

## СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

**Диссертационный совет:** Д 212.125.08

**Соискатель:** Царапкин Роман Александрович

**Тема диссертации:** Методика оценки запаса устойчивости рабочего процесса к высокочастотным колебаниям давления в камерах сгорания и газогенераторах жидкостных ракетных двигателей

**Специальность:** 05.07.05 - «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

### **Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации.**

На заседании 30 декабря 2020 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, отвечающую критериям, приведенным в "Положении о присуждении ученых степеней", утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, и принял решение присудить Царапкину Роману Александровичу ученую степень кандидата технических наук.

**Присутствовали:** председатель диссертационного совета Равикович Ю.А., ученый секретарь диссертационного совета Зуев Ю.В., члены диссертационного совета: Агульник А.Б., Демидов А.С., Коротеев А.А., Кочетков Ю.М., Краев В.М., Кулешов Н.В., Лесневский Л.Н., Марчуков Е.Ю., Мякочин А.С., Надирадзе А.Б., Назаренко И.П., Ненарокомов А.В., Никитин П.В., Попов Г.А., Силуянова М.В., Тазетдинов Р.Г., Тимушев С.Ф., Хартов С.А., Чванов В.К..

Ученый секретарь диссертационного совета  
Д 212.125.08, д.т.н., профессор

 Ю.В. Зуев

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.08,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ  
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 30.12.2020 г. № 23

О присуждении Царапкину Роману Александровичу, гражданину  
Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Методика оценки запаса устойчивости рабочего процесса к высокочастотным колебаниям давления в камерах сгорания и газогенераторах жидкостных ракетных двигателей» по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» принята к защите 28.10.2020 г. (протокол заседания № 11) диссертационным советом Д 212.125.08, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации; 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4; приказ Минобрнауки РФ о создании диссертационного совета – № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Царапкин Роман Александрович, 1988 года рождения, работает начальником группы в федеральном казенном предприятии «Научно-испытательный центр ракетно-космической промышленности» Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос».

В 2011 году соискатель окончил государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный индустриальный университет». В 2020 г. окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Диссертация выполнена на кафедре «Ракетные двигатели» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук Бирюков Василий Иванович, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», кафедра «Ракетные двигатели», профессор.

Официальные оппоненты:

Пинчук Владимир Афанасьевич, доктор технических наук, профессор, профессор подразделения «А8 - Двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова;

Мосолов Сергей Владимирович, кандидат физики-математических наук, доцент, начальник отделения № 1 Государственного научного центра Российской Федерации - федерального государственного унитарного предприятия «Исследовательский центр имени М. В. Келдыша»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – акционерное общество «НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко», г. Химки, в своем положительном отзыве, подписанном Мартиросовым Д.С., доктором технических наук, главным специалистом, Гапоновым В.Д., кандидатом технических наук,

начальником сектора и утвержденном Лёвочкиным П.С., кандидатом технических наук, заместителем генерального директора-главным конструктором, указала, что постановка научного исследования, достигнутые результаты являются важными и направлены на практическое применение при огневых автономных и комплексных испытаниях ЖРД. Огневая доводка устойчивости рабочего процесса в камерах и газогенераторах ЖРД связана со значительными экономическими затратами и длительна по времени. Внедрение результатов диссертации Царапкина Р.А. в практику испытаний позволит отрасли сократить сроки экспериментальной отработки изделий и существенно уменьшить экономические затраты. Полученные автором диссертации новые научные результаты имеют важное значение для науки и практики и могут быть рекомендованы к использованию на предприятиях: АО «НПО Энергомаш им. академика В.П. Глушко, АО «КБХА», ФКП «НИЦ РКП», Исследовательский центр имени М.В. Келдыша, «КБ Химмаш имени А.М. Исаева» и других предприятиях отрасли. Полученные результаты можно квалифицировать как новое научное достижение в области обеспечения устойчивости рабочего процесса в ЖРД. По содержанию, научной новизне, по значимости научных и практических результатов диссертация соответствует требованиям (п. 9-14) «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Министерства науки и образования РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Царапкин Роман Александрович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 - «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Соискатель имеет 16 опубликованных работ, все по теме диссертации, общим объемом 9,1 п.л., из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 4 работы, получен 1 патент РФ на изобретение. Все работы написаны в соавторстве. Из 16 публикаций: 4 – статьи в журналах, 1 – патент на изобретение, 11 – тезисы докладов на конференциях. Эти работы

