

## 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 избранной темы.**

Диссертационная работа Агеева В.Г. посвящена решению актуальной проблемы – разработке научных основ создания способов и средств для повышения безопасности горноспасательных работ при тушении пожаров способом изоляции в угольных шахтах, добывающих полезное ископаемое подземным способом.

Существующие технологии подземной добычи угля требуют энерговооруженности очистных и подготовительных забоев и сопряжены с опасностью накопления в шахтной среде больших объемов горючих газов и пыли. Отсюда возникает проблема предотвращения возможных взрывов метанопылевоздушных сред и сведения к минимуму последствий разрушительного воздействия, образующихся воздушных ударных волн. Этой проблеме всегда уделялось и сейчас уделяется повышенное внимание, разработано много способов, средств и схем управления газовой выделением, направленных на предотвращение этого грозного явления.

Тем не менее, количество взрывов газа и пыли в шахтах остается стабильным – например, на шахтах Украины от 2 до 5 в год.

Научно-исследовательскими институтами МакНИИ, НИИГД, ВостНИИ и др. разработаны математические модели процессов загазирования горных выработок при газодинамических явлениях, подтвержденных наблюдениями и результатами расследований аварий за прошедшие 35 лет.

На основании исследований разработана методика компьютерного расчета параметров загазирования горных выработок и формирования взрывоопасной среды. Этот расчет позволяет в определенной степени обезопасить работы по ликвидации последствий загазирования выработок, а в дальнейшем прогнозировать загазирования при составлении планов ликвидации аварий, оценивать зону поражения при разведке аварийного участка и в ходе ведения горноспасательных работ.

Однако ситуация резко усложняется при возникновении пожара. Даже непрерывный газовый и температурный контроль полностью не исключает возможности возгорания и взрыва пылегазовой смеси. И как показал анализ последних аварий, эта проблема все еще продолжает оставаться актуальной, принимая в последние годы даже угрожающий характер, если учесть последствия в экономическом и социальном плане (шахты «Распадская», «Северная» (Россия)).

При расчётах распространения ударных волн в сети горных выработок обычно принимается, что в «результате взрыва в некоторой зоне происходит резкое повышение давления и расширение продуктов реакции», после чего «ударная волна отрывается от продуктов реакции и распространяется по горным выработкам».

Однако, по теории теплового взрыва или быстрого горения, вначале происходит резкое повышение температуры в каком-либо объёме, что должно вызывать переход тепловой энергии в механическую: кинетическую и статическую. Последняя как раз и определяет значение давления в выработке. Поэтому нельзя заранее задавать статическое давление, даже исходя из объёма загазированной зоны. Расчёт нужно начинать с задания объёма взрывоопасного слоевого или общего загаживания выработок и ожидаемой температуры в результате быстрого воспламенения смеси газов и пыли.

Именно так и поступил автор, разработав математическую модели формирования ударных волн при взрывах метановоздушной смесей в горных выработках для последующего использования при исследовании распространения ударных воздушных волн по горным выработкам.

Выполненные ранее экспериментальные исследования параметров ВУВ при взрывах газа и угольной пыли в горных выработках дали основания для создания методики расчета безопасных параметров воздушных ударных волн при взрывах газов и пыли в горных выработках. Она практически без особых изменений использована в руководящем документе ДНАОП 1.1.30-4.01-97. Однако методика не учитывает объёма загаживания горных выработок до взрывоопасных концентраций, особенностей затухания ударных волн малых давлений.

Актуальность проблемы исследования распространения ВУВ по сети горных выработок - важная задача, которая стоит при ведении горноспасательных работ в шахтах. В связи с этим уточнения метода определения параметров ВУВ для вычисления безопасных расстояний от места взрыва до места ведения горноспасательных работ является актуальной задачей, имеющей большое практическое значение.

