

К ВОПРОСУ О МЕТОДОЛОГИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ КОНСТРУКЦИИ БЫСТРОВОЗВОДИМЫХ ВЗРЫВОУСТОЙЧИВЫХ ПЕРЕМЫЧЕК

А. Н. Домрачев, М. Г. Коряга✉

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»,

г. Новокузнецк, Российская Федерация

✉ r7080@yandex.ru

Аннотация: Приведены результаты взаимодействия ударной воздушной волны и быстро возводимых парашютных перемычек с использованием аппарата численного моделирования на основе метода конечных элементов. Установлено, что существующие системы удержания парашютных перемычек не всегда обеспечивают необходимое сопротивление для гашения ударной волны при определенных сечениях горных выработок, а также определено расположение элементов перемычек с максимальным значением критерия Ранкина. Результаты исследований использованы при разработке конструкции системы дополнительного крепления полотна перемычки к элементам анкерной крепи.

Ключевые слова: подземные горные выработки, взрыв метановоздушной смеси, ударная воздушная волна, гашения ударной волны, парашютные перемычки, моделирование, критерий Ранкина

Для цитирования: Домрачев АН, Коряга МГ. К вопросу о методологии моделирования и оценки конструкции быстро возводимых взрывоустойчивых перемычек. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(3):29-35. <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-3-29-35>.

TO THE QUESTION ON METHODOLOGY OF MODELING AND EVALUATION OF THE DESIGN OF RAPIDLY ERECTABLE EXPLOSION-PROOF STOPPINGS

A. N. Domrachev, M. G. Koryaga✉

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russian Federation

✉ r7080@yandex.ru

Abstract: This article presents the study results of interaction of shock air wave and rapidly erectable stoppings using numerical modeling techniques based on the finite element method. It was established that existing holding systems of parachute stopping do not always provide the necessary resistance to dampen the shock wave at certain cross-sections of mine workings. The arrangement of the stopping elements with the maximum value of Rankine criterion was determined. The results of the studies were used to develop the design of a system for additional fastening of the stopping material to the elements of the anchor support.

Keywords: modeling, Rankine criterion, parachute stoppings, shock air wave

For citation: Domrachev AN, Koryaga MG. To the question on methodology of modeling and evaluation of the design of rapidly erectable explosion-proof stoppings. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(3):29-35. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-3-29-35>.

Введение

Потребность в гашении ударной воздушной волны, возникающей при взрыве метановоздушной смеси (МВС) в подземных горных выработках, является актуальной проблемой. Разработка быстро возводимых перемычек для угольных шахт ведется с 70-х годов прошлого столетия. Раз-

работка началась практически одновременно как в США, так и в СССР.

История вопроса

В 1975 году F. N. Kissell, E. D. Thimons, R. P. Vinson запатентовали устройство в основе которого лежало использование парашюта, стропы которого крепились к кровле на

болтовом соединении в одной точке [1]. Купол парашюта перекрывал сечение выработки за счет набегающей на него струи воздуха (рис. 1).

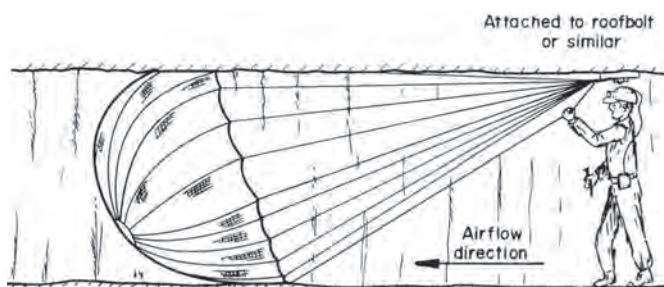


Рис. 1. Фигура 2 из патента 1975 года [1] /
Fig. 1. Figure 2 from the patent of 1975 [1]

Испытания проводились в условиях действующей шахты. Крепление строп осуществлялось за верхняк рамы крепи горной выработки (рис. 2).



Рис. 2. Фигура 3 из патента 1975 года [1] /
Fig. 2. Figure 3 from the patent of 1975 [1]

В 1976 году Edward D. Thimons, Fred N. Kissell и Питтсбургский центр исследований в области добычи полезных ископаемых и безопасности, Пенсильвания [2], предложили применить данную конструкцию для регулирования воздушных потоков в условиях шахты.

Быстроразъемные перемычки разрабатывались и испытывались для условий урановых рудников Нью-Мексико. Имея диаметр в 12 футов, они могли перекрыть почти любую горную выработку. При этом для герметизации было особо важно, чтобы периметр парашюта был больше, чем периметр изолируемой выработки (рис. 3). Испытания для быстрого изменения режима вентиляции в двух урановых рудниках в Нью-Мексико показали эффективность регулирования и быстроту установки такой перемычки, что выгодно отличало ее от деревянной или матерчатой завесы.

