

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор ПАО НПО «Искра»
(должность, название организации)

С.П. Юрасов

«11» октября 2022 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Публичного акционерного общества
«Научно-производственное объединение «Искра»

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 соискателя в получении результатов, представленных в диссертации:

- проведение литературного обзора о состоянии вопроса влияния расслоений композиционного материала на работоспособность корпуса РДТТ и моделирование НДС в многослойных технологических объектах;
- проведение исследований по количественной оценке расслоений композиционного материала для изготовленных корпусов;
- планирование экспериментов по исследованию влияния расслоений композиционного материала на его механические характеристики, изготовление образцов, проведение и обработка результатов экспериментов с учетом экспертной квалиметрии. Формирование экспертной оценки влияния расслоений композиционного материала на физико-механические характеристики материала композита;
- подтверждение численными исследованиями НДС корпуса с расслоениями снижения несущей способности конструкции и предела прочности от коэффициента несплошности.
- разработка «Методики диагностики технического состояния корпусов РДТТ при частичном расслоении узлов стыка», позволяющей прогнозировать НДС в процессе эксплуатации корпусов из ПКМ (в том числе с дефектами).

2. Научная новизна диссертационного исследования:

- 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 45^0 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 полученных результатов 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 деформаций силовой оболочки, нагруженной внутренним давлением;
- применением программного комплекса ANSYS Workbench, хорошо зарекомендовавшего себя для моделирования напряженно-деформированного состояния крупногабаритных многослойных конструкций под действием внутреннего давления.

4. Практическая значимость исследования заключается в следующем:

- выполнен анализ несплошностей переднего и заднего узлов стыка и построены диаграммы распределения расслоений;
- разработан подход построения математических моделей НДС металлокомпозитных соединений по признаку расслоения узлов стыка изготовленных корпусов, позволивший диагностировать взаимосвязанные параметры качества;

- разработанный алгоритм прогнозирования прочности НДС и жесткости крупногабаритной многослойной цилиндрической конструкции из КМ обладает хорошими сервисными возможностями и включает в себя: построение твердотельных и сеточных моделей; прогнозирование и назначение физико-механических свойств композиционного материала с различной схемой намотки; назначение граничных условий и контактирующих областей; обработку полученных результатов и оценку статической прочности расчетной области с дефектом типа «расслоение».

5. Ценность научных работ соискателя и полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

Содержание диссертационной работы достаточно полно отражено в 12 работах, из них 4 работы в рецензируемых научных изданиях, которые рекомендованы Минобрнауки России для публикации основных результатов диссертационных исследований, а также на конференциях разного уровня.

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.

Автором предложен метод расчета оценки несущей способности корпуса с расслоениями. Полученные результаты расчетов позволяют дать оценку работоспособности оболочки с расслоениями при действии осевой силы от внутреннего давления.

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.

Соискателем исследовано влияние расслоений композиционной конструкции на НДС резьбового соединения при статическом нагружении. Предложен метод диагностики технического состояния резьбового

соединения в условиях статического нагружения при частичном расслоении. Расслоения, рассмотренные в зоне резьбового соединения снизили несущую способность соединения.

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.

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. Разработана математическая модель и на ее основе осуществлено численное исследование закономерностей влияния локальных расслоений внутри многослойной структуры корпуса. Результаты численного моделирования подтверждают установленную из экспериментальных исследований на кольцевых образцах с локальными расслоениями зависимость величины относительного предела прочности от коэффициента несплошности. Установленная функциональная зависимость может служить основой для экспресс-тестирования и оценки возможного снижения ресурса реальной многослойной цилиндрической оболочки корпуса.

Статьи, опубликованные в изданиях индексируемых в базе Scopus:

4. 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.

В работе рассматривается цилиндрическая сегментированная оболочка – баллон давления, изготовленный намоткой из однонаправленного ровинга. Ставится задача расчета напряженно-деформированного состояния и оценки прочности оболочки при нагружении внутренним давлением. 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:

5. 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 численная модель, имеющая расслоения неоднородной многослойной композиционной оболочки. Исследовано влияние напряженно-деформированного состояния штифто-шпилечного соединения при статическом нагружении. Предложен метод расчета оценки несущей способности корпуса с расслоениями.

6. 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.

Смоделировано расслоение неоднородной многослойной композиционной конструкции и получено поле распределения напряжений резьбового соединения при статической нагрузке. Анализ результатов численного моделирования показал, что влияние расслоения в многослойной конструкции из композиционного материала привело к увеличению напряжений среза в тканевом слое и повлекло снижение несущей способности резьбового соединения.

7. 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.

Рогожниковой Е.Н. представлены и проанализированы результаты исследований влияния направления приложения нагрузки, длины расслоения и их количества по толщине образца на его НДС.

8. 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.

Соискателем 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.

9. 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.

Исследовано влияние межслоевого дефекта на напряженно-деформированное состояние и прочность многослойных композитных конструкций. 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.

10. 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.

В рамках настоящей работы приведена постановка объемной задачи механики деформируемого твердого тела (МДТТ) для расчета напряженно-деформированного состояния крупногабаритных многослойных конструкций из разнородных материалов. В расчетной схеме конструкции учитывается технологический порядок укладки, анизотропия свойств армирующих слоев и способ закрепления конструкции при проведении испытаний. 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.

11. 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.

Рогожниковой Е.Н. определена зависимость относительного предела прочности от величины коэффициента несплошности. Используя расчетные зависимости для относительного предела прочности можно оперативно определять степень снижения прочности тонкостенных конструкций в зависимости от величины полученных несплошностей и принимать аргументированные решения по допуску конструкции к дальнейшей эксплуатации.

12. 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.

Проведен сравнительный анализ получения упругих характеристик свойств композиционных материалов на основе высокомодульных стекло и органоволокон численным и методом ультразвукового прозвучивания. Соискателем разработаны математические модели для расчета эффективных характеристик и определены свойства используемых материалов.

б. 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. Диссертационная работа Рогожниковой Елены Николаевны отвечает требованиям, установленным п.9 – п.14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013г.

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 научной специальности 2.5.15 Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов в диссертационном совете Д ПНИПУ.05.18 при ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (г. Пермь, Комсомольский пр.29).

Имеется разрешение ДС-4513 от 29.04.2022 о возможности открытого опубликования и предоставления подготовленной диссертационной работы соискателем Рогожниковой Еленой Николаевной на тему «Разработка методики диагностики технического состояния корпусов РДТТ при частичном расслоении узлов стыка» в диссертационный совет Д ПНИПУ.05.18 от Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос» (Госкорпорация «Роскосмос»).

Заключение принято на заседании проектно-конструкторской секции НТС
ПАО НПО «Искра» по ракетно-космической технике.

Присутствовало на заседании 9 чел. Результаты голосования: «за» - 9 чел.,
«против» - 0 чел., «воздержалось» - 0 чел., протокол № 703/599-ор-1
от 30. 09. 2022г.

Зам. генерального директора – директор
направления ракетно-космической техники

Бондаренко С.А.

Главный научный руководитель, д.т.н.

Голдобин С.М.

Зам. главного конструктора РКТ (по
маркетингу и НИР), к.т.н.

Лузенин А.Ю.