посвящены совершенствованию методов и технологий, применяемых для оценки запасов высокочастотной устойчивости рабочего процесса в камерах сгорания и газогенераторах жидкостных ракетных двигателей. Авторский вклад соискателя заключается в непосредственном участии в разработке алгоритма и методики прогнозирования устойчивости к акустическим колебаниям рабочего процесса ЖРД; в разработке новых перспективных электроимпульсных возмущающих устройств (ЭИВУ); в разработке метода оценки устойчивости рабочего процесса в ЖРД с применением ЭИВУ; экспериментальном исследовании разработанных алгоритма, методики и метода; апробации полученных результатов.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах.

Наиболее значимые работы соискателя.

1. Царапкин Р.А., Бирюков В.И., Назаров В.П. Алгоритм оценки запасов устойчивости рабочего процесса в камерах сгорания и газогенераторах жидкостных ракетных двигателей // Сибирский журнал науки и технологий (СибЖНТ). 2017. Т. 18, № 3. С. 558-566.
2. Царапкин Р.А., Бирюков В.И. Экспериментальное определение декрементов затухания в камерах сгорания жидкостных ракетных двигателей // Вестник машиностроения. 2018. № 10. С. 21-27.
3. Царапкин Р.А., Иванов В.Н. Бирюков В.И. Графический метод оценки запасов устойчивости по отношению к акустическим колебаниям в камерах ракетных двигателей по шумам горения // Вестник машиностроения. 2020. № 8. С. 15-21.
4. Царапкин Р.А., Бирюков В.И. Методика оценки запасов устойчивости рабочего процесса в камерах сгорания и газогенераторах жидкостных ракетных двигателей. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. № 5. С. 19-33.
5. Патент №2523921 С1 Российская Федерация; МПК F02K 9/96, G01M 15/02, G01M 15/14. Генератор импульсов давления в акустических

полостях камер сгорания и генераторов жидкостных ракетных двигателей. Царапкин Р.А., Нарижный А.А., Пикалов В.П.; заявитель и патентообладатель Федеральное казенное предприятие «Научно-испытательный центр ракетно-космической промышленности» (ФКП "НИЦ РКП") (RU) — № 2013125400/06; заявл. 31.05.2013; опубл. 27.07.2014, Бюл. № 21.

На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы (все отзывы положительные).

Отзыв на диссертацию официального оппонента Пинчука В.А., доктора технических наук, профессорасодержит замечания:

1. недостаточно полно рассмотрен вопрос влияния «шумовых» помех на выделение истинных мод акустических колебаний, вероятность появления которых существует при математической обработке исходного вибрационного сигнала.
2. присутствует ряд стилистических и грамматических ошибок;
3. допущены пропуски букв в некоторых словах, часто встречается слитное написание различных слов, что затрудняет чтение текста;
4. в работе отсутствует данные оценки погрешности применяемых в ходе испытаний средств измерения.

Отзыв на диссертацию официального оппонента Мосолова С. В., кандидата технических наук, содержит замечания:

1. В обзоре работ недостаточно выделен вклад в теорию и практику обеспечения устойчивости рабочего процесса в ЖРД выдающихся ученых НИИ ТП (Центр Келдыша), таких как: Иевлев В.М, Натанзон М.С., Артамонов К.И., Лебединский Е.В. и многих др. Однако их работы в списке литературы в диссертации представлены в полной мере.
2. Разработанная автором методика использует вероятностные критерии оценивания стохастического воздействия турбулентных шумов, однако не менее интересны и статистические характеристики с квантильными критериями.