Такая конструкция делает перемычку менее чувствительной к воздействию воздушной ударной волны от взрыва и в случае ее сохранности позволяет быстро переустановить на другое место.

Отечественные разработки, отмеченные патентами, появляются в СССР начиная с 1979 года. Один из первых вариантов [3] конструкции снабжался центральной стропой, одним концом закрепляясь к вершине купола с внутренней его стороны, а вторым, присоединенным к общему пучку строп, закрепляемых посредством коушной шайбы, – к одному из элементов оснащения горной выработки (рис. 4).

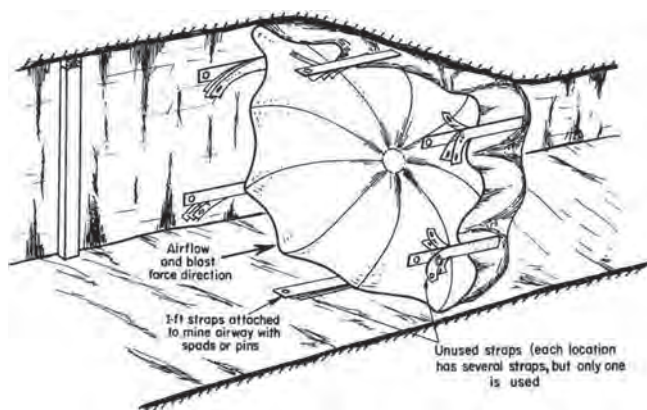


Рис. 3. Фигура 1 из патента 1976 года [2] /
Fig. 3. Figure 1 from the patent of 1976 [2]

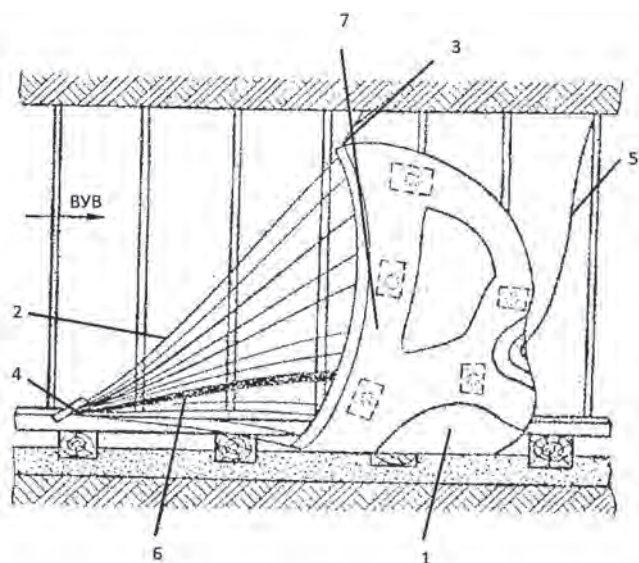


Рис. 4. Фигура 1 из патента СССР 1979 года [3]:
1 – парашютообразный купол, 2 – стропы,
3 – резиновые растяжки, 4 – коушная шайба, 5 – резиновая растяжка,
6 – центральная стропы,
7 – объемный пневмокаркас /
Fig. 4. Figure 1 from the patent of 1979 issued in USSR [3]:
1 – parachute-shaped cone, 2 – stropes,
3 – rubber stretchers, 4 – thimble washer, 5 – rubber stretcher,
6 – central strop, 7 – volumetric pneumatic frame

Элементы жесткости размещались на наружной поверхности купола, выполненного в виде объемного пневмокаркаса из воздухонепроницаемого материала. Перемычка снабжалась клапанами, установленными с внутренней стороны купола и сообщенными с внутренней полостью объемного пневмокаркаса. При этом длина центральной стропы принималась равной не менее диаметра купола, а прочность ее – равной не менее половины суммарной прочности основных строп.

Следующий вариант модификации парашютной перемычки для гашения воздушной ударной волны предложен в 1981 году [4]. Устройство крепления парашюта (рис. 5) было снабжено опорой, выполненной из вертикальных гидравлических стоек 1, горизонтальных и наклонных соединительных элементов 2. При этом коуш-строп 3 перемычки закреплялся посредством энергопоглотителя 4 на опоре симметрично относительно высоты и ширины поперечного сечения выработки. Энергопоглотитель был выполнен в виде

толстостенной полый металлической трубы с установленной на одном ее конце крышкой с отверстием и расположенных внутри нее металлического стержня с шайбой на одном ее конце и круглых деревянных бобышек; при этом шайба была выполнена в виде усеченного конуса, закрепленного на стержне посредством гайки, и направлена вершиной конуса в сторону бобышек.

