

УДК 622.235

Докт. техн. наук *Джигрин А.В.*,  
канд. техн. наук *Горлов Ю.В.*,  
инж. *Горлов А.Ю.*

ЗАО «МВК по ВД при АГН»  
Горный инженер *Антоньев А.В.*  
НПО «Механик»

Докт. физ.- мат. наук, проф. *Смирнов Н.Н.*,  
докт. физ.- мат. наук, проф. *Рыбакин Б.П.*,  
канд. физ.- мат. наук *Никитин В.Ф.*

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

### **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ АСВП-ЛВ.1М ПО ЛОКАЛИЗАЦИИ ВЗРЫВА МЕТАНА И УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ В ШАХТЕ «ВОРКУТИНСКАЯ»**

*В результате анализа протокола осмотра и актов технического расследования по аварии, произошедшей 11 февраля 2013 года на выемочном участке лавы 832-ю пл. Тройного структурного подразделения «Шахта Воркутинская» ОАО «Воркутауголь», в статье описывается вероятный механизм развития и локализации взрыва метана и угольной пыли, освещена последовательность локализации данного взрыва автоматическими системами взрывоподавления-локализации взрывов типа АСВП-ЛВ.1М, а также приведен газодинамический расчет воздействия ударной воздушной волны взрыва, вызвавшей наблюдаемые разрушения.*

**Ключевые слова:** авария, взрыв, фронт пламени, ударная воздушная волна, локализация, взрывоподавление, АСВП-ЛВ.1М.

Шахта «Воркутинская» - угледобывающее предприятие в городе Воркуте (Республика Коми), является структурным подразделением ОАО «Воркутауголь». Предприятие было сдано в эксплуа-

тацию в 1973 году с производственной мощностью 1,8 млн. тонн угля в год. Шахта обрабатывает 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. Данные системы успешно применяются с 2005 г на шахтах России в Воркуте и Кузбассе, а также за рубежом – в Китае и Украине.

Автоматическая система типа АСВП-ЛВ.1М работает в ждущем режиме и приводится в действие ударно-воздушной волной (УВВ), образованной в результате взрыва метана или угольной пыли (рисунок 1) [1].

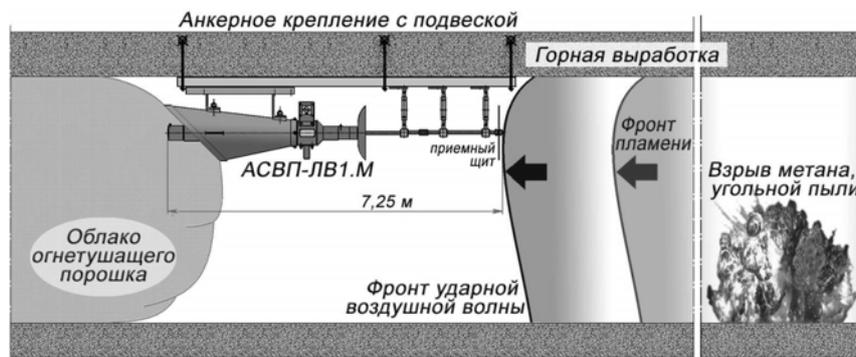


Рис.1. Принцип действия автоматических систем взрывоподавления-локализации взрывов типа АСВП-ЛВ и АСВП-ЛВ.1М

От воздействия УВВ на приёмный щит автоматической системы происходит срабатывание системы и в пространство горной выработки выбрасывается огнетушащий порошок за счёт запасённой в системе энергии сжатого воздуха высокого давления. В результате в объёме горной выработки по всему её сечению на пути распространения фронта пламени (ФП) формируется надёжный заслон в виде долгоживущего облака огнетушащего порошка белого цвета во взвешенном состоянии. Характеристики быстродействия и времени жизни огнетушащего порошка во взвешенном состоянии у АСВП-ЛВ.1М значительно (на порядки) превышают таковые инертной пыли у сланцевых заслонов и водной аэрозоли у водяных заслонов. Если время жизни облака из инертной пыли, образован-

