

Сведения о выполненных работах и
полученных научных результатах
в 2024 году

по проекту **«Разработка средств моделирования связанных процессов нестационарного горения твердых ракетных топлив и нестационарной газодинамики продуктов в камерах сгорания энергоустановок»**,
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 24-21-00071

Руководитель: д-р физ.-мат. наук Крайнов Алексей Юрьевич

Научная проблема, на решение которой направлен проект - разработка средств моделирования связанных процессов нестационарного горения твердых ракетных топлив и нестационарной газодинамики продуктов в камерах сгорания энергоустановок.

Идея состоит в следующем: Из газодинамической модели течения продуктов сгорания в камере сгорания определяется мгновенное значение давления и скорость изменения давления в точках камеры сгорания; из сопряженной модели нестационарного горения твердого топлива определяется значение мгновенной скорости горения топлива в каждой точке его поверхности. Мгновенная скорость горения определяет массоприход продуктов сгорания в камеру.

В результате выполненных работ в первом году выполнения проекта выполнено:

1. На основе сопряженной модели горения твердого топлива исследовано нестационарное горение СТТ при изменении давления в камере сгорания модельной твердотопливной регулируемой двигательной установке. Проведено моделирование регулирования тяги двигателя двумя способами: за счет изменения площади критического сечения сопла по заданному закону во времени; за счет изменения площади горящей поверхности топлива по заданному закону. Получено, что при резком уменьшении давления скорость горения уменьшается до величины меньшей, чем рассчитанная по эмпирической формуле при соответствующем давлении. Уменьшение скорости горения приводит к уменьшению давления в камере сгорания ниже рассчитанного по эмпирической формуле для зависимости скорости горения от давления. При малых величинах характерного времени релаксации камеры сгорания резкое уменьшение давления в камере сгорания может привести к погасанию горения заряда. При резком увеличении давления скорость горения увеличивается выше квазистационарного значения, что приводит к увеличению давления в камере сгорания выше рассчитанного по формуле для квазистационарной скорости горения.

2. Проведено сравнение экспериментально замеренной зависимости роста давления в манометрической бомбе постоянного объема (МБ) при горении навески зерненого пороха с расчетами по термодинамической модели горения навески пороха в МБ с использованием эмпирического закона зависимости скорости горения от давления и по сопряженной модели нестационарного горения пороха. Получено

удовлетворительное согласие результатов расчетов с экспериментальными измерениями.

3. Разработана связанная модель нестационарного горения смесового металлизированного твердого топлива и газодинамики течения и изменения давления в двухконцевой Т-камере. Выбран метод численного решения задачи нестационарного горения и газодинамики продуктов в двухконцевой Т-камере, и разработан алгоритм численного решения. Отработана методика определения величины акустической проводимости горячей поверхности топлива. Исследована нестационарная скорость горения твердого топлива, содержащего частицы алюминия при гармоническом изменении давления над поверхностью горения. Получены зависимости амплитуды колебаний скорости горения от частоты колебаний давления. Амплитуда скорости горения немонотонно зависит от частоты. По мере увеличения частоты амплитуда сначала увеличивается, а затем уменьшается. При частоте изменения давления с полупериодом, превышающим или сравнимым с характерным временем релаксации процессов переноса тепла в твердом топливе, мгновенная скорость горения в нижней точке изменения давления меньше стационарного значения, а в верхней точке – больше. При высоких частотах мгновенная скорость при минимальном давлении выше соответствующей стационарной скорости при этом давлении, тогда как при максимальном давлении мгновенная скорость сгорания меньше, чем стационарная при этом давлении.

4. В итоге в первом году выполнения проекта проведено моделирование нестационарного горения твердого топлива в полузамкнутом объеме с соплом и в МБ. Проведено моделирование нестационарного горения смесового твердого топлива в двухконцевой Т-камере. Проведено исследование эволюции возмущения давления в камере и отработана методика определения величины акустической проводимости поверхности горения твердого топлива.

- Апробирован подход заключающийся в связанной постановке задачи определения параметров к камере сгорания и нестационарной скорости горения топлива в сопряженной постановке задачи.

- Определены закономерности взаимовлияния нестационарности горения твердого топлива и нестационарности внутрибаллистических параметров в РДТТ для условий, в которых распределения параметров продуктов сгорания по пространству не существенно.

- Разработаны средства моделирования нестационарного горения смесовых твердых ракетных топлив и нестационарной термодинамики продуктов в камерах сгорания энергоустановок.

- Проведено исследование влияние нестационарной скорости горения твердых ракетных топлив на изменение внутрикамерных параметров состояния продуктов сгорания и их обратное влияние на скорость горения топлива в условиях существенно нестационарного изменения давления в камере сгорания.

Таким образом, разработан новый подход к моделированию нестационарного горения смесовых твердых топлив, определяемого взаимовлиянием нестационарных

процессов в камере сгорания и нестационарных процессов теплообмена и химического реагирования при горении топлива.

Получены новые фундаментальные результаты в области нестационарного горения высокоэнергетических материалов и взаимовлияния газодинамики и горения в камере сгорания. Полученные результаты опубликованы в высокорейтинговых научных журналах, доложены на тематических конференциях. В соответствии с целями, поставленными в проекте, в течение первого года работ по проекту разработаны основы «средств моделирования связанных процессов нестационарного горения твердых ракетных топлив и нестационарной газодинамики продуктов в камерах сгорания энергоустановок». Разработанный подход может быть применен для камер сгорания различного объема, и для других видов смесевых или унитарных твердых топлив.