

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 99.0.067.02 (Д 999.211.02)
созданного на базе Федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский
политехнический университет» и Федерального государственного бюджетного
учреждения науки «Институт механики сплошных сред Уральского отделения
Российской академии наук»,

по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 22 декабря 2021 г. №12
о присуждении Пеленеву Константину Александровичу, гражданину России,
ученой степени кандидата технических наук

Диссертация «Напряженно-деформированное состояние и прочность шпангоута авиационного двигателя из полимерных композиционных материалов» по специальности 1.1.8. Механика деформированного твердого тела принята к защите 22 октября 2021 года, (протокол заседания № 10), диссертационным советом на базе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (614990, г. Пермь, Комсомольский пр. 29) и Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук» Федерального агентства научных организаций (614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 1), приказ о создании совета № 424/нк от 17.04.2018 г.

Соискатель Пеленев Константин Александрович, 1992 года рождения, в 2015 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», в 2019 году окончил аспирантуру очной формы обучения ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», работает младшим научным сотрудником в Научно-образовательном центре авиационных композитных технологий Пермского национального исследовательского

политехнического университета.

Диссертация выполнена на кафедре «Механика композиционных материалов и конструкций» ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. Аношкин Александр Николаевич, и.о. заведующего кафедрой механики композиционных материалов и конструкций Пермского национального исследовательского политехнического университета.

Официальные оппоненты:

1. Сапожников Сергей Борисович, д-р техн. наук, проф., ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», профессор кафедры «Техническая механика»,
2. Пестренин Валерий Михайлович, канд. физ.-мат. наук, доц., ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет доцент кафедры «Вычислительной и экспериментальной механики»,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (г. Самара), в своем положительном отзыве, подписанном заведующим кафедрой конструкции и проектирования летательных аппаратов д-р техн. наук доцентом Болдыревым Андреем Вячеславовичем и Директором научно-образовательного центра авиационных конструкций (НОЦ -202) д-р техн. наук, профессором Комаровым Валерием Андреевичем и утвержденном первым проректором – проректором по науке и инновациям Прокофьевым Андреем Брониславовичем, указала, что диссертационная работа Пеленева Константина Александровича выполнена самостоятельно и является завершённым научным исследованием. По своей актуальности, научной новизне, объёму теоретических и экспериментальных исследований и практической значимости представленная работа полностью удовлетворяет критериям Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор достоин присуждения искомой степени по специальности 1.1.8 Механика деформируемого твердого тела.

Соискатель имеет 7 опубликованных работ по теме диссертации, в том числе 4

работы опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для опубликования результатов диссертационных исследований на соискание ученой степени кандидата наук, из них 4 работы – в изданиях, входящих в международные базы цитирования Scopus и Web of Science. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Аношкин А.Н., Зуйко В.Ю., Пеленев К.А., Писарев П.В., Шипунов Г.С. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния композитного шпангоута авиационного назначения для разработки методики контроля с применением волоконно-оптических датчиков// Вестник ПНИПУ. Механика (Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика).– 2018. – № 4. – С. 47-57. (**Scopus**)

В данной работе соискатель привел результаты проведения механических лабораторных испытаний композитного сегмента шпангоута с наклеенными на его поверхность волоконно-оптическими датчиками. Представил трехмерную конечно-элементную модель композитного сегмента шпангоута и привел результаты расчета напряженно-деформированного состояния композитного шпангоута при лабораторных испытаниях. Представлены результаты апробации метода регистрации деформаций в режиме реального времени с помощью системы волоконно-оптических датчиков в процессе проведения лабораторных испытаний.

2. G. S. Shipunov, A. A. Voronkov, K. A. Pelenev, and K. N. Shestakova Calculation and experimental study of the stress-strain state of the power frame of an aviation engine equipped with fiber optic sensors// AIP Conference Proceedings 2053, 040091 (2018); <https://doi.org/10.1063/1.5084529> (**Scopus**)

В данной работе соискатель разработал оболочечную конечно-элементную модель полноразмерного композитного шпангоута и провел расчет напряженно-деформированного состояния композитного шпангоута при эксплуатационном нагружении. Привел результаты механических лабораторных испытаний композитного сегмента шпангоута с наклеенными на его поверхность волоконно-оптическими датчиками. Привел результаты верификации разработанной численной модели сегмента композитного шпангоута по данным лабораторных испытаний.

3. Потрахов Н.Н., Аношкин А.Н., Зуйко В.Ю., Осокин В.М., Писарев П.В., Пеленев К.А. Расчетно-экспериментальная оценка прочности сегмента композитного

шпангоута с применением метода in-situ рентгеновского контроля // Вестник ПНИПУ. Механика (Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика) – 2017. – № 1. – С. 118–133. (Scopus)

В данной работе соискатель привел результаты проведения механических лабораторных испытаний композитного сегмента шпангоута с наклеенными на его поверхность волоконно-оптическими датчиками. Описал выявленные особенности деформирования и разрушения композитного шпангоута при отгибе фланца, получил оценки прочности сегмента шпангоута из композиционных материалов при лабораторных испытаниях. Привел сравнение экспериментальных результатов с результатами численных расчетов сегмента шпангоута.

