

Сведения о ходе выполнения проекта № 14.577.21.0157

на тему: «Разработка активной бортовой системы спуска отработанных ступеней ракет космического назначения с маршевыми жидкостными ракетными двигателями на основе использования энергетических ресурсов, заключённых в невырабатываемых остатках топлива в баках ступеней».

этап № 2

Целью прикладных научных исследований на данном этапе - является разработка математических моделей: синтеза ТН; процессов взаимодействия ТН с газифицируемыми модельными жидкостями; процесса сброса продуктов газификации через сопла газореактивной системы; процесса ввода продуктов газификации в погранслои макетов, моделирующих обтекание ступени РКН при ее движении на атмосферном участке спуска, их программная реализация и проведение параметрических расчетов (в соответствии с пунктами 4.2.1 и 4.2.3 технического задания на выполнение ПНИЭР).

Методы прикладных научных исследований на данном этапе – математическое моделирование, параметрические расчеты, анализ результатов.

В ходе выполнения проекта по Соглашению о предоставлении субсидии от 28 ноября 2014 г. № 14.577.21.0157 с Минобрнауки России в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» на этапе № 2 в период с 1 января по 30 июня 2015 г. выполнялись следующие работы:

1. Разработка математической модели синтеза ТН и ее программная реализация.
2. Разработка математической модели процессов взаимодействия ТН с газифицируемыми модельными жидкостями и ее программная реализация.
3. Разработка математической модели сброса продуктов газификации через сопла газореактивной системы и ее программная реализация.
4. Разработка математической модели процесса ввода продуктов газификации в погранслои макетов, моделирующих обтекание ступени РКН при ее движении на атмосферном участке спуска, и ее программная реализация.
5. Проведение математического моделирования с использованием разработанных математических моделей для получения предварительных данных по системам, входящим в состав АБСС отработанных ступеней.
6. Проведение подготовительных работ по модернизации экспериментального стенда ЭС2 для исследования процесса газификации, в том числе приобретение технологического и контрольно-измерительного оборудования (Этап 2).
7. Проведение маркетингового исследования с целью изучения перспектив коммерциализации РИД, полученных при выполнении ПНИЭР.

Состав выполненных работ удовлетворяет условиям Соглашения о предоставлении субсидии, в том числе Техническому заданию и Плану-графику исполнения обязательств.

На основании проведённых исследований получены следующие основные результаты.

На основании проведённых исследований получены следующие основные результаты, которые представлены в промежуточном отчете о ПНИЭР.

1. Проведено математическое моделирование и исследование синтеза ТН.

Рассмотрены и проанализированы принципиальные подходы, используемые при создании газогенерирующих топлив. Для топлива конкретной рецептуры скорость газогенерации определяется в первую очередь скоростью горения топлива.

В целом для процесса получения теплоносителя существенны как стабильность процесса зажигания, так и последующий выход на устойчивый режим горения газогенерирующего состава. Именно с целью изучения всех стадий работы газогенерирующего топлива предложена математическая модель, в которой из исходного конденсированного вещества газообразование происходит двумя путями - испарением и химическим разложением. В газовой фазе идут две последовательные химические реакции, происходит дальнейшее нагревание вещества, и диффузионное перераспределение состава газовой смеси.

2. Проведено математическое моделирование и исследование процесса взаимодействия ТН с газифицируемыми модельными жидкостями.

Рассмотрены и проанализированы направления в исследовании процессов испарения жидкости. При разработке математической модели процесса испарения жидкости рассматривалось два основных типа математических моделей: сосредоточенная и распределенная.

Получены результаты моделирования сосредоточенные модели процесса испарения на основе температур поверхностей, изменения давления и массы жидкости. По результатам, полученных при моделировании погрешность расчета уже составляет 10 %.

Проведено моделирование движения потоков газа внутри модельной емкости при различных углах ввода ТН в программном комплексе ANSYSFluent и проведено сравнение скоростей и температур потоков при различных углах ввода ТН.

3. Проведено математическое моделирование и исследование процесса сброса продуктов газификации остатков компонентов через сопла для баков горючего и окислителя с определением создаваемой тяги.

Проведен анализ возможности создания тяги сбросом газифицированных компонентов через сопловые блоки отдельно для каждого бака горючего и окислителя.

Расчеты тяги, развиваемой при сбросе продуктов газификации без учета химических реакций через сопла сброса, показали, что сброс продуктов газификации окислителя обеспечивает большую величину тяги и суммарный импульс тяги по сравнению с продуктами газификации горючего на $13\div 15\%$.

Обсуждена возможность создания тяги путем сжигания газифицированных компонентов в баках горючего и окислителя в камере газового ракетного двигателя. Расчетным путем определены границы процентных соотношений активных и инертных составляющих газовой смеси с точки зрения обеспечения горения в газовом ракетном двигателе. При определенных отношениях «обедненности» активной части газовой смеси процесс работы ГЗРД становится невозможным. При способе сброса газифицированных компонентов из баков путем дожигания их в камере ракетного двигателя для получения тяги существуют ограничения по степени «разбавленности» активной части смеси инертными составляющими.

Применение закрученных течений в камерах сгорания газовых двигателей может существенно повысить эффективность работы за счет увеличения времени пребывания горючей смеси в камере.

Предложена схема газореактивной системы при дожигании газовых компонентов в вихревой камере сгорания

4. Проведено математическое моделирование и исследование процесса ввода продуктов газификации в погранслой макетов, моделирующих обтекание ступени РКН при ее движении на атмосферном участке спуска.

Разработана инженерная методика по определению параметров системы ввода газа в ПС, его отсоса и оценке соответствующих изменений аэродинамических характеристик ОЧ ступени РКН при её движении на атмосферном участке траектории спуска. Проведены численные эксперименты для оценки изменения аэродинамических характеристик при вдуве газов и отсосе пограничного слоя на примере отделяющейся части первой ступени РКН «Союз-2.1.в».

Результаты полученные при моделировании могут быть использованы для исследования вопроса формирования аэродинамических характеристик ступеней РКН за счет воздействия на ПС при их движении в атмосфере, а также в качестве опорной точки для дальнейших исследований связанных с аэро-газодинамикой сверхзвуковых потоков при обтекании тел.

5. Оформлена документация программной реализации математических моделей

6. Описание работ, выполненных за счет софинансирования представлены в Приложениях Б и В. Краткие выводы по результатам этих работ:

- описан экспериментальный стенд по изучению: сброса газа наддува из бака; влияния акустического воздействия на процесс газификации в условиях пониженного давления;

- проведен анализ имеющейся экспериментальной базы по проведению имитационного моделирования процесса газификации модельной жидкости и сброса газа наддува;

- рассмотрены выполненные мероприятия, направленные на повышения эффективности и качества исследований существующего экспериментального стенда;

- представлены рекомендации по дальнейшей доработке экспериментального стенда на основе ЭМУ;

- определен состав и технические характеристики для модернизации экспериментального стенда, в том числе приобретения технологического, контрольно- измерительного оборудования и материалов;

- представлены маркетингового исследования с целью изучения перспектив коммерциализации РИД, полученных при выполнении ПНИЭР;

- на основании проведенных исследований можно сделать предварительный вывод о конкурентоспособности предлагаемой технологии.

Результаты выполненных работ соответствует требованиям Технического задания и нормативной документации.

Комиссия Минобрнауки России признала обязательства по соглашению на отчетном этапе исполненными надлежащим образом.