3. Решение уравнений Фоккера-Планка-Колмогорова с коэффициентами сноса и диффузии для каждой моды акустических резонансов, требует задания краевых условий. От корректного задания условий отражения и (или) проницаемости границ, зависит точность вероятностных оценок прогнозирования устойчивости рабочего процесса.

4. Несомненно, значимым достижением для практики являются разработанные автором диссертации новые электрические импульсные возмущающие устройства. В представленном виде они хороши для лабораторных исследований, но их применение для промышленных испытаний требует усложнения оборудования и дальнейшей доработки до серийного изготовления.

5. Немаловажным является фактор безопасности работы с этим устройством из-за возможного высоковольтного пробоя диэлектрика.

6. В диссертации встречаются стилистические и грамматические ошибки.

Отзыв на диссертацию ведущей организации –акционерного общества «НПО Энергомаш имени академика В. П. Глушко» содержит замечания:

1. В работе приведены примеры прогнозирования тангенциальных высокочастотных автоколебаний, однако нет случаев испытаний с анализом комбинированных мод высокочастотных колебаний.

2. Разработанная методика применима для диагностики акустической неустойчивости рабочего процесса только для натуральных конструкций камер сгорания и газогенераторов при автономных испытаниях. Она практически бесполезна на этапах проектирования.

3. Разработанные конструкции ЭИВУ для создания тестовых возмущений рабочего процесса в камерах сгорания используют высокое электрическое напряжение, что создает дополнительные ограничения по технике безопасности при проведении испытаний.

4. В списке литературы присутствуют достаточное количество работ зарубежных авторов, однако в диссертации нет анализа их достижений по схожим научным направлениям.

5. Есть замечания редакционного характера и по небрежностям оформлению диссертации.

6. В диссертации присутствуют незначительные по объему разделы, фразы и обороты, включенные из собственных публикаций автора, которые могут быть засчитаны как заимствования из чужих источников.

Отзыв на автореферат диссертации Фурлетова В.И., кандидата физико-математических наук, заместителя начальника отдела «Камеры сгорания и горение» федерального государственного унитарного предприятия «Центральный институт авиационного моторостроения им. П. И. Баранова» содержит замечания:

1. В автореферате отсутствует упоминание о необходимой точности определения коэффициента «затухания», о влиянии шумов на точность его определения, о пределах применимости самого метода прогнозирования. На практике (например, в форсажных камерах сгорания ГТД) логарифмические декременты колебаний ниже 0.05 измерить не получается. Происходит это из-за того, что параметры узкополосных колебаний (эффективная амплитуда, частота и фаза) оказываются достаточными (по величине и по времени, в течении которого они остается примерно постоянными) для подключения нового механизма обратной связи (например, через образование крупных вихрей), приводящего к самовозбуждению колебаний газа. Как быть когда логарифмический декремент колебаний удастся определить только в области достаточно больших значений, например,  $d > 0,1 \dots 0,15$ , где  $d = \delta/f$ ?

2. Автору диссертации можно посоветовать более бережно относиться к научной терминологии и к общепринятым обозначениям ( $\lambda$ , - это длина волны).

Отзыв на автореферат диссертации сотрудников федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный технический университет» Яковлева А.Б., кандидата технических наук, доцента, заведующего кафедрой



«Авиа- и ракетостроение» и Жарикова К.И., кандидата технических наук, доцента кафедры «Авиа- и ракетостроение» содержит следующие замечания:

1. В п. 1 научной новизны автореферата указано «Разработана ...новая математическая модель, описывающая рабочий процесс в камерах ЖРД...», однако по тексту автореферата (с. 9) данная модель не описана.
2. В автореферате имеются опечатки, например, в уравнении с. 24 стоит  $d\lambda/d\lambda$ .

