



DOI: 10.25558/VOSTNII.2024.29.98.004

УДК 533

© О. Ю. Лукашов, А. Ю. Крайнов, А. А. Оберемок, 2024

### О. Ю. ЛУКАШОВ

канд. физ.-мат. наук,

директор

ООО «Шахтэксперт-Системы», г. Кемерово

e-mail: mail@minesoft.ru

### А. Ю. КРАЙНОВ

д-р физ.-мат. наук, проф.,

заведующий кафедрой

Национальный исследовательский

Томский государственный университет, г. Томск

e-mail: akrainov@ftf.tsu.ru

### А. А. ОБЕРЕМОК

аспирант

Национальный исследовательский

Томский государственный университет, г. Томск

e-mail: oberemokaa@minesoft.ru

## РАСЧЕТ РАЗМЕРОВ ЗОН ПОРАЖЕНИЯ ПРИ АВАРИЙНОМ ВЗРЫВЕ МЕТАНА В ШАХТЕ С УЧЕТОМ ВОДЯНЫХ ЗАСЛОНОВ

*Представлены результаты расчета зон поражения при аварийном взрыве метана в потенциально опасных зонах накопления метана в пределах выемочного участка «Лава № 824 пласта Сычевский I» шахты «Листвяжная». Расчеты проведены с учетом взаимодействия ударных волн с водяными заслонами. Расчеты проведены по «Методике газодинамического расчета параметров воздушных ударных волн при взрывах газа и пыли», модифицированной на случай присутствия в выработках водяных заслонов. Расчеты показали, что водяные заслоны меняют топологию зон поражения в шахте по сравнению с вариантами, когда расчеты ведутся без учета заслонов. Представлены результаты исследования влияния увеличения длины водяных заслонов от нормативных размеров на величину зон поражения при аварийном взрыве.*

**Ключевые слова:** ВЗРЫВ МЕТАНА В ШАХТЕ, УДАРНЫЕ ВОЛНЫ, ВОДЯНЫЕ ЗАСЛОНЫ, ЗОНЫ ПОРАЖЕНИЯ, ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.

### ВВЕДЕНИЕ

В 2021 году в шахте «Листвяжная» (ООО «Шахта «Листвяжная») в результате взрыва метана произошла авария, унесшая 51 человеческую жизнь. Для повторного ввода шахты в эксплуатацию после

восстановительных работ Ростехнадзором России среди прочего было предписано выполнить научно-исследовательскую работу по обеспечению безопасности работ в горных выработках новыми проектными решениями в части взрывозащиты.

Целью работы является расчетно-теоретическое определение параметров взрыволокализирующих заслонов для предотвращения выхода воздушных ударных волн (ВУВ) при взрывах метана за пределы выемочного участка «Лава № 824 пласта Сычевский I».

Для достижения цели были поставлены задачи:

– уточнить математическую модель, используемую в действующей отраслевой «Методике газодинамического расчета параметров воздушных ударных волн при взрывах газа и пыли» (распоряжение Госгортехнадзора России от 27.04.2004 г. № Р-7), в части учета взаимодействия ВУВ с водяными заслонами при взрывах метана в горных выработках угольных шахт;

– разработать программный модуль для выполнения численных расчетов параметров ВУВ и зон поражения при взрывах метана в угольных шахтах с учетом взаимодействия с водяными заслонами;

– выполнить модельные расчеты для изучения возможных волновых эффектов при взаимодействии ВУВ с водяными заслонами;

– выполнить параметрические исследования для изучения влияния протяженности водяных заслонов на зоны поражения, определить возможность защиты горных выработок шахты и параметров водяных заслонов для выполнения таковой защиты при потенциальных взрывах метана в подготовительном забое Конвейерный штрек 825.

Идея работы состояла в расчете параметров и характера распространения ВУВ и определения зон поражения при потенциальных взрывах газа с учетом взаимодействия ВУВ с водяными заслонами. Необходимость выполнения указанных работ обусловлена отсутствием учета взрыволокализирующих заслонов в действующей методике газодинамического расчёта параметров воздушных ударных волн при взрывах газа и пыли в шахтах.

Моделирование взаимодействия ударных волн и волн детонации с областями с газозвесью инертных частиц проводится на основе двухфазной двухскоростной модели динамики дисперсных сред [1]. С использованием

модели взаимопроникающих континуумов проведены количественные оценки необходимой концентрации инертных частиц в газозвеси для подавления детонации [2–5]. Однако для возникновения детонации метановоздушной смеси в шахте необходимы особые условия, возникающие одновременно: образование стехиометрической (или близкой к ней) метановоздушной смеси, равномерной и непрерывной на некотором протяженном участке шахты, наличие мощного источника для прямого инициирования детонации (17 кг в тротиловом эквиваленте [3]). Стехиометрические скопления метана могут возникнуть при нарушении проветривания либо в застойных зонах, возникающих при неправильной вентиляции шахты. Но в большинстве случаев она не является стехиометрической и непрерывной, так как в шахте постоянно проводится контроль концентрации метана, которая не должна превышать 1%. Соответственно, возникает вопрос и о наличии в шахте источника прямого инициирования детонации (17 кг в тротиловом эквиваленте). Если все-таки детонация метановоздушной смеси в некоторой области произошла, то для ее подавления по оценкам [6] требуется 13 кг/м<sup>3</sup> мелкодисперсной пыли, а по оценкам [7] — до 50 кг/м<sup>3</sup> пыли. Однако способы и средства создания такого облака перед фронтом детонации авторами не обсуждаются.

