объединенная угольная компания «Южкузбассуголь» 19 марта 2007 года, 248 с.

38. Акт технического расследования причин аварии, происшедшей 19.03.2007 года на филиале «Шахта Ульяновская» ОАО «Объединенная угольная компания «Южкузбассуголь», 85 с.

39. Актом комиссионного осмотра установок автоматических систем взрывоподавления-локализации взрывов АСВП-ЛВ и АСВП-ЛВ.1М, эксплуатируемых на аварийном участке лавы 832-ю пл. Тройного СП «Шахта Воркутинская», 18 февраля 2013 г., С.4.

40. Информационный бюллетень Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору №4(67), 2013г., С.28-36.

41. Акт технического расследования причин аварии, произошедшей 11 февраля 2013 года на выемочном участке лавы 832-ю пл. Тройного структурного подразделения ОАО «Воркутауголь» «Шахта Воркутинская», 120 с.
42. Протокол экспертизы системы подавления-локализации взрывов АСВП-ЛВ, МакНИИ, 2007г., С.2
43. Акт ревизии в процессе разборки системы АСВП-ЛВ серийный заводской номер 06-591, которая была установлена на участке 13 восточной лавы пласта L₁ в 13 восточном конвейерном штреке пл. L₁ ПК 70 на АП «Шахта им. А.Ф. Засядько», ФГУП ННЦ ГП-ИГД им.А.А.Скочинского, 2007г. – С.2.
44. Заключение экспертизы МакНИИ № 232.09.00.010.09 о соответствии оборудования повышенной опасности требованиям нормативных правовых актов по охране труда и промышленной безопасности и возможности его эксплуатации наугольных шахтах, опасных по газу и (или) пыли - Автоматическая система взрывоподавления-локализации взрывов АСВП-ЛВ (код КПП 770801001). Макеевка, 2009г .5 с.
45. Акт-отчет исследовательских испытаний по определению взрывоподавляющей способности огнетушащих порошков марок «ИСТО-1», «ПАГС», сланцевой пыли и ингибитора «ПВХ-1», ФГУП НМЗ «Искра», 2005г. - С.5.
46. Заключение НЦ ВостНИИ о возможности применения огнетушащего порошка ИСТО-1 для снаряжения автоматических систем взрывоподавления-локализации взрывов (АСВП-ЛВ). НЦ ВостНИИ, 2006г. – С.5.
47. Айруни А.Т., Матвиенко Н.Г. Определение пределов взрывчатости сложных газовых смесей. ЦИТИ угля, «Технология и экономика угледобычи». М., 1962. № 8. С. 54-59.
48. Медников Е.П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей. М., Наука, 1987
49. Корольченко А.Я. Пожаровзрывобезопасность промышленной пыли. М., Химия, 1986
50. Мясников А.А. Предупреждение взрывов газа в угольных шахтах. М.: ЦНИИЭуголь, 1972.
51. Быков А.А., Мурзин Н.В. Проблемы анализа безопасности человека, общества и природы. Санкт-Петербург: «Наука», 1997, 247 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Комментарии к отчету СУЭК «Анализ действующих в угольных шахтах систем локализации взрывов и оценка эффективности их применения» (письмо СУЭК №02-2/2020 от 31.03.2014 г на имя Зам.Министра энергетики РФ Яновского А.Б.)

В настоящем Приложении *курсивом* обозначен исходный текст авторов отчета СУЭК «Анализ действующих в угольных шахтах систем локализации взрывов и оценка эффективности их применения».

КОММЕНТАРИИ ПО ЗАКЛЮЧЕНИЮ ОТЧЕТА

1. Существующие средства способов локализации взрывов:

1.1. Выполняют в основном функции гашения фронта пламени, движущегося за фронтом ударной волны. Они не оказывают прямого воздействия на основные поражающие факторы взрыва: величину избыточного давления фронта ударной волны и температуру продуктов взрыва, приводящих к механическому травмированию и массовым ожогам людей.

Основная функция взрыволокализирующего заслона – это локализация взрыва – подавление его в ограниченной области горной выработки путем ликвидации и прекращения распространения фронта пламени с целью недопущения новых лавинообразно растущих взрывов. Вторичные поражающие факторы взрыва (ударная воздушная волна, осколки, высокотемпературные и ядовитые продукты взрыва) ослабнут естественным образом, лишившись подпитки от новых взрывов.