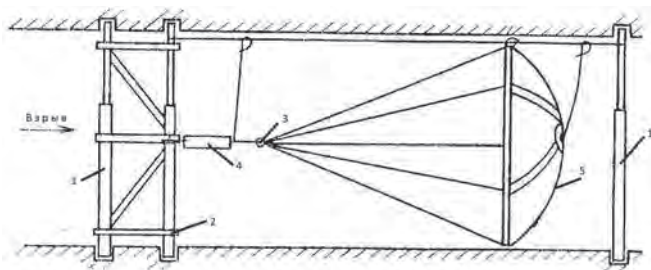


Рис. 5. Фигура 1 из патента СССР 1981 года [4] /
Fig. 5. Figure 1 from the patent of 1981 issued in the USSR [4]

Кроме того, устройство снабжалось металлической связью, расположенной в верхней части выработки, к которой были подвешены энергопоглотитель и купол парашютной перемычки 5.

Жесткость энергопоглотителя определяли через площадь поперечного сечения сминающихся внутри металлической трубы энергопоглотителя деревянных бобышек, исходя из их прочности на сжатие. За расчетное усилие, сминающее деревянные бобышки, принимали половину значения разрывного суммарного усилия строп парашютных перемычек.

Было определено, что энергопоглотитель работает эффективно при

$$\sigma_{\text{сж}} \leq \frac{R}{2F}, \quad (1)$$

где $\sigma_{\text{сж}}$ – допускаемое напряжение древесины на сжатие, кгс/см²;

R – суммарное разрывное усилие строп парашютной перемычки, кгс;

F – площадь сминающейся древесины, см².

По (1) подсчитывали необходимую площадь поперечного сечения бобышек энергопоглотителя.

Время работы энергопоглотителя определялось как

$$t_3 = \frac{L}{V} > Q, \quad (2)$$

где L – длина рабочей части энергопоглотителя, см;

V – средняя скорость деформирования деревянных бобышек под действием динамической нагрузки от взрыва, см/с;

t_3 , Q – соответственно время работы энергопоглотителя и эффективное время действия ударной волны от взрыва, с.

Наиболее рациональной работа энергопоглотителя была при условии, когда $t_3 \geq 1,2 Q$.

Симметричное закрепление парашютной перемычки в горной выработке исключает неравномерное наполнение купола и неодинаковые усилия в крепежных стропях. Применение парашютных перемычек предполагалось как элемент системы регулирования вентиляции шахты.

За счет перепада давления по обе стороны перемычки купол раздувается и плотно прилегает к бортам и кровле

выработки, изолируя одну часть выработки от другой по обе стороны перемычки. Движение воздуха по выработке прекращается.

Регулирование количества воздуха, который необходимо пропускать за перемычку, осуществляют следующим образом [5]. Для подачи за перемычку необходимого количества воздуха быстросъемный фиксатор, через который пропущены стропы, перемещали по стропам в направлении купола. Стропы оттягивали края купола от поверхности горной выработки в направлении к ее оси. Благодаря этому между поверхностью горной выработки и краями купола образовывался зазор, через который проходит воздух.

Предложен и вариант [6] регулирования воздушного потока, который поднимает и расправляет тент, прижимая его по периметру выработки и перекрывая все сечение штрека. Часть воздушного потока проходит при этом через отверстие в тенте, ограниченное жестким кольцом 3, что способствует снижению динамического удара в момент открытия парашютного тента. После открытия тента это отверстие перекрывается съемным клапаном, устанавливаемым вручную. В рабочем положении перемычки отверстие парашютного тента герметично перекрыто съемным клапаном.

Возможность перенаправлять воздушный поток была реализована в конструкции [7] с парашютным тентом, снабженным вентиляционным рукавом, один конец которого сопряжен с отверстием тента, а другой выполнен регулируемым по сечению. Кроме того, с целью подачи потребного количества воздуха одновременно в нескольких заданных направлениях тент мог быть снабжен дополнительными вентиляционными рукавами, причем вентиляционные рукава выполнялись из эластичного воздухонепроницаемого материала. Вентиляционный рукав мог быть присоединен к вентиляционному трубопроводу (рис. 6).

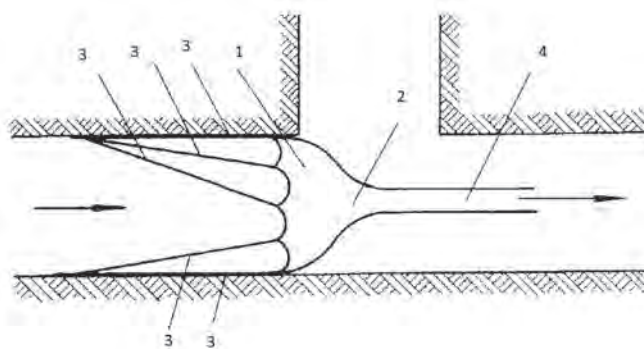


Рис. 6. Вентиляционная перемычка (фигура 1) из патента СССР 1980 года [7]: 1 – тент парашютного типа, 2 – отверстие для сопряжения с вентиляционным рукавом, 3 – присоединены средства крепления (стропы), 4 – вентиляционный рукав /