ного после срабатывания сланцевого заслона, 1÷2 с (по данным МакНИИ, Украина), облака из водной аэрозоли, образованного после срабатывания водяного заслона оборудованного сосудами с водой 0,25 с, а оборудованного взрывозащитными водяными мешками 0,16 с, то огнетушащий порошок, выброшенный в горную выработку после срабатыванию автоматической системы АСВП-ЛВ или АСВП-ЛВ.1М, остается во взвешенном состоянии 370÷390 с (по данным испытаний в России (ФНУП ЦНИИМАШ), а также Чунцинского национального центра испытаний на безопасность горношахтного оборудования, Китай). Этот заслон из облака огнетушащего порошка во взвешенном состоянии ликвидирует подошедший ФП и прекращает процесс распространения взрывов по сети горных выработок, то есть локализует взрыв. УВВ продолжает распространяться по подземным горным выработкам за сработавшими автоматическими системами, постепенно теряет свою интенсивность за счёт диссипации вплоть до полного затухания, так как не имеет подпитки от новых взрывов угольной пыли.

В горных выработках, в которых возможен приход УВВ и ФП от взрыва метановоздушной смеси или угольной пыли с любой стороны, устанавливаются две спаренные (или две одиночные) системы АСВП-ЛВ.1М с противоположно направленными приёмными щитами. При приходе УВВ со стороны, противоположной направлению системы, срабатывание системы возможно, но не гарантировано, т.к. срабатывание будет происходить в нештатном режиме.

11 февраля 2013 года на выемочном участке лавы 832-ю пл. Тройного структурного подразделения «Шахта Воркутинская» ОАО «Воркутауголь» произошел взрыв метана (рисунок 2).

Анализ протокола осмотра [2] и актов [3], [4], [5] и проведённая оценка воздействия факторов взрыва на объекты, расположенные в аварийном участке, показывают, что 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 УВВ и пламени от места взрыва распространялись в трёх направлениях. Вверх по лаве 832-ю, по КШ 832-ю на север в сторону рельсового уклона 35-ю (РУ 35-ю) и на юг в сторону вентиляционного бремсберга 832-ю (ВБ 832-ю).