Поэтому в действующих нормативных документах нет требований к взрыволокализирующим заслонам по снижению избыточного давления фронта ударной волны и температуры продуктов взрыва.

1.2. Снижают только до 10 % давление на фронте ударной волны, распространяющейся в зоне их установки.

Ослабление ударной волны средствами локализации взрыва происходит в результате диссипации ударной волны в аэрозольном облаке, созданном сработавшим заслоном и поднятой пылью, а главное прекращением энергетической подпитки от новых взрывов, которые уже не происходят за счет отсечения фронта пламени облаком огнетушащего средства.

А борьба с ударными воздушными волнами – это отдельные мероприятия и специальные технические средства, включающие различные перемишки, сетки и т.д. – не являющееся основной функцией взрыволокализирующего заслона.

1.3. Не позволяют создать непрерывную, полностью перекрывающую поперечное сечение выработки пламегасящую среду, которая надежно флегматизировала бы метановоздушную смесь и полностью исключала бы проскок пламени за свои пределы.

Это утверждение справедливо только для пассивных сланцевых и водяных заслонов, в частности, когда эти средства локализации взрывов устанавливают в конвейерных горных выработках и выработках оснащенных моно-рельсовым транспортом.

Автоматические системы типа АСВУП-ЛВ.1М полностью перекрывают поперечное сечение выработки облаком огнетушащего порошка, благодаря применению высоколетучих мелкодисперсных огнетушащих порошков, которые проникают во все пустоты и заграможденные оборудованием пространства.

Хорошее перекрытие всего сечения горной выработки огнетушащим порошком от сработавшей автоматической системы отмечено в актах испытаний, в том числе шахтных, приемочных испытаний.

1.4. Являются одноразовыми. Защитные средства многократного действия в настоящее время отсутствуют в мировой угольной практике. Разработка заслонов многократного действия на принципе взаимодействия с воздушной ударной волной взрыва бесперспективна из-за разрушительного воздействия на них ударной волны. Поэтому из ГОСТ Р 54777-2011 должно быть исключено требование о сохранении работоспособности системы при повторных взрывах.

Здесь авторы перепутали проекты разрабатываемых ГОСТов, которые не приняты с действующим ГОСТ Р 54777-2011 «Автоматические системы взрывоподавления – локализации взрывов метанопылевоздушных смесей в угольных шахтах. Общие технические требования. Методы испытаний». Этот действующий ГОСТ не содержит требований по созданию заслонов многократного действия.

2. Из-за неопределенности условий и места возникновения источников воспламенения невозможно достоверно определить начальную энергию взрыва, которая является основой для расчётов технических параметров средств локализации и предупреждения взрывов пылегазовоздушных смесей, особенно это актуально для расчётов автоматических системы взрывоподавления, а также их количества и места расположения в горных выработках.

Действительно невозможно рассчитать условия и место возникновения источников воспламенения и достоверно определить начальную энергию взрыва, поэтому Автоматические системы рассчитаны исходя из самых жестких требований. Они срабатывают, начиная от самой ранней стадии взрыва, при переходе вспышки метана во взрыв. По своим параметрам автоматическую систему можно устанавливать непосредственно у возможного очага взрыва (30 м от забоя или скопления электрооборудования).

Благодаря своему быстрдействию, автоматическая система успевает создать взрыволокализирующее облако до прихода пламени и при сильных взрывах. Поэтому автоматические системы эффективны при размещении их и в протяженных горных выработках, по которым могут распространяться развитые сильные взрывы.

По данным МакНИИ аэрозольное облако из огнетушащего порошка длиной 15 м надежно локализует взрыв. Автоматическая система создает при срабатывании аэрозольное облако из огнетушащего порошка с двухкратным запасом - длиной 30 и более метров.