При быстром сгорании нестехиометрической концентрации метана в воздухе в некоторой загазованной области по сети выработок шахты распространяется ВУВ. По мере ее распространения в сети выработок ее интенсивность уменьшается из-за наличия местных сопротивлений в виде поворотов, сопряжений участков выработок, вовлечения в движение больших масс рудничной атмосферы. Объем воздуха, приходящего в движение по мере распространения ВУВ в сети выработок, непрерывно возрастает. Опасной для человека является интенсивность ударной волны, превышающая 6 кПа. Для снижения интенсивности ВУВ при опасности взрыва метана в шахте используются штатные взрывозащитные сооружения.

Одним из обязательных средств локализации взрывов метана и угольной пыли в протяжённых горных выработках в России являются водяные заслоны [8]. Они выполняются в виде полок, закреплённых под кровлей горной выработки, на которых размещены жёсткие полимерные сосуды с водой ёмкостью не более 45 л каждый. Принцип действия таких заслонов заключается в образовании облака диспергированной воды на пути движения ВУВ аварийного взрыва метана. ВУВ, взаимодействуя с заслоном, теряет интенсивность и частично затухает. Заслоны устанавливаются рядами на небольших расстояниях от возможного очага взрыва. Длина водяного заслона принята равной 30 м, объем воды рассчитывается из нормы 15 л воды на 1 м<sup>3</sup> пространства, занятого заслоном. При воздействии избыточного давления на боковую стенку емкости величиной 1,5 кПа она переворачивается, вода выливается в поток воздуха за ударной волной. При взаимодействии с высокоскоростным потоком воздуха за ударной волной струи воды диспергируются в капли. Оценка размера капель при диспергировании проведена согласно данным о критическом числе Вебера [1]. При избыточном давлении в ударной волне 0,2 атм скорость воздуха за ударной волной составляет 30 м/с. Принимая верхнюю оценку величины числа Вебера из [1], получаем величину диаметра капель воды после диспергирования 0,1–0,2 мм. Время динамической релаксации капель такого размера к скорости потока газа составляет 0,025–0,1 с.

В процессе диспергирования капли воды и поток воздуха обмениваются импульсом. Это приводит к уменьшению скорости газокapельной взвеси за ударной волной, «отрыву» части потока воздуха, движущегося за ударной волной, от переднего фронта ударной волны. В последующем укороченная область сжатого газа за ударной волной, прошедшая за заслон, быстрее уменьшает свою энергию и уменьшается интенсивность ударной волны. Газокapельная область отстает от фронта ударной волны. При оседании капель воды на стенки выработки импульс

и кинетическая энергия газокapельного потока уменьшаются.

В качестве дополнительного средства взрывозащиты перед водяным заслоном на расстоянии ~100 м в направлении ожидаемого прихода ударной волны от взрыва метана устанавливается Автоматическая система взрывоподавления АСВП-ЛВ [9]. Она срабатывает при воздействии избыточного давления 20 кПа. Выброс пыли осуществляется из специальной емкости с большим давлением с инерционностью срабатывания 15–25 мс.

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ

Для анализа влияния массовых и линейных характеристик заслонов на затухание ударных волн были использованы газодинамическая модель распространения ударных волн по сети горных выработок [10, 11] и модель движения газокapельной среды [12]. При построении математической модели [12] было принято, что капли воды находятся в тепловом равновесии с газом и движутся в нём без отставания (односкоростная модель). Используемая в расчетах математическая модель подробно изложена в монографии [12].

Она сформулирована на базе следующих основных предположений: при подходе ударной волны к водяному заслону вода, находящаяся в специальных емкостях, при достижении перепада давления 1,5 кПа переводится в газокapельное состояние и равномерно располагается по всему сечению выработки; при подходе ударной волны к АСВП-ЛВ при достижении перепада давления 20 кПа происходит его срабатывание, ингибирующий порошок выбрасывается из устройства и равномерно располагается по сечению выработки; после образования газокapельного облака оно обменивается импульсом с потоком газа, который привел к выбросу воды в поток; капли воды движутся в газе без отставания от газа (односкоростная модель); капли воды находятся в тепловом равновесии с газом (однотемпературная модель); собственный объем капель воды учитывается в уравнении состояния; испарение воды не учитываем; осаждение

капель воды на стенки выработки учитывается через коэффициент массообмена газокапельного потока со стенками выработок.

Математическая модель [12] построена на основе модели [13] и внесена в программу расчета взрывобезопасных расстояний [14, 15].

### ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОЗДУШНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ С ВОДЯНЫМ ЗАСЛОНОМ В ВЫРАБОТКЕ

Были проведены расчеты взаимодействия ударной волны аварийного взрыва метана в тупике подготовительной выработки с водяными заслонами, расположенными в выработке. Полагалось, что взрыв метановоздушной смеси (МВС) произошел в тупике прямолинейной выработки и образовал зону протяженностью  $\Delta l = 30$  м с температурой  $T_b = 980$  К и давлением  $P_b = 0,304$  МПа. Длина прямолинейной выработки 4000 м. Значения теплоемкости и плотности воды  $\rho_k = 1000$  кг/м<sup>3</sup>,  $c_3 = 4190$  Дж/(кг·К). В выработке установлено три водяных заслона на расстоянии от тупика 600 м, 1000 м, 1600 м. Расчеты проводились для заслонов длиной 30, 40, 50 и 60 м с содержанием воды в емкостях заслона, которое обеспечивает после диспергирования в ударной волне массовую концентрацию воды  $\rho_{3N} = 15$  кг/м<sup>3</sup>. Результаты расчетов приведены на рис. 1, 2.