Fig. 6. Ventilation sopping, figure 1 from the patent of 1980 issued in the USSR [7]: 1 – parachute-type tilt, 2 – opening for connection with the ventilation sleeve, 3 – fastening means (strops) are attached, 4 – ventilation sleeve

Перемычка предполагалась к использованию для временной изоляции горных выработок, в частности, при ведении горноспасательных работ, а также для перераспределения воздушных потоков [8]. Закрепление осуществлялось посередине площади поперечного сечения выработки, жестко по обе стороны от купола (рис. 7).

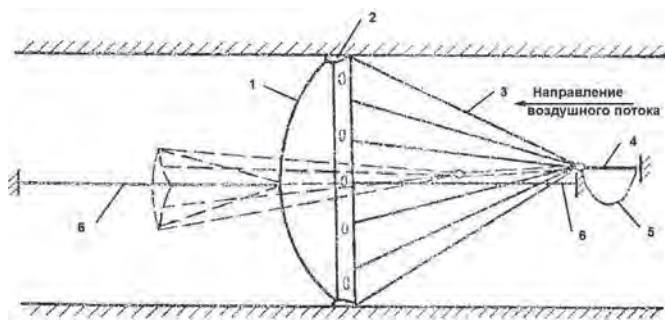


Рис. 7. Шахтная перемычка из патента СССР 1982 года [8]:

1 – парашютообразный купол, 2 – на наружной поверхности купола размещена кольцевая камера-уплотнитель, 3 – крепежные стропы, 4 – упругие резиновые амортизаторы, 5 – страховочный фал – ограничитель хода амортизатора, 6 – центральные стропы /

Fig. 7. Mine stopping from the patent of 1982 issued in the USSR [8]:

1 – parachute-shaped cone, 2 – an annular sealing chamber is located on the outer surface of the cone, 3 – fastening strops, 4 – elastic rubber shock absorbers, 5 – safety lanyard limiting the shock absorber travel, 6 – central strops

С целью тушения пожаров в подземных горных выработках запатентовано устройство [9] для безопасности и сокращения длительности работ путем предотвращения скопления горючих газов и разрушающего воздействия вентиляционной струи на пенный поток (рис. 8).

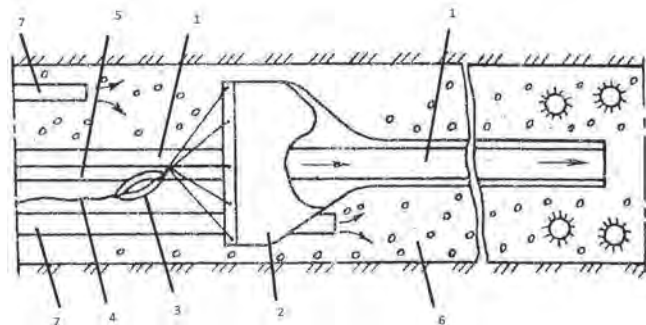


Рис. 8. Устройство для безопасности и сокращения длительности работ по ликвидации пожаров в шахте [9]: 1 – воздуховод, 2 – парашютный купол перемычки, 3 – петли, 4 – закрепленные в горной выработке фалы, 5 – стягивающий шнур, 6 – пенная пробка, 7 – трубопровод /

Fig. 8. Device for safety and reduction of time needed to extinguish fires in mines [9]: 1 – air duct, 2 – parachute cone of the stopping, 3 – loops, 4 – halyards fixed in the mine workings, 5 – tightening cord, 6 – foam plug, 7 – pipeline

Использование изобретения позволяет:

- тушить пожар пеной в газовых шахтах без нарушения проветривания;
- изолировать полностью или частично очаги пожара, снижая тем самым активность горения и интенсивность распространения пожарных газов по горным выработкам;
- эффективно и экономично использовать для тушения пожара пенообразующий раствор за счет тщательной локальной обработки пеной всей горячей поверхности выработок и предохранения пенной пробки от разрушающего воздействия вентиляционной струи;
- эффективно тушить очаги пожара посредством одновременного воздействия на них пеной, огнегасящим порошком и инертными газами;
- осуществлять экстренное перераспределение вентиляционных потоков при авариях в шахтах, связанных с разру-

шением вентиляционных сооружений, иными словами, производить вентиляционные маневры.

Для регулирования расхода воздуха [10] в подземных выработках шахт за счет изменения формы и размеров исполнительного органа и применения ручного привода была предложена регулируемая форма парашютной перемычки.