Отзыв на автореферат диссертации Ярошенко Н.Т., доктора технических наук, доцента, начальника отдела по направлению «Катализаторы и каталитические пакеты ракетно-космической техники» федерального государственного унитарного предприятия «Российский научный центр «Прикладная химия» содержит следующие замечания:

1. В автореферате было бы желательно указать пределы применимости разработанной методики (на пример, по таким характеристикам, как вид топлива, давление в камере сгорания и ее объем, поперечная расходонапряженность и т.п).
2. Разработанные алгоритм и методика протестированы на модельной установке с газовой средой, при этом в автореферате не приводится обоснование возможности переноса результатов исследования на камеры сгорания, в которых компоненты топлива подаются в жидком виде.

Отзыв на автореферат диссертации федерального казенного предприятия «Государственный казенный научно-испытательный полигон авиационных систем», составленный Ниязовым В.Я., доктором технических наук, главным советником ФКП «ГкНИПАС» и утвержденный Астаховым С.А., кандидатом технических наук, директором, содержит следующие замечания:

1. Размещение датчиков на камере сгорания серийного ЖРД, для идентификации конкретной моды акустических колебаний не всегда возможно. Из автореферата непонятно, каким образом могут быть связаны

пульсации в форсуночной головке или вибрация конструкции со стохастическими характеристиками, в предлагаемой методике.

2. В работе не приведены примеры сравнения результатов для случаев возбуждения комбинированных продольно-поперечных колебательных взаимодействий, стоячих и бегущих волн и др. Неясно насколько применима для анализа в этих случаях разработанная методика.

Отзыв на автореферат диссертации «Опытно-конструкторского бюро имени А. Люльки» - филиала ПАО «ОДК-Уфимское моторостроительное производственное объединение», составленный Германом Г.К., кандидатом технических наук, начальником отделения 3000 и утвержденный Кузьминым М.В., первым заместителем генерального конструктора – главным конструктором, содержит следующие замечания:

В автореферате недостаточно полно рассмотрен вопрос влияния «шумовых» помех на выделение истинных мод акустических колебаний, вероятность появления которых существует при математической обработке исходного вибрационного сигнала.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетентностью в отрасли науки, к которой относится диссертационная работа Царапкина Р.А., что подтверждается их научными публикациями в данной области.

Выбор Пинчука В. А., доктора технических наук, профессора, профессора подразделения «А8 - Двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, в качестве официального оппонента обосновывается его широкой компетентностью в вопросах акустических процессов и механизмов горения в камерах сгорания и газогенераторах жидкостных ракетных двигателей, что подтверждается многочисленными публикациями и выступлениями на международных конференциях.

Выбор Мосолова С. В., кандидата физико-математических наук, доцента, начальника отделения № 1 государственного научного центра Российской Федерации - федерального государственного унитарного предприятия «Исследовательский центр имени М. В. Келдыша», обосновывается его большим опытом в области экспериментальной отработки двигательных установок, исследований в области обеспечения устойчивости рабочего процесса в камерах сгорания жидкостных ракетных двигателей.

Ведущая организация акционерное общество «НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко», выбрана в соответствии с ее высоким уровнем достижений в области фундаментальных и прикладных исследований в широком спектре направлений и, в частности, в области оценки запаса устойчивости рабочего процесса к высокочастотным колебаниям давления в камерах сгорания и газогенераторах жидкостных ракетных двигателей. Специалисты ведущей организации, в том числе составившие отзыв на диссертацию, обладают опытом изучения процессов, протекающих в акустических полостях камер сгорания и газогенераторов жидкостных ракетных двигателей, а также в области диагностики высокочастотной неустойчивости, что подтверждается публикациями в ведущих научных изданиях.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

разработан новый метод оценки запаса устойчивости горения для каждой нормальной акустической моды в камерах и газогенераторах ЖРД на основе статистической обработки турбулентных пульсаций измеренных в процессе огневых испытаний;