Технические параметры автоматической системы типа АСВП-ЛВ обеспечивают локализацию взрыва метана и угольной пыли, фронт пламени которого распространяется со скоростью 40-660 м/с, в то время как пассивные сланцевые заслоны локализуют взрыв, фронт пламени которого распространяется со скоростью 80-235 м/с, а водяные заслоны – 100-285 м/с. Узкий диапазон возможных взрывов, которые могут локализовать пассивные заслоны объясняется принципом их действия. В начальной стадии при развитии взрыва сила ударной воздушной волны еще недостаточна для деспергирования воды или распыления инертной пыли. А при больших мощностях взрыва и соответственно больших скоростях фронта пламени пассивные заслоны не успевают сформировать флегматизирующее облако из-за низкой скорости срабатывания.

3. При взрывах на шахтах «Томская», «Ульяновская», «Юбилейная» и «Воркутинская», оснащённых автоматической системой взрывоподавления - локализации взрывов типа АСВП-ЛВ, погибло 169 человек.

Сведения неверны. Эти шахты были оснащены в основном пассивными взрыволокализирующими заслонами и только частично автоматическими. Все жертвы при авариях были только в выработках, защищенных пассивными заслонами или в эпицентре взрыва – до взрыволокализирующих заслонов.

При аварии на шахте «Томская» погиб 1 человек в эпицентре взрыва. Взрыв был локализован сработавшей системой АСВП-ЛВ, за которой жертв и разрушений не было.

При аварии на шахте «Ульяновская» все системы АСВП-ЛВ, установленные в Филиале «Шахта Ульяновская», находящиеся в зоне действия ударно-воздушной волны с давлением выше порога срабатывания – сработали. Всего было 11 автоматических систем, 8 из которых стояли в конвейерном уклоне пл.50 (север), в котором автоматические системы сработали и взрыв был остановлен. Он не дошел к началу конвейерного уклона. Все 110 погибших шахтеров находились во время аварии в горных выработках, защищаемых сланцевыми заслонами. Эти факты отмечены в заключении «Комиссионной комплексной горнотехнической судебной экспертизы, по аварии, произошедшей филиале «Шахта «Ульяновская» ОАО «Объединенная угольная компания «Южкузбассуголь» 19 марта 2007г».

На шахте «Юбилейная» было всего три автоматические системы. Взрыв МВС и угольной пыли за системами АСВП-ЛВ был локализован, а за ними не погиб ни один человек, все погибшие находились в сети горных выработок, которые защищались сланцевыми заслонами.

На «Шахте Воркутинской» автоматические системы, установленные в районе произошедшего взрыва метана сработали, выбросив в горную выработку огнетушащий порошок, и ликвидировали подошедший фронт пламени, остановив процесс распространения взрывов по подземным горным выработкам. В результате шахтеры, более 250 человек, работавшие на других участках шахты не пострадали. Кроме того, даже в районе аварийного участка были спасены еще два шахтера. По их показаниям они работали в 760 метрах от произошедшего взрыва, до них дошла ослабленная воздушная волна, по выработке пролетели мелкие фракции угля (штыб), затем подошло облако огнету-

шащего порошка во взвешенном состоянии от сработавших систем АСВП-ЛВ.1М – в виде пыли белого «молочного» цвета.

При взрывозащите шахты только пассивными заслонами, зачастую взрыв не локализуется, а распространяется по протяженной сети горных выработок, как на шахте «Распадская», в которой все работавшие в шахте в момент аварии люди погибли, а взрыв вышел на поверхность, разрушив копер.

Дополнительно отметим, что за последние годы, при взрывах на шахтах Шевякова, Зыряновская, Комсомолец, Зиминка, Сибирская, Тайжина, Листвяжная, Есаульская, Распадская, Шахта № 7, оснащенных только сланцевыми и водяными заслонами, погибло более 300 человек

4. С учётом отрицательного опыта применения установок АСВП-ЛВ и решений комиссий по расследованию аварий в филиалах ОАО «ОУК «Южкузбассуголь» автоматические системы взрывоподавления – локализации взрывов целесообразно применять для локализации взрывов в тупиковых выработках или в горных выработках, в которых, с относительно высокой вероятностью, известно место источника воспламенения и начальный объём загазирования. Представляется неэффективным использование АСВП-ЛВ без совместного применения водяных или сланцевых заслонов.

Утверждение неверно. В приведенном анализе произошедших аварий на шахтах ОАО «ОУК «Южкузбассуголь» подтверждается полная бесполезность пассивных заслонов и эффективность применения автоматических систем. Все погибшие 149 человек находились в сети горных выработок ш. «Ульяновская» и ш. «Юбилейная», которые защищались пассивными сланцевыми заслонами.