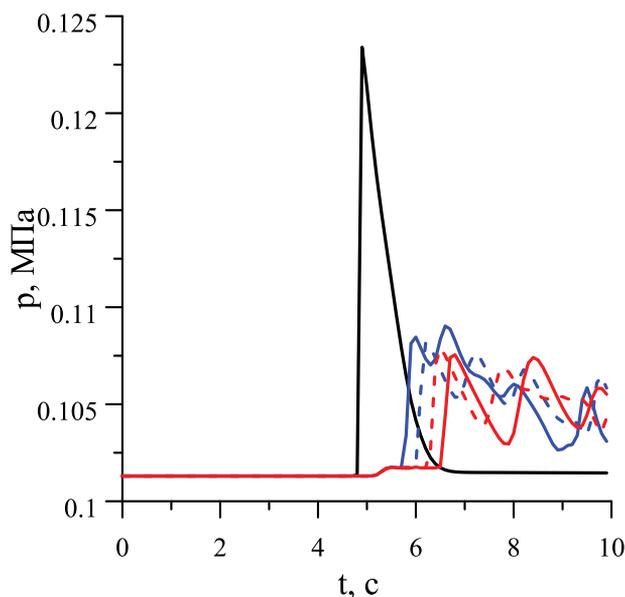


Рис. 2. Зависимость давления от времени на расстоянии 1990 м от тупика. Черные линии — водяных заслонов нет, синие линии — водяные заслоны длиной по 30 м, синие пунктирные линии — водяные заслоны длиной по 40 м, красные пунктирные линии — длиной по 50 м, красные линии — длиной по 60 м

Из представленных на рис. 1, 2 результатов видно, что при установке водяных заслонов возникает сложная волновая картина распространения ударных волн в выработке. Ударная волна при взаимодействии с каждым водяным заслоном частично отражается,

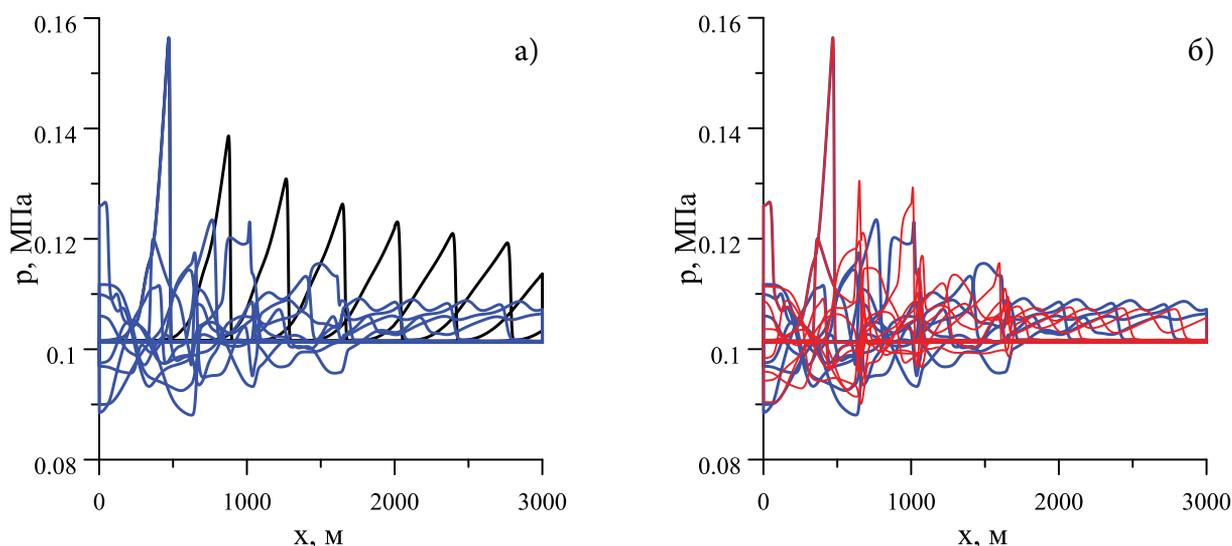


Рис. 1. Распределения давления в последовательные моменты времени с интервалом 1 с. Черные линии — водяных заслонов нет, синие линии — водяные заслоны длиной по 30 м (а), красные линии — длиной по 60 м (б)

частично проходит через заслон (рис. 1). Эти процессы уменьшают интенсивность фронта ударной волны. На удалении 1990 м от тупика, где произошел взрыв, максимальное значение избыточного давления в случае отсутствия заслонов составляет 22,1 кПа, при установке трех водяных заслонов по 30 м избыточное давление составляет 7,58 кПа, по 40 м — 6,86 кПа, по 50 м — 6,58 кПа, по 60 м — 6,25 кПа. Из расчетов получено, что при увеличении длины заслонов от 30 до 40 метров избыточное давление на удалении 1990 м от тупика уменьшилось на 0,72 кПа (9,4 %), при дальнейшем увеличении длины заслонов (с 40 м до 50 м) избыточное давление уменьшается на величину 0,28 кПа (4,1 %).

### РАСЧЕТЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УДАРНЫХ ВОЛН В ШАХТЕ «ЛИСТВЯЖНАЯ» ОТ АВАРИЙНОГО ВЗРЫВА МЕТАНА В ЗАДАННЫХ ОПАСНЫХ МЕСТАХ СКОПЛЕНИЯ МЕТАНА

На рис. 3 приведена схема пл. Сычевский шахты «Листвяжная». На рисунке указаны данные о прямолинейных участках выработок: площади поперечных сечений, периметры проходных сечений, длины прямолинейных участков от узла сопряжения до следующего узла. Красными цифрами обозначены цифровые номера выработок, заложенные в компьютерный аналог топологии участка шахты.

Были рассчитаны варианты взрыва в Конвейерном штреке 825 с зонами загазования длиной 22,4 м, 44,9 м, 67,3 м.

Расчеты проведены в вариантах расположения водяных заслонов и АСВП-ЛВ: а) — водяных заслонов и АСВП-ЛВ нет, б) — установлены водяные заслоны длиной по 30 м (40 м, 50 м, 60 м) и объемом воды, эквивалентным 15 кг/м<sup>3</sup> и АСВП-ЛВ, расстановка согласно проекту.

