

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке

Пермского национального

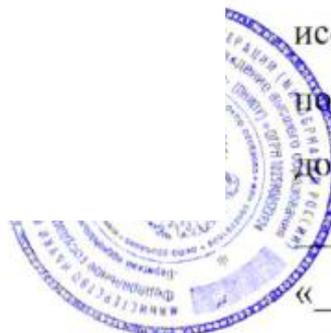
исследовательского

политехнического университета,

доктор физ.-мат. наук, доцент

Швейкин А.И.

« 1 » ноября 2022 г.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»  
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

Диссертация «Разработка методики диагностики технического состояния корпусов РДТТ при частичном расслоении узлов стыка» выполнена на кафедре «Ракетно-космическая техника и энергетические системы» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» и в публичном акционерном обществе «Научно-производственное объединение «Искра» г. Пермь.

В период подготовки диссертации соискатель Рогожникова Елена Николаевна работала в Публичном акционерном обществе «Научно-производственное объединение «Искра» в должности инженера-конструктора 1 кат. отд.730.

В 2004 году Рогожникова Е.Н. окончила Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский государственный технический университет» г. Пермь по специальности «Динамика и прочность машин».

В 2020 году Рогожникова Е.Н. окончила аспирантуру очной формы обучения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» г. Пермь по направлению 24.06.01 Авиационная и ракетно-космическая техника (период обучения 01.10.2016-30.09.2020).

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Бульбович Роман Васильевич, профессор кафедры «Ракетно-космическая техника и энергетические системы» ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

1. Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в следующем:

– проведение литературного обзора о состоянии вопроса влияния расслоений композиционного материала на работоспособность корпуса РДТТ и моделирование НДС в многослойных технологических объектах;

– обработка статистических данных и анализ несплошностей узлов стыка корпусов РДТТ изготовленных по штатной технологии;

– планирование экспериментального исследования по изучению влияния расслоений композиционного материала на его механические характеристики, изготовление образцов, проведение и обработка результатов экспериментов. Формирование экспертной оценки влияния расслоений композиционного материала на физико-механические характеристики;

– разработка «Методики диагностики технического состояния корпусов РДТТ при частичном расслоении узлов стыка», учитывающая межслоевые расслоения и позволяющая диагностировать техническое состояние корпусов из КМ.

2. Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

- впервые в отрасли проведен анализ уровня несплошности в изготовленных корпусах, обеспечивший исходную информацию для постановки задачи математического моделирования прочностного состояния корпуса двигателя и оценки статической прочности на основе анализа НДС композитных конструкций с учетом несплошностей;

- проведены испытания предварительно подготовленных кольцевой намоткой образцов с внесенными расслоениями, которые позволили оценить влияние уровня расслоения, определяемого введённым коэффициентом несплошности  $k$  на деформационные и прочностные свойства КМ. Наибольшее снижение предела прочности материала до 17 % наблюдалось при коэффициенте несплошности  $k = 0,08$  (приложение нагрузки под углом  $45^{\circ}$  относительно периферии расслоения);

- разработана математическая модель и программное обеспечение на основе метода конечных элементов, позволяющая проводить трёхмерный анализ напряженно-деформированного состояния композитных оболочек, составленных из разнородных композиционных структур и имеющих межслойные расслоения.

3. Степень достоверности результатов проведенных исследований подтверждена:

- статистической обработкой результатов эксперимента по оценке влияния площади расслоения на предел прочности кольцевых образцов;

- верификацией результатов расчета НДС крупногабаритной многослойной конструкции из разнородных материалов, полученных по разработанному алгоритму прогнозирования жесткости и прочности НДС на основе экспериментального исследования радиальных перемещений силовой оболочки, нагруженной внутренним давлением. Максимальное расхождение результатов по радиальным перемещениям не превышает 8%;

- применением программного комплекса ANSYS Workbench, хорошо зарекомендовавшего себя для моделирования напряженно-деформированного состояния крупногабаритных многослойных конструкций под действием внутреннего давления.

#### 4. Практическая и теоретическая значимость исследования:

**Теоретическая значимость** работы состоит в разработке алгоритма поэтапного исследования НДС конструкции, состоящей из разнородных композитных структур с имеющимися межслоевыми расслоениями.

