

ОТЗЫВ

Официального оппонента о диссертации Высоцкой Светланы Абдулмянафовны

«Численное исследование вихревых структур и автоколебаний давления в ракетном двигателе
твердого топлива с утолщенным соплом»

на соискание ученой степени кандидата технических наук

по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных
аппаратов»

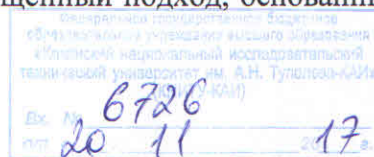
Известно, что при определенных условиях в камерах сгорания ракетных двигателей процесс горения становится неустойчивым. Самовозбуждение акустических колебаний газа в камерах сгорания оказывается чрезвычайно нежелательным явлением, которое отрицательно сказывается на стабильности тяги, работы бортовых систем, а в ряде случаев приводит к механическим повреждениям элементов конструкции двигателя. Эта проблема была успешно решена для первых и последующих, ныне действующих ракетных двигателей на твердом топливе (РДТТ). Однако, универсальных решений не было найдено. Поэтому при создании новых образцов ракетной техники с указанной проблемой можно столкнуться вновь. Следовательно, задача по разработке эффективных методов расчета акустических и газодинамических процессов с целью ранней диагностики акустической неустойчивости горения в камерах сгорания РДТТ является **актуальной** научно-технической задачей.

Диссертация состоит из Введения, трех глав, Заключения, списка цитируемой литературы и одного приложения, изложена на 87 страницах.

Во Введении приводится краткая характеристика работы: показана актуальность темы, дана краткая аннотация содержания диссертации.

В Главе 1 дан анализ экспериментальных и теоретических работ по исследованию пульсационного горения в камерах сгорания РДТТ. Основное внимание уделено одной из основных причин, приводящих к неустойчивости горения – когерентным вихревым структурам в проточной части камеры сгорания. Показано, что в настоящее время структура течения газа в камере сгорания недостаточно изучена, отсутствуют рекомендации по обеспечению гидродинамической и акустической устойчивости проточной части двигателя. На основании проведенного анализа сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Вторая глава посвящена методической части исследования. Дан анализ современных программных продуктов, позволяющих проводить численное моделирование рабочего процесса в камере сгорания РДТТ. Диссертант остановила свой выбор на программном обеспечении ANSYS FLUENT. Показано, что прямое численное решение уравнений Навье-Стокса возможно только с применением суперкомпьютера. В данной работе используется упрощенный подход, основанный



на модели крупных вихрей (LES) и модели адаптированной пристеночной локальной вязкости (WALE). Приведены все необходимые для решения поставленной задачи уравнения и базовые соотношения, сформулированы общие требования к расчетной сетке.

Основное содержание диссертационной работы Высоцкой С.А. изложено в **Главе 3**. В качестве объекта исследования выбрана камера сгорания с утопленным соплом. Была поставлена задача определить возможность появления когерентных структур и их интенсивность в прямооточном тракте двигателя для заданного поля пульсаций давления, соответствующего продольной стоячей волне. Согласно выбранной методике диссертант разработала блок-схему численного решения поставленной задачи. Расчеты показали следующее. Основными причинами акустической неустойчивости работы двигателя являются периодические тороидальные вихри в камере сгорания и увеличение площади горения вблизи пучности давления стоячей волны. Появление вихрей обязательно резкому расширению канала заряда, а также встречному потоку газа из-за утопленной части двигателя. С целью устранения вихревых структур рекомендуется использовать звездообразную (многощелевую) форму канала заряда и конфузорный насадок, установленный перед утопленным соплом. Кроме того, излучение акустической энергии через кольцевой участок между утопленной частью сопла и конфузорным насадком существенно снижает амплитуду колебаний давления и интенсивность теплового потока к элементам конструкции соплового блока. Показано также, что одним из способов устранения неустойчивого режима горения является применение топлив с наименьшим показателем степени в законе скорости горения.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием фундаментальных положений теории горения, апробированных численных моделей, методов и программных продуктов, согласованием результатов с экспериментальными данными и результатами вычислений других авторов.

По теме диссертации имеется достаточное количество публикаций. Результаты работы апробированы на ряде конференций и научных семинаров.

В целом автореферат достаточно полно отражает основное содержание диссертации.

По диссертационной работе имеются следующие **замечания**:

1. В работе применяется «квазистационарная» модель горения. Использовался известный факт, что при пульсациях давления с частотой 25 Гц нестационарная скорость горения практически совпадает со стационарной (с. 46). Однако, с увеличением частоты начнет проявляться время запаздывания горения. Поэтому, утверждение (с. 47) что при частоте 160 Гц закон скорости горения будет таким же, как при 25 Гц выглядит недостаточно убедительным.