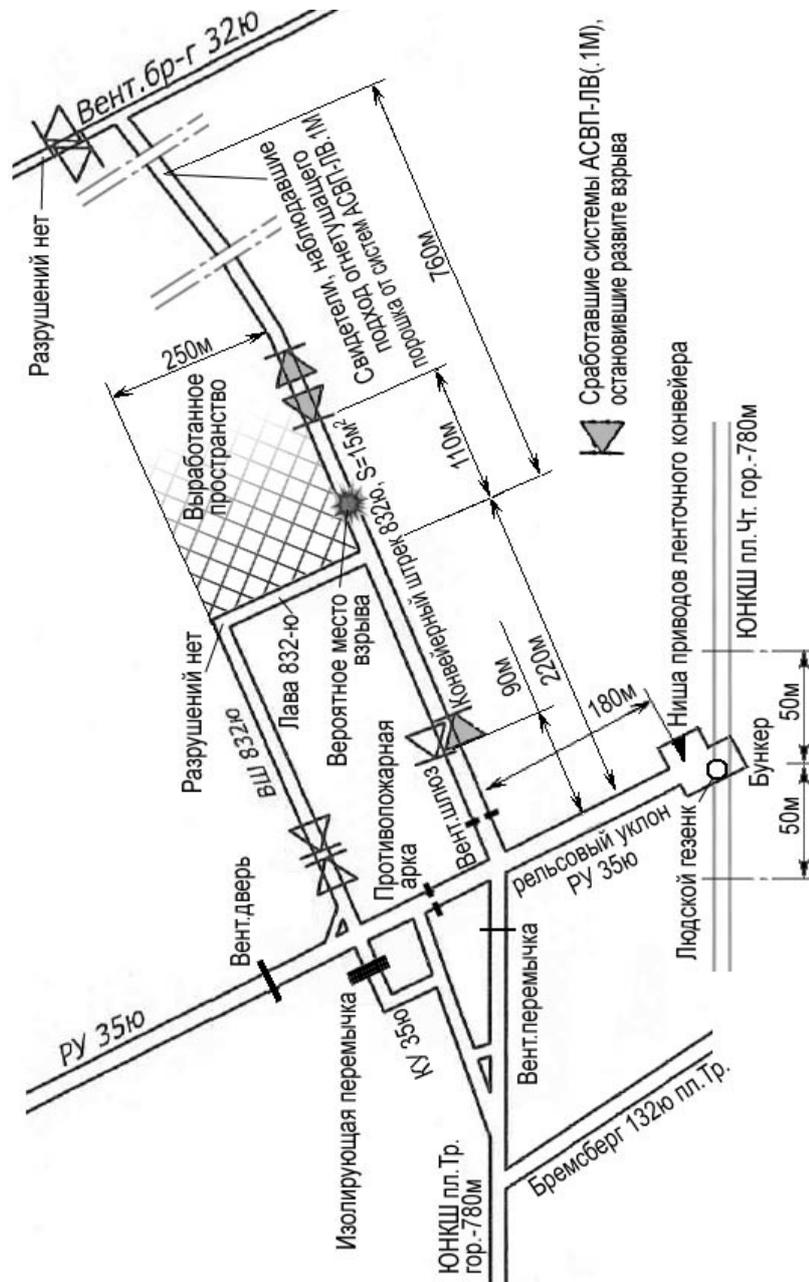


Рис.2. Схема аварийного участка

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 [1]. 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 [5], выбросила в горную выработку огнетушащий порошок и ликвидировала подошедший ФП и прекратили процесс распространения взрывов по КШ 832-ю на юг в сторону ВБ 32-ю, то есть локализовали дальнейшие возможные 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 вследствие ликвидации фронта пламени, 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 [5]. 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 по КШ 832-ю на север в сторону РУ 32-ю, то есть локализовала дальнейшие возможные 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 дефлагрировать, то есть гореть, не имея подпитки от

новых взрывов угольной пыли вследствие ликвидации ФП системой АСВП-ЛВ.1М продолжала двигаться вперёд, 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 переемычку 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. Гр. гор. -780 м), также разрушил по ходу движения вентиляционную переемычку, 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 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 [3] - с.68, [4] - с.53-54.

После затухания процесса горения и ухода ударных волн из аварийного участка, в нем образовалась зона с повышенной температурой и пониженным давлением вследствие того, что поток за ударными волнами вывел значительную массу газа. Охлаждение горячих газов из-за передачи тепла к стенкам горных выработок также способствовало понижению давления. Все это привело к формированию в горных выработках обратной тяги к центру взрыва и к движению газов в обратном направлении, которое достигло максимума через несколько секунд после первичного движения газов и последующего его ослабления. Известно, что скорость газов в обратном потоке в 2 – 3 раза меньше скорости потока позади ударной волны, но длительность обратного потока примерно во столько же раз больше. Обратный поток, имея высокую скорость, также оказывает динамическое воздействие («обратный удар»), но оно, как правило, значительно слабее, чем при прямом ударе. При давлении в волне разрежения 0,054...0,080 МПа скорость потока может достигать 50...165 м/с. При таких скоростях газового потока возникают дополнительные разрушения с перемещением объектов воздействия в направлении, противоположном распространению взрывного горения. Поэтому могут быть следы динамического воздействия в противоположных направлениях. Направление взрыва можно проследить по динамическим проявлениям, требующим сравнительно больших затрат энергии (направление сдвига тяжелого оборудования, направление отброса элементов перемычек, деформации металлической крепи и т.п.). В зоне воспламенения перемещение предметов при «прямом» ударе не происходит. Поэтому скопление различных предметов в этой зоне может быть обусловлено только транспортирующим давлением газового потока при «обратном ударе».

В КШ 832-ю в автоматических системах, установленных на ПК 33 и ПК 34 приёмные щиты (размером 365 x 365 мм из стали №3 толщиной 4 мм) загнуты на юг в сторону ВБ 832-ю, а в автоматических системах, установленных на ПК 9 приёмные щиты (размером 365 x 365 мм из стали №3 толщиной 4 мм) загнуты на север в сторону РУ 35-ю [2] – с.6, [5].

Таким образом, приёмные щиты в автоматических системах, установленные в сторону ВБ 832-ю и приёмные щиты в автоматических системах, установленные в сторону РУ 35-ю загнуты в разные стороны, что говорит о предположительном месте формирования взрыва между пикетами ПК 33 и ПК 9. Загнуть щиты могла только прямая УВВ. Обратный поток, имея меньшую скорость, чем поток за ударной волной (хотя и имеет пропорционально большую длительность), не мог развернуть щиты обратно, поскольку сила воздействия движущегося газа на объект пропорциональна квадрату скорости газа; с уменьшением скорости в 3 раза сила уменьшается в 9 раз; длительность же потока газа имеет значение только тогда, когда сила воздействия на металл превышает порог, за которым начинаются пластические деформации.

