

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Агеева Владимира Григорьевича на тему «Научные основы создания способов и средств локализации ударных волн при ведении горноспасательных работ по изоляции пожаров в шахтах», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.26.03 – «Пожарная и промышленная безопасность»

### **Актуальность темы диссертационной работы**

В диссертационной работе Агеева В.Г. рассматривается актуальная для угольной промышленности проблема создания научных основ способов и средств локализации воздушных ударных волн в период производства изоляционных работ по тушению пожаров в газообильных угольных шахтах.

Ведение очистных и подготовительных работ в сложных горно-геологических условиях, склонность углей к самовозгоранию, высокая механизация и энерговооруженность шахт увеличивают вероятность возникновения подземных пожаров, борьба с которыми представляет одну из наиболее трудных и актуальных проблем безопасности в угольной промышленности.

Особенно опасны подземные пожары в газообильных выработках из-за возможности скопления метана в районе действующего пожара до взрывоопасных концентраций.

Известно, что большинство пожаров, возникающих в непроветриваемых и недостаточно проветриваемых выработках, а также в выработанном пространстве, сопровождается накоплением метана до взрывоопасных концентраций. Высокая метанообильность горных выработок вынуждает сохранять режим вентиляции, предшествующий пожару, что содействует активизации горения.

Проблема повышения эффективности борьбы с подземными пожарами приобретает особую актуальность в настоящее время в связи с усложнившимися горно-геологическими и горнотехническими условиями шахт, ведением очистных и подготовительных работ на глубоких горизонтах. Значительное увеличение газовыделения, горного давления, скорости вентиляционной струи и температуры усложнили работы по тушению пожаров.

Согласно статистическим данным о возникающих в угольных шахтах

авариях более половины приходится на пожары. При тушении эндогенных пожаров и части экзогенных нередко прибегают к изоляции пожарных участков. Изоляция пожаров в газовых шахтах всегда связана с опасностью взрывов метано-воздушных смесей, как в период производства изоляционных работ, так и после закрытия пожарного участка.

Случаи взрывов в период ведения работ по изоляции участков наблюдались неоднократно, что приводило к тяжелым последствиям с гибелью и травмированием горноспасателей, осуществлявших эти работы.

Поэтому, на протяжении ряда лет проводились исследования возникновения и распространения по горным выработкам воздушных ударных волн, образующихся при взрывах горючих газов в шахтах. Однако, расчеты велись для одиночных выработок (сквозных, тупиковых) не принимая во внимание всю их сеть, в которой происходит встреча волн, их взаимодействие. Не рассматривались расчеты затухания волн при встрече их с искусственными преградами (пенными и породными пробками, водяными и сланцевыми заслонами и пр.) Все это приводило к ошибкам в расчетах, возведении взрывоустойчивых сооружений на опасных к очагу взрыва расстояниях и травмам, а нередко и гибели людей, производивших изоляционные работы.

Взрывоустойчивые перемычки возводились без достаточного обоснования их толщин и рецептов материалов, что иногда приводило к их разрушению.

Все вышесказанное свидетельствует о том, что расчеты безопасных расстояний для мест ведения изоляционных работ выполнялись без достаточного научного обоснования. Поэтому поставленная автором задача обеспечения безопасности ведения горноспасательных работ при тушении пожаров методом изоляции является актуальной и имеет не только большое практическое, но и социальное значение.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Все основные положения диссертации, выводы и рекомендации подтверждены использованием современных методов теоретического анализа с учетом общепринятых или обоснованных предложений, объемом

экспериментальных исследований. Для анализа и обобщения данных автором использованы численные и аналитические решения классических уравнений динамики плотности, массовой скорости и энергии потока смеси газов при возникновении и движении ударных волн по горным выработкам. Обоснованность результатов подтверждается сходимостью данных теоретических расчетов с данными экспериментов по гашению воздушных ударных волн пенными и породными пробками, а также различными типами перемычек.