В результате расчетов выдаются: 1) значения параметров состояния газочапельной смеси (давление, температура, плотность, скорость движения, распределенная плотность воды) вдоль всех прямолинейных выработок участка шахты (вдоль заданных маршрутов

по длине выработок); 2) изменение параметров состояния газочапельной смеси в фиксированных точках сети выработок участка шахты; 3) максимальные значения давления в смеси в фиксированных точках сети выработок участка шахты. В качестве фиксированных точек выбраны точки в 2 м от узлов сопряжения прямолинейных выработок шахты, согласно номерам выработок на рис. 3.

На рис. 4, 5 приведены результаты расчетов изменения параметров рудничной атмосферы при взрыве в Конвейерном штреке 825 с зоной загазования длиной 22,4 м, и давлении в области взрыва 0,307 МПа. Рассчитаны варианты, когда водяных заслонов нет, и когда установлены водяные заслоны длиной по 30 м, 40, 50 и 60 м. На рис. 4а, б представлены изменения давления во времени в начале указанных ветвей. Видно, что в ветви 22 давление при установке водяного заслона имеет меньшую максимальную величину (рис. 4б).

На рис. 5 представлены максимальные значения давления в ветвях сети выработок. Видно, что при установке водяных заслонов максимумы давления в ветвях ниже, чем в случае, когда водяных заслонов нет.

Из сравнения рис. 5а и б видно, что с увеличением длины водяных заслонов с 30 м до 60 м величина максимального давления в ветвях сети выработок уменьшается.

Были проведены расчеты варианта взрыва в Конвейерном штреке 825 с зоной загазования длиной 67,3 м, и давлении в области взрыва 0,458 МПа. Установлено в соответствии с проектом 19 водяных заслонов по 30 м каждый и 34 АСВП-ЛВ согласно проекту. На рис. 6а, б представлены результаты расчетов.

Из рис. 6а и б видно, что без водяных заслонов в участке шахты практически во всех выработках в разные моменты времени возникает избыточное давление выше предельно допустимого (красные кружочки). При установке водяных заслонов избыточное давление уменьшается. При использовании водяных заслонов длиной по 30 м максимальное избыточное давление в большинстве ветвей, находящихся на периферии от места взрыва, не выше 8 кПа. При установке водяных