В торце РУ 35-ю после прихода УВВ образовались сильные локальные разрушения. Причиной этих разрушений могло быть отражение ударной волны от торца. При отражении от прямой стенки УВВ небольшой интенсивности усиливается в 2 раза, но если стенка тупика скошена, при отражении возникают области фокусировки УВВ, которые приводят к значительно большему локальному повышению давления; последующее за этим столь же резкое падение давления приводит к разгрузке возникших напряжений в объектах, на которые волна была сфокусирована при отражении. Резкая разгрузка напряжений может привести к сильным разрушениям, которые, тем не менее, будут сосредоточены в небольшом пространстве.

В приведенных ниже результатах расчета величины УВВ, отраженной от скошенного торца, показывают изменение поля давления, при котором в окрестности торца (тупик РУ 35-ю) возникает выше описанная фокусировка ударных волн, а на рисунках видна концентрация высокого давления позади сложного комплекса отражения ударной волны с образованием ножки Маха, за которой располагается высокое давление и высокая скорость потока, направленного в сторону от места отражения.

Деревянные щепки от разрушенных перегородок из КШ 832-ю и РУ 35-ю оказались в штреке КШ 832-ю ближе к месту предполагаемого взрыва, чем расположение этих перегородок. Это можно объяснить воздействием обратного воздушного потока. После раз-

рушения перегородок ударной волной, большая часть щепок осталась на месте разрушения. После разворота потока газа в сторону взрыва легкие щепки поднялись в воздух и были втянуты потоком обратно. Как отмечалось выше, обратный поток длился значительно дольше, чем первичный, кроме того, поток усилился еще и после схождения со всех сторон в месте разветвления КШ 832-ю и РУ 35-ю, поэтому в конвейерном штреке КШ 832-ю его скорость возросла в 2 – 3 раза против той, что была в рельсовом уклоне, где находилась ближайшая деревянная перегородка. Это привело к тому, что достаточно легкие щепки от места разрушения перегородки были затянуты потоком воздуха на расстояние более 200 м в сторону места взрыва. Они осели тогда, когда поток прекратился после повышения давления в окрестности лавы до нормального.

Погибшие люди в КШ 832-ю оказались развернутыми в сторону лавы, и их одежда задранный в эту же сторону. С одной стороны, направление одежды показывает, прежде всего, направление последнего сильного воздействия потока газа, а не первичного; последним же подобным воздействием при взрыве был именно обратный поток воздуха в сторону лавы.

#### **Расчёт отражения ударной волны от скошенного торца (тупика РУ 35-ю)**

На верхней и нижней границах расчетной области поставлены условия непротекания. Справа задается жесткая стенка, наклоненная под некоторым углом к нижней границе. Параметры потока на левой границе принимаются равными значениям параметров внутри области, примыкающей к границе. Слева направо по расчетной области движется ударная волна интенсивности 1.5 атмосферы, которая отражается от торца. В точках 1, 2 и 3 записываются расчетные данные по изменению давления со временем, которые иллюстрируются на графиках. Представлены результаты расчетов для значений углов 45, 30 и 60 градусов.

А) Угол = 45<sup>0</sup> На рисунке 3 изображено поле давления и контрольные точки.

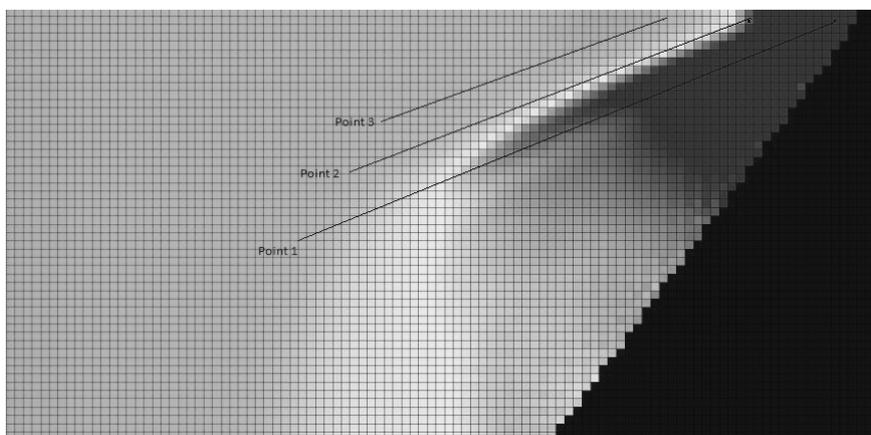


Рис.3. Поле давлений на момент времени  $t = 6$  мс для угла скоса торца  $45$  градусов. Стрелками указаны контрольные точки 1, 2 и 3

На рисунке 4 слева представлен график, полученный в момент времени  $t = 12.3$  мс, когда в точке 1 получается наибольшее давление. На рисунке справа изображено давление в точках 1, 2, 3 в зависимости от времени.