**Практическая значимость** работы связана с прикладной направленностью работы на создание методики прогнозирования НДС металлокомпозитных узлов стыка при наличии локальных расслоений. Предложенная методика позволяет оценить уровень критичности имеющихся расслоений и принять решение о годности изготовленной продукции.

#### 5. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем:

По теме диссертационной работы Рогожниковой Е.Н. опубликовано 12 научных работ, в том числе 3 в ведущих рецензируемых изданиях, 1 – в изданиях, индексированных в международных базах цитирования Scopus. Основные положения и результаты работы отражены в следующих научных публикациях в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, и в базы цитирования Scopus:

## ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ТРУДЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Статьи, опубликованные в изданиях ВАК РФ:

1. Рогожникова, Е.Н. Влияние кольцевых расслоений на прочность штифто-шпилечного соединения в органопластиковых корпусах / Е.Н. Рогожникова // Вопросы оборонной техники. Сер. 15. Композиционные неметаллические материалы в машиностроении. М.: НТЦ «Информатика» - филиал ФГУП «НИИСУ». – 2017. – № 2(185). – С. 3–6.

*Исследовано влияние расслоений неоднородной многослойной композиционной конструкции на напряженно-деформированное состояние штифто-шпилечного соединения в условиях статического нагружения. Автором предложен метод расчета оценки несущей способности корпуса с расслоениями.*

2. Соколовский, М.И. Влияние межслоевого дефекта в композиционном материале на несущую способность резьбового соединения / М.И. Соколовский, Е.Н. Рогожникова, С.В. Патрулин, А.Б. Ознобишин // Вопросы оборонной техники. Сер. 15. Композиционные неметаллические материалы в машиностроении. М.: НТЦ «Информатика» - филиал ФГУП «НИИСУ». – 2018. – № 2(190). – С. 3–8. (вклад соискателя 4с./ 6с.)

*Рогожниковой Е.Н. исследовано влияние расслоений неоднородной многослойной композиционной конструкции на напряженно-деформированное состояние резьбового соединения в условиях статического нагружения. Предложен метод диагностики технического состояния резьбового соединения в условиях статического нагружения при локальном расслоении.*

3. Бульбович, Р.В. Численно-экспериментальное исследование многослойных цилиндрических корпусов с локальными расслоениями / Р.В. Бульбович, А.Б. Ознобишин, Е.Н. Рогожникова // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2020. – № 63. – С. 40–51. (вклад соискателя 8с./ 12с.)

*Проведено численно-экспериментальное исследование закономерностей влияния наиболее вероятных дефектов типа локальных расслоений внутри многослойных цилиндрических крупногабаритных корпусов на деформационные и прочностные характеристики корпусов вблизи их торцевого соединения. Рогожниковой Е.Н. проведен статистический анализ полученных ранее акустическим методом контроля результатов дефектоскопии более 200 корпусов, изготовленных по штатной технологии, позволивший сформировать критерий для оценки работоспособности корпусов с наличием расслоений. Установлена связь между относительным пределом прочности и коэффициентом несплошности (отслоений) композитной структуры кольца с использованием полученных экспериментальных данных.*

#### **Статьи, опубликованные в изданиях индексируемых в базе Scopus:**

1. Рогожникова, Е.Н. Расчет НДС и оценка прочности сегментированной цилиндрической оболочки из композиционных материалов с металлическими вкладышами / Е.Н. Рогожникова, А.Н. Аношкин, Р.В. Бульбович // Вестник ПНИПУ. Механика. – 2022. – (1). – С. 102–114 DOI – 10.15593/perm.mech/2022.1.06. (вклад соискателя 8с./ 13с.)

*Рогожниковой разработан подход построения математических моделей НДС металлокомпозитных соединений по признаку расслоения узлов стыка изготовленных корпусов, позволивший диагностировать взаимосвязанные параметры качества. По результатам решения задачи для сегментов оболочки выполнен анализ межслойных напряжений в зоне контакта композитная оболочка – металлический закладной элемент и получены оценки прочности конструкции. Разработана методика диагностики технического состояния РДТТ при частичном расслоении узлов стыка, учитывающая межслойные расслоения и позволяющая определять допустимость уровня имеющейся дефектности при действии критических нагрузок.*

## **Статьи, опубликованные в других изданиях:**

1. Рогожникова, Е. Н. Влияние межслоевого дефекта в композиционном материале на прочность штифтошпилечного соединения / Е. Н. Рогожникова // Сб. по мат-лам XVII Всероссийской научно-технической конференции «Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации - 2016». – Пермь: Изд-во Пермского национального исследовательского политехнического университета. – 2016. – С. 286–291.

