

Сведения о выполненных работах
в период с 27.07.2022 г. по 30.06.2023 г.

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

Соглашение № 21-71-10034

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

На втором этапе выполнения проекта проведены следующие работы и получены новые научные результаты.

1. Проведен литературный обзор по теме горения одиночных частиц. Выбраны допущения, используемые далее для постановки задач горения мелкодисперсной угольной пыли. Сформулирована физико-математическая модель горения углеметановоздушной смеси с учетом выхода и горения летучих компонентов, гетерогенного горения частиц, гомогенного горения метана в газе и излучения от полидисперсной взвеси частиц. Показано влияние учета лучистого теплопереноса на структуру фронта пламени. Разработана физико-математическая модель горения реакционноспособной смеси в узком цилиндрическом канале с учетом теплообмена на боковой поверхности канала и вязкости газа. Показана структура искривленного фронта горения метановоздушной и пропановоздушной смеси. Дано объяснение возникающей неустойчивости. Проведено параметрическое исследование горения углеметановоздушной смеси в узком цилиндрическом канале с учетом вязкости газа. Показано, что для углеметановоздушной смеси неустойчивость фронта пламени возникает на начальном этапе развития горения и связана с расширением газозвеси в сторону стенок канала, далее, фронт пламени выравнивается вдоль радиуса канала. Разработана физико-математическая модель горения газозвеси угольной пыли в бомбе постоянного объема. Представленная модель дает хорошее согласование с данными экспериментальных исследований и может быть в дальнейшем использована для моделирования горения в условиях турбулизации пламени. Исследована структура фронта пламени, рассчитанная с использованием двухмасштабного подхода к горению газозвеси угольной пыли. Показано, что учет неоднородности температуры в частицах уточняет расчетную скорость распространения фронта пламени.

2. Подробно исследовано возникновение неустойчивости в замкнутом вертикальном канале, описан колебательный характер распространения пламени в канале, определены частоты колебаний скорости горения газозвеси и дано объяснение наблюдаемому эффекту колебательного режима распространения пламени по каналу. Показан начальный период распространения фронта пламени, определено, что с увеличением массовой концентрации величина видимой скорости перемещения фронта горения растет, начальный импульс давления, обусловленный сгоранием угольной пыли возрастает, что способствует большей амплитуде видимой

скорости при дальнейшем распространении фронта горения, вплоть до возникновения отрицательных скоростей и перемещений фронта "назад".

3. Исследованы закономерности распространения пламени угле-метано-воздушной смеси фиксированного состава по разветвленной сети выработок с целью определения влияния углов наклона каналов. Проведено сопоставление результатов с данными из литературы. Как показали расчеты, линейная скорость горения частицы угольной пыли слабо влияет на скорость распространения пламени относительно стенок выработок. Основным параметром, влияющим на скорость распространения пламени, является скорость распространения волны горения относительно газозвеси. Предложенная для исследования задачи модель позволяет с удовлетворительной точностью прогнозировать интенсивность распространения ударной волны от взрыва метано-воздушной смеси с учетом горения угольной пыли в разветвленных каналах и при наличии углов поворота.

4. Разработан алгоритм расчета распространения ударной волны по выработке при наличии водяных заслонов. Проведенный расчетно-теоретический анализ влияния распространения пламени по газозвеси угольной пыли, поднятой со стенок выработок при прохождении ударной волны от аварийного взрыва метана в подготовительной выработке, показал, что горение взвеси угольной пыли после аварийного взрыва метана влияет на интенсивность ударной волны. Установлено, что при распространении фронта горения по газозвеси угольной пыли после взрыва метана за ударной волной поддерживается повышенное давление. Ударная волна, распространяющаяся по выработкам, имеет интенсивность чуть большую, чем в случае, когда угольная пыль не горит. Водяные заслоны обеспечивают существенное снижение интенсивности ударной волны.

5. Проведено исследование падения угольной пыли со стенок и потолка выработки. Разработана физико-математическая модель, учитывающая падение частиц под действием силы тяжести, движение под силой тяжести, снос газозвеси набегающим потоком. Проведены расчеты для определения массовой концентрации угольной пыли при падении пыли и действии вентиляционного воздуха. С целью последующего сопоставления подготовлена расчетная модель в прикладном пакете Ansys Fluent для исследования процессов движения газозвеси в канале при наличии эрозии частиц, силы Магнуса, силы тяжести, движения воздуха по каналу. Показано, что при горении углеметановоздушной смеси в узком канале при падении угольной пыли со стенок узкого канала закон отрыва частиц хорошо работает для мелкодисперсной фракции, отрыв приводит к запылению газозвеси и изменению формы фронта пламени. Для крупнодисперсных частиц отрыв с боковых стенок канала практически не изменяет характеристики распространения пламени газа по каналу.

6. Оптимизированы алгоритмы расчета движения ударной волны при больших углах поворота канала и алгоритмов расчета задач с высоким давлением, возникающим в зоне аварийного взрыва.

7. Проведены экспериментальные работы на базе Института гидродинамики СО РАН (согласно договору НИР). Исследованы особенности распространения пламени в канале с препятствиями в газообразных метановых смесях (9.5 % и 7 % как эталоны) и в 7 % метановых смесях с предварительно взвешенной угольной пылью с массовой концентрацией пыли 0.1-0.4 кг/м³ при атмосферном давлении. Опыты выполнены при искровом инициировании сверху в вертикальной ударной трубе длиной 6.75 м, диаметром 70 мм. Для создания взвесей использовали порошок частиц кузбасского угля размером 0÷200 мкм. Кроме того для уточнения моделей горения газовзвесей угольной пыли проведены экспериментальные исследования возможности существования и характера распространения волны горения в бедных по метану газообразных смесях CH₄/Air с объёмным содержанием метана 8, 6, 5 и 5.5 % и в тех же газовых смесях с взвешенной угольной пылью при массовой концентрации пыли 0.1 – 0.53 кг/м³.

За отчетный период опубликовано семь статей с индексацией в РИНЦ и Scopus. Сделано 10 докладов на 6 научных конференциях.