Б) Угол  $30^\circ$  На рисунке 5 слева представлен график, полученный в момент времени  $t = 12.3$  мс, когда в точке 1 получается наибольшее давление. На рисунке справа изображено давление в точках 1, 2, 3 в зависимости от времени.

В) Угол  $60^\circ$  На рисунке 6 слева представлен график, полученный в момент времени  $t = 12.1$  мс, когда в точке 1 получается наибольшее давление. На рисунке справа изображено давление в точках 1, 2, 3 в зависимости от времени.

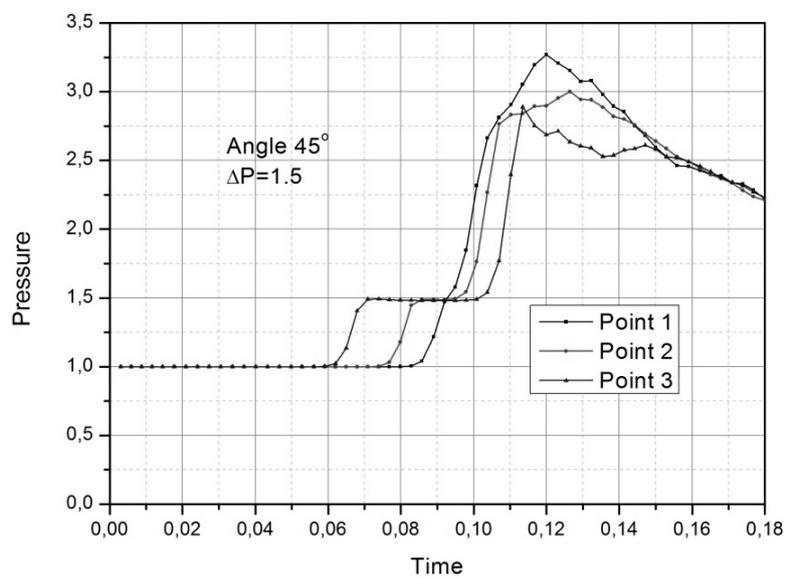
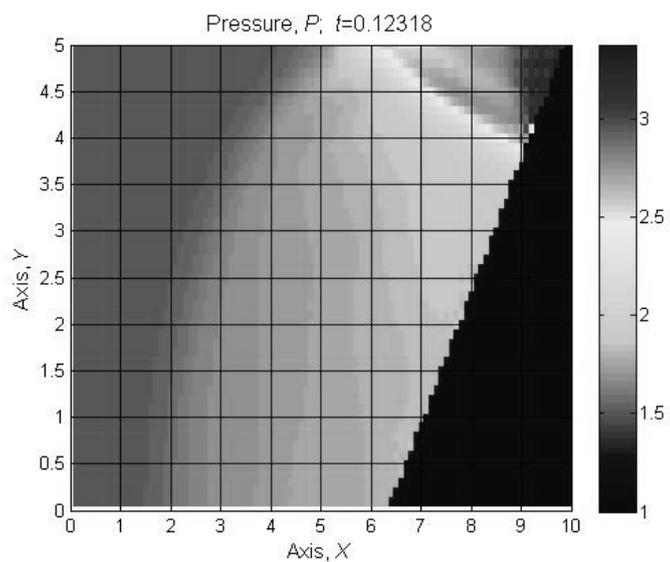


Рис.4. Результаты для угла скоса торца 45 градусов.