предложен новый оригинальный алгоритм оценки рабочего процесса ЖРД, как вероятно автоколебательного;

доказано, что величина декремента затухания колебаний является диагностическим критерием запасов устойчивости рабочего процесса в

камерах ЖРД как по отношению к внешним импульсным возмущениям, так и к воздействию турбулентных шумовых пульсаций горения.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

применительно к проблематике диссертации использован с получением обладающих новизной результатов математический аппарат теории Марковских процессов с вероятностными критериями оценивания;

разработана математическая модель рабочего процесса в камерах и газогенераторах ЖРД в виде динамической колебательной системы с акустическими потерями за счет теплопроводности и вязкости, и возбуждаемой стохастическим турбулентным шумом горения;

раскрыты особенности энергетического перехода потенциально автоколебательной системы из устойчивого состояния при малых значениях диссипации колебательной энергии акустических колебаний (декремента затухания) в неустойчивое состояние;

изучено влияние граничных условий «диффузии» и «сноса» на распределение плотности вероятности огибающей мгновенных значений пульсаций давления газа в камере сгорания на частоте собственного резонанса и ее производной основе решения уравнения Фоккера-Планка-Колмогорова;

проведено аналитическое и численное исследование автоколебательных режимов рабочего процесса в камерах ЖРД и показано, что в зависимости от режимных параметров устойчивый режим горения может стать неустойчивым, если коэффициент затухания колебаний уменьшается с ростом амплитуды.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

разработана новая методика диагностики устойчивости рабочего процесса в камерах сгорания и газогенераторах, позволяющая уменьшить объем огневых испытаний и сохранить материальную часть;

разработаны новые перспективные внешние возмущающие устройства, позволяющие обеспечить проведение испытаний на устойчивость рабочего процесса в ЖРД, в соответствии с отраслевым руководящим документом РД 92-0250-89 и без возможных повреждений огневых стенок камер сгорания;

определены статистические характеристики вероятных автоколебательных режимов горения в камерах ЖРД;

создан новый алгоритм определения амплитуды нижнего предельного цикла автоколебаний конкретной моды, исходя из полученной аналитической связи коэффициента затухания с амплитудой, и оценки запаса устойчивости в плоскости режимных параметров;

представлены рекомендации и предложения, позволяющие снизить затраты и уменьшить объем промышленных огневых испытаний на устойчивость рабочего процесса в ЖРД.

#### **Оценка достоверности результатов исследований выявила:**

результаты теоретических исследований хорошо согласуются с опубликованным экспериментальными данными по теме диссертации;

обоснованность и достоверность полученных научных результатов подтверждена большим объемом экспериментальных данных, полученных в разнообразных условиях проведения огневых испытаний модельных и натуральных камер сгорания и газогенераторов на стендах ФКП «НИЦ РКП».

#### **Личный вклад соискателя состоит в:**

- постановке задач, разработке математических моделей, получении новых аналитических и численных решений, создании методики и выполнении программы экспериментальных исследований, анализе результатов.

- разработке перспективных электроимпульсных возмущающих устройств (ЭИВУ), использующих энергию взрыва электрических проводников для оценки запасов устойчивости по отношению к «жесткому»

возбуждению акустических автоколебаний в камерах ЖРД с гарантированным сохранением стенок камер.

Диссертация Царапкина Р.А. является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи по разработке методики, позволяющей обеспечивать прогнозирование устойчивости рабочего процесса в камерах сгорания и газогенераторах ЖРД, имеющей значение для развития ракетного двигателестроения. Эта диссертация, представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, удовлетворяет всем критериям, приведенным в «Положении о присуждении ученых степеней».

На заседании 30 декабря 2020 года диссертационный совет принял решение присудить Царапкину Р.А. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человека, из них 8 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 21, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель  
диссертационного совета  
доктор технических наук,  
профессор



Равикович Юрий Александрович

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор технических наук,  
профессор

Зуев Юрий Владимирович

30 декабря 2020 г.