

Акционерное общество  
**«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ИНСТИТУТ  
СПЕЦИАЛЬНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ»**  
(АО «ЦНИИСМ»)  
141371, Московская область, г. Сергиев Посад, г.  
Хотьково, ул. Заводская  
тел. 993-00-11, факс 8(49654) 3-82-94  
телетайп 846203 «Заря»  
e-mail: [tsniism@tsniism.ru](mailto:tsniism@tsniism.ru)  
<http://www.tsniism.ru>  
ИНН/КПП 5042003203/504201001

**УТВЕРЖДАЮ**

Первый заместитель  
генерального директора и  
главного конструктора

\_\_\_\_\_ А.А. Кульков

\_\_\_\_\_ 2023 г.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 г. № \_\_\_\_\_  
На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

### **ОТЗЫВ**

ведущей организации АО «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения» на диссертационную работу **Рогожниковой Елены Николаевны** на тему **«Разработка методики диагностики технического состояния корпусов РДТТ при частичном расслоении узлов стыка»**, представленную в диссертационный совет Д ПНИПУ.05.18 на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов

**Актуальность темы диссертации.** Постоянный рост требований к эксплуатационным характеристикам и весовому совершенству перспективных конструкций рассматриваемого класса и увеличение интенсивности теплосилового нагружения таких конструкций актуализируют необходимость ужесточения контроля качества изготавливаемых конструкций и оценку влияния технологических несовершенств на показатели их прочности и надежности. К таким отступлениям, в частности, относятся рассматриваемые в работе локальные расслоения композитных узлов стыка, возникающие в зонах отверстий, вскрываемых для размещения металлических деталей штифто-шпилечных соединений (ШШС). Результаты рассматриваемой диссертационной работы могут применяться в составе экспертной технической системы качества, учитывающей реальные отклонения технических

показателей на разных этапах изготовления штатных изделий неоднородной структуры и сложной формы, поэтому работа Е.Н. Рогожниковой, безусловно, представляется актуальной.

**Цель работы** заключается в создании методики диагностики технического состояния корпусов РДТТ при частичном расслоении узлов стыка. Для достижения поставленной цели автором проведен систематический анализ дефектов узлов стыка корпусов РДТТ по типу расслоений, возникающих вблизи контуров отверстий ШШС. Экспериментально на образцах стыка с указанными расслоениями оценено влияние параметров расслоений на эффективные прочностные характеристики слоистого композита. Разработана высокоуровневая (конечноэлементная) математическая модель для анализа пространственного поля напряженно-деформированного состояния (НДС) многослойных композитных оболочек с дефектами типа расслоений. На основе созданной математической модели и реализующего ее программного обеспечения выполнены исследования НДС композитного корпуса РДТТ с расслоениями узлов стыка, параметры которых соответствуют уровню реально применяемой технологии производства. В результате исследования получены оценки влияния параметров расслоений на работоспособность узла стыка, установлены предельно допустимые с точки зрения сохранения работоспособности узла стыка и его прочности значения параметров расслоений в зоне ШШС.

**Анализ текста диссертации.** Диссертация автора Рогожниковой Е.Н. оформлена в соответствии с требованиями ВАК РФ и состоит из введения, литературного обзора (глава 1), собственных исследований автора (главы 2-4), заключения, основных выводов и списка литературы, содержащего 145 наименований работ отечественных и зарубежных авторов. Общий объем работы составляет 132 страницы компьютерного текста, включает 58 рисунка, 15 таблиц, приложение на 10 страницах.

**Во введении** обосновывается актуальность исследований, проанализированы современные тенденции и перспектива выбранного

научного направления исследования. Сформулированы цель и задачи исследования, определены методы их решения, научная новизна и практическая значимость работы. Перечислены защищаемые положения, обоснована степень достоверности полученных результатов. Указано об имеющихся публикациях по теме диссертационной работы и перечислены конференции и семинары, на которых происходила апробация работы.

**Первая глава** диссертации содержит подробное описание существующей технологии переработки слоистых композитов в тонкостенные силовые конструкции методом намотки. Указаны причины возникновения в таких конструкциях на различных этапах их жизненного цикла дефектов их структуры и формы, приведена их подробная классификация. Констатируется, что одним из наиболее опасных видов дефектов являются расслоения многослойного пакета, описаны различные подходы к учету дефектов многослойной структуры при оценке прочности слоистых композиционных материалов и конструкций.