*Разработана модель с расслоениями многослойной композиционной конструкции, получено напряженно-деформированное состояние штифтошпилечного соединения при статической нагрузке. Предложен метод оценки несущей способности корпуса.*

2. Соколовский, М. И. Влияние кольцевых расслоений на несущую способность резьбового соединения в органопластиковых корпусах / М. И. Соколовский, Е. Н. Рогожникова, С. В. Патрулин, А. Б. Ознобишин // Сб. по мат-лам XVIII Всероссийской научно-технической конференции «Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации - 2017». – Пермь: Изд-во Пермского национального исследовательского политехнического университета. – 2017. – С. 240–247. (вклад соискателя 5с./ 8с.)

*Построена модель, учитывающая расслоения композитной оболочки. Рогожниковой Е.Н. исследовано влияние НДС резьбового соединения при статическом нагружении.*

3. Рогожникова, Е.Н. Исследование прочности кольцевых образцов из композиционного материала с межслойными дефектами / Е.Н. Рогожникова, Д.С. Лобковский, А.Б. Ознобишин // Наука и технологии. Том 1. Мат-лы XXXVIII Всероссийской конференции, посвященной 75-летию Южно-Уральского государственного университета – М.: РАН. – 2018. – С. 54–61. (вклад соискателя 4с./ 5с.)

*Рогожниковой Е.Н. рассмотрены и представлены результаты исследований влияния направления приложения нагрузки, длины расслоения и их*

*количества по толщине образца на его напряженно-деформированное состояние.*

4. Соколовский, М.И., Влияние УКИ на прочность кольцевых образцов из композиционного материала с межслойными дефектами / М.И. Соколовский, Р.В. Бульбович, Е.Н. Рогожникова, Д.С. Лобковский // Сб. по мат-лам XIX Всероссийской научно-технической конференции «Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации - 2018». – Пермь: Изд-во Пермского национального исследовательского политехнического университета. – 2018. – С. 281–288. (вклад соискателя 5с./ 8с.)

*Рогожниковой Е.Н. исследовано влияние ускоренных климатических испытаний на прочность кольцевых образцов из композиционного материала с межслойными дефектами. Анализ полученных результатов показал, что до УКИ разрушение образцов происходит послойно, а после УКИ имеет монолитный характер. В образцах с фторопластовой пленкой после проведения УКИ не выявлено снижение механических свойств.*

5. Соколовский, М.И., Исследование влияния межслоевого дефекта на НДС в многослойных конструкциях из композита / М.И. Соколовский, Р.В. Бульбович, Е.Н. Рогожникова // Сб. по мат-лам XI Всероссийской конференции по испытаниям и исследованиям свойств материалов «ТестМат» по тематике «Физико-механические испытания, прочность, надежность, высокотемпературные испытания», Москва – ФГУП ВИАМ. – 2019. – С. 295–303. (вклад соискателя 6с./ 9с.)

*Исследовано влияние межслоевого дефекта на напряженно-деформированное состояние и прочность многослойных композитных конструкций. Перечислены часто встречающиеся причины образования расслоений. Описан метод испытания кольцевых образцов на растяжение для получения прочностных физико-механических характеристик и прочностных свойств материала образцов. Рогожниковой Е.Н. установлена экспериментальная зависимость относительного предела прочности от коэффициента несплошности, полученная на образцах с расслоениями, что*

*может служить основой для диагностирования технического состояния корпусов двигателей и экспресс-тестирования изготовленной композитной конструкции в отношении снижения ее ресурсной способности.*

6. Рогожникова, Е.Н., Численное моделирование напряженно-деформированного состояния крупногабаритных многослойных конструкций из разнородных материалов / Е.Н. Рогожникова // Материалы XVII молодежной научно-технической конференции «Взгляд в будущее - 2019», СПб – АО «ЦКБ МТ «Рубин». – 2019. – С. 314–323. (вклад соискателя 9с./ 9с.)