В связи с этим, на расширенном совещании после аварий на шахтах филиалах ОАО «ОУК «Южкузбассуголь» Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору по рассмотрению эффективности систем АСВП-ЛВ от 25.07.2007г. было решено продолжить применение автоматических систем.

В настоящее время в соответствии с Федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности «Инструкция по локализации и предупреждению взрывов пылегазовоздушных смесей в угольных шахтах» АСВП-ЛВ и АСВП-ЛВ.1М может применяться в качестве взрыволокализирующего заслона наравне с пассивными сланцевыми водяными заслонами.

5. В последние годы наметилась опасная тенденция спуска в шахту не прошедших серьёзных испытаний средств пожаротушения и взрывозащиты. В России отсутствует экспериментальная база испытания этих средств в условиях максимально приближенных к натурным. Поэтому испытания проводятся, в лучшем случае, на их срабатывание при наступлении аварийной ситуации, но никак не на их эффективность. В результате системы АСВП-ЛВ и ВЛЗ-У «СТАРТ» получили разрешение на применение без их всесторонней экспериментальной проверки.

По отношению автоматических систем типа высказывание неверно. Автоматические системы разрабатывались на основе двух пятилетних программ Углепрома СССР по созданию таких систем и имелись конкретные технические требования к их параметрам. Разработчикам удалось выполнить эти требования в созданных автоматических системах типа АСВП-ЛВ(АСВП-ЛВ.1М. Разрешения Ростехнадзора на применение автоматических систем в угольных шахтах получено на основе всесторонней экспериментальной проверки их технических характеристик в экспериментальных штольнях ГосНИИ «Кристалл» (г.Дзержинск, Россия), МакНИИ (Украина), Чунцинского научно-исследовательского угольного института (Китай). Получены положительные результаты при длительных эксплуатационных испытаниях на действующей шахте «Первомайская». Кроме того, автоматические системы типа АСВП-ЛВ эффективно сработали и локализовали реальные взрывы, которые сложно смоделировать даже в самых современных экспериментальных штольнях.

Автоматическая система ВЛЗ-У «СТАРТ» относится к средствам предупреждения взрывов и к ней нет требований, которые предъявляются к взрыво-локализирующим заслонам.

А вот дополнительной экспериментальной проверки пассивных средств локализации взрывов – сланцевых и водяных заслонов, на предмет сравнения их характеристик с автоматическими системами АСВП-ЛВ.1М действительно не проводилось.

6. Должен быть переработан ГОСТ Р 54777-2011 «Оборудование горно-шахтное. Многофункциональные системы безопасности угольных шахт. Системы взрывозащиты горных выработок общие технические требования» так как:

- содержит не реальные требования о заслонах многоразового действия; об устройствах, входящие в состав заслонов, способствующих восстановлению состава рудничной атмосферы и улавливающих летящие предметы после взрыва, а также наличие оборудования, обеспечивающего оповещение людей об угрозе взрыва в месте расположения заслона;

- содержит бессмысленное требование о сохранении работоспособности системы при повторных взрывах, при этом элементы основного заслона должны выдерживать и воспринимать параметры детонационного взрыва;

- отсутствуют требования испытания новых систем и средств взрывозащиты горных выработок на эффективность взрывоподавления и локализации взрывов.

Авторы отчета, представленного СУЭКом, перепутали номера и содержание стандартов.

ГОСТ Р 54777-2011 имеет название «Автоматические системы взрывоподавления – локализации взрывов метанопылевоздушных смесей в угольных шахтах. Общие технические требования. Методы испытаний». Данный стандарт

- не содержит требования о заслонах многоразового действия; об устройствах, входящие в состав заслонов, способствующих восстановлению состава рудничной атмосферы и улавливающих летящие предметы после взрыва, а также о наличии оборудования, обеспечивающего оповещение людей об угрозе взрыва в месте расположения заслона;

- не содержит бессмысленное требование о сохранении работоспособности системы при повторных взрывах, для чего элементы основного заслона должны выдерживать и воспринимать параметры детонационного взрыва;

- содержит требования испытания новых систем.