**Во второй главе** приведены результаты выполненного автором статистического анализа дефектности узлов стыка реальных изделий, изготовленных по штатной технологии. Установлено, что площади дефектов типа расслоений занимают существенную часть цилиндрической поверхности в зоне отверстий для ШШС. Для изучения влияния характеристик расслоений на прочность конструкции подготовлены и проведены экспериментальные исследования на растяжение кольцевых образцов однонаправленного органопластика с искусственно выполненными расслоениями. Варьируемыми в эксперименте характеристиками дефектов являлись площадь расслоений и их локализация относительно направления приложения нагрузки представлены результаты проведенных опытов для расслоений с различными характеристиками. Для количественно характеристики расслоений введен безразмерный коэффициент несплошности  $k$ . На основе проведенных исследований оценено влияние характеристик расслоений на уменьшение эффективного предела прочности.

**В третьей главе** работы описана высокоуровневая (конечноэлементная) модель композитной конструкции неоднородной структуры, в явной форме включающая металлические элементы ИШС и учитывающая дефекты типа расслоений в зоне стыка. Верификация построенной конечноэлементной модели проведена путем сопоставления полученных на ее основе численных результатов с данными натурных экспериментов. Численные эксперименты, проведенные автором, выявили наиболее опасные (межслойные и сдвиговые) компоненты НДС, действующие в плоскости армирующих слоев и локализованные в относительно малых зонах концентрации напряжений в окрестности штифтового соединения. Исследовано количественное влияние параметров межслойных расслоений на работоспособность ИШС, определены критические размеры дефектов, при которых сохраняется работоспособность рассматриваемой конструкции в целом.

**В четвёртой главе** диссертации подробно изложены алгоритм и расчетно-экспериментальная методика диагностики технического состояния корпусов РДТТ при частичном расслоении узлов стыка. Суть методики заключается в проведении серии математических экспериментов с использованием иерархии математических моделей (от отдельных деталей, узлов и элементов до конструкции в целом), при этом настроечными параметрами математических моделей являются эффективные физико-механические характеристики композита, реализующиеся в конструкции, а также характеристики дефектов конструкции. Значения настроечных параметров принимаются по данным натурных или модельных экспериментов. Теоретический аппарата математического моделирования описан в главе 3. Показано, что предлагаемая методика позволяет проводить эффективную экспресс-диагностику технического состояния композитных корпусов РДТТ с учетом частичного расслоения материала в зоне узлов стыка.

**Научная новизна** работы заключается:

- в выполненном автором статистическом анализе дефектов типа расслоений в натурных конструкциях, изготовленных по штатной технологии;

- в постановке задачи расчетно-теоретической оценки НДС корпуса РДТТ с учетом расслоений узлов стыка, сформулированной на основе результатов статистического анализа дефектов;

- в полученной путем прямого эксперимента количественной оценке влияния характеристик дефектов на эффективные физико-механические характеристики однонаправленного органопластика;

- в разработанной высокоуровневой (конечноэлементной) математической модели для трёхмерного анализа НДС композитных корпусов РДТТ с учетом неоднородной структуры слоистого пакета с дефектами узлов стыка.

### **Теоретическая и практическая значимость**

Теоретическая значимость диссертации заключается в расширении представлений о применении современных численных методов для высокоуровневого математического моделирования многослойных цилиндрических корпусов с технологическими несовершенствами типа расслоений узлов стыка. На основе предложенного алгоритма и построенной иерархии конечно-элементных моделей конструкции композитного корпуса и ее отдельных элементов разработана оригинальная расчетно-экспериментальная методика диагностики состояния изготовленной конструкции с расслоениями и выработки надежного прогноза ее прочностных характеристик и ресурса.

Практическая значимость работы обусловлена ее общей прикладной направленностью и заключается в полученных количественных оценках критических значений параметров расслоений, в возможности применения полученных в диссертационной работе результатов для верификации расчётных моделей конструкций рассматриваемого класса и во внедрении разработанной автором методики диагностики технического состояния корпусов РДТТ при частичном расслоении узлов стыка, позволяющей оценить уровень критичности имеющихся дефектов и принять на основе этой оценки решение о годности изготовленной продукции.

Результаты диссертационной работы Рогожниковой Е.Н. рекомендуются для внедрения в АО «ЦНИИСМ», ПАО НПО «Искра», ФГУП «ВИАМ»,

АО «Композит», АО «ОДК-Авиадвигатель», ФГУП «ФЦДТ «Союз», АО «Корпорация «МИТ» и других предприятиях и организациях, сфера деятельности которых включает проектирование, обработку и изготовление крупногабаритных корпусных конструкций сложной формы и структуры из слоистых полимерных композитов.

