



ФЕДЕРАЛЬНОЕ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ДВОЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ «СОЮЗ»

Россия, 140090, Московская обл.,  
г. Дзержинский,  
ул. Академика Жукова, д. 42  
тел.: 551-76-00, факс: 551-11-44

№ 07 1117 № 4384/2017-1  
На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Экз. №1

Ученому секретарю  
диссертационного совета Д 212.079.02  
ФГБОУ ВО «Казанский национальный  
исследовательский технический  
университет им. А.Н. Туполева-КАИ»  
д-ру техн. наук

В.А. Алтунину

420111, г. Казань, ул. К. Маркса, д.10

Факс: (843) 238-41-10  
(843) 236-60-32

e-mail: cvetochek1.87@mail.ru

В ответ на Ваш исх. № 99-1310-2918/49 от 05.10.2017г. высылаю Вам отзыв на автореферат диссертационной работы Высоцкой Светланы Абдулмянафовны на тему «Численное исследование вихревых структур и автоколебаний давления в ракетном двигателе твердого топлива с утопленным соплом», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергетические установки летательных аппаратов».

Приложение. Отзыв, 2 экз., на 4-х листах каждый.

Заместитель генерального директора  
д-р техн. наук, профессор

С.А. Гусев

Исп. Попов В.С., лаб. 217  
тел. 70-53, 07.11.2017 г.



ФЕДЕРАЛЬНОЕ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ДВОЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ «СОЮЗ»

Экз. №1

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора  
д-р техн. наук, профессор

Россия, 140090, Московская обл.  
г. Дзержинский,  
ул. Академика Жукова, д. 42  
тел.: 551-76-00, факс: 551-11-44

С.А. Гусев

2017 г.

№ \_\_\_\_\_

от \_\_\_\_\_

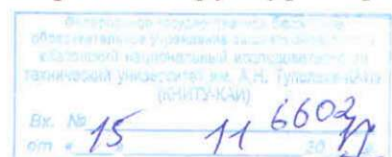


### ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Высоцкой Светланы Абдулмянафовны на тему «Численное исследование вихревых структур и автоколебаний давления в ракетном двигателе твердого топлива с утопленным соплом», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергетические установки летательных аппаратов»

Математическое моделирование вихревых структур и автоколебаний давления в ракетном двигателе твердого топлива и результаты исследований, представленные в автореферате диссертации, относятся к **актуальной** проблеме совершенствования методов прогнозирования термогазоакустической устойчивости внутрикамерных процессов в РДТТ.

В работе детально исследуется один из малоизученных факторов влияния параметров турбулентных течений в виде вихревых структур, обусловленных начальными и граничными условиями и геометрией областей течения продуктов сгорания, на устойчивость вынужденных колебаний в камере РДТТ. Решается задача моделирования крупных вихревых структур с приме-



нением программного модуля Ansys Fluent, построенного на основе фильтрованной системы уравнений Навье-Стокса. Система адаптирована к внутрикамерным течениям в РДТТ с низкими и средними частотами колебаний давления, наиболее опасными с точки зрения работоспособности летательных аппаратов. Замыкание системы уравнений осуществляется с использованием методики подсеточного моделирования турбулентной вязкости, позволяющей учесть взаимное влияние мелких и крупных вихрей. По оценкам зарубежных и отечественных специалистов используемый метод моделирования турбулентных течений рассматривается как основной для трехмерного нестационарного течения вязкого газа.

Результаты расчетов автоколебаний давления в камере РДТТ с утопленным соплом, представленные в автореферате, указывают на причинно-следственную связь колебаний давления с наличием резонансной вихревой полости над утопленным соплом и уточняют амплитудно-частотные характеристики колебаний, ранее приближенно оцениваемые на основе критерия гомохронности - числа Струхалья. При этом в диссертации принимается допущение о существовании квазистационарных продольных акустических волн.

Результаты численного моделирования вихревых турбулентных течений наглядно отображаются графическим аналогом. Способ отображения позволяет проводить сравнение результатов численного и физического моделирования, являясь инструментом исследования и обоснования адекватности методов моделирования.

Научная новизна исследований, результаты которых изложены в автореферате диссертации, заключается в разработке нового алгоритма численного моделирования пульсаций давления в камере РДТТ и в углублении понимания механизма пульсации.

Следует заметить, что постановка исследуемой задачи и выбор расчетных схем в диссертации отвечают результатам исследований в квазистациона-

нарной постановке, способы подавления колебаний соответствуют известным из отработки мерам по исключению внутрикамерной неустойчивости в РДТТ (вибрационного горения топлив, гидроакустической неустойчивости и т.д.). В отечественной практике твердотопливного двигателестроения такие исследования широко проводились в институтах СО и УрО РАН, учреждениях высшей школы и на предприятиях ВПК.

В качестве рекомендаций и замечаний по материалу автореферата можно отметить следующее.

1. Разработанный алгоритм моделирования пульсаций давления в камере РДТТ в дальнейшем целесообразно модифицировать для применения при высокочастотных колебаниях, соответствующих нестационарным процессам горения топлив, в направлении учета влияния на течение и вихреобразование турбулентных потоков раскрытия заманжетных полостей в РДТТ со скрепленным с корпусом зарядом, а также для моделирования течений в РДТТ с регулируемой тягой при изменении площади критического сечения сопла.

2. В оценку пульсаций тяги двигателя, связанных с возникновением в потоке вихревых структур, не целесообразно включать нестационарную составляющую тяги, поскольку она обусловлена заданием волнового течения в начальных условиях при решении задачи.

3. Сделанный в диссертационной работе вывод о существенном влиянии показателя степени в законе скорости горения на уровень пульсаций давления требует экспериментального подтверждения.

Данные замечания не снижают общего впечатления от работы. Изложение материала в автореферате диссертации ясное, отличается краткостью с представлением иллюстраций в необходимом объеме.

Судя по материалам автореферата, диссертация является законченной научно-квалификационной работой, содержащей новый алгоритм численного моделирования пульсаций давления в камерах РДТТ, резуль-

таты проведенных исследований имеют научную и практическую ценность. Рассматриваемая диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым ВАК РФ «Положение о порядке присуждения ученых степеней» (постановление Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842), а ее автор Высоцкая Светлана Абдулмянафовна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергетические установки летательных аппаратов».

Д-р техн. наук, начальник лаборатории  
ФГУП «ФЦДТ «Союз»  
140090, Московская обл., г. Дзержинский  
ул. Академика Жукова, д. 42  
тел. 8-495-551-77-43

Бурский  
Геннадий  
Викторович

Канд. техн. наук, начальник группы НТО-1  
ФГУП «ФЦДТ «Союз»  
140090, Московская обл., г. Дзержинский  
ул. Академика Жукова, д. 42  
тел. 8-495-551-70-53

Попов  
Валентин  
Семёнович