

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: Д 212.125.10

Соискатель: Ненарокомов Кирилл Алексеевич

Тема диссертации: Разработка методов дефектоскопии тепловой защиты надутых тормозных устройств спускаемых космических аппаратов.

Специальность: 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов» (технические науки)

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:

На заседании «26» января 2017 г. диссертационный совет принял решение присудить Ненарокомову Кириллу Алексеевичу ученую степень кандидата технических наук. При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 4 доктора наук по специальности 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов» (технические науки), участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – 0, недействительных бюллетеней – 2.

Присутствовали: председатель диссертационного совета, д.т.н. проф. Денискин Ю.И.; заместитель председателя диссертационного совета д.т.н., проф. Бойцов Б.В.; ученый секретарь диссертационного совета, к.т.н., доц. Денискина А.Р.; д.т.н., проф. Боголюбов В.С.; д.т.н., доц. Долгов О.С.; д.т.н., проф. Ендогур А.И.; д.т.н., проф. Комков В.А.; д.т.н., проф. Куприков М. Ю.; д.т.н., проф. Лисейцев Н.К.; д.т.н., проф. Парамонов Н.В.; д.т.н., проф. Подколзин В.Г.; д.ф.-м.н., проф. Рабинский Л.Н.; д.т.н., проф. Рахманов М.Л.; д.т.н., проф. Сидоренко А. С.; д.т.н., проф. Туркин И.К.; д.т.н., проф. Фирсанов В.В.; д.т.н., проф. Шайдаков В.И.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.125.10
к.т.н., доцент

А. Р. Денискина

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.10
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 26 января 2017 г., № 1

О присуждении Ненарокомову Кириллу Алексеевичу, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация *«Разработка методов дефектоскопии тепловой защиты надувных тормозных устройств спускаемых космических аппаратов»* по специальности 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов» принята к защите 8 ноября 2016 г., протокол № 16 диссертационным советом Д212.125.10 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство образования и науки Российской Федерации, 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4, приказ о создании диссертационного совета № 714/НК от 02.11.2012 г.

Соискатель Ненарокомов Кирилл Алексеевич 1985 года рождения. В 2008 году соискатель окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» по специальности «Фундаментальная радиофизика и физическая электроника».

Ненарокомов Кирилл Алексеевич в период с 1 ноября 2008 г. по 31 октября 2011 г. обучался в очной аспирантуре кафедры «Космические системы и ракетостроение» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

С ноября 2016 года по настоящее время работает ведущим инженером кафедры «Космические системы и ракетостроение» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство образования и науки Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре «Космические системы и ракетостроение» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель – член-корреспондент Российской академии наук, доктор технических наук, профессор Алифанов Олег Михайлович, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство образования и науки Российской Федерации, кафедра «Космические системы и ракетостроение», главный научный сотрудник, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

Алексеев Алексей Кириллович, доктор физико-математических наук, доцент, Публичное акционерное общество «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва», главный научный сотрудник отдела аэрогазодинамики,

Цысарь Сергей Алексеевич, кандидат физико-математических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», старший научный сотрудник кафедры фотоники и физики микроволн физического факультета дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина», г. Химки, Московская область, в своем положительном заключении, подписанном Мартыновым Максимом Борисовичем, кандидатом технических наук, заместителем генерального директора, генеральным конструктором указала, что диссертация Ненарокова Кирилла

Алексеевича представляет собой законченное исследование, посвященное актуальной теме и выполненное на высоком научно-техническом уровне, диссертация удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов», а ее автор, Ненарокомов Кирилл Алексеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация отвечает критериям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842, которым должны отвечать диссертации на соискание ученых степеней.

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 3 работы, опубликованные в рецензируемых научных изданиях.

Наиболее значительные работы:

1. Алифанов О.М., Ненарокомов А.В., Ненарокомов К.А., Титов Д.М. Параметрическая идентификация нелинейных математических моделей распространения продольных волн в материалах. - Вестник МАИ, 2013, том 20, №5, С. 185-195.

2. Алифанов О.М., Ненарокомов А.В., Ненарокомов К.А., Терентьева А.В., Титов Д.М. Конечно-разностный метод решения обобщенной краевой задачи для уравнения гиперболического типа в многослойной области. - Вестник МАИ, 2013, том 20, №5, С. 196-206.

