



Федеральное космическое агентство  
Федеральное казенное предприятие  
"Научно-испытательный центр  
ракетно-космической промышленности"



**ФКП «НИЦ РКП»**

141320, Россия, Моск. обл., Сергиево-Посадский р-н,  
г. Пересвет, ул. Бабушкина, д. 9  
Тел.(495)786-2270, (496)546-3321. Телекс 846246 АГАТ  
Факс (496)546-7698, (495)221-6282(83)  
E-mail: [mail@nic-rkp.ru](mailto:mail@nic-rkp.ru)  
ОГРН 1025005328820  
ИНН/КПП 5042006211/504201001

От 03.12.14 № 1-36-4039

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Ученому секретарю  
диссертационного совета  
Д212.125.08 Московского  
авиационного института  
(национального  
исследовательского  
университета)

Ю.В.Зуеву

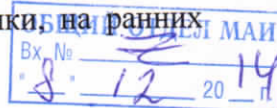
МАИ, Волоколамское ш., д. 4,  
Москва, А-80, ГСП-3, 125993

## ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации Богачевой Д.Ю. «Моделирование внутреннего (завесного) охлаждения ракетного двигателя малой тяги на экологически чистых газообразных компонентах топлива», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 - "Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов"**

В диссертации Д.Ю. Богачевой отражены вопросы, касающиеся разработки методики численного моделирования внутрикамерных процессов в ракетном двигателе малой тяги (РДМТ), работающем на газообразном кислородно-метановом топливе, а также результаты исследований с использованием этой методики процессов перемешивания завесы с основным потоком и горения топлива в разработанном экспериментальном РДМТ.

В настоящее время возрос интерес к использованию в ракетно-космических двигательных установках экологически чистых топливных пар, таких как кислород-метан. Примером является двигатель-демонстратор С5.86.1000-0А конструкции «КБхиммаш им. А.М. Исаева». Ключевой проблемой при использовании этой топливной пары является обеспечение максимально возможного удельного импульса при сохранении температуры стенки камеры сгорания на уровне ниже максимальной рабочей температуры материала. Одним из возможных решений данной проблемы является применение завесного охлаждения камеры сгорания компонентом топлива с минимально возможным расходом. Оптимизировать расход на завесу можно экспериментальным путем. Однако, в связи с требованиями сокращения затрат на разработку ракетно-космической техники на ранних



этапах разработки РДМТ целесообразно использование математического моделирования для определения потребного расхода охладителя.

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработанной на базе программного комплекса Ansys CFX математической модели рабочего процесса в РДМТ с внутренним завесным охлаждением, а также в выработанных рекомендациях по организации газового завесного охлаждения и расчету внутрикамерных процессов в РДМТ.

Выполнено моделирование процессов течения и горения в секторной расчетной области, составляющей  $1/8$  часть камеры сгорания РДМТ. В стационарной постановке с использованием модели диссипации вихря исследовано влияние способов подачи компонентов топлива на эффективность и тепловое состояние двигателя. Верификация математической модели кратковременными огневыми испытаниями разработанного РДМТ позволила уточнить значения интенсивности турбулентности потоков и коэффициента диффузии.

Проведено моделирование внутрикамерных процессов в полноразмерном объеме камеры сгорания с учетом распределения компонентов топлива по смесительной головке. Исследована возможность использования различных подходов к моделированию процесса турбулентного горения: EDM и Flamelet. Показано, что модель EDM может быть использована для многих топливных пар: НДМГ+АТ, керосин+ВПВ, ММГ+АТ и других.

Разработан и создан экспериментальный РДМТ. Проведены огневые испытания разработанного РДМТ с выходом двигателя на стационарный режим работы по температуре стенки с использованием только внутреннего завесного охлаждения. Результаты численного моделирования удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными.

Представленная методика моделирования внутрикамерных процессов в РДМТ с учетом завесного охлаждения позволяет провести предварительную оценку основных характеристик двигателя с учетом особенностей конструкции и выбрать режим работы двигателя для обеспечения удовлетворительного теплового состояния конструкции.

По содержанию диссертационной работы имеются следующие замечания.

1. В случае использования модели диссипации вихря состав продуктов сгорания определяется одной брутто-реакцией. Использование более детальных химических реакций позволило бы получить более достоверное распределение температуры.

2. В работе приведено расчетное сравнение эффективности использования кислородной и метановой завес для защиты стенок камеры сгорания, показано преимущество метановой завесы с точки зрения достижения максимального удельного импульса и сохранения температуры стенки ниже 1400 К. Однако все представленные эксперименты

проведены либо с кислородной, либо с воздушной завесой. Использование же метановой завесы для охлаждения стенок камеры сгорания требует проведения дополнительных экспериментов.



Отмеченные замечания не умаляют научного и практического значения диссертационной работы Д.Ю. Богачевой.

По теме диссертации автором сделано достаточное количество публикаций в виде докладов и статей.

Работа представляет собой законченный научный труд, включающий в себя все необходимые элементы и полностью удовлетворяющий требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертационным работам. Тема диссертации является актуальной, отличается новизной, поставленная цель достигнута. Результаты работы могут быть использованы разработчиками РДМТ.

Д.Ю. Богачева заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Начальник отдела  
ФКП «НИЦ РКП»  
кандидат техн. наук,  
доцент,  
член-корреспондент  
Российской академии  
космонавтики им.  
К.Э. Циолковского

Пикалов Валерий Павлович

Ведущий инженер  
ФКП «НИЦ РКП»

Иванов Валентин Николаевич

Подписи В.П. Пикалова и  
В.Н. Иванова  
удостоверяю  
Заместитель генерального  
директора ФКП «НИЦ  
РКП»  
кандидат техн. наук



Катенин Александр Владимирович