

О Т З Ы В

официального оппонента

на диссертацию Пеленева Константина Александровича «**Напряженно-деформированное состояние и прочность шпангоута авиационного двигателя из полимерных композиционных материалов**», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твердого тела

Актуальность темы исследования. Использование конструкционных композитных материалов при проектировании и эксплуатации аэрокосмической техники является современной тенденцией ее развития. В рецензируемой работе рассматривается возможность изготовления ответственного элемента конструкции авиационного двигателя – шпангоута из слоистого углепластика. Замена традиционного титанового шпангоута углепластиковым аналогом может обеспечить ряд преимуществ (экономические, прочностные, массовые и т.д.), что обуславливает актуальность темы исследования.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, который содержит 135 наименований. Объем диссертационной работы изложен на 149 страницах, иллюстрированных 83 рисунками и 17 таблицами.

Во введении приводятся примеры использования композитных конструкций в аэрокосмической технике, анализируются публикации по теме исследования, отмечаются особенности определения материальных характеристик слоистых композитов и расчетов их на прочность. Обоснована актуальность темы диссертационного исследования, сформулированы цели и поставлены решаемые в работе задачи.

В первой главе обсуждается использование силовых шпангоутов в конструкциях современной авиационной и ракетной техники, отмечается, что происходит вытеснение металлических элементов с заменой на композиционные аналоги. Приводится обзор отечественной и зарубежной литературы публикаций по изготовлению рассматриваемых конструкций из композиционных материалов, описываются основные технологии их изготовления. Определяется объект, формулируются цели, ставятся задачи исследования.

Во второй главе обсуждается конечно-элементное решение задачи о расчете НДС шпангоутов, изготовленных из титана и слоистого углепластика. Приводятся материальные свойства слоев композита и схемы армирования. Анализируются возможные нагружения шпангоута, соответствующие различным режимам работы двигателя, и формулируется список наиболее интересных для исследования задач. Подвергается исследованию НДС титановый прототип шпангоута. Выявляется наиболее опасный вариант нагружения конструкции, используемый далее в работе.

В третьей главе диссертационного исследования приводятся эффективные материальные характеристики отдельных слоев, используемых в конструкции шпангоута. Рассчитываются эффективные характеристики пакетов с одиннадцатью различными схемами армирования. Посредством сравнительного анализа жесткостных характеристик пакетов выбираются шесть перспективных для дальнейшего исследования. Исследование прочности шпангоута из слоистого углепластика предлагается проводить по двухступенчатой методике. На первом этапе выполняется расчет полноразмерного шпангоута в оболочечной постановке. Выявляются области с повышенным напряженно-деформированным состоянием, которое на втором этапе исследуется на 3D-модели. По результатам расчета выбраны материалы и схемы армирования, которые позволяют обеспечить прочность и жесткость композитного шпангоута, сопоставимые с титановым прототипом.

В четвертой главе предлагаемая автором методика расчета НДС слоистого шпангоута и оценка его прочностных характеристик подвергается верификации. Рассматриваются лабораторные испытания и численный анализ следующих объектов: полноразмерного шпангоута, двух его сегментов, нагружаемых сосредоточенной силой, а также лабораторные испытания и численный анализ сегментов шпангоута на отгиб фланцев. Для измерения деформаций используется современная система ОВД. На основании сравнения экспериментальных и расчетных результатов исследования делается вывод о работоспособности предложенных методик.

В заключении приводятся основные научные результаты и выводы, полученные автором.

Научная новизна. В диссертационной работе впервые изучается возможность изготовления из слоистого композита шпангоута реверсивного устройства авиационного двигателя. Впервые предложен способ выбора рациональных схем армирования слоистых пакетов посредством анализа их эффективных материальных характеристик. Впервые предложены и изготовлены конструкции оснастки для лабораторных испытаний углепластикового шпангоута реверсивного устройства авиационного двигателя и его сегментов.

Достоверность полученных результатов. Достоверность используемых материальных характеристик отдельных слоев частично подтверждается экспериментом (модуль упругости в направлении волокон равнопрочного материала). Достоверность решений задач анизотропной упругости подтверждается применением сертифицированного программного обеспечения. Достоверность представления отдельных слоев и пакета слоистого углепластика моделью анизотропного упругого тела частично подтверждается лабораторными испытаниями полноразмерного шпангоута и его сегментов.

Теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

Теоретическая значимость

- Автор выявил с использованием предложенной им методики особенности напряженно-деформированного состояния и разрушения углепластикового шпангоута.
- Предложил выбор рациональной схемы армирования слоистых пакетов посредством анализа их эффективных материальных характеристик.

Практическая значимость результатов исследования состоит в создании методики и программного комплекса для расчетно-экспериментального исследования слоистых конструкций из композитов.

Соответствие автореферата основным положениям диссертации. Содержание автореферата в полной мере отражает структуру, основные результаты и выводы диссертации. Автореферат и диссертация изложены ясно, достаточно иллюстрированы, представляют экспериментальные исследования, разработанные расчетные модели и результаты численного анализа.

Апробация результатов работы.

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных и всероссийских конференциях. Результаты исследования достаточно полно представлены в семи публикациях, из них четыре – статьи в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, и в изданиях, индексируемых в БД Scopus.

Замечания по диссертационной работе.

1. Приведенные материальные упругие константы отдельных слоев частично заимствованы автором из периодических источников. Ссылки на такие источники (90–93) не позволяют выявить методы определения этих констант.

2. Тканевые композиты автор считает ортотропными. По мнению рецензента, это неверно. Тканевый композит не имеет ортогональных плоскостей симметрии, поэтому не может быть ортотропным. Утверждение об ортотропности тканевого композита следует считать допущением.

3. Предлагаемый в работе способ выбора рациональных схем армирования слоистых пакетов посредством анализа их эффективных материальных характеристик не достаточно проработан. В композиционных материалах их прочностные характеристики зависят не только от жесткостных свойств материала.

4. Все предлагаемые варианты строения пакета шпангоута (табл.3.4) не являются симметричными относительно срединной

поверхности, что при нагружении шпангоута может привести к его закручиванию.

5. Автор не уделяет внимания оценке характерных размеров представительного объема как слоя, так и пакета слоев. Напряжения и деформации, вычисленные с использованием эффективных материальных свойств, имеют смысл лишь для объемов, соизмеримых с характерным размером представительного объема. В случае, когда конечный элемент значительно меньше представительного объема (в работе он 0.5мм), механический смысл напряжений, вычисленных с использованием эффективных характеристик, не понятен.

6. Автором принимается, что материал углепластика линейно анизотропно упругий. В действительности же слоистый углепластик является термореологически простым вязкоупругим материалом, свойства которого чувствительны к изменению температуры. В работе отсутствует оценка и вязкоупругого поведения материала, и зависимости НДС от температуры.

7. Схемы лабораторных испытаний шпангоута и его сегментов не согласованы с нагружением реальной конструкции.

8. На кромках фланцев, а также на поверхностях отверстий для болтов расположены линии особых точек (границы слