

Сведения о выполненных работах  
в период с 27.07.2023 г. по 30.06.2024 г.

по проекту «**Фундаментальные и прикладные исследования процессов распространения горения и взрыва в газовзвеси угольной пыли**»,  
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 21-71-10034

Руководитель: Моисеева Ксения Михайловна, канд. физ.-мат. наук

1. Проведена доработка программы ЭВМ газодинамической методики расчета взрывобезопасных расстояний в части реализации учета водяных и сланцевых заслонов, водоналивных перемычек, быстровозводимых парашютных перемычек (комплект противовзрывной быстровозводимый (КПБ)), завалов и загромождений для обеспечения новыми возможностями компьютерной технологии для решения задач плана ликвидации аварий. Проведен расчетно-теоретический анализ эффективности использования водяных заслонов для локализации распространения ударной воды (УВ) аварийного взрыва метана в угольной шахте, уменьшения размеров зон поражения. Численные расчеты показали, что водяные заслоны являются эффективным средством взрыволокализации при взрывах метана в горных выработках шахты. Небольшое значение давления срабатывания заслона обеспечивает их работу в широком диапазоне избыточного давления в ударной волне, в том числе и в диапазоне избыточных давлений, которые опасными для человека не являются (до 6000 Па). Применение водяных заслонов длиной по 30 м в большинстве случаев приводит к существенному уменьшению размеров зон поражения. Увеличение длины водяных заслонов до 40 м также дает значительный вклад в уменьшение размеров опасных для человека областей. Применение заслонов длиной по 50 м по сравнению с 40 м заслонами является менее эффективным, и может быть рекомендован в случае угрозы возникновения мощных взрывов метана. Увеличение протяженности заслонов до 60 м по сравнению с 50 м практически никакого эффекта не дает, такая протяженность является избыточной.

Проведен расчетно-теоретический анализ эффективности использования быстровозводимых парашютных перемычек (комплект противовзрывной быстровозводимый (КПБ)) для локализации распространения ударной воды аварийного взрыва метана в угольной шахте и уменьшению зон поражения. Расчеты показали, что при низком избыточном давлении в набегающей на КПБ ударной волне (менее 0.025МПа) избыточное давление в прошедшей за КПБ ударной волны уменьшается незначительно. Поэтому их рекомендуется использовать совместно с водяными заслонами или водяными перемычками.

Проведен расчетно-теоретический анализ эффективности использования завалов и загромождений для локализации распространения ударной воды аварийного взрыва метана в угольной шахте и уменьшению зон поражения. Завалы и загромождения используются в случае когда ожидается аварийный взрыв метана и приход ударной волны высокой интенсивности, когда КПБ не выдерживают динамическую нагрузку ударной волны (согласно инструкции по КПБ они могут быть использованы для уменьшения интенсивности ударной волны не выше 0.5 атм).

Использование завалов и загромождений эффективно для уменьшения интенсивности ударной волны с высоким избыточным давлением, от 0.5 до 4 атм.

Проведен расчетно-теоретический анализ эффективности использования пористых взрывозащитных перемычек для локализации распространения ударной волны аварийного взрыва метана в угольной шахте и уменьшению зон поражения. Расчетами показано, что устанавливая на некотором расстоянии перед защищаемой областью выработки пористую взрывозащитную перемычку можно уменьшить интенсивность ударной волны. Основными параметрами, влияющими на уменьшение максимального давления, прошедшего за перемычку, являются пористость, характерный размер структурного элемента пористой перемычки, толщина пористой перемычки. Изучено влияние расположения пористой перемычки состоящей из половинок и установленных с обеспечением беспрепятственного прохода шахтеров на величину максимального избыточного давления в ударной волне, прошедшей за заслон. Разнесенность половинок перемычки на расстояние до 2 метров вдоль выработки слабо влияет на интенсивность прошедшей за перемычку ударной волны. Ее интенсивность в этом случае становится выше не более чем на 6 %.