Использование шахтного регулятора расхода воздуха на предприятиях горнодобывающих отраслей позволит с минимальными материальными и трудовыми затратами обеспечить оперативное управление вентиляционными потоками, повысить эффективность проветривания забоев и безопасность ведения горных работ, улучшить санитарно-гигиенические условия труда горнорабочих.

Для улучшения санитарно-гигиенических условий труда за счет поддержания в выработке заданного расхода воздуха в 1982 году предложена перемычка [11], состоящая из двух куполов разного размера. Вентиляционная перемычка предназначена для улучшения санитарно-гигиенических условий труда за счет поддержания в выработке заданного расхода воздуха.

Предполагалось, что при увеличении скорости движения воздушного потока напор его на дополнительный купол увеличивается, растягивая при этом резиновую растяжку, и перемещает дополнительный купол внутри вентиляционного рукава, тем самым уменьшая проходное сечение для струи воздуха. При дальнейшем увеличении скорости воздушного потока напор его на дополнительный купол будет увеличиваться и перемещать его в сторону свободного конца вентиляционного рукава.

При этом считалось, что уменьшение скорости движения воздушного потока и сжатие резиновой растяжки перемещает дополнительный купол в противоположную сторону, что приводит к увеличению площади сечения в вентиляционном рукаве для прохода воздуха.

Вариант конструкции для перераспределения воздуха в горных выработках и укрытия людей при подземных авариях [12] с возможностью перемещения перемычки по горной выработке отображен на рисунке 9.

Способ локализации энергии взрывной волны [13], включающий возведение в сечении горной выработки заслонов для снижения энергии взрывной волны, установки заслона в основной горной выработке путем расширения и проходки по боковым породам обводной выработки, в которой размещают дополнительные средства локализации энергии взрывной волны и активного гашения фронта пламени, показан на рисунке 9.

В настоящее время на вооружении ВГСЧ состоит комплект противовзрывной быстровозводимый (КПБ). Возведение КПБ (парашютной перемычки) в выработке в процессе ведения горноспасательных работ выполняется отделением ВГСЧ за 3–5 минут. На сегодняшний день это единственное быстровозводимое средство гашения ударной волны, применяемое при скоростях воздушного потока от 0,5 до 12 м/с и перепадах давления от 7 до 2 500 Па [14]. Срыв КПБ с креплений происходит при превышении избыточного давления ударной волны 0,05 МПа.

При избыточном давлении в набегающей ударной волне менее 20 кПа при перекрытии 70 % сечения выработки, рекомендованном в [15], коэффициент затухания (рис. 10) больше 0,95.

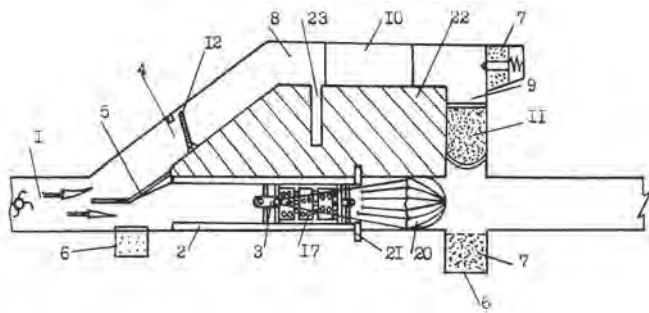


Рис. 9. Устройство для локализации энергии взрывной волны [13]:

- 1 – основная выработка; 2 – раскрепленные направляющие; 3 – заслон под кровлей; 4 – вход к обводной выработке (ловушка); 5 – отбойник потока ударной волны; 6 – ниша; 7 – огнетушащее средство; 8 – параллельная часть обводной выработки; 9 – сбойка; 10 и 11 – заслоны; 12 – перекрывающее устройство; 13 и 14 – передняя и задняя каретки заслонов; 15 – цепи; 17 – щитки со встроенными кассетами с газогенерирующими устройствами; 19 – коуш; 20 – парашютная перемычка; 21 – упоры; 22 – целик из породы; 23 – скважины с дополнительными огнетушащими устройствами /
- Fig. 9. Device for localizing the energy of explosion wave [13]: 1 – main working; 2 – unfastened guides; 3 – barrier under the roof; 4 – entrance to a bypass working (trap); 5 – shock wave flow stop; 6 – niche; 7 – fire extinguishing agent; 8 – parallel section of the bypass working; 9 – break; 10 and 11 – barriers; 12 – shut-off device; 13 and 14 – front and rear carriages of barriers; 15 – chains; 17 – shields with built-in cassettes with gas-generating devices; 19 – thimble; 20 – parachute stopping; 21 – stops; 22 – rock pillar; 23 – boreholes with additional fire extinguishing devices