В связи с вышесказанным под руководством автора создан отраслевой стандарт 10.1.00174102.012:2010 «Параметры воздушных ударных волн и безопасных расстояний при взрывах газов и пыли в горных выработках. Методика расчета». В стандарте на основании анализа литературных источников и ранее полученных экспериментальных данных уточнен метод определения параметров ВУВ и приведены результаты исследования безопасных расстояний от места взрыва до места ведения горноспасательных работ. В настоящем стандарте учтены недостатки предыдущих работ.

Методика предлагает расчет относительного избыточного давления во фронте воздушной ударной волны в зоне взрыва (горения) метанопылевоздушной смеси и на разных расстояниях по ходу ее перемещения в сети горных выработок. расчет позволяет определить

расстояние от зоны взрыва (горения) до места в горных выработках, на котором давление понижается до безопасных для людей значений.

На основании предложенной блок-схемы автором разработан программно-вычислительный комплекс (программный продукт) в среде Delphi 7, позволяющий определять параметры воздушных ударных волн и безопасные расстояния при взрывах метанопылевоздушной смеси в горных выработках в режиме диалоговых окон на электронно-вычислительной машине. Этот программно-вычислительный комплекс позволяет быстро, удобно, эффективно производить необходимые расчеты и исключает возможность ошибки.

Для защиты подземных сооружений, коммуникаций и оборудования от воздействия воздушных ударных волн, и изоляции аварийных участков применяют различные конструкции взрывоустойчивых перемычек, однако выбор конструкции, материалов для них не обоснованы. Автором выполнены исследования напряженно-деформированного состояния перемычек и предложены технические средства взрывоподавления.

Сказанное выше свидетельствует об актуальности работы и решаемой автором комплексной научно-технической проблемы обеспечения безопасности выделения горноспасательных работ при изоляции пожаров на угольных шахтах.

**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.

Общее число наблюдений и методы их обработки позволяют считать полученные результаты достоверными.

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

1. Предложенный в диссертационной работе т. Агеева В.Г. механизм зарождения воздушных ударных волн в горных выработках заключается 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 такого подхода к динамике образования воздушных ударных волн подтверждается опытными данными замеров давлений в штольнях Казахстана и Донецка, а также многочисленными данными результатов расследования аварий со взрывами

метанопылевоздушных смесей. По данным этих исследований в местах зарождения взрывов были минимальные разрушения горных выработок и минимальны физические травмы пострадавших людей по сравнению с другими местами, где в результате цепной реакции горения давление было большим.

Таким образом, раскрытый автором в его диссертации механизм образования воздушных ударных волн в горных выработках при взрывах метанопылевоздушных смесей следует признать достоверным и отличающимся новизной.

2. Зависимости параметров распространения воздушных ударных волн по горным выработкам сквозного типа, в тупиковых и изолированных перемычками участках автором диссертационной работы были получены теоретически на основании классических уравнений газовой термодинамики, решенных численным методом с граничными условиями, соответствующими условиями распространения волн в длинных каналах с различной шероховатостью. Эти данные были проверены на соответствие давлений в воздушных ударных волнах, найденных при распространении их в штольнях и других каналах с такими же величинами шероховатости. Удовлетворительное совпадение теоретических и экспериментальных данных позволяет заключить об их достоверности и новизне полученных результатов.

3. Механизм взаимодействия и распространения воздушных ударных волн с такими преградами, как пенные и породные пробки, был уточнен автором диссертационной работы в ходе математической обработки экспериментальных данных, полученных в штольне НИИГД. Достаточно хорошее совпадение натуральных и теоретических данных позволяет сделать выводы о достоверности полученных автором результатов и их новизне.

4. Из практических расчетов по методикам ранее существовавшим до проведения автором исследований затухания воздушных ударных волн при их движении по горным выработкам и по результатам, полученным диссертантом известно, что безопасные расстояния для нахождения людей давления могут составлять столь значительную величину, что изоляционные сооружения приходится сооружать на расстоянии, близких к поверхности шахт, что экономически нецелесообразно. Поэтому исследованные автором вопросы гашения ударных волн пенными пробками, искусственными завалами и другими преградами и полученные численные данные имеют большое практическое значение, отличаются новизной и в их достоверности нет сомнений, т. к. они проверены на достаточном числе наблюдений.