В настоящее время идет разработка первой редакции проекта другого стандарта: «Оборудование горно-шахтное. Многофункциональные системы безопасности угольных шахт. Системы взрывозащиты горных выработок. Общие технические требования».

Данный проект не утвержден, не имеет номера, и существует только в качестве чернового варианта разработчика, однако уже получил множественные отрицательные отзывы.

КОММЕНТАРИИ ПО ТЕКСТУ ОТЧЕТА

Стр.6. Определения. Указано, что «Заслон основной - заслон многоразового действия с системой контроля и управления».

Данная терминология не верна и не используется в действующих нормативных документах и угольной отрасли. Более того, далее по тексту отчета авторы замечают, что «Разработка таких заслонов {многоразового действия} бесперспективна из-за разрушительного воздействия на них ударной волны».

Стр.12. Таблица 4.4. Действие избыточного давления ударной волны на оборудование. Указано, что «Сланцевые и водяные заслоны: срабатывание заслонов происходит при избыточном давлении 0.015-0.02МПа». Однако, далее по тексту, на стр. 57 сказано, что «АСВП-ЛВ оказалась совершенно неэффективной в качестве основного заслона, а из-за высокого порога срабатывания по избыточному давлению (0,2 атм) она будет неэффективна и в качестве вспомогательного заслона для подавления вспышек метана и угольной пыли в начальной стадии их возникновения».

Тем самым заявляя, что автоматический и пассивный заслоны имеют одинаковый порог срабатывания, авторы, на основании этого, объявляют автоматический заслон неэффективным, что не может быть признано корректным.

Стр.54. Авторы пишут, что «Согласно Инструкции* автоматические системы взрывоподавления и локализации взрывов могут быть как основными, так и вспомогательными взрыволокализирующими средствами».

Это неверно. С введением в действие «Правил безопасности в угольных шахтах» введенных приказом Ростехнадзора от 19.11.2013 № 550, и «Инструкции*», не применяется термины «основной» и «вспомогательный» взрыволокализирующий заслон. Данные термины использовались ранее, когда в качестве вспомогательного заслона применялся водяной или сланцевый заслон с пониженной нагрузкой – в местах, где было технически невозможно разместить полноценный заслон. После внедрения автоматических систем такая необхо-

* Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Инструкция по локализации и предупреждению взрывов пылегазовоздушных смесей в угольных шахтах"

димось отпала, и все заслоны допущены к применению на шахтах – согласно своим техническим характеристикам.

Также авторы пишут, что *«согласно п.297 ПБ 05-618-03 «основные» концентрированные водяные и сланцевые заслоны не могут быть заменены автоматическими системами типа АСВП-ЛВ, так как последние по своей сути работают как пламегасители и не снижают давление во фронте ударной волны»*.

Однако, требований по снижению снижают давления во фронте ударной волны в «Правилах безопасности в угольных шахтах» ПБ 05-618-03 нет.

Стр.55-63. Авторы пишут, что *«Автоматические системы АСВП-ЛВ показали полную неэффективность при взрыве на шахте «Томская» 08.02.2006, в филиалах «Шахта Ульяновская» и «Шахта Юбилейная» ОАО «ОУК «Южкузбассуголь» в 2007 году»*, и при этом приводят статистику аварий на шахтах, оснащённых АСВП-ЛВ, сообщая что погибло 169 человек:

шахта «Томская», 2006 год – 1 чел.;

шахта «Ульяновская», 2007 год – 110 чел.;

шахта «Юбилейная», 2007 год – 39 чел.;

шахта «Воркутинская», 2013 год – 19 чел.

У читателя может сложиться впечатление, что в смерти шахтеров виновны именно системы АСВП-ЛВ. Однако, это не так.

- На шахте «Томская» 1 человек погиб в эпицентре взрыва – в месте, не защищаемым ни одним заслоном. Система же АСВП-ЛВ сработала эффективно и не дала взрыву распространиться по шахте. Как результат – других пострадавших нет.

- На шахте «Ульяновская», помимо систем АСВП-ЛВ стояли сланцевые заслоны (эффективность работы которых авторами не рассматривается). Люди погибли на ВШ50-15, КШ50-11бис, Фланговом уклоне пл.50, Конвейерном уклоне пл.50(север) – все эти места были защищены сланцевыми заслонами.