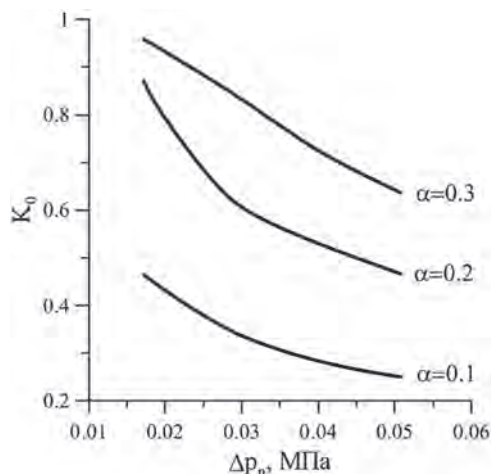


Рис. 10. Коэффициент затухания ударной волны при прохождении через комплект противовзрывной быстровозводимый [16] /

Fig. 10. Attenuation coefficient of a shock wave passing through a rapidly erectable anti-explosion package (REAP) [16]

Изменение избыточного давления в прошедшей УВ в этом случае составляет всего 5 %. Это указывает на то, что для понижения избыточного давления до величины 6 кПа, являющегося предельным по воздействию на человека, использование КПБ с рекомендованным процентом перекрытия проходного сечения в 70 % является неэффективным [16].

При увеличении количества КПБ (рис. 11) с рекомендованным процентом перекрытия проходного сечения в 70 % практически не изменяет интенсивность УВ, прошедшей за места установки КПБ.

Для понижения избыточного давления во фронте УВ более эффективно увеличивать долю перекрытия поперечного сечения выработки, чем устанавливать дополнительные КПБ.

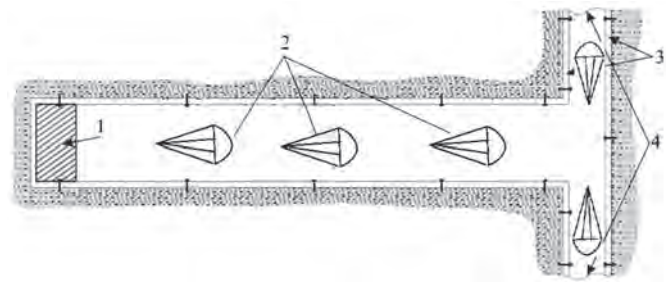


Рис. 11. Схема расположения КПБ в выработке [16]: 1 – зона взрыва метана, 2 – комплект противовзрывной быстровозводимый, 3 – бок выработки, 4 – действующая сквозная выработка /

Fig. 11. REAP layout in the working [16]: 1 – methane explosion zone, 2 – control room, 3 – gallery wall, 4 – active through working

Для моделирования геометрии перемычек парашютного типа (типа КПБ) предлагается использование геометрической модели, приведенной на рисунке 12 (см. цв. вклейку на стр. 49).

Модель основана на трапециевидном сечении выработки [17] и адаптируется как к размерам ее поперечного сечения, так и к особенностям конструкции перемычки [18, 19].

Модель допускает различные варианты закрепления перемычки – как равномерно по периметру (рис. 12), так и только в отдельных точках (рис. 13) (см. цв. вклейку на стр. 49). Любой из этих подходов может быть легко реализован выбором заранее сформированных наборов точек модели при задании граничных условий. В качестве исходного материала был принят полиамид (polyamide 66), параметры которого соответствуют парашютному шелку.

Для исследования и оценки модели были выполнены расчеты.

На основе выполненных расчетов сделан анализ изменения максимального значения критерия Ранкина в зависимости от сечения выработки. Результаты расчета приведены на рисунке 14 (см. цв. вклейку на стр. 50).

В продолжение анализа была выполнена локализация точек с максимальным значением критерия Ранкина для различных сечений в диапазоне изменения избыточного давления 0,005–0,03 МПа.

Результаты локализации приведены на рисунке 15 (см. цв. вклейку на стр. 50).

На основании расположения точек с максимальным значением критерия Ранкина разработаны предложения по конструкции системы дополнительного крепления полотна перемычки за элементы анкерной крепи (рис. 16) (см. цв. вклейку на стр. 50).

Выводы

Подводя итоги, можно констатировать, что выполненная работа характеризуется следующими основными результатами.

1. Разработана методика и масштабируемая геометрическая основа для быстрого формирования моделей парашютных перемычек различной конструкции для различных сечений горных выработок. Дополнительно сформированы типовые граничные условия и выбран (типовой) материал, наиболее близкий к реально используемому при производстве перемычки.

2. Выполнено моделирование для различных (в том числе

перспективных) моделей парашютных перемычек в широком диапазоне избыточных давлений и поперечных сечений горных выработок.

3. Определены зоны усиления конструкции перемычки как при установке, так и при разработке новых перспективных моделей.