Таким образом, достоверно установлена и подтверждена экспериментально возможность, целесообразность и область использования различных искусственных преград для сокращения расстояния от места возможного взрыва до места ведения изоляционных работ.

5. Используемые на практике в России, на Украине и в Казахстане взрывоустойчивые перемычки (шпренгельные, гипсовые, бетонные) имеют ряд недостатков: шпренгельные – пропускают через щели ядовитые газы от

взрыва, гипсовые и бетонные – иногда не выдерживают давление взрыва, смещаются, либо разрушаются. Поэтому выполненные автором диссертационной работы теоретические исследования напряженно-деформированного состояния перемычек позволили предложить метод расчета гипсовых перемычек, как наиболее быстро возводимых, в том числе дистанционным способом. Возведенные на основании этого расчета перемычки на шахтах «Красноармейская - Западная №1», «Молодогвардейская» - выдержали давление происшедших после изоляции пожарных участков взрывов без видимых нарушений.

В связи с этим следует заключить, что выполненное автором теоретическое обоснование параметров возводимых для гашения воздушных ударных волн гипсовых перемычек подтверждено практическим их сооружением и воздействием на них давлений взрывом. Это подтверждает достоверность и новизну приведенного автором результата, как полученного впервые.

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

1. Автором диссертационной работы поставлена и комплексно решена важная научно-техническая проблема безопасной для жизни людей изоляции пожарных участков газовых шахт при угрозе взрыва метанопылевоздушной смеси.

Комплексное решение проблемы и ее новизна заключается в том, что автором впервые совместно рассматриваются взаимосвязанные между собой явления: загазирование горных выработок метаном при переменной его дебите и скорости воздуха, вызванных нарушением проветривания аварийного участка в результате пожара и формирования на этой основе взрывоопасной среды; возникновение, развитие и распространение по сети горных выработок воздушных ударных волн; взаимодействие волн с различными искусственно созданными преградами и перемычками.

2. Исследования процессов формирования взрывоопасной среды на аварийном участке выполнено на основании предложенной автором математической модели с использованием многочисленных литературных данных авторов из МакНИИ и НИИГД. Математическое моделирование процесса формирования взрывоопасной среды показало хорошую сходимость аналитических данных с данными натурных наблюдателей, полученных сотрудниками МакНИИ Бабровым И.В. и Волошиным Н.Е.. Поэтому достоверность полученных зависимостей и их новизна сомнений не вызывает.

3. Предложенные автором для описания процессов формирования воздушных ударных волн уравнения и численное решение задачи отличаются новизной, так как учитывают цепную реакцию горения, чего ранее выполнено не было. Этот фактор позволяет более точно учесть параметры взрыва в месте его зарождения и в дальнейшем распространения по горным выработкам.

4. Важная практическая задача взаимодействия распространяющихся по горным выработкам воздушных ударных волн с изолирующими

перемычками автором впервые решена теоретически. Теоретические зависимости проверены на натуральных экспериментах в штольнях Казахстана и НИИГД. Исследования позволили установить максимально возможные давления на изолирующие перемычки. Совпадение теоретических и опытных данных позволяет сделать вывод о достоверности и новизне полученных автором результатов.

5. Автором выполнены практически весьма значительные исследования гашения воздушных ударных волн пенными и породными пробками, водяными и сланцевыми заслонами. Дано теоретическое обоснование снижения давления на этих преградах. Теоретические зависимости проверены на нескольких натуральных опытах в штольне НИИГД с заданными параметрами преград. Полученными результатами, подтверждают верность теоретических выкладок. Это дает основание для использования полученных теоретических зависимостей для других параметров преград и заранее производить их расчет для снижения давления в волнах до необходимых величин. Достоверность полученных данных и их новизна сомнений не вызывают.

6. Алгоритм и программа расчета распространения воздушных ударных волн по сложной сети горных выработок шахт предложены автором впервые. До этого расчеты распространения ударных волн рассчитывались вручную по одному из маршрутов их движения по выработкам, без учета других путей, встреч волн и пр.

