



ЖКЗ 1

ОКПО  
07508902

АКЦИОНЕРНОЕ  
ОБЩЕСТВО  
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ  
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ  
ЦЕНТР



"АЛТАЙ"

659322, г. Бийск Алтайского края, ул. Социалистическая, 1,  
факс (3854)311309, 317283, телетайп-телекс 233413 КЛЕН,  
тел. (3854) 301067, 301807,  
e-mail: post@frpc.secna.ru, Internet: http://www.frpc.secna.ru

27 НОЯ 2018 № 08-5028

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Ученому секретарю

диссертационного Совета Д212.125.14

на базе ФГБОУ ВПО «Московский  
авиационный институт (национальный

исследовательский университет)»

к.ф-м.н . снс **Гидаспову В.Ю.**4125993, г. Москва, А-80, ГСП-3,  
Волоколамское шоссе, д.4

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый заместитель генерального директора-  
директор-главный конструктор по НИОКР

АО «ФНЦ «Алтай», к.т.н.



А.В. Литвинов

« 27 » / 11 2018 г.

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Куроедова Алексея Анатольевича на тему «Исследование линейной акустической неустойчивости рабочего процесса в энергетических установках твердого топлива», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Известно, что при определенных условиях в форсированных камерах сгорания (КС) энергетических установок твердого топлива (ЭУТТ) могут возбуждаться регулярные высокочастотные акустические колебания давления с частотой, близкой к собственной частоте (до 1000 и более Гц) колебаний газа – продуктов сгорания (ПС) твердого топлива (ТТ) в объеме КС ЭУТТ.

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ

Вх. №

06 / 12 20 18

Акустическая неустойчивость внутрикамерного процесса в ЭУТТ – это автоколебательный процесс с положительной обратной связью между нестационарной скоростью горения ТТ и колебаниями давления в потоке ПС в проточном канале КС.

Несмотря на ранее проведенные исследования в нашей стране и за рубежом этого физически сложного явления, характерного не только для ЭУТТ, но и ЖРД и других тепловых установок, до настоящего времени отсутствует его полное понимание, а следовательно, возможности его учета и исключения еще на этапе проектирования.

В то же время последствия проявления акустической неустойчивости внутрикамерного процесса в ЭУТТ может привести к катастрофическим последствиям не только в отношении обеспечения нормального функционирования ЭУТТ, но и функционирования системы управления (СУ) и носителя с ЭУТТ в целом.

Предложенные на основе ранее проведенных исследований способы демпфирования акустической неустойчивости внутрикамерного процесса в ЭУТТ с помощью многощелевых продольных перфораций каналов зарядов из ТТ, ввода в состав ТТ порошков металлического горючего (алюминия и т.д.) в ограниченной мере решают эту проблему. Но, как оказалось, наличие в ПС к-фазы ( $Al_2O_3$  и т.д.), подавляя тангенциальную моду колебаний, слабо демпфируют продольные моды колебаний давления.

В настоящее время значительный рост габаритов (прежде всего, длины) ЭУТТ специального назначения, отказ от многощелевых перфораций каналов, использование в конструкциях ЭУТТ частично «утопленных» в КС выходных блоков (ВБ), форсирование режимов работы ЭУТТ с использованием новых высокоэнергетических составов, рост скоростей потоков ПС в канале и т.п. вновь вернули проблему акустической неустойчивости внутрикамерных процессов в ЭУТТ в разряд **актуальных и востребованных практикой** отработки ЭУТТ проблем.

Этому способствует также существенный рост стоимости проектирования и отработки новых поколений ЭУТТ. Поэтому использование современных



теоретических методов исследования и численных расчетов параметра акустической неустойчивости в ЭУТТ на этапе проектирования стала вынужденно необходимой и рациональной альтернативой дорогостоящим экспериментальным проверкам и доработкам рецептур составов и конструктивных узлов при отработке ЭУТТ с целью обеспечения акустической устойчивости внутрикамерного процесса.

Для решения этой проблемы автором была создана комплексная расчетно-экспериментальная («полуэмпирическая») методика. Её **научная новизна** заключается в следующем:

- автором разработана и изготовлена экспериментальная установка по определению акустических свойств зоны горения твердых топлив с использованием вспомогательных камер генерации давления;

- с использованием разработанной установки проведена серия экспериментов по определению акустической проводимости зоны горения безметалльного и металлизированного топлив;

- предложена модификация энергетической методики определения линейной неустойчивости рабочего процесса в ЭУТТ с использованием математически обоснованного способа усреднения по времени рабочих параметров в камере сгорания;

- создана комплексная методика исследования устойчивости рабочего процесса в ЭУТТ с осесимметричной проточной частью с учетом взаимодействия теплового потока от частиц конденсированной фазы ПС и акустической проводимости зоны горения ТТ.