3. Алифанов О.М., Ненарокомов А.В., Ненарокомов К.А., Титов Д. М., Финченко В.С. Неразрушающая дефектоскопия материалов гибкой тепловой защиты методами нелинейной акустики // Тепловые процессы в технике, 2016, том 8, № 8, С.369-377.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

- от ведущей организации **федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина»**, г.Химки, Московская область. Отзыв положительный. Имеются замечания:

1. В алгоритме решения обратной задачи рассматриваются многослойные образцы элементов конструкции. Однако, в последующих главах работы, рассматриваются однослойные элементы конструкции. В результате возникает

вопрос, зачем в диссертации и математических моделях введены в рассмотрение многослойные элементы, если это не находит дальнейшего применения?

2. В предложенном методе обнаружения дефектов (первый этап исследований) необходима установка измерительных средств на обратной поверхности исследуемых элементов, что существенно ограничивает область применения методики.

- от официального оппонента **Алексеева Алексея Кирилловича**, доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника отдела аэрогазодинамики Публичного акционерного общества «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва», г. Королев, Московская область. Отзыв положительный. Имеются замечания:

1. По тексту диссертации непонятно, почему пространственно неоднородный коэффициент $\varepsilon(x)$ обозначен как «параметр нелинейности» (с. 53).

2. По тексту диссертации неясно, как определять градиент акустического давления на поверхности образца.

3. Практическая ценность рассматриваемого метода дефектоскопии существенно выросла бы в случае перехода к трехмерной постановке.

- от официального оппонента **Цысаря Сергея Алексеевича**, кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника кафедры фотоники и физики микроволн физического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», г. Москва. Отзыв положительный. Имеются замечания:

1. При поиске дефектов в нагружаемых (внешним давлением) образцах акустическими методами приходится оперировать величинами как нагрузочного (статического или квазистатического) давления, так и акустического давления. В первой главе эти два понятия четко разделены, однако в дальнейшем конкретизация пропадает, и остается один термин давления, что может привести читателя в заблуждение. Так, например, во второй главе на с. 70 говорится о максимальном значении давления, достигаемого на датчиках; в четвертой главе на с. 89 упоминается о числе точек измерения давления.

2. Было бы полезным провести краткое сравнение разрабатываемого метода нелинейной диагностики с традиционным линейным методом неразрушаемого ультразвукового контроля, тем более, что характерные акустические параметры материала теплозащиты НТУ СА (плотность и скорость звука порядка 1000 кг/м³ и 1500 м/с соответственно) позволяют использовать стандартные диагностические системы.

3. В тексте диссертации присутствует незначительное количество опечаток. Так, например, в первой главе на стр. 16 некорректной является фраза «...макеты подвергалось...», в подписи к рисунку 1.4 пропущено слово «устройство» и пр., а также присутствует некоторое количество пунктуационных недочетов.

- от **Костина Владимира Алексеевича**, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой прочности федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ», г. Казань. Отзыв положительный. Имеется замечание:

1. К недостаткам автореферата можно отнести некоторую перегруженность подробностями выводов математических зависимостей, более характерную для текста самой диссертации, чем для содержания автореферата, что сказалось на его объеме.

- от **Денисова Александра Михайловича**, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой математической физики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», г. Москва. Отзыв положительный. Имеются замечания:

1. В автореферате отсутствует анализ корректности постановки задачи идентификации математической модели, анализируемой в главе 2.

2. Отсутствует обоснование преимущества выбранной схемы аппроксимации исходной задачи (глава 3).

- от **Егорова Ивана Владимировича**, доктора физико-математических наук, профессора, члена-корреспондента РАН, начальника научно-исследовательского

отделения «Исследование Аэротермодинамики гиперзвуковых летательных аппаратов и объектов ракетно-космической техники» федерального государственного унитарного предприятия «Центральный аэрогидродинамический Институт имени профессора Н.Е. Жуковского», г. Жуковский, Московская область. Отзыв положительный. Имеются замечания:

1. Плохо сформулированы цели дефектоскопии надувных тормозных устройств (НТУ). По-видимому, НТУ являются устройствами однократного действия и непонятна дефектоскопия повреждений», которые могут появиться после неоднократного укладывания и развертывания НТУ».

2. Не ясно, чем предлагаемый метод лучше существующих, например, рентгенографии. Возможно, это описано в диссертации.

3. Не сказано, что собой представляет материал НТУ, можно только догадаться, что это кремнеземная ткань, покрытая слоем стиросула (какой толщины?).

4. В тексте автореферата написано, что «было изготовлено и испытано 5 образцов с различными естественными и заложенными дефектами (таблица 1)», а в таблице приведен только образец № 2.

5. В разработанном методе определяется местоположение дефекта и находится коэффициент нелинейности распространения акустических волн на этом дефекте. Коэффициент нелинейности сам по себе не может являться целью при исследовании теплозащитных свойств НТУ.