Разработанная программа позволяет определять параметры воздушных ударных волн и безопасные расстояния при взрывах метанопылевоздушной смеси в горных выработках в режиме диалоговых окон на электронно-вычислительной машине. Этот программно-вычислительный комплекс позволяет быстро, удобно, эффективно производить необходимые расчеты и исключает возможность ошибки.

7. По мнению рецензента, автором диссертационной работы 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 защемленными 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 защемленными краями при отсутствии сжимающей нагрузки.

8. Для решения задачи о напряженно-деформированном состоянии взрывоустойчивой перемычки автором 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 Бубнова-Галеркина, что дало возможность получить зависимости для определения составляющих тензора напряжений. На основании теоретических расчетов,

подтвержденных опытами в штольне Казахстана 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 1,4 раза меньше по сравнению с их значениями, приведенными в нормативных документах, что позволяет обеспечить безопасность горноспасателей и снизить затраты на ликвидацию аварий в угольных шахтах.

Предлагаемый расчет параметров взрывоустойчивых перемычек обладает новизной, и достоверность расчетов подтверждена натурными экспериментами в штольнях Карл-Каролинска (Казахстан)

### **Замечания**

1. Непонятно, как понимать выражение автора «скачек давления  $P$  задавался в виде цепной реакции быстрого давления»?

2. Как понимать выражение автора «ударная волна небольшой мощности»?

3. В методике расчета распространения ударных волн по сети горных выработок автором предложено для формирования ударной волны задавать начальное давление в виде цепной реакции горения, начиная с зажигания смеси точечным источником. Насколько такой расчет отличается от ранее существующих, когда в источнике взрыва задавали скачек давления?

4. По мнению рецензента термин «ударная волна» более правильно было бы называть «волна давления».

5. Как понимать выражение автора «быстрое горение»?

6. Запись автора: «повышение температуры в газозудушной смеси от ударной волны  $T = 20$  °C», что это дает?

7. Нет разъяснения, как зависит температура от мощности источника воспламенения.

**Заключение о соответствии диссертационной работы критериям, установленным п. 2.1 Положения о присуждении ученых степеней.**

Диссертационная работа Агеева В.Г. «Научные основы создания способов и средств локализации ударных волн при ведении горноспасательных работ по изоляции пожаров в шахтах» является самостоятельным законченным научно-исследовательским трудом, в котором решена актуальная научно-прикладная проблема обеспечения безопасности горноспасательных работ при изоляции пожаров в шахтах путем раскрытия закономерностей загазования горных выработок метаном и формирования на этой основе взрывоопасной среды при газодинамических явлениях в шахтах, разработке математических моделей формирования, распространения и отражения ударных волн в сложной сети горных выработок при взрывах метана и пыли и создания на этой основе метода расчета безопасных расстояний от места возможного взрыва до места ведения горноспасательных работ; разработке инженерных методов расчета взрывоустойчивых сооружений, их конструкций и способов возведения. Работа отвечает

паспорту специальности 05.26.03 – «Пожарная и промышленная безопасность».

Диссертационная работа соискателя по актуальности решаемой проблемы, научной новизне, практической значимости и редакционному оформлению удовлетворяет требования Высшей аттестационной комиссии при Министерстве образования и науки, предъявленным на получение ученой степени доктора технических наук, а ее автор Агеев Владимир Григорьевич заслуживает присуждения научной степени доктора технических наук по специальности 05.26.03 – «Пожарная и промышленная безопасность».

Официальный оппонент,  
доктор технических наук,  
начальник Государственного  
предприятия «Донецкий  
экспертно-технический  
центр», г. Донецк, пр.  
Павших Коммунаров, 102 б,  
[office@don-etc.ru](mailto:office@don-etc.ru), т. 345-01-30

Н.В. Малеев

Подпись Малеева Н.В. заверяю:



*начальник отдела кадров  
Г.П. Донецкий ЭТЦ В.Т.В. Романов*