2. Было бы желательно видеть Заключение диссертационной работы в более конкретном виде. Сначала перечислить конкретные основные результаты численного моделирования, изучен-

ных процессов, а затем на их основе сформулировать рекомендации по обеспечению устойчивости рабочего процесса в двигателях рассмотренного типа.

3. Термин «положительная пульсация давления» (с. 47) является неудачным. Есть положительная и отрицательная фазы пульсаций давления.

Сделанные замечания не влияют на оценку диссертационной работы в целом, которая является законченным научным исследованием. Совокупность разработанных методик и полученных результатов можно квалифицировать как **новое научное достижение**, развивающее теорию устойчивости процессов, происходящих в камерах сгорания РДТТ.

Практическая значимость полученных результатов состоит в том, что на стадии разработки перспективных РДТТ они дают возможность прогнозировать условия, когда появление акустической неустойчивости рабочего процесса наиболее вероятно и какие изменения параметров элементов конструкции двигателя необходимы для снижения этой вероятности.

Считаю, что диссертационная работы удовлетворяет п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», а её автор Высоцкая Светлана Абдулмянафовна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

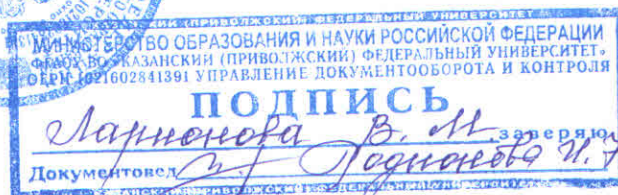
Профессор кафедры технической физики и энергетики ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», доктор технических наук, доцент

420008 г. Казань, ул. Кремлевская, 18
(843)2337054

Ларионов Виктор Михайлович



«10» ноября 2017 г.



СВЕДЕНИЯ ОБ ОФИЦИАЛЬНОМ ОППОНЕНТЕ

по диссертационной работе Высоцкой Светланы Абдулмянафовны на тему: «Численное исследование вихревых структур и автоколебаний давления в ракетном двигателе твердого топлива с утопленным соплом» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

№	Фамилия, Имя, Отчество	Ученая степень, ученое звание	Полное наименование организации, почтовый адрес	Должность	Список основных публикаций по теме диссертации
1	Ларионов Виктор Михайлович	Доктор технических наук, доцент	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18	Профессор кафедры технической физики и энергетики	<p>1. Иовлева, О.В. Условия максимума амплитуды колебаний газа в камере сгорания типа ре-зонатора Гельмгольца /В.М. Ларионов, О.В. Иовлева// Известия вузов. Авиационная техника. - 2012. " №4.- С. 47-51</p> <p>2. Larionov, V.M. Energy-saving two-stroke blower based on piston acoustical resonator / R.A. Ermakov, A.F. Sadykov, R.G. Galiullin, V.M. Larionov// Chemical and Petroleum Engineering.- 2012.-Vol 48, №1-2 .- Pp. 32-34</p> <p>3. Yallina, E.V. Pulsating combustion of gas fuel in the combustion chamber with closed resonant circuit / E.V. Yallina, V.M. Larionov, O.V. Iovleva // Journal of Physics: Conference Series. – 2013. – V. 479, 012017.</p> <p>4. Fadeev, S.A. Experimental installation to study the influence of acoustic oscillations on the characteristics of a glow discharge / S.A. Fadeev, N.F. Kashapov and V.M. Larionov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2014. - V. 69, 012006.</p> <p>5. Larionov, V.M. Effect of supplement-</p>

				<p>tation of water vapor to the environmental characteristics of the combustion of propane-air mixture / V.M. Larionov, G.A. Mitrofanov, O.V. Iovleva // Journal of Physics: Conference Series. – 2014. – V. 567, 012028.</p> <p>6. Semenova, E.V. The acoustic model of oscillations of gas combustion in coaxial pipes / E.V. Semenova, V.M. Larionov, E.I. Kazakova // Journal of Physics: Conference Series. – 2014. – V. 567, 012033.</p> <p>7. Semenova, E.V., Larionov, V.M., Iovleva, O.V. Acoustic gas oscillations in coaxial tubes (2017) Journal of Physics: Conference Series, 789 (1), № 012049</p>
--	--	--	--	---

Проректор К(П)ФУ по научной деятельности,
профессор

Профессор



Нургалиев Д.К.

Ларионов В.М.