### **Достоверность и новизна научных результатов, полученных автором впервые**

Диссертационная работа соискателя характеризуется новизной, основные моменты которой и их достоверность заключаются в следующем:

- Автором впервые раскрыт механизм образования воздушных ударных волн при взрыве метано-пылевоздушных смесей в горных выработках, заключающийся в том, что при взрыве от точечного источника зажигания горение возникает не сразу по всему объему метановоздушной смеси, а приводит к цепному распространению пламени. Достоверность этого положения подтверждена опытными замерами давлений на различных расстояниях от источника воспламенения в условиях приближенным к промышленным.

- Соискателем установлены зависимости параметров распространения воздушных ударных волн в сквозных, тупиковых и изолированных горных выработках при различных начальных давлениях от аэродинамического сопротивления и геометрических параметров выработки, а также наличия различных преград. Достоверность результатов не вызывает сомнений, так как подтверждена наблюдениями, близкими к натурным. При этом в качестве преград автором использовались различные порошки, сланцевые заслонки, искусственные завалы. Сходимость замеренных и расчетных величин вполне приемлемая.

- Впервые уточнен механизм распространения и взаимодействия воздушных ударных волн с различными типами преград и перемычек при распространении по сети горных выработок. Это позволило разработать технологию пенной защиты гипсовых и бетонных перемычек в течение времени «схватывания» вяжущего

раствора и приобретения перемычкой заданных структурно-механических свойств.

- На основании теоретических исследований и выполненных экспериментов в условиях близких к натурным соискателем обоснована возможность и область применения различных искусственных преград для гашения ударных волн, таких как пенные и породные пробки, парашютные перемычки, водяные и сланцевые заслоны. Это играет существенную роль для сокращения объема изолируемых выработок и снижения опасности для людей, занятых изоляционными работами.

- Разработана математическая модель напряженно-деформированного состояния взрывоустойчивой перемычки, что позволило научно обоснованно определять основную её техническую характеристику – толщину в зависимости от механических характеристик, условий нагружения, сечения и глубины расположения выработки.

Результаты разработанного метода исследований напряженного состояния перемычки с проемной трубой подтверждены данными экспериментов, полученными в штольне Карагайлы (Казахстан), что говорит о его достоверности. Полученные ранее значения толщины гипсовой перемычки являются завышенными в связи с тем, что они получены для ее круглой формы и без учета проемных труб. Данный метод позволяет определять перемещения, деформации, внутренние силы и моменты, все компоненты напряжений, возникающие в перемычке с различными механическими характеристиками ее материала и формы, условиями нагружения и граничными условиями.

### **Достоверность и новизна выводов и рекомендаций**

1. В диссертационной работе соискателем комплексно решена важная научно-техническая проблема повышения безопасности работ при тушении пожаров в шахтах путем изоляции.

Комплексное рассмотрение проблемы и ее новизна заключаются в том, что автором совместно рассмотрены вопросы загазирования горных выработок метаном, формирование взрывоопасной среды, возникновение, формирование и распространение по сложной сети горных выработок воздушных ударных волн и

создания на этой основе метода расчета безопасных расстояний от возможного места взрыва до места ведения горноспасательных работ. Кроме этого выполнены расчеты, проведены экспериментальные исследования и предложены средства для изоляции пожарных участков.

2. Процесс формирования взрывоопасной среды в горных выработках, предложенный соискателем, основан на разработанной им математической модели и экспериментальных данных МакНИИ и НИИГД. Впервые показано, что даже при сравнительно наибольших выбросах метана взрывоопасная среда образуется на расстояниях до 900 м и сохраняется более часа, что связано с десорбцией метана из частиц угля.

3. Процесс формирования воздушных ударных волн при взрывах метана и пыли в горных выработках автором изучался путем решения предложенного им численного метода решения уравнений газовой динамики. Достоверность численного метода подтверждена аналитическим решением частных случаев задачи.

4. Получены аналитическое и численное решение взаимодействия воздушных ударных волн с различными преградами. Найденные зависимости проверены на экспериментах в натуральных условиях по гашению ударных волн породными пробками, сланцевыми и водяными заслонами, пенными пробками и дали вполне удовлетворительное совпадение результатов. Это позволяет рекомендовать найденные зависимости для расчетов гашения ударных волн при изоляции пожарных участков в шахтах.