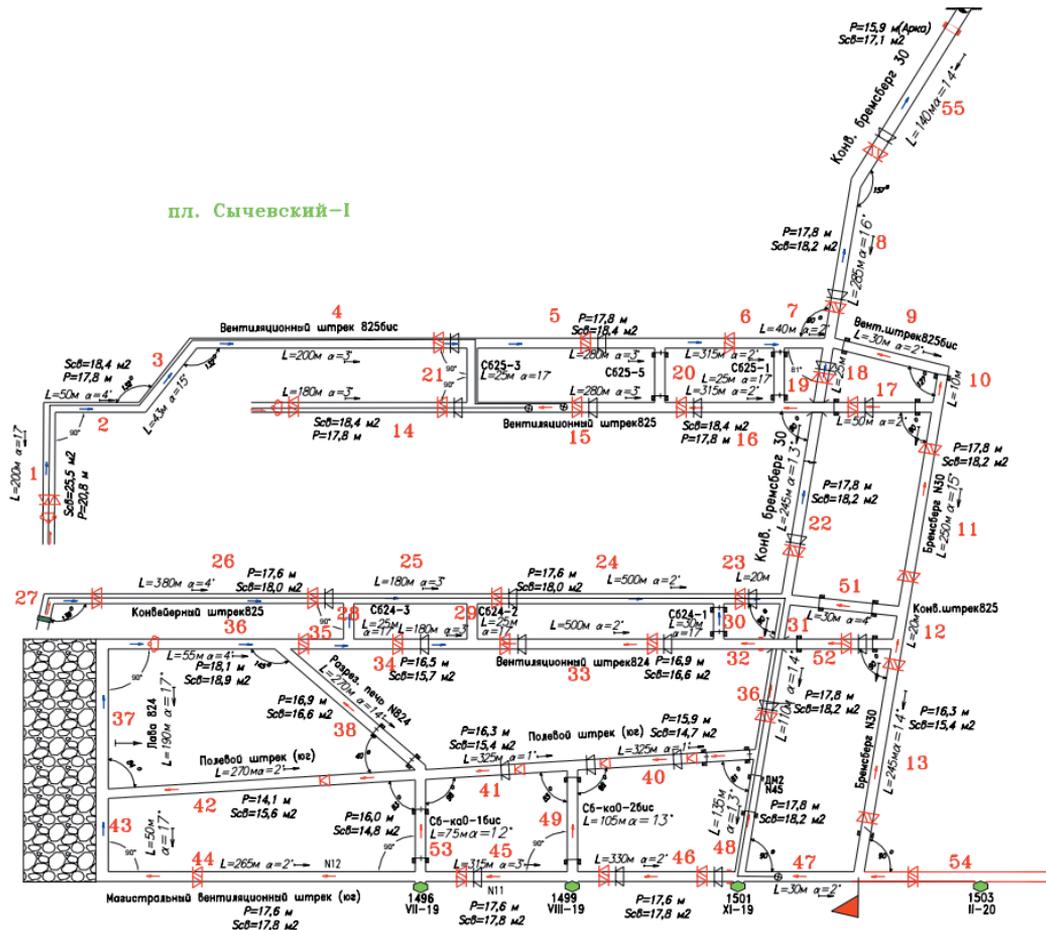


Рис. 3. Схема пл. Сычевский шахты Листвяжная

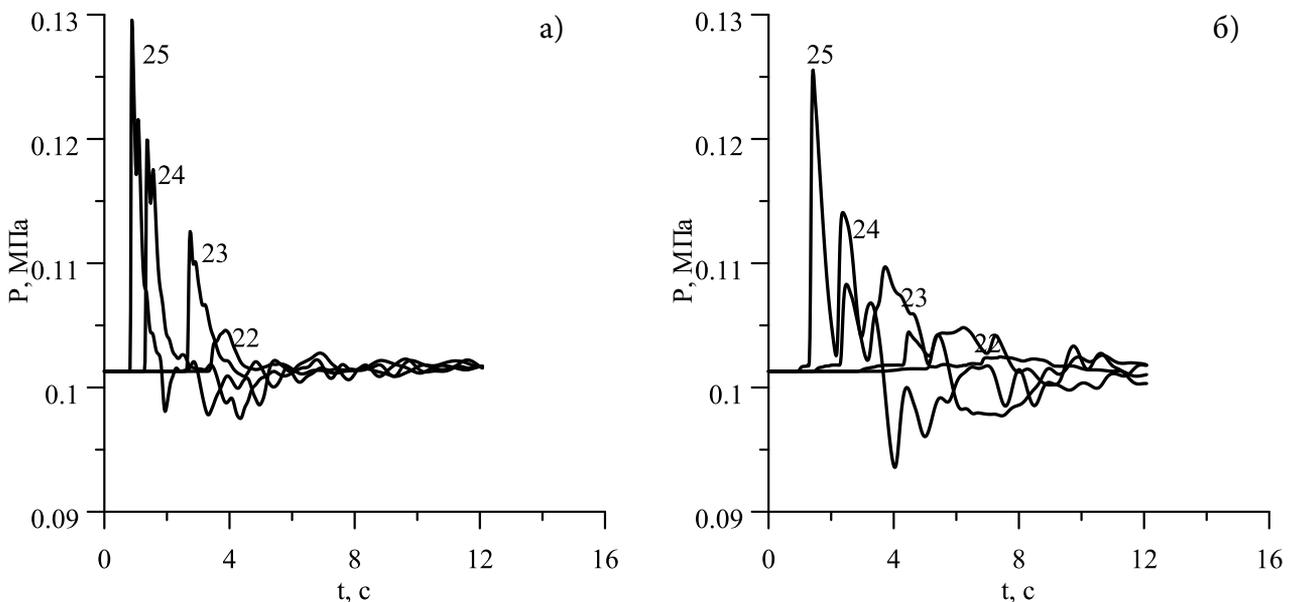


Рис. 4. Изменение давления во времени в начале ветвей 22–25. а — водяных заслонов нет, б — установлены водяные заслоны по 30 м

заслонов в тех же местах, но длиной по 60 м, максимальное избыточное давление в большинстве ветвей, находящихся на периферии

от места взрыва, избыточное давление не выше 7 кПа, и есть ветви, в которых избыточное давление не выше 6 кПа.

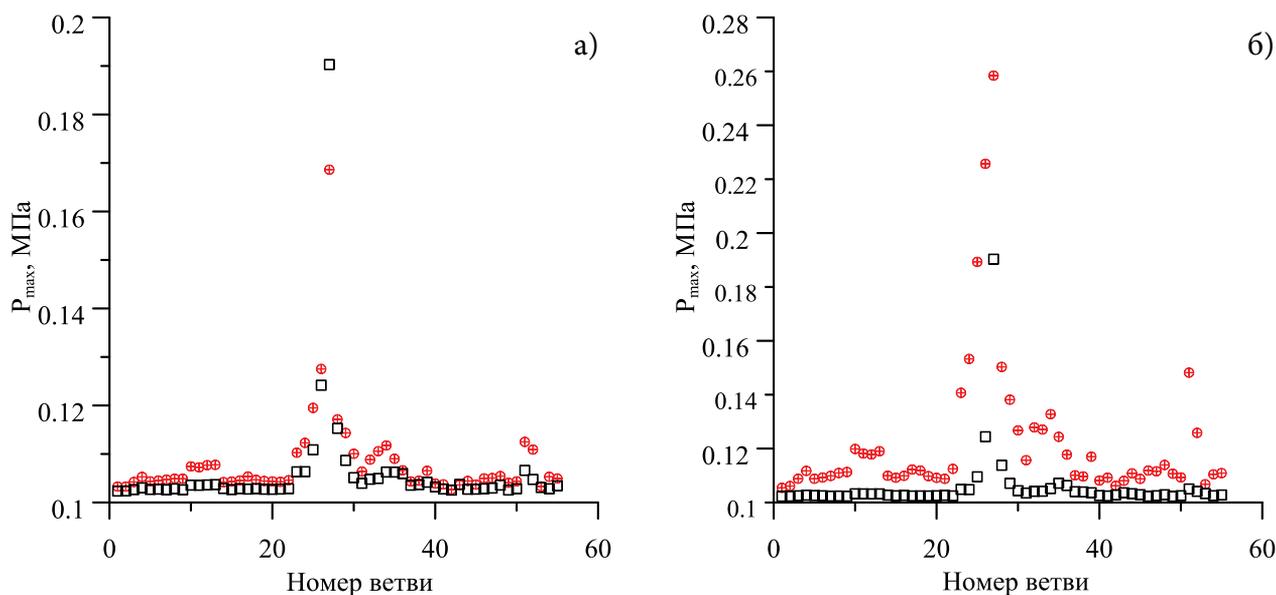


Рис. 5. Максимальные значения давления в ветвях. Красный кружок — водяных заслонов нет, квадратик — установлены водяные заслоны а) — по 30 м, б) — по 60 м