- На шахте «Юбилейная» было только три автоматические системы АСВП-ЛВ, остальные - сланцевые заслоны. Взрыв МВС и угольной пыли за системами АСВП-ЛВ был локализован, а за ними не погиб ни один человек, все 39 погибших находились в сети горных выработок, которые защищались сланцевыми заслонами

- На шахте «Воркутинская» системы АСВП-ЛВ эффективно защитили шахту, не дав взрыву распространиться по сети горных выработок. Это подтверждается и показаниями свидетелей, работавших в КШ 832-ю в 760 метрах южнее от лавы 832-ю, которые наблюдали вначале приход по конвейерному штреку УВВ с мелкими фракциями угля (штыба), а затем огнетушащего порошка от сработавших систем АСВП-ЛВ.1М – пыли белого "молочного" цвета. Это отмечено в Информационном бюллетене Ростехнадзора №4(67)2013, где сказано, что «заслон [АСВП] сработал эффективно». И то, что количество пострадавших от взрыва на шахте не увеличилось, шахтеры работавшие во время аварии на других участках не погибли – заслуга именно АСВП-ЛВ.

Кроме того, авторы не приводят данные по другим авариям на угольных шахтах, в которых для локализации взрывов применялись только пассивные сланцевые и водяные заслоны, а автоматических систем не было:

Шахта	Дата аварии	Применяемые за- слоны	Число погибших
Шевякова	1 декабря 1992	Только сланцевые и водяные заслоны, автоматических систем НЕТ	25
Зыряновская	2 декабря 1997		67
Комсомолец	21 марта 2000		12
Зиминка	16 июня 2003		12
Сибирская	10 января 2004		6
Тайжина	10 апреля 2004		47
Листвяжная	28 октября 2004		13
Есаульская	9 февраля 2005		25
Распадская	8, 9 мая 2010		91
Шахта № 7	20 января 2013		8
Всего погибших			306

Стр.56. Авторы высказывают свое мнение о неэффективности систем АСВП-ЛВ, базируясь на следующих утверждениях:

1. «Системы АСВП-ЛВ получили разрешение на применение без их всесторонней экспериментальной проверки. В России отсутствует эксперимен-

тальная база для испытания таких систем в условиях максимально приближенным к натурным».

Это не так. Системы АСВП-ЛВ прошли весь комплекс необходимых испытаний:

- Испытание установочной серии в 2003 г
- Шахтные эксплуатационные испытания в 2003 г.
- Дополнительные испытания в 2007 г.
- Сертификационные испытания на Украине, 2010 г.
- Испытания в условиях, максимально приближенным к натурным в 2011г, Китай.

Кроме того, автоматические системы типа АСВП-ЛВ (АСВП-ЛВ.1М) эффективно сработали и локализовали реальные взрывы, которые сложно смоделировать даже в самых современных экспериментальных штольнях.

2. «Заявленная разработчиками АСВП-ЛВ область их применения не подтверждена».

Авторы считают, что при некоторых условиях возможен проход ударной волны за систему до выброса огнетушащего порошка – что является подтверждением неэффективности систем. Это не так. Система спроектирована таким образом, чтобы сформировать облако огнетушащего порошка до прихода фронта пламени, а не ударной волны. Наличие противодействия ударной волны выбросу огнетушащего порошка не оказывает существенного воздействия на функционирование системы АСВП-ЛВ.1М.

3. «... давление в ударной волне не снижается. Следовательно, АСВП-ЛВ нельзя называть системой взрывоподавления».

Согласно используемой терминологии: Взрывоподавление – способ прекращения взрыва газо-, паро-, пылевоздушных сред в начальный момент его возникновения. Т.е. взрывоподавление заключается в том, что взрыв будет подавлен на ограниченном участке – без возможности распространения по сети горных выработок. Эту функцию система АСВП-ЛВ выполняет. Требований по снижению давления УВВ при срабатывании заслона в действующих нормативных документах, как и указания необходимого процента ослабления УВВ – нет.

Согласно ПБ 05-618-03 (п.297) «Для предотвращения распространения взрывов метана и(или) угольной пыли сеть горных выработок шахты должна быть оснащена взрыволокализирующими заслонами».