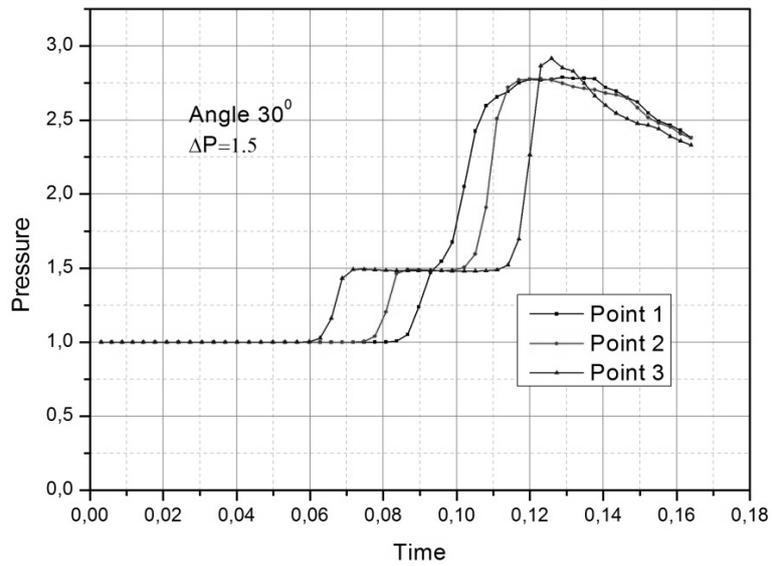
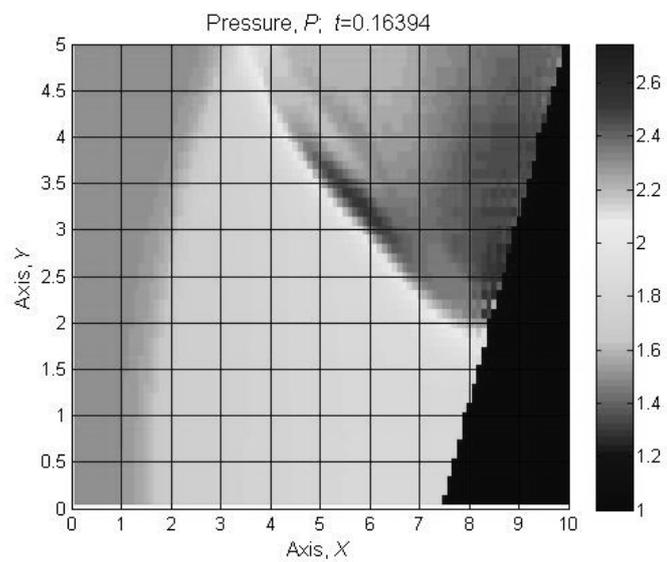


Рис.5. Результаты для угла скоса торца 30 градусов.

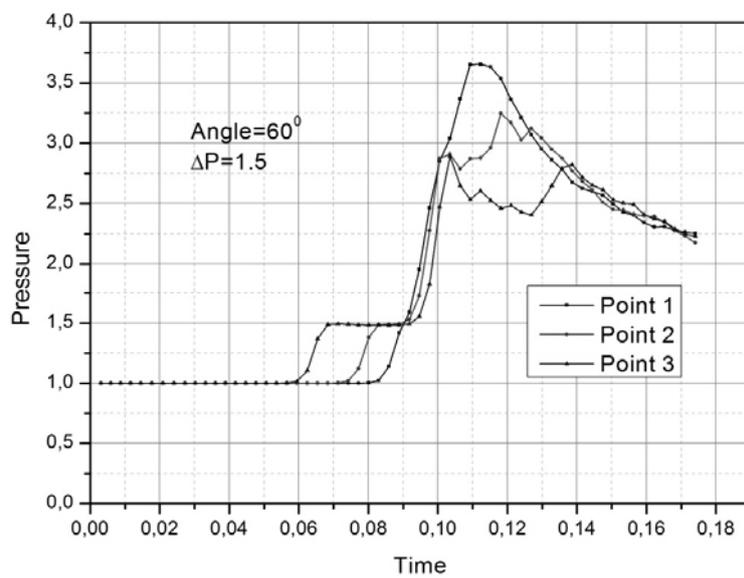
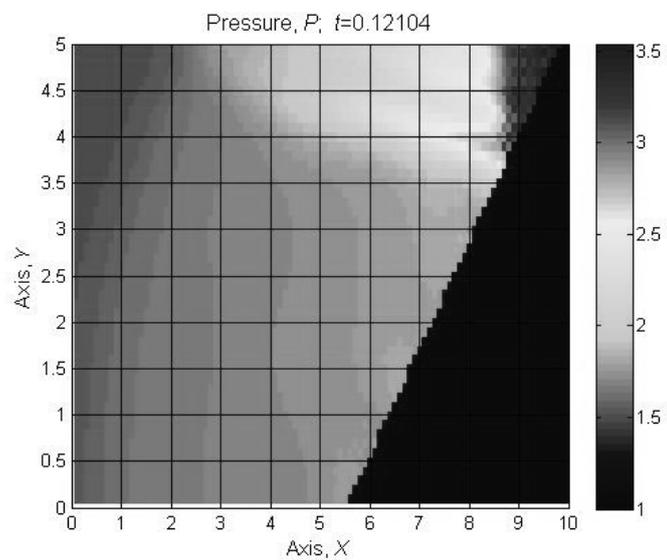


Рис.6. Результаты для угла скоса торца 60 градусов.