*Получены новые результаты сравнительного анализа разработанных численных моделей крупногабаритной многослойной конструкций из разнородных материалов с различной степенью детализации силовых оболочек. Проведена верификация разработанных численных моделей.*

7. Шайдурова, Г.И. Определение зависимости относительного предела прочности от величины коэффициента несплошности / Г.И. Шайдурова, Е.Н. Рогожникова, А.Б. Ознобишин // Сб. по мат-лам XX Всероссийской научно-технической конференции «Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации - 2019», - Пермь: Изд-во Пермского национального исследовательского политехнического университета. – 2019. – С. 212–216. (вклад соискателя 3с./ 5с.)

*Рогожниковой Е.Н. определена зависимость относительного предела прочности от величины коэффициента несплошности. По результатам выполненных расчетно-экспериментальных исследований получены упрощенные расчетные зависимости для относительного предела прочности. Используя эти соотношения можно оперативно определять степень снижения прочности тонкостенных конструкций в зависимости от величины полученных несплошностей и принимать аргументированные решения по допуску конструкции к дальнейшей эксплуатации.*

8. Шуткин, С.Г. Определение физико-механических характеристик оболочечных конструкций из композиционных материалов численным методом и ультразвуковым прозвучиванием / С.Г. Шуткин, Е.Н. Рогожникова, А.Б.

Ознобишин // Сб. по мат-лам XXI Всероссийской научно-технической конференции «Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации - 2020». – Пермь: Изд-во Пермского национального исследовательского политехнического университета. – 2020. – С. 224–231. (вклад соискателя 4с./8с.)

*Проведен сравнительный анализ методов определения упругих характеристик и свойств КМ. Рогожниковой Е.Н. разработан подход определения физико-механических характеристик оболочек из КМ численным методом.*

6. Соответствие содержания диссертации специальности, по которой она рекомендуется к защите.

Представленная Рогожниковой Еленой Николаевной диссертационная работа является законченным прикладным научным исследованием в области науки об энергетических основах, параметрах, характеристиках и конструкции двигателей и энергетических установок летательных аппаратов различного назначения, методах расчета, проектирования, технической эксплуатации.

Указанная область исследования соответствует формуле научной специальности 2.5.15 Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов:

п.2 Характеристики тепловых, электроракетных двигателей летательных аппаратов и их энергетических установок, отдельных узлов и систем при различных условиях их использования.

п.6 Методы конструирования тепловых и электроракетных двигателей летательных аппаратов, их узлов и систем, включая методы автоматизированного проектирования двигателей с помощью ЭВМ.

п.7 Строительная механика тепловых двигателей летательных аппаратов. Методы оценки и характеристики статической и усталостной прочности систем двигателей с учетом пластичности и ползучести материалов.

п.12 Методы обеспечения надежности двигателей и энергетических установок летательных аппаратов, эффективности их использования.

п.13 Математическое моделирование рабочих процессов, характеристик, динамических процессов, рабочих состояний двигателей и энергетических установок, методы их проектирования и конструирования применительно к системам автоматизированного проектирования. Математическое моделирование стадий и этапов жизненного цикла (создания, производства и эксплуатации двигателей и установок).

п.19 Методы и средства диагностики технического состояния двигателей и энергетических установок летательных аппаратов. Эксплуатационная технологичность.

7. Соответствие диссертационной работы требованиям Положения о присуждении ученых степеней

Диссертация Рогожниковой Елены Николаевны отвечает требованиям Положения о присуждении ученых степеней Постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (в редакции от 26.09.2022), предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Диссертация «Разработка методики диагностики технического состояния корпусов РДТТ при частичном расслоении узлов стыка» Рогожниковой Елены Николаевны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Заключение принято на заседании кафедры «Ракетно-космическая техника и энергетические системы».

Присутствовало на заседании 15 чел. Результаты голосования: «за» – 15 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0, протокол № 3 от 11 октября 2022 г.

Председатель заседания,  
чл.-корр. РАН, д.т.н., профессор,  
зав. кафедрой  
«Ракетно-космическая техника  
и энергетические системы»



М.И. Соколовский

Секретарь заседания



Р.В. Храмцова