4. Определена область применения и намечены направления развития данной конструкции перемычек с учетом дополнительных возможностей, которые могут быть получены при использовании новых конструктивных материалов и изменении способа фиксации перемычки в горной выработке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Kissell FN, Thimons ED, Vinson RP. The parachute stopping – preliminary experiments. Pittsburgh Mining and Safety Research Center, Pittsburgh, Pa. Bureau of Mines Noncoal Ventilation Program Technical Progress Report 90 April 1975. U.S. Department of the interior.
2. Thimons ED, Kissell FN. Quick-fix blowout stoppings for hardrock mines. Pittsburgh Mining and Safety Research Center, Pittsburgh, Pa. Bureau of Mines Noncoal Ventilation Program Technical Progress Report 100 October 1976. U.S. Department of the interior.
3. Плотников ВМ, Чеховских АМ, Абинов АГ, Митрофанов ВП, Рогов МГ. Шахтная перемычка для гашения энергии воздушной ударной волны в горной выработке. Патент SU № 781370. 1980, Бюлл. № 43. [Plotnikov VM, Chekhovskikh AM, Abinov AG, Mitrofanov VP, Rogov MG. Mine stopping for damping energy of an air shock wave in the mine working. Patent SU No. 781370. 1980 Bulletin No. 43. (In Russ.)]
4. Плотников ВМ. Устройство для гашения энергии ударной волны взрыва в горной выработке. Патент SU 976104 A1. 1982, Бюлл. № 43. [Plotnikov VM. Device for damping the shock wave energy of explosion in a mine working. Patent SU 976104 A1. 1982, Bulletin No. 43. (In Russ.)]
5. Стаханов АН, Шепелев СФ, Вазилло ЕН, Селиванов ГИ, Мун ВМ, Вязниковцев ЕВ, Жанбатыров АА. Вентиляционная перемычка. Патент SU 977818. 1982, Бюлл. № 44. [Stakhanov AN, Shepelev SF, Vazillo EN, Selivanov GI, Mun VM, Vyaznikovtsev EV, Zhanbatyrov AA. Ventilation stopping. Patent SU 977818. 1982, Bulletin No. 44. (In Russ.)]
6. Анцыгин ЮГ, Макаров ИИ, Болбат ИЕ. Вентиляционная перемычка парашютного типа. Патент SU 898094. 1982, Бюлл. № 2. [Antsygin YuG, Makarov II, Bolbat IE. Parachute-type ventilation stopping. Patent SU 898094. 1982, Bulletin No. 2. (In Russ.)]
7. Стаханов АН, Шепелев СФ, Селиванов ГИ, Мун ВМ, Вязниковцев ЕВ, Жанбатыров АА. Вентиляционная перемычка. Патент SU 905491. 1982, Бюлл. № 6. [Stakhanov AN, Shepelev SF, Selivanov GI, Mun VM, Vyaznikovtsev EV, Zhanbatyrov AA. Ventilation stopping. Patent SU 905491. 1982, Bulletin No. 6. (In Russ.)]
8. Плотников ВМ. Шахтная перемычка. Патент SU 1090885. 1984, Бюлл. № 17. [Plotnikov VM. Shaft bulkhead. Patent SU 1090885. 1984, Bulletin No. 17. (In Russ.)]
9. Привалов НИ, Болбат ИЕ, Крупка АА. Устройство для тушения пожаров. Патент SU 1660707. 1991, Бюлл. № 25. [Privalov NI, Bolbat IE, Krupka AA. Fire extinguishing device. Patent SU 1660707. 1991, Bulletin No. 25. (In Russ.)]
10. Бойко ВА, Анцырин ЮГ, Ищенко АС, Шибка НВ, Литвиненко АА. Шахтный регулятор расхода воздуха. Патент SU 1776813. 1992, Бюлл. № 43. [Boyko VA, Antsyryn YuG, Ishchenko AS, Shibka NV, Litvinenko AA. Mine air flow regulator. Patent SU 1776813. 1992, Bulletin No. 43. (In Russ.)]
11. Стаханов АН, Шепелев СФ, Жанбатыров АА, Селиванов ГИ, Мун ВМ, Ким КА. Вентиляционная перемычка. Патент SU 1084460. 1984, Бюлл. № 13. [Stakhanov AN, Shepelev SF, Zhanbatyrov AA, Selivanov GI, Mun VM, Kim KA. Ventilation stopping. Patent SU 1084460. 1984, Bull. No 13. (In Russ.)]
12. Привалов НИ, Сухоруков ВП, Чистюхин ВВ, Кузнецов ВВ, Бондарев НА. Парашютная вентиляционная перемычка. Патент SU 1652611. 1991, Бюлл. № 20. [Privalov NI, Sukhorukov VP, Chistyukhin VV, Kuznetsov VV, Bondarev NA. Parachute ventilation stopping. Patent SU 1652611. 1991, Bulletin No. 20. (In Russ.)]
13. Чуприков АЕ, Гуттер АА. Способ локализации энергии взрывной волны и устройство для его осуществления. Патент RU 2174602. 2001, Бюлл. № 28. [Chuprykov AE, Gutter AA. Method of localizing the energy of explosion wave and a device for its implementation. Patent RU 2174602. 2001, Bulletin No. 28 (In Russ.)]
14. Об организации работы по тактической подготовке оперативного состава ФАУ «ВГСЧ в строительстве» при ведении горноспасательных работ: Приказ ФАУ «ВГСЧ в строительстве» от 05.05.2023 № 199-78. [Order of the Federal Autonomous Institution «Miliarized Mine Rescue Unit in Construction» dated 05.05.2023 No. 199-78 “On the organization of work on tactical training of the operational staff of the Federal Autonomous Institution «Miliarized Mine Rescue Unit in Construction» when conducting mine rescue operations» (In Russ.)]. URL: <https://uvgsch.organizations.mchs.gov.ru/deyatelnost/normativnaya-dokumentaciya>.
15. Комплект противовзрывного быстровозводимый (КПБ): Инструкция по эксплуатации КПБ. Караганда, 1982: 63. [Rapidly erectable anti-explosion package (REAP). Operating instructions for REAP. All-Russian Research Institute of Mine Rescue (VNIIGD). Karaganda, 1982: 63 (In Russ.)]
16. Лукашов ОЮ, Крайнов АЮ, Оберемок АА. Определение эффективности использования парашютных перемычек при ликвидации аварии, осложнённой возможностью повторного взрыва. *Вестник НЦ ВостНИИ*. 2024;2:33-9. [Lukashov OYu, Kraynov AYU, Oberemok AA. Determining the efficiency of using parachute stoppings in the liquidation of an accident complicated by the possibility of a repeated explosion. *Bulletin of the Scientific Center of the Eastern Research Institute*. 2024;2:33-9. (In Russ.)]
17. Игишев ВГ, Син СА. Современное состояние проблемы борьбы с эндогенными пожарами в шахтах Кузбасса. *Уголь*. 2012;7:36-41. [Igishev VG, Sin SA. Current state of the problem of combating endogenous fires in Kuzbass mines. *Coal*. 2012;7:36-41 (In Russ.)]
18. Смышляев СА, Легаев ВР, Домрачев АН. Численное моделирование взаимодействия ударной воздушной волны с шахтными перемычками при использовании различных средств усиления. *Горный информационно-аналитический бюллетень МГТУ*. 2015;7:189-95. [Smyshlyayev SA, Legaev VR, Domrachev AN. Numerical modeling of the interaction of an air shock wave with mine stoppings using various reinforcement means. *Mining information and analytical bulletin of MSMU*. 2015;7:189-95. (In Russ.)]
19. Домрачев АН, Криволапов ВГ, Говорухин ЮМ и др. Методология выбора и обоснования параметров шахтной перемычки. *Неделя горняка – 2015: Сб. науч. тр.* 2015: 141-50. [Domrachev AN, Krivolapov VG, Govorukhin YuM, et al. Methodology for the selection and justification of a mine stopping reinforcement. *Miners Week*. 2015: 141-50. (In Russ.)]

