

Сведения о выполненных работах
в период с 01.07.2020 г. по 30.06.2021 г.

по проекту **«Экспериментально-теоретическое изучение свойств
металлизированных смесевых твердых топлив с добавками нанопорошков
металлов и разработка цифровой системы проектирования твердотопливных
составов обладающих заданными свойствами»**,
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 19-79-10054

Руководитель: канд. физ.-мат. наук Порязов Василий Андреевич

Объектом исследования служили образцы ВЭМ на основе перхлората аммония и инертного связующего (СКДМ-80), включающие в состав порошки металлов – нанопорошок алюминия марки Alex, штатные порошки алюминия марок АСД-4 и АСД-6, порошки аморфного бора марки Б-99А, диборида алюминия AlB_2 и додекаборида алюминия AlB_{12} в различной массовой концентрации.

1. Экспериментально исследована нестационарная скорость горения образцов ВЭМ, включающих в состав порошки металлов – нанопорошок алюминия марки Alex, штатный порошок алюминия марки АСД-4, порошок аморфного бора марки Б-99А. Дополнительно исследованы баллиститное топливо и безметальное смесевое твердое топливо. Анализ полученных результатов по нестационарной скорости горения выбранных композиций ВЭМ показал, что в период переходного процесса горения при (скорости сброса давления порядка 115 МПа/с) зависимость $u(t)$ для баллиститного топлива практически не отличается от квазистационарной и практически не имеет колебаний, для смесевго ВЭМ с АСД-4 переходный процесс носит колебательный характер с частотой порядка 4 Гц. При этом отклонение $u(t)$ от квазистационарного горения может достигать 32%. Для смесевго состава ВЭМ с Alex зависимость $u(t)$ также имеет колебательный характер приблизительно с той же частотой. Однако для этого состава отклонение от квазистационарного значения не превышает 28 %. Эксперименты со смесевыми составами ВЭМ, содержащими борсодержащие компоненты, показали, что в связи с большим содержанием конденсированной фазы в продуктах сгорания данных композиций отмечено нарушение стационарного давления в камере сгорания в результате зашлаковывания сопла. Для таких составов необходимо использовать основное сопло с большим диаметром критического сечения

2. Изучен дисперсный состав конденсированных продуктов горения (КПГ) ВЭМ (включающие в состав порошки металлов – нанопорошок алюминия марки Alex, штатные порошки алюминия марок АСД-4 и АСД-6, порошки аморфного бора марки Б-99А, диборида алюминия AlB_2 и додекаборида алюминия AlB_{12} в различной массовой концентрации) при трех уровнях давления в камере сгорания (2, 4, 8 МПа). Получены степенные законы горения для каждого состава ВЭМ. Исследованы характеристики металлических горючих и ПХА. Исследованы морфологические и гранулометрические характеристики КПГ. Проведен детальный анализ полученных результатов.

3. Проведено экспериментальное исследование теплофизических свойств образцов (удельная теплоемкость и теплопроводность). На базе ранее разработанной физико-математической модели зажигания и горения металлизированного смесового твердого топлива под действием внешнего теплового потока предложена методика уточнения значений констант формальной химической кинетики процесса зажигания и горения, полученных из экспериментов по зажиганию образцов ВЭМ лазерным излучением.

4. Проведено уточнение и валидация физико-математических моделей горения металлизированных ВЭМ с использованием полученных экспериментальных данных о скорости горения и дисперсности КПП, а также полученных величин теплофизических параметров и констант формальной кинетики. Проведено численное моделирование горения образцов ВЭМ, содержащих добавки порошка алюминия. Получено хорошее согласие с данными экспериментально измеренной скорости горения.

5. Проведено расчетно-теоретическое исследование устойчивости горения и погасания МСТТ различного состава при сбросе давления. Получены критические значения глубины и скорости сброса давления, приводящие к погасанию МСТТ различных составов. Показано, что глубина спада давления, при котором происходит погасание топлива, зависит от количества порошка алюминия в составе топлива и его дисперсности. При увеличении количества порошка алюминия в составе топлива и уменьшении размера частиц алюминия, выходящих с поверхности топлива, погасание при спаде давления происходит при меньшем давлении. Это указывает на стабилизирующую роль порошка металла. При резком изменении давления над горящим МСТТ частицы металла продолжают гореть, подогревают газообразные продукты, оттекающие от поверхности топлива, что приводит к ускорению реакций в газовой фазе и восстановлению горения МСТТ

6. Предложена новая физико-математическая модель горения ВЭМ с добавлением порошка бора. Физико-математическая модель основана на подходах динамики многофазных реагирующих сред, учитывает изменение давления газа в пространстве и времени. Выполнено численное исследование особенностей горения ВЭМ, содержащего порошок бора. Модель представлена в двух вариациях: на основе модели Германса и в сопряженной постановке (с учетом процессов в конденсированной фазе).