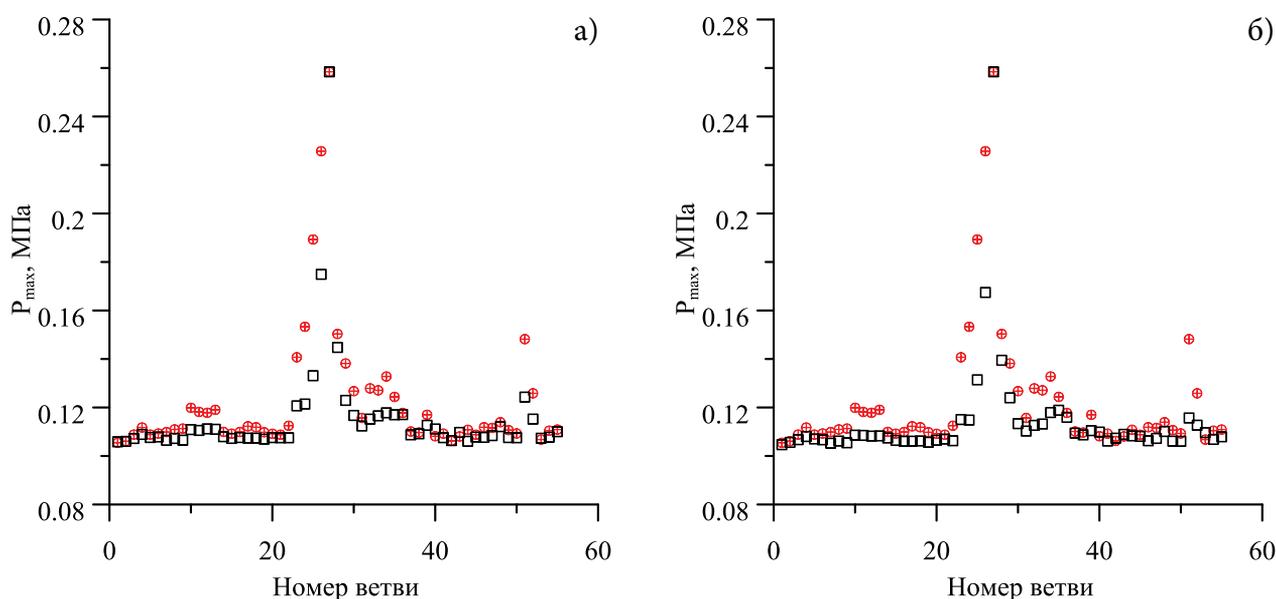


Рис. 6. Максимальные значения давления в ветвях. Красный кружок — водяных заслонов нет, квадратик — установлены водяные заслоны а) — по 30 м, б) — по 60 м

Анализ влияния протяженности водяных заслонов на размеры опасной для человека зоны при взрыве в конвейерном штреке 825 выполним на примере среднего по мощности взрыва. В качестве исходных данных примем ранее указанные параметры: дебит метана —  $0,5 \text{ м}^3/\text{мин}$ , время загазования — 150 мин, длина зоны загазования — 44,9 м, абсолютное начальное давление в зоне взрыва —  $0,379 \text{ МПа}$ . Места установки АСВП-ЛВ и водяных заслонов примем в соответствии с проектным

решением. В ходе исследований варьировалась протяженность водяных заслонов (длина по 30, 40, 50 и 60 м) и оценивалось изменение размеров зоны поражения по фактору опасного избыточного давления. Содержание воды в емкостях заслона обеспечивает после их срабатывания массовую концентрацию воды  $\rho_{3N} = 15 \text{ кг/м}^3$ . На рис. 7а-в представлены результаты расчетов в виде графических схем с нанесенными на них зонами высокого давления, опасными для человека.

Взрыв Конвейерный штрек 825  
(зона загазования 44,9) без заслонов



а)

Взрыв Конвейерный штрек 825  
(зона загазования 44,9) заслоны 30м



б)

Взрыв Конвейерный штрек 825  
(зона загазования 44,9) заслоны 40м



в)

Рис. 7. Расчетные зоны высокого давления при взрыве в Конвейерном штреке 825 загазованной области длиной 44,9 м. а) — водяных заслонов нет, б) — водяные заслоны по 30 м, в) — по 40 м

На рис. 7а видно, что при отсутствии заслонов взрыв в тупике Конвейерного штрека 825 приводит к поражению практически всего бремсбергового поля № 30. Ударная волна выходит на поверхность по Конвейерному бремсбергу № 30, а по Магистральному вентиляционному штреку практически доходит до изоляционной взрывоустойчивой перемычки 1514. Нетронутым остается лишь участок полевого штрека (юг) между Лавой 824 и разрезной печью 824 протяженностью 270 м и небольшие участки в сбойках 0–1бис, 0–2бис в самой разрезной печи 823. Учитывая, что расчеты, связанные с распространением ударных волн при взрывах, носят оценочный характер, и в развитии аварийной ситуации всегда имеется некоторая неопределенность, указанные безопасные зоны можно считать незначительными.

Применение заслонов, протяженностью согласно исходному проектному решению по 30 м, приводит к тому, что в безопасной зоне уже оказывается Полевой штрек (юг), сбойки 0–1бис и 0–2бис и большая часть Магистрального вентиляционного штрека (юг) (рис. 7б). Однако в опасной зоне всё еще остается Конвейерный Бремсберг № 30 и Бремсберг № 30, конвейерный штрек 824 и Лава 824. Поражение Лавы 824 обуславливается перераспределением энергии за счет срабатывания водяных заслонов в Вентиляционном штреке 824 на участке от сбойки 24–3 до Конвейерного бремсберга № 30.