### **Выводы**

1. Вероятным местом возникновения взрыва на выемочном участке лавы 832-ю пл. Тройного структурного подразделения «Шахта Воркутинская» ОАО «Воркутауголь» является конвейерный штрек 832-ю (КШ 832-ю) между пикетами ПК9 и ПК33.

2. Автоматические системы взрывоподавления-локализации взрывов АСВП-ЛВ.1М, пришедшие на замену устаревшим сланцевым и водяным заслонам, показали свою эффективность в реальных шахтных условиях, и не допустили развитие взрывов пылеметановоздушной смеси по сети горных выработок из локальной области возникновения аварии.

3. Взрыволокализирующие заслоны, являющиеся последним рубежом взрывозащиты, принципиально не могут обеспечить защиту непосредственно в области уже произошедшего взрыва, а также от его продуктов – отравляющих газов высокой температуры. Даже у локализованного в ограниченной области взрыва ударная волна может по инерции распространяться на некоторое расстояние, принося ощутимые разрушения, особенно в областях концентрации – в тупиках и уменьшениях сечения выработки. Поэтому, наряду с развитием средств локализации взрывов, необходимо усиливать меры, направленные на предупреждение возникновения взрывов метана и угольной пыли.

### **Библиографический список**

1. Горлов Ю.В., Горлов А.Ю. Принципы локализации взрывов пылеметановоздушных смесей автоматическими системами в горных выработках. Горный информационно-аналитический бюллетень №4, 2006 г. М.: Изд. МГГУ. с.70-74.

2. Протокол осмотра группового несчастного случая, связанного с аварией произошедшей 11 февраля 2013 года на выемочном участке лавы 832-ю пл. Тройного структурного подразделения «Шахта Воркутинская» открытого акционерного общества по добыче угля «Воркутауголь» от 12 февраля 2013 года, г. Воркута, 2013 г., 20с.

3. Акт технического расследования причин аварии, происшедшей 11 февраля 2013 года на выемочном участке лавы 832-ю пл. Тройного структурного подразделения ОАО «Воркутауголь» «Шахта Воркутинская» от 25 марта 2013 года, г. Воркута, 2013 г., 119с.

4. Акт технического расследования причин аварии, произошедшей 11 февраля 2013 года на выемочном участке лавы 832-ю пл. Тройного структурного подразделения ОАО «Воркутауголь» «Шахта Воркутинская» от 25 апреля 2013 года (Акт составлен с учетом дополнительного расследования, проведенного на основании письма заместителя Руководителя Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору Б.А. Красных №00-04-05/605 от 05.04.2013), г. Воркута, 2013 г., 84с.

5. Акт 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» от 18 февраля 2013 года, г. Воркута, 2013 г., 4с.

UDC 622.235

*Dzhigrin A.V., Gorlov Y.V., Gorlov A.Y.,  
Antoniev A.V., Smirnov N.N., Rybakin B.P., Nikitin V.F.*

#### **ESTIMATION OF AUTOMATIC SYSTEMS ASVP-LV.1M EFFICIENCY ON LOCALIZATION OF METHANE AND COAL DUST EXPLOSION IN “VORKUTINSKAYA” MINE**

*An analysis of the inspection record and acts of technical investigations into the accident, which occurred February 11, 2013 at the excavation site of lava 832- th layer of Triple structural unit "Mine Vorkutinskaya" (JSC "Vorkutaugol"), is given in the article. Described the likely mechanism for the spreading and localization of methane and coal dust explosion, described the sequence of the explosion localization by automatic systems ASVP -LV and ASVP-LV.1M, and is given gas-dynamic calculation of the explosion air shock wave caused the observed damages.*

**Keywords:** accident, explosion, the flame front, air shock wave, localization, explosion suppressing, ASVP-LV

Контактная информация:  
E-mail: mail@mvkmine.ru