Согласно Инструкции* «взрыволокализирующий заслон – средство локализации взрывов, предназначенное для локализации (предотвращения распространения) взрывов пылегазовоздушных смесей в горных выработках угольных шахт».

Таким образом автоматическая система взрывоподавления-локализации взрывов АСВП-ЛВ является системой взрывоподавления, взрыволокализирующим заслоном.

Стр.88-95. «Математическое моделирование» распространения порошка при срабатывании АСВП-ЛВ

Указано, что «Скорость движения рудничной атмосферы за ударной волной достигает значений 250 м/с». (стр.91).

При этой скорости за 0.6205 с (отметка времени на стр. 95) порошок, распыленный системой, пройдет путь в 155,1м.

При сечении выработки в 10 м^2 и массе распыленного порошка – 25 кг концентрация составит 16 г/м^3 , тогда как авторы на стр.95 пишут – 5 г/м^3 . Что составляет ошибку авторов более чем в три раза. При более точном подсчете (при учете того, что скорость движения рудничной атмосферы в среднем меньше максимальных 250 м/с, при учете того, что порошок не мгновенно примет скорость воздушного потока) ошибка увеличится еще больше.

При этом осаждение порошка на стенки поверхность выработки за время $<1\text{ с}$ пренебрежимо мало, что признается ранее самими авторами на стр.85 «...относительно равномерное распределение порошка в воздухе происходит к концу съемок – [только] через 1 мин от момента срабатывания АСВП-ЛВ...».

Кроме того, при анализе аварий на шахтах (стр.61), авторы заявляют, что «При полном распылении его в Конвейерном штреке 832-ю ОАО «Шахта «Воркутинская» сечением $14,4\text{ м}^2$ образуется концентрация порошка $1,74\text{ кг/м}^2$ или **58 г/м^3** ».

Таким образом, приведенное авторами моделирование имеет серьезные ошибки.

* Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Инструкция по локализации и предупреждению взрывов пылегазовоздушных смесей в угольных шахтах"

КОММЕНТАРИИ К ПРИЛОЖЕНИЮ К ОТЧЕТУ

Приложение 1. Отзыв фирмы «Dr. KlausSchulte» GmbH (Германия) на устройство защиты от взрывов угольной пыли и метана АСВП-ЛВ.

Фирма «Dr. KlausSchulte» не обращалась за консультацией к разработчику и эксплуатантам систем АСВП-ЛВ(.1М) и, судя по отзыву, слабо представляет себе конструкцию и функционирование системы.

- Стоимость системы не является недостатком, она обходится шахте дешевле эксплуатации пассивных заслонов;

- Особые усилия по эксплуатации берет на себя сервисная служба производителя;

- Состояние АСВП-ЛВ(.1М), всех ее узлов, контролируется постоянно и заносится в специальные журналы. Странно, почему у фирмы «Dr. KlausSchulte» не вызывает вопросов сложность контроля состояния инертной пыли в сланцевых заслонах;

- При неосторожном обращении может несанкционированно «сработать» и водяной, и сланцевый заслоны. Непонятно, почему это выносится как недостаток именно АСВП-ЛВ;

- Сотрудники фирмы «Dr. KlausSchulte» не понимают разницы между ингибитором в системе АСВП-ЛВ(.1М) массой 25 кг и инертной пылью в сланцевом заслоне массой 5600 кг, сравнивая их между собой по весу.

Соответственно, данный отзыв не может служить рекомендацией по выбору средства взрывозащиты.

Приложения 2–6.

Физико-математическая постановка задачи о распространении пламени в горючем газе с аэрозолем воды, математическое моделирование распространения ламинарного пламени в газе с инертной пылью с учетом теплового расширения газа, распространение ударной волны и фронта горения в выработке угольной шахты от тупика, влияние неоднородности расположения воды в поперечном сечении выработки, гашение энергии ударной волны с помощью пористой взрывозащитной перемычки

Данные приложения являются созданными авторами моделями различных процессов, и могут быть для обсуждения опубликованы авторами в тематических журналах. К теме отчета – «Анализ действующих в угольных шахтах

систем локализации взрывов и оценка эффективности их применения» эти материалы прямого отношения не имеют.