**Практическая ценность** результатов работы заключается в создании комплексной методики исследования линейной неустойчивости рабочего процесса в ЭУТТ, включающей в себя методику экспериментального определения акустических свойств зоны горения, позволяющей на ранних стадиях проектирования определять возможность возникновения неустойчивых режимов работы ЭУТТ. Это обстоятельство позволяет снизить стоимость отработки изделий за счет более точного прогнозирования на этапах проектирования поведения ЭУТТ и снижения

количества испытаний, что особенно ценно, в т.ч. по экономическим показателям, при отработке крупно-габаритных изделий.

**Достоверность** результатов исследований автора обеспечена тем, что в качестве основы для разработанной автором методики служат математическое моделирование современного уровня и экспериментальные исследования, позволяющие проводить комплексный анализ физических явлений возникновения неустойчивости. Достоверность полученных результатов подтверждается также сопоставлением результатов расчетов, полученных по предложенной методике, с данными экспериментальных исследований и результатами расчетов, проведенных с использованием других методов.

Работа автора, по мнению рецензентов, прошла достаточный для подобных работ объем **апробации**: её основные результаты доложены на трех конференциях в МФТИ (2011-2013 г.г.); научных семинарах и семинарах в ГНЦ ФГУП «Исследовательский центр им. М.В. Келдыша»; опубликованы в 3-х статьях в сборнике «Труды МАИ (2016-2018 г.г.), включенных в перечень, рекомендованный ВАК РФ.

Не умаляя научно-методической и практической ценности полученных в работе Куроедова А.А. результатов, рецензенты отмечают ряд **замечаний** по тексту автореферата:

- в автореферате высказано предположение о том, что размер зоны, в которой происходит разложение топлива и дальнейшее химическое взаимодействие ПС, существенно меньше радиуса проточной части КС, но при этом не приведены расчетные оценки или данные замеров размеров этой зоны;

- отсутствуют пояснения относительно погрешностей определения нанесенных на графики коэффициентов затухания и других величин (с.17);

- было бы полезно обозначить направление дальнейших исследований проблемы;

- не приведены экспериментальные диаграммы давления с пиками возмущений в установках, полученных при отработке экспериментальной части методики;



- использование не общепринятых в отрасли терминов и фраз, например, - «... размещается топливо с цилиндрическим каналом» (с.17,13 а/р);  $S_T$  - площадь горения топлива (с.13 а/р); ЭУТТ с каналом сложной формы, в котором используется безметальное топливо; «полуаналитическая» методика (в отрасли используется термин «полуэмпирический» метод (методика).

В итоге, с учетом вышеизложенного, рецензенты пришли к **заклучению**, что, судя по автореферату, диссертация Куроедова Алексея Анатольевича на тему «Исследование линейной акустической неустойчивости рабочего процесса в энергетических установках твердого топлива» является вполне завершенной научно-квалификационной работой, выполненной по актуальной и практически востребованной проблеме, соответствует базовым требованиям ВАК РФ, определенным «Положением о присуждении ученых степеней», а её автор заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

#### **Рецензенты:**

Доктор технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» (диплом д.т.н. решением ВАК РФ от 22.12.2006 г. №50д/28), старший научный сотрудник по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы»(аттестат решением ВАК при СМ СССР от 07.07.1976 «№26н/8), Г.Н.С., руководитель группы АО «ФНПЦ «Алтай»

Рафиков Ренат Вазихович

Тел. (3854)30-58-35

e-mail: [post@frpc.secna.ru](mailto:post@frpc.secna.ru)



27.11.2018

Кандидат технических наук по специальности 050705 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» (диплом к.т.н. решением ВАК РФ от 27.10.2006 г. №40к/7), начальник лаборатории АО «ФНПЦ «Алтай»

Порубов Евгений Евгеньевич

Тел. (3854)30-16-06

e-mail: [post@frpc.secna.ru](mailto:post@frpc.secna.ru)

Подписи Рафикова Р.В., Порубова Е.Е. удостоверяю.

Ученый секретарь специального объединенного  
диссертационного Совета ДСО 999.014.03

при АО «ФНПЦ «Алтай»

Доктор технических наук

Абанин Виктор Алексеевич

«27» ноября 2018 г.