Увеличение протяженности водяных заслонов до 40 м (рис. 7в), а затем до 50 м приводит к дальнейшему сокращению зоны высокого давления при потенциальном взрыве

в Конвейерном штреке 825. Степень уменьшения опасной зоны по метражу здесь не столь значительная, как при сравнении ситуаций «заслонов нет» — «заслоны по 30 м», но важным аспектом является, что в безопасной зоне остается основная воздухоподающая выработка Магистральный конвейерный штрек (юг) и его сопряжение с Бремсбергом № 30 и Конвейерным бремсбергом № 30. Сохраняется вентиляционная перемычка, которая находится между этими сопряжениями. Гарантия неразрушения вентиляционной перемычки обеспечивает устойчивое проветривание лавы 824, упрощение ведения горноспасательных работ за счет дополнительных маршрутов движения горноспасателей и подачи свежего воздуха как можно ближе к аварийному участку.

Дальнейшее увеличение загрузки водяных заслонов путем увеличения их длины до 60 м не приводит сколь-нибудь значительным изменениям в размерах опасной для человека зоны или сохранению точек, важных с точки зрения ведения горноспасательных работ. Исходя из представленных выше результатов расчетов, рекомендуемыми проектными решениями в части взрывозащиты являются протяженности водяных заслонов 40–50 м.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нигматулин Р. И. Динамика многофазных сред. М.: Наука, 1987. 464 с.
2. Фёдоров А. В., Фомин П. А., Фомин В. М. Физико-математическое моделирование подавления детонации облаками мелких частиц. Новосибирск, 2011. 156 с.
3. Васильев А. А., Пинаев А. В., Троцюк А. В., Фомин П. А., Трубицын А. А., Трубицына Д. А. Полное подавление волн горения и детонации пылевой завесой // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2015. № 4. С. 12–21.
4. Тропин Д. А., Фёдоров А. В. Ослабление и подавление детонационных волн в реагирующих газовых смесях облаками инертных микро- и наночастиц // Физика горения и взрыва. 2018. Т. 54. № 2. С. 82–88.
5. Васильев А. А., Пинаев А. В., Трубицын А. А., Грачёв А. Ю., Троцюк А. В., Фомин П. А., Трилис А. В. Что горит в шахте: метан или угольная пыль? // Физика горения и взрыва. 2017. Т. 53. № 1. С. 11–18.
6. Васильев А. А. Оценка условий гашения волн горения и детонации // Физика горения и взрыва. 2020. Т. 56. № 5. С. 39–44.
7. Васильев А. А., Пинаев А. В., Фомин П. А., Троцюк А. В., Васильев В. А., Трубицын А. А., Трубицына Д. А. Оценки условий возбуждения и гашения взрывных волн при шахтных взрывах // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2016. № 2. С. 91–105.
8. Инструкция по аэрологической безопасности угольных шахт: приказ Ростехнадзора от 08.12.2020 г. № 506 (зарегистрировано в Минюсте России 29.12.2020 N 61918).

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Численные расчеты показали, что небольшое значение избыточного давления, при котором водяные заслоны начинают срабатывать (1,5 кПа), обеспечивает их работу в диапазоне избыточных величин давления, которые опасными для человека не являются (до 6 кПа).

Применение водяных заслонов длиной по 30 м в большинстве случаев приводит к уменьшению размеров зон поражения. При использовании заслонов по 40 м сокращает размеры опасных областей в сравнении с применением заслонов по 30 м. Применение заслонов длиной по 50 м по сравнению с 40 м является уже менее эффективным, и может быть рекомендован в случае угрозы возникновения мощных взрывов, например таких, как взрывы в лаве 824. Увеличение протяженности заслонов до 60 м по сравнению с 50 м практически никакого эффекта не дает, такая протяженность является избыточной.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 21-71-10034.*

9. Руководство по эксплуатации и применению автоматических систем взрывоподавления-локализации взрывов (АСВП-ЛВ) в подземных горных выработках угольных шахт, опасных по газу и пыли [Электронный ресурс]. М.: 2006. 74 с. URL: <https://www.aslv.ru/doc/ruk2006.pdf>.
10. Васенин И. М., Крайнов А. Ю., Лукашов О. Ю., Палеев Д. Ю., Шрагер Э. Р. Газодинамический метод расчета взрывобезопасных расстояний при взрывах метановоздушной смеси в шахтах с учетом взрывозащитных сооружений // Материалы международной конференции «Фундаментальные и прикладные вопросы механики». 2003. С. 137–146.
11. Paleev D. Yu., Vasenin I. M., Krainov A. Yu., Shragher E. R. Gasdynamic method of explosion-proof distance calculation // 29-th International Conference of Safety in Mines Research Institutes. Conferences Proceedings. Szczyrk, Poland, 2001. Vol. 1. P. 297–306.
12. Васенин И. М., Шрагер Э. Р., Крайнов А. Ю., Лукашов О. Ю. и др. Математическое моделирование горения и взрыва высокоэнергетических систем. Томск, 2006. 322 с.
13. Палеев Д. Ю., Васенин И. М., Костеренко В. Н., Шрагер Э. Р., Крайнов А. Ю., Лукашов О. Ю., Руденко Ю. Ф. Ударные волны при взрывах в угольных шахтах. М., 2011. 312 с.
14. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2015616516. «Ударная волна» / О. Ю. Лукашов, Д. Ю. Палеев, А. Ю. Крайнов Правообладатель ООО «ШАХТЭКСПЕРТ-Системы» (RU). Заявка № 2015613051, от 17.04.2015; опубли. 11.06.2015.
15. Палеев Д. Ю., Лукашов О. Ю., Костеренко В. Н., Тимченко А. Н., Васенин И. М., Шрагер Э. Р., Крайнов А. Ю. Компьютерные технологии для решения задач плана ликвидации аварий. М., 2011. 160 с.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2024.29.98.004

UDC 533

© O. Y. Lukashov, A. Y. Krainov, A. A. Oberemok, 2024

#### O. Y. LUKASHOV

Candidate of Physical and Mathematical Sciences,  
Director  
Shakhtexpert-Systems LLC, Kemerovo  
e-mail: mail@minesoft.ru