6. В работе четко не указаны границы применимости разработанного метода, не указаны плотности и толщины конструкций, для которых может быть применен метод, их сложность (количество слоев и т.д.). Говорится только, что метод применим только для эластичных материалов.

- от **Костенко Валерия Ивановича**, доктора технических наук, помощника директора федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук. Отзыв положительный. Имеется замечание:

1. В автореферате отсутствует анализ универсальности формы акустического отклики на наличие дефекта. Все расчетные и экспериментальные результаты

получены для очень похожих зависимостей акустического давления от времени. Возможны ли принципиальные формы экспериментально измеренных кривых?

- от **Просунцова Павла Викторовича**, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Ракетно-космические композитные конструкции» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва. Отзыв положительный. Имеются замечания:

1. Точность и устойчивость решения обратной задачи исследованы автором только для образца толщиной 0,005 м и не даны оценки влияния толщины оболочки на результаты решения обратной задачи. Не ясно, каковы минимальная и максимально возможная толщина образца.

2. В работе не затронуты вопросы рационального выбора частоты акустического сигнала, используемого для неразрушающего контроля оболочки методом пропускания акустических волн, и не ясно, как частота сигнала должна соотноситься с ожидаемым размером дефекта и толщиной оболочки.

3. Для выражений (1) – (5) и (7) – (13) в тексте автореферата не приведены обозначения использованных величин, что затрудняет его восприятие.

- от **Кабанихина Сергея Игоревича**, доктора физико-математических наук, профессора, члена-корреспондента Российской академии наук, директора федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск. Отзыв положительный. Замечаний нет.

- от **Павлюкевича Николая Владимировича**, доктора физико-математических наук, члена-корреспондента Национальной академии наук Беларуси, главного научного сотрудника и **Чурасова Владимира Викторовича** кандидата технических наук, ведущего научного сотрудника государственного научного учреждения «Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси», г. Минск. Отзыв положительный. Замечаний нет.

- от Акционерного общества «Конструкторское бюро специального машиностроения», г. Санкт-Петербург, подписанный **Воробьевым Алексеем Михеевичем**, доктором технических наук, профессором, заместителем главного конструктора по науке и **Громовым Дмитрием Сергеевичем**, кандидатом технических наук, начальником лаборатории. Отзыв положительный. Имеется замечание:

1. В автореферате отсутствует материал по анализу погрешностей при обработке экспериментальных данных (представлены только частные значения для отдельного эксперимента).

- от **Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет»**, г. Самара, подписанный **Лившицем Михаилом Юрьевичем**, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Управление и системный анализ теплоэнергетических и социотехнических комплексов». Отзыв положительный. Имеется замечание:

1. Следовало бы обосновать одномерную постановку задачи распространения акустической волны для тонкой оболочки, которая обычно описывается двумерными моделями.

В поступивших отзывах отмечена актуальность темы диссертационной работы, дан краткий обзор работы, отмечены новизна и достоверность полученных результатов, а также их практическая значимость

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим:

- официальные оппоненты работают на ведущем предприятии аэрокосмической отрасли и в научном центре федерального значения, имеют значительный опыт в научно-исследовательской работе в области применения обратных задач механики и экспериментальных исследований волновых процессов;

- ведущая организация обладает значительным и уникальным опытом разработки и экспериментальной отработки надувных тормозных устройств спускаемых аппаратов, а также исследования их состояния по всему жизненному циклу изделий.

Диссертационный совет отмечает:

1. Считать диссертационную работу Ненарокова К.А. научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения и методики, имеющие существенное значение при ускоренных испытаниях эксплуатационного состояния надувных конструкций спускаемых аппаратов.

2. На основании выполненных соискателем исследований:

- **разработана** новая методика анализа геометрических параметров дефектов материалов теплозащитных покрытий надувных тормозных устройств спускаемых аппаратов, позволяющая оценить их дальнейшую эксплуатационную пригодность на этапе наземной отработки;

- **предложен** новый метод определения геометрических параметров дефектов материалов на основании решения обратных задач нелинейной акустики;

- **разработан** алгоритм решения обратной задачи параметрической идентификации обобщенной математической модели распространения продольных волн в пространстве;

- **доказана** перспективность использования методов нелинейной акустики для повышения эффективности ускоренных испытаний теплозащитных покрытий с целью обнаружения и количественного анализа их;

- **новые понятия** не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **доказана** возможность проведения неразрушающих исследований целостности теплозащитного покрытия на лабораторных образцах методами нелинейной акустики, что значительно снижает трудоемкость проведения исследования;

- **доказано**, что используемые в работе математические модели нелинейной акустики, позволяют адекватно описывать наличие дефектов структуры композиционного материала в надувных конструкциях;