4. Anoshkin A.N., KavaleroV B. V., Osokin V.M., Pelenev K.A., Tretyakov A.A. Experimental-Theoretical Study of Mechanical Behavior of Polymer Composite Construction When Developing a Method of Reliable Detection of Defects by Microfocus Radiography// AIP Conference Proceedings 2053, 030002 (2018); <https://doi.org/10.1063/1.5084363> (Scopus)

В данной работе соискатель описал особенности развития межслоевых трещин при разрушении сегмента шпангоута из композиционных материалов с частичным сохранением его несущей способности при лабораторных испытаниях.

На диссертацию и автореферат поступило 5 отзывов, все отзывы положительные: д-ра техн. наук, проф. Ф.А. Уразбахтина, и.о. заведующего кафедрой «Ракетостроение» ВФ ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова», к.т.н. Ю.Ю. Хариновой, доцента кафедры «Ракетостроение» ВФ ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова», д-ра техн. наук, проф. Г.И. Шайдуровой, главного химика ПАО НПО «Искра», А.Б. Ознобшина, и.о. начальника 730 ПАО НПО «Искра», Е.Н. Рогожниковой, инженера-конструктора 730 ПАО НПО «Искра», М.Ф. Назирова начальника сектора научно-исследовательского отделения АО «Уральский научно-исследовательский институт композиционных материалов», д-ра физ. мат. наук, С. Тарасова, старшего научного сотрудника Института механики материалов Латвийского университета, М.А. Гринева, заместителя начальника отдела 205 АО «ОДК-Авиадвигатель».

В отзывах отмечено, что диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне и посвящена решению актуальной задачи, полученные новые расчетно-

экспериментальные данные имеют научный и практический интерес и существенное значение в области механики деформированного твердого тела, а соискатель заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8 Механика деформированного твердого тела.

В отзывах на автореферат содержатся следующие пожелания, вопросы и замечания: по какому принципу выбран только один режим работы двигателя и всего лишь шесть расчетных случаев для решения задачи механики деформируемого твердого тела; как учитывалось при исследовании прочности композитного шпангоута наличие отверстий и оценивались ли поля напряжений и прочность в этих зонах; возможна ли адаптация и применение разработанных методик и моделей для других композитных конструкций; отмечается, что расчет и экспериментальное подтверждение прочности и жесткости шпангоута выполнены только при «комнатной» температуре, тогда как фактическая температура эксплуатации изделия составляет от -50 до $+90^{\circ}\text{C}$; обращается внимание, что горизонтальная шкала на рис.6в не соответствует подписи к рис. 7в (где есть отсылка на рис. 6), и значения перемещений на рис. 6в явно завышены; схему наклейки датчиков на рис. 8б следовало дополнить видом шпангоута сбоку и указать направление углов армирования; указано, что в исследовании не рассмотрен вопрос термических напряжений, который особенно актуален для авиационных металло-композитных конструкций, работающих в широком диапазоне температур; при постановке задачи расчета НДС и оценки прочности шпангоута не оцениваются остаточные деформации и напряжения в структуре материала, которые могут привести к деформированию (искажению геометрии) конструкции и снижению ее прочности.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим:

официальные оппоненты являются ведущими специалистами в области расчетного, экспериментального и теоретического исследования механического поведения материалов неоднородной структуры при различных напряженно-деформированных состояниях. Результаты проводимых ими исследований опубликованы в ведущих научных рецензируемых изданиях, в том числе индексируемых в базах Scopus, Web of Science;

Ведущая организация ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский

университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет) хорошо известна теоретическими и экспериментальными исследованиями своих сотрудников в области механики деформированного твердого тела и, в частности, исследованиями и решением задач механики деформируемого твердого тела для конструкций из композиционных материалов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны новые трехмерные модели для описания механического поведения шпангоута из слоистых композиционных материалов, явным образом учитывающие схему армирования и механические характеристики слоев и позволяющие исследовать зависимости между этим параметрами структуры слоистого композиционного материала и особенностями деформирования шпангоута;

получены новые расчетные и экспериментальные данные о параметрах деформирования и закономерностях разрушения шпангоута из композиционных материалов при лабораторных испытаниях, имитирующих основные варианты эксплуатационного нагружения;