#### A. Y. KRAINOV

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor,  
Head of the Department  
National Research Tomsk State University, Tomsk  
e-mail: akrainov@ftf.tsu.ru

#### A. A. OBEREMOK

Graduate Student  
National Research Tomsk State University, Tomsk  
e-mail: oberemokaa@minesoft.ru

### CALCULATION OF DIMENSIONS OF AFFECTED AREAS IN CASE OF METHANE EMERGENCY EXPLOSION IN MINE WITH ACCOUNT OF WATER BARRIERS

*The results of calculation of impact zones in the event of an emergency methane explosion in potentially hazardous methane accumulation zones within the mining section of Lava No. 824 of the Sychevsky I formation of the Listvyazhnaya mine are presented. Calculations were carried out taking into account the interaction of shock waves with water barriers. The calculations were carried out according to the «Procedure for gas-dynamic calculation of air shock wave parameters in case of gas and dust explosions»,*

*modified in case of presence of water barriers in mining passages. Calculations have shown that water barriers change the topology of damage zones in the mine compared to options when calculations are carried out without taking into account barriers. The results of the study of the effect of increasing the length of water barriers from the standard dimensions on the size of the affected areas in an emergency explosion are presented.*

Keywords: METHANE EXPLOSION IN MINE, SHOCK WAVES, WATER BARRIERS, AFFECTED AREAS, NUMERICAL MODELING.

## REFERENCES

1. Nigmatulin R. I. Dynamics of multiphase media. M.: Nauka, 1987. 464 p. [In Russ.].
2. Fedorov A. V., Fomin P. A., Fomin V. M. Physical and mathematical modeling of detonation suppression by clouds of small particles. Novosibirsk, 2011. 156 p. [In Russ.].
3. Vasiliev A. A., Pinaev A. V., Trotsyuk A. V., Fomin P. A., Trubitsyn A. A., Trubitsyna D. A. Complete suppression of gorenje waves and detonation by a dust curtain // Bulletin of the Scientific Center for the Safety of work in the coal industry [Vestnik Nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoy promyshlennosti]. 2015. No. 4. P. 12–21. [In Russ.].
4. Tropin D. A., Fedorov A. V. Attenuation and suppression of detonation waves in reacting gas mixtures by clouds of inert micro- and nanoparticles // Physics of Combustion and Explosion [Fizika goreniya i vzryva]. 2018. Vol. 54. No. 2. P. 82–88. [In Russ.].
5. Vasiliev A. A., Pinaev A. V., Trubitsyn A. A., Grachev A. Yu., Trotsyuk A. V., Fomin P. A., Trilis A. V. What burns in the mine: methane or coal dust? // Physics of Combustion and Explosion [Fizika goreniya i vzryva]. 2017. Vol. 53. No. 1. P. 11–18. [In Russ.].
6. Vasiliev A. A. Assessment of gorenje and detonation wave quenching conditions // Physics of Combustion and Explosion [Fizika goreniya i vzryva]. 2020. Vol. 56. No. 5. P. 39–44. [In Russ.].
7. Vasiliev A. A., Pinaev A. V., Fomin P. A., Trotsyuk A. V., Vasiliev V. A., Trubitsyn A. A., Trubitsyna D. A. Estimates of the conditions of excitation and damping of explosive waves in mine explosions // Bulletin of the Scientific Center for the Safety of work in the coal industry [Vestnik Nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoy promyshlennosti]. 2016. No. 2. P. 91–105. [In Russ.].
8. Instructions on aerological safety of coal mines: Rostekhnadzor Order No. 506 dated 08.12.2020 (registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation on 29.12.2020 No. 61918). [In Russ.].
9. Manual for the operation and application of automatic explosion suppression and localization systems (ASVP-LV) in underground mine workings of coal mines dangerous for gas and dust [Electronic resource]. M.: 2006. 74 p. URL: <https://www.aslv.ru/doc/ruk2006.pdf>. [In Russ.].
10. Vasenin I. M., Krainov A. Yu., Lukashov O. Yu., Paleev D. Yu., Shrager E. R. A gas-dynamic method for calculating explosion-proof distances during explosions of a methane-air mixture in mines taking into account explosion-proof structures // Proceedings of the international conference «Fundamental and Applied Questions of Mechanics». 2003. P. 137–146. [In Russ.].
11. Paleev D. Yu., Vasenin I. M., Krainov A. Yu., Shrager E. R. Gasdynamic method of explosion-proof distance calculation // 29-th International Conference of Safety in Mines Research Institutes. Conferences Proceedings. Szczyrk, Poland, 2001. Vol. 1. P. 297–306.
12. Vasenin I. M., Shrager E. R., Krainov A. Yu., Lukashov O. Yu., etc. Mathematical modeling of combustion and explosion of high-energy systems. Tomsk, 2006. 322 p. [In Russ.].
13. Paleev D. Yu., Vasenin I. M., Kosterenko V. N., Shrager E. R., Krainov A. Yu., Lukashov O. Yu., Rudenko Yu. F. Shock waves during explosions in coal mines. M., 2011. 312 p. [In Russ.].
14. Certificate of registration of the computer program No. 2015616516. «Shock wave» / O. Y. Lukashov, D. Y. Paleev, A. Y. Krainov, Copyright holder of «SHAKHTEXPERT-Systems» LLC (RU). Application No. 2015613051, dated 04/17/2015; published 06/11/2015. [In Russ.].
15. Paleev D. Yu., Lukashov O. Yu., Kosterenko V. N., Timchenko A. N., Vasenin I. M., Shrager E. R., Krainov A. Yu. Computer technologies for solving problems of the accident response plan. M., 2011. 160 p. [In Russ.].