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Алексей Николаевич Домрачев – доктор технических наук, профессор кафедры геотехнологии Института горного дела и геосистем, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», 654007, г. Новокузнецк, Российская Федерация, <https://orcid.org/0009-0002-5823-3117>, e-mail: aleksejdomrachev21@gmail.com

Михаил Георгиевич Коряга – кандидат технических наук, доцент кафедры геотехнологии Института горного дела и геосистем, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», 654007, г. Новокузнецк, Российская Федерация, <https://orcid.org/0009-0008-9074-069X>, E-mail: r7080@yandex.ru

ABOUT THE AUTHORS

Aleksey N. Domrachev – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Geotechnology, Institute of Mining and Geosystems, Siberian State Industrial University, 654007, Novokuznetsk, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0002-5823-3117>, e-mail: aleksejdomrachev21@gmail.com

Mikhail G. Koryaga – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Geotechnology, Institute of Mining and Geosystems, Siberian State Industrial University, 654007, Novokuznetsk, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0008-9074-069X>, e-mail: r7080@yandex.ru

Критерии авторства / Contribution:

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей. / The authors declare the equal contribution of everyone to the work on the article.

Конфликт интересов / Conflict of interest:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 10.03.2025.

Поступила после рецензирования: 12.05.2025.

Принята к публикации: 22.05.2025.

Article info

Received: 10.03.2025.

Revised: 12.05.2025.

Accepted: 22.05.2025.