

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

по проекту «**Экспериментально-теоретическое исследование горения высокоплотных топлив в условиях установок высокого давления**»,
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 21-79-10054

Руководитель: Рогаев Константин Сергеевич, канд. физ.-мат. наук

Исследование горения новых перспективных топлив или изделий из них (моноблоки, зерновые и трубчатые формы) для ствольных баллистических систем перед непосредственным использованием в них проходят предварительные испытания в условиях замкнутого и/или полужамкнутого объема для определения силы пороха, полного импульса давления, закона горения и поверхности горения. Применение сопловой бомбы (СБ) дает возможность рассмотреть условия перехода горения модельного высокоплотного топлива (МВТ) в ускоренный режим и уточнить скорость горения как при росте давления, так и на спаде. В отличие от манометрической установки, может быть изучено горение МВТ не только при росте, но и при спаде давления в камере заряжания. Используя полученную скорость послыного горения можно определить торцевую поверхность горения. Неподвижность горящего заряда здесь является ключевым фактором, так как исключает влияния процессов, происходящих в выстреле из ствольной системы.

На данном этапе исследования было проведено экспериментально-теоретическое исследование горения высокоплотных топлив с применением сопловой бомбы калибром 23 мм разработанной и изготовленной в НИИ ПММ ТГУ.

В результате оценки на предварительном этапе определены условия заряжания. Были получены расчетные результаты заряжания сопловой установки с воспламенительным пороховым зарядом и топливом характеризующие основные тенденции изменения давления в сопловой камере. Анализ проведенного параметрического исследования позволил определить тенденции по формированию условий заряжания сопловой установки для исследуемых топлив. В результате теоретических исследований проведена оценка возможности использования высокоплотных топлив в условиях сопловой бомбы.

Разработан метод, позволяющий по серии N баллистических опытов ($N > 1$), в которых регистрируется экспериментальная зависимость давления в камере заряжания от времени и дульная скорость снаряда, определить закон горения (зависимости скорости послыного горения от давления и поверхности от степени превращения) для зерненого метательного заряда. Основным достоинством этого метода является то, что заранее не делается никаких предположений о виде этих зависимостей и они получаются как серии точек. Полученные данные можно аппроксимировать любой удобной зависимостью, например, послыная скорость горения – в виде степенной функции, то есть определить в нем показатель степени в

том числе и переменный (возможен разный закон горения при росте и падении давления). Разработан новый подход способный определить законы горения пороха при изменении заснарядного объема и истечении газопороховой смеси. Данный метод будет использован для исследования горения зерновых порохов в баллистической установке, так как сопловую бомбу можно рассматривать как короткоствольную баллистическую установку.

Используемая сопловая бомба представляет собой металлическое устройство с внешним отверстием, через которое происходит истечение продуктов горения изучаемого топлива во внешнюю среду. Сопловая бомба способна выдерживать до 500 МПа. В сопловом блоке располагается сопло с вышибным снарядом-заглушкой позволяющим удерживать давление в сопловой камере до определенного значения, называемого «давлением форсирования». Для отслеживания движения снаряда-заглушки использовался СВЧ-радар. Радар работает путем излучения электромагнитной волны которая проходит до снаряда-заглушки, отражается от него, и отраженная электромагнитная волна возвращается на приемник радара.

Для проведения газодинамических исследований горения перспективных высокоплотных топлив были разработаны новые конструктивно-компоновочные схемы зарядов для сопловой бомбы. Проведенное экспериментальное исследование показало возможности сопловой установки в условиях применения традиционных порохов. Исследованы возможности применения разных конструктивно-компоновочных схем заряда, а также рассмотрены разные режимы открытия сопла. Опытным путем определены условия заряжания, позволяющие получать требуемый уровень давления при открытии сопла.

В результате экспериментальных исследований проведена проверка работоспособности технических решений, разработанной системы синхронизации и определенных условий заряжания при использовании традиционных порохов в условиях сопловой бомбы. Полученные технические решения и разработанные конструктивно-компоновочные схемы зарядов будут использованы для дальнейшего исследования горения высокоплотных топлив в условиях сопловой бомбы.

Получены экспериментальные зависимости давления от времени для высокоплотного топлива для различных диаметров критического сечения сопла. Получена картина горения топлива в условиях сопловой установки. Проведены экспериментальные исследования горения высокоплотных топлив в условиях сопловой бомбы для определения законов горения топлив. Рассмотрены некоторые особенности истечения продуктов горения пороха и топлива через различные конфигурации соплового блока. Получен закон горения исследуемого модельного высокоплотного топлива при истечении продуктов горения через сопло. Определены критические диаметры сечения сопел, позволяющих поддерживать одинаковый уровень давления в сопловой камере, при различных давлениях в камере сопловой установки. Показано, высокоплотные топлива могут быть использованы в сопловых установках с возможностью поддержания давления в полужамкнутом объеме.

Проведено 50 опытов по горению зарядов различного типа в сопловой бомбе. Из них в 16 опытах исследовано горение порохового пироксилинового пороха. В 34 опытах в качестве заряда исследованы два типа модельного высокоплотного топлива. Плотности заряжения варьировались от 0.1 до 0.5.

Запланировано продолжение фундаментальных исследований, связанных с исследованием горения высокоплотных топлив в манометрической, сопловой бомбе и баллистической установке, в том числе с использованием зарядов сложной формы.

В результате выполнения проекта в 2022-2023 годах достигнуты следующие научные результаты по трем направлениям:

1. Проведена оценка по определению условий заряжения сопловой установки с воспламенительным пороховым зарядом и топливом характеризующие основные тенденции изменения давления в сопловой камере. Разработан метод, позволяющий по серии N баллистических опытов ($N > 1$), в которых регистрируется экспериментальная зависимость давления в камере заряжения от времени и дульная скорость снаряда, определить закон горения (зависимости скорости послыного горения от давления и поверхности от степени превращения) для зернового метательного заряда. Основным достоинством этого метода является то, что заранее не делается никаких предположений о виде этих зависимостей и они получаются как серии точек.

2. Для проведения газодинамических исследований горения перспективных высокоплотных топлив были разработаны новые конструктивно-компоновочные схемы зарядов для сопловой бомбы. Исследованы возможности применения разных конструктивно-компоновочных схем заряда, а также рассмотрены разные режимы открытия сопла. Полученные технические решения и разработанные конструктивно-компоновочные схемы зарядов будут использованы для дальнейшего исследования горения высокоплотных топлив в условиях сопловой бомбы.

3. Получена картина горения топлива в условиях сопловой установки. Проведены экспериментальные исследования горения высокоплотных топлив в условиях сопловой бомбы для определения законов горения топлив. Рассмотрены некоторые особенности истечения продуктов горения пороха и топлива через различные конфигурации соплового блока. Получен закон горения исследуемого модельного высокоплотного топлива при истечении продуктов горения через сопло.

По результатам исследований опубликованы и направлены в печать 7 работ, в том числе, в научных журналах, индексируемых базами данных Web of Science и Scopus – 4, сделано 5 докладов на научных мероприятиях (конференциях, симпозиумах и пр.).