2. Проведены параметрические исследования закономерностей горения углеметановоздушной смеси в различных условиях. Показано, что при учете лучистых теплотерь наблюдается эффект достижения максимума скорости распространения пламени углеметановоздушной смеси при концентрациях угольной пыли, превышающих стехиометрическое значение. Такой же эффект был получен для двухмасштабной модели горения угольной пыли (отчет за второй этап выполнения проекта). Таким образом, сдвиг максимума скорости горения газозвеси угольной пыли от стехиометрического соотношения, наблюдаемый экспериментально, в расчетах реализуется при учете неоднородности температуры частиц и/или при учете лучистых тепловых потерь от частиц в газ. Показано, что учет лучистых теплотерь и потерь тепла через боковую поверхность канала приводит к стабилизации пламени и реализации плоского фронта горения. Исследовано горение углеметановоздушной смеси при отрыве газозвеси с крепи потолка выработки (протяженного канала). Согласно полученным результатам крупнодисперсные частицы за время прохождения волны горения по каналу не успели полностью осесть, часть частиц сгорела, часть вынеслась за пределы канала потоком газа. Показано, что для такой выработки развивается искривленное пламя. Искривление вдоль вертикальной оси связаны с оседанием и выгоранием частиц угольной пыли, искривления вдоль горизонтальной оси связаны с газодинамикой течения газозвеси. В целом, из исследования по подробным физико-математическим моделям горения газозвеси угольной пыли получено, что на горение угольной пыли в ламинарном режиме влияет целый ряд факторов, которые работают в совокупности. Для широких выработок развивается сложное течение, которое более качественно могло бы быть описано с использованием моделей турбулентного течения.

3. Экспериментально исследован характер распространения ламинарных волн горения в горизонтально расположенной кварцевой трубке в бедных метановоздушных смесях с объёмным содержанием метана 8, 7, 6, и 5.5 % и в тех же газовых смесях с взвешенной угольной пылью при массовой концентрации пыли 0.1-0.4 кг/м<sup>3</sup>. Установлено, что ламинарное пламя распространяется в горизонтальной трубке в газовых смесях с содержанием метана 6 % и в газоугольных смесях с

содержанием метана 5.5 %. Усреднённые скорости ламинарного пламени в газовых и двухкомпонентных горючих смесях возрастают с увеличением объёмной доли метана. Наличие угольной взвеси увеличивает яркость свечения, но не влияет на скорость пламени при содержании метана 7 и 8 %. В опытах не обнаружено влияние среднеобъёмной плотности угольной взвеси на скорость пламени. В исследованных системах наблюдаются продольные колебания скорости фронта пламени.

4. Проведена верификация предложенных в ходе выполнения гранта физико-математических моделей на результатах экспериментальных работ, выполненных на втором и третьем этапе выполнения проекта в Институте гидродинамики СО РАН. Показана тенденция скорости горения при увеличении массовой концентрации угольной пыли. Проведено сравнение зависимости скорости пламени от координаты канала, полученное из расчета и в эксперименте. Сопоставлено время сгорания газозвеси из эксперимента и из расчета. Получено количественное совпадение с экспериментом по времени сгорания газозвеси угольной пыли, качественно совпало поведение скорости распространения пламени от координаты.

5. Опубликовано 2 статьи в журналах, входящих в базы данных Scopus (Инженерно-физический журнал и Физика горения и взрыва). Подготовлено две статьи в отраслевой журнал «Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности», на момент подготовки отчета одна статья опубликована, вторая принята в печать. Были сделаны научные доклады на 5 ведущих конференциях РФ.

Возможность практического использования результатов проекта:

Результаты проекта представляют потенциальный интерес для предприятий горнорудной отрасли, в том числе, для научно-исследовательских организаций, работающих для нужд горнодобывающих производств. Разработанные физико-математические модели, программные комплексы, проведенные параметрические исследования являются актуальными для исследования проблем пожаровзрывобезопасности в угольной отрасли.