- впервые **получена** количественная оценка геометрических параметров дефектов надувных конструкций. При этом среднеквадратичная погрешность определения геометрических параметров дефектов составила не более 5%;

- **применительно к проблематике** диссертации эффективно использованы методология обратных задач математической физики (нелинейной акустики), методы постановки акустического эксперимента и современные технологии сбора и обработки экспериментальной информации;

- **проведено** экспериментальное подтверждение работоспособности предлагаемой методики путем внедрения искусственно созданных дефектов конструкции с известными параметрами и их последующего определения;

- **предложена** двухэтапная методика испытаний: сначала анализируется наличие дефектов методом акустического сканирования, а затем определяются геометрические параметры дефектов методами обратных задач;

- **изложены** основные принципы построения алгоритмов решения условно-корректных обратных задач акустики.

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

- **предложена** новая методика, дополняющая существующие методы оценки эксплуатационной пригодности и долговечности надувных космических конструкций из полимерных композиционных материалов;

- **разработан и реализован** специальный стенд для проведения лабораторных исследований на элементарных образцах с целью определения геометрических параметров дефектов эластичных материалов надувных оболочек тормозных аэродинамических экранов спускаемых аппаратов на основе методов обратных задач нелинейной акустики;

- **проведен** комплекс работ по расчетные исследования механических свойств (определение коэффициента нелинейности распространения акустических волн) теплозащитного материала СТИРОСИЛ с искусственно созданными дефектами. На основе полученных экспериментальных данных определены геометрические параметры искусственно созданных дефектов. Сопоставлены акустические давления, полученные в результате расчета с использованием определенного коэффициента нелинейности, и давления, измеренные в результате эксперимента. При этом расхождение между расчетными

и измеренными давлениями составляет: среднеквадратичное отклонение до 0,12 дБ, максимальное отклонение до 1,7 дБ;

- **получена** доказательная база следующего: определяемые геометрические параметры дефектов практически совпадают с реальными значениями искусственных дефектов, расхождение не превышает 5%;

- **доказана практическая необходимость применения** разработанной методики для определения и анализа параметров дефектов надувных конструкций, что подтверждено соответствующими актами.

Реализация результатов исследований.

Полученные теоретические и практические результаты отражены в 3 отчетах по научно-исследовательской работе «Развитие комплексной методологии моделирования, идентификации и управления для систем с распределенными и сосредоточенными параметрами в обеспечение проектирования и отработки объектов ракетно-космической техники» в рамках Базовой части государственных заданий высшим учебным заведениям и научным организациям в сфере научной деятельности. Результаты исследований также использованы в работах, проводимых федеральным государственным унитарным предприятием «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина» в рамках комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства по теме: «Инновационный спускаемый с орбиты аппарат – демонстратор внедрения аэроупругих, развертываемых при полете в космосе и в атмосфере, элементов конструкции в космическую технику» (Постановление Правительства РФ от 9 апреля 2016 г., № 218), что подтверждено актом о внедрении результатов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила следующее:

- **проведено** экспериментальное обоснование предложенной методики при анализе параметров искусственно созданных дефектов в объеме необходимом и достаточном для получения достоверных значений;

- **установлено** количественное соответствие результатов обработки экспериментальной информации с априори известными размерами дефектов;

- **использован** экспериментальный материал, полученный высокоточным методом нелинейной акустики.

Личный вклад соискателя состоит в следующем:

- проведен анализ возможных скрытых дефектов эластичных элементов конструкций, а также существующих математических моделей распространения продольных волн в сплошной среде с целью выбора обобщенной математической модели, удовлетворяющей инженерным требованиям для решения поставленной задачи;

- разработаны методы и алгоритмы для дефектоскопии элементов конструкции надувных оболочек тормозных экранов спускаемых аппаратов, основанные на параметрической идентификации математической модели распространения продольных волн в упругой среде;

- разработан и реализован прототип экспериментальной установки для определения геометрических параметров дефектов эластичных материалов надувных оболочек тормозных аэродинамических экранов спускаемых аппаратов;

- проведены экспериментально-расчетные исследования механических свойств (определение коэффициента нелинейности распространения акустических волн) теплозащитного материала СТИРОСИЛ с искусственно созданными дефектами;

- выполнена подготовка публикаций по представленной работе.

На заседании 26 января 2017 года диссертационный совет принял решение присудить Ненарокомову Кириллу Алексеевичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17, из них 4 доктора наук по специальности 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов», участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 15, против 0, недействительных бюллетеней 2.

Председатель
диссертационного совета

Ю. И. Денискин

Ученый секретарь
диссертационного совета

А. Р. Денискина

26.01.2017 г.