доказана возможность и предложены схемы армирования для создания заднего шпангоута реверсивного устройства авиационного двигателя из углепластиков на основе среднемодульных и высокомодульных волокон с текстильным и однонаправленным армированием, прочность и жесткость которого при заданной системе эксплуатационных нагрузок будет эквивалентной титановому прототипу.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

выявлены особенности деформирования и разрушения, получены оценки прочности и жесткости шпангоута реверсивного устройства авиационного двигателя из слоистых углепластиков с различными схемами армирования;

Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован современный комплекс расчетных и экспериментальных методов оценки напряженно-деформированного состояния конструкций из полимерных композиционных материалов, в частности, для расчетов использовался МКЭ и программный комплекс АНСИС, для регистрации деформаций при механических испытаниях натуральных образцов шпангоута апробирована система волоконно-оптических датчиков;

изложена совокупность новых результатов расчетных и экспериментальных исследований параметров деформирования и разрушения шпангоута авиационного двигателя из полимерных композиционных материалов;

изучены особенности напряженно-деформированного состояния и разрушения, получены оценки жесткости и прочности шпангоута авиационного двигателя, выполненного из слоистых углепластиков с различными схемами армирования на основе среднемодульных и высокомодульных волокон при эксплуатационных вариантах нагружения и лабораторных испытаниях.

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

разработаны методики расчета напряженно-деформированного состояния и оценки прочности шпангоутов из полимерных композиционных материалов, позволяющие обосновать выбор материалов слоев и рациональной схемы укладки слоев при проектировании.

разработаны методики лабораторных механических испытаний натуральных образцов и сегментов шпангоута авиационного двигателя из полимерных композиционных материалов с использованием системы волоконно-оптических датчиков для регистрации деформаций в режиме реального времени, позволяющие экспериментально подтвердить прочность и жесткость конструкции шпангоута;

представлены рекомендации по проектированию, выбору полимерных композиционных материалов по выбору полимерных композиционных материалов и схемы укладки слоев при проектировании композитного шпангоута реверсивного устройства авиационного двигателя для обеспечения требуемых параметров жесткости и прочности.

Результаты диссертационного исследования внедрены и используются при создании деталей и узлов из полимерных композиционных материалов новых авиационных двигателей в АО «ОДК-Авиадвигатель» (г. Пермь) и в научно-образовательном центре акустических исследований и композитных звукопоглощающих конструкций ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (г. Пермь).

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

для экспериментальных работ использованы сертифицированные и поверенные средства измерений и аттестованное оборудование в аккредитованной испытательной лаборатории Научно-образовательного центра авиационных композитных технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета, а также современные волоконно-оптические методы регистрации и обработки экспериментальных данных для анализа закономерностей деформирования композитных конструкций;

теоретическая достоверность подтверждается сходимостью численных решений краевых задач механики деформируемого твердого тела для исследуемого шпангоута и удовлетворительным соответствием расчётных и экспериментальных значений деформаций и нагрузки появления расслоений в структуре композиционного материала при лабораторных испытаниях натуральных образцов шпангоута.

Личный вклад соискателя состоит в: постановке задачи диссертационного исследования совместно с научным руководителем, проведении литературного обзора, посвященного особенностям проектирования и расчета силовых шпангоутов авиационной и ракетно-космической техники, анализе комплекса механических свойств и выборе композиционных материалов, использованных в последующих исследованиях и расчетах шпангоута, проведении механических испытаний образцов композиционных материалов; анализе вариантов деформирования шпангоута при эксплуатационном нагружении, выборе расчетной схемы, разработке и верификации компьютерных моделей для расчета НДС и оценки прочности композитного шпангоута и его сегментов, проведении расчетов и исследований влияния схемы армирования на жесткость и прочность композитного шпангоута, разработке методики экспериментальных и расчетных исследований особенностей деформирования и разрушения композитного шпангоута и его сегментов в лабораторных условиях с использованием системы волоконно-оптических датчиков, подготовке публикаций вместе с соавторами выполненной работы.


Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842: в ней содержится решение задачи механики деформируемого твердого

тела связанных с установлением зависимостей между структурой композиционного материала и особенностями напряженно-деформированного состояния и разрушения композитного шпангоута авиационного двигателя, имеющей важное значение в области проектирования авиационных изделий из композиционных материалов.


На заседании 22 декабря 2021 года диссертационный совет принял решение присудить **Пеленеву Константину Александровичу** ученую степень *кандидата технических наук*.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 8 докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовал: за присуждение ученой степени – 15, против присуждения ученой степени – 0, не учувствовавших в голосовании – 0.

Заместитель председателя диссертационного совета 99.0.067.02
(Д 999.211.02), доктор технических наук, профессор

 Труфанова Н.М.

Ученый секретарь диссертационного совета 99.0.067.02
(Д 999.211.02), доктор технических наук, профессор

 Щербинин А.Г.

«24» декабря 2021 г.