**Достоверность полученных результатов** подтверждается использованием современных средств проведения аналитических и экспериментальных исследований, а также согласованием результатов численного моделирования с ранее полученными теоретическими результатами и с результатами вычислительных и натурных экспериментов. Результаты исследований наглядно представлены на рисунках, диаграммах и в таблицах, что позволяет адекватно квалифицировать научный уровень проведенной работы.

Материалы диссертации обобщены в 12 научных работах, в том числе, 4 статьи опубликованы в журналах, входящие в перечень ВАК РФ и Scopus. Результаты диссертационной работы широко представлены на конференциях различного уровня. Содержание автореферата полностью соответствует основным идеям и выводам диссертационной работы.

### **Общая оценка и замечания по диссертационной работе**

По рассматриваемой работе могут быть сформулированы следующие замечания.

1. Экспериментальные исследования по влиянию характеристик дефектов на эффективные физико-механические характеристики композитных структур в диссертационной работе ограничены случаем однонаправленного органопластика на основе жгута. Аналогичное исследование применительно к полимерным композитам, армированным гибридными текстильными структурами (тканями) на основе стеклянных и арамидных волокон, широко применяемыми в корпусных композитных конструкциях, представляло бы несомненную научную и практическую значимость.

2. Номенклатура эффективных физико-механических характеристик однонаправленного композита, которые определяются при экспериментальных

исследованиях в главе 2 на образцах с расслоениями, ограничена разрушающими напряжениями при растяжении и модулем упругости. Поскольку, как справедливо отмечается автором в главе 3, для зон узлов стыка опасными могут являться сжимающие нормальные напряжения и касательные напряжения межслоевого и внутрислоевого сдвига, то для эффективных значений соответствующих предельных характеристик также представляла бы интерес их экспериментальная зависимость от параметров расслоений.

Указанные выше замечания не снижают значимости квалификационной работы соискателя и практической ценности представленных результатов, полученных в итоге выполнения диссертационной работы. Эти замечания, в основном, носят характер рекомендаций, которые автор мог бы учесть в своей дальнейшей деятельности.

#### **Заключение.**

Диссертация Рогожниковой Елены Николаевны соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013г. №842:

1. Диссертационная работа соответствует п.9 «Положения ...», так как является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные результаты по диагностике технического состояния РДТТ при локальном расслоении.
2. Диссертационная работа соответствует п.10 «Положения ...», так как изложена и оформлена автором самостоятельно, содержит новые научные результаты и положения, выносимые на публичную защиту, и показывает личный вклад диссертанта в науку.
3. Диссертационная работа соответствует п.11, 12, 13 «Положения ...», так как основные положения диссертации отражены в 12 статьях, в том числе в 4 статьях в рецензируемых журналах из перечня ВАК России и Scopus.
4. Диссертационная работа соответствует п.14 «Положения ...», так как при использовании результатов работ других авторов соискатель ссылается на соответствующие источники заимствования материалов.

Диссертационная работа Рогожниковой Е.Н. выполнена на высоком научно-техническом уровне с применением комплекса современных инструментальных методов исследования. Полученные результаты представляют не только научный интерес, но имеют реально практическое значение, так как методика диагностики технического состояния корпусов РДТТ при локальном расслоении узлов стыка позволяет провести оценку снижения прочностных свойств и работоспособности конструкции.

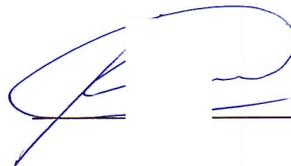
Соискателем выполнено квалификационное законченное исследование, обладающее логичным единством этапов исследования. Выводы соответствуют цели работы и поставленным научным задачам.

По актуальности, научной новизне и практическому применению диссертация соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Рогожникова Елена Николаевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Отзыв ведущей организации диссертационной работы Рогожниковой Е.Н. рассмотрен и одобрен на заседании секции №3 научно-технического совета АО «ЦНИИСМ», присутствовало 6 человек, протокол № 1-2023 от «30» января 2023 г.

Отзыв подготовил:

Начальник отделения «Центр прочности» - заместитель главного конструктора по прочности, к.т.н.



В.О. Каледин

Подпись к.т.н. Каледина Владимира Олеговича заверяю

Секретарь научно-технического совета АО «ЦНИИСМ»



Г.В. Краснова

**Наименование организации:** Акционерное общество «Центральный Научно-исследовательский институт специального машиностроения» (АО «ЦНИИСМ»)

**Адрес:** 141371, Московская область, Сергиево-Посадский район, г. Хотьково, ул. Заводская

**e-mail:** [tsniism@tsniism.ru](mailto:tsniism@tsniism.ru)

**Тел.:** (495)993-00-11, **факс:** 8(496)543-82-94

**Сайт:** <http://tsniism.ru>