5. Впервые предложен алгоритм и разработана программа для ЭВМ по расчету распространения ударных волн в сложной сети горных выработок с учетом наличия местных препятствий, отражения и наложения ударных волн при встрече из разных выработок. Выполнены примеры расчетов и проведен анализ мест возможного по условиям безопасности ведения горноспасательных работ. Сделан расчет распространения ударных волн по шахте им. А.Ф. Засядько. Показано отличие в расчетах по предлагаемой программе и по Методике в Уставе ГВГСС и дано сравнение с реальными данными при взрыве на этой шахте. Подтверждена экспериментально необходимость применения для расчетов

распространения ударных волн предлагаемой автором методики. Это подтверждает достоверность и новизну исследований.

6. Впервые выполнены теоретические исследования напряженно-деформированного состояния изолирующей взрывоустойчивой перемычки.

Автором принята наиболее адекватная к реальной расчетная схема взрывоустойчивой перемычки с проемными трубами, которая в общем виде представляет собой толстую пластину (плиту) с двумя круговыми отверстиями и радиусом кривизны, меняющимся по параболической зависимости или полуокружности, с заземленными тремя краями и свободным четвертым, находящуюся под действием постоянной нормальной (от ВУВ) и переменной сжимающей (от разрушенных горных пород в верхней части) нагрузок, и, в частности, со всеми заземленными краями при отсутствии сжимающей нагрузки.

Для решения задачи о напряженно-деформированном состоянии изолирующей взрывоустойчивой перемычки использован прием, заключающийся в учете влияния на изгиб перемычки внутренних поперечных сил и энергии сдвига от них, а также один из основных прямых численных методов решения краевых задач теории упругости – вариационный метод (Ритца и Бубнова-Галеркина), что дало возможность получить зависимости для определения составляющих тензора напряжений.

Установлено, что прочность перемычек с одной проемной трубой диаметром 0,8 м обеспечена при их возведении в выработках с площадью сечения 4...30 м<sup>2</sup>, с двумя аналогичными трубами, – начиная с 8 м<sup>2</sup>, а значения ее толщины в зависимости от площади сечения, глубины расположения выработки и механических характеристик материала (гипса) в среднем на 14 % меньше по сравнению с их значениями, приведенными в нормативных документах, что позволит обеспечить безопасность горноспасателей и снизить затраты на ликвидацию аварий в угольных шахтах.

Показано, что наилучшим образом требованиям технологии возведения взрывоустойчивых перемычек удовлетворяет перемычка на основе гипсовых вяжущих, в частности пластифицированного гипса.

Новизна и достоверность результатов не вызывает сомнений, так как

предложенная конструкция взрывоустойчивой перемычки, рецепты вяжущего и технология возведения были апробированы в реальных условиях на штольнях НИИГД.

### **Замечания**

1. Решенная в диссертационной работе научно-техническая проблема существенно шире, чем диссертант ее сформулировал (поскромничал). Это не только (даже не столько) «...обеспечение безопасности ведения горноспасательных работ при изоляции пожаров на угольных шахтах, опасных по газу и пыли», но и «... предупреждение возникновения и развития по сети горных выработок взрывов при пожаре в шахте».

2. Известно, что разрушающее действие взрыва обусловлено совокупным действием ударной волны, скоростным напором потока газа, движущегося за ее фронтом (от десятков сотен метров в секунду) и летящими с воздушным потоком предметами (например, при четвертом взрыве в шахте «Северная» ПО «Воркутауголь» выжившие горноспасатели рассказывают, что бочки летали по выработке, как пули).

В то же время, в работе динамическое воздействие взрыва рассматривается как результат действия только распространяющегося в сложной сети горных выработок воздушной ударной волны с максимальным абсолютным давлением до 2,8 МПа без мотива равноценного исключения других из перечисленных факторов.

3. Из работы не ясно, какому уровню по отношению к возможным на практике процессам развития взрыва можно отнести установленные экспериментально (шестой раздел) значения (толщины) пламегасящей перемычки (пробки, преграды), т.е. это верхнее или нижнее предельное значение или какая-то промежуточная из всех возможных величина.

4. Ошибочно указано, что в уравнениях (7.54), а не (7.55) штрихами обозначены кратные производные, когда необходимо было написать производные первого и второго порядка.

5. Целесообразно было бы уравнения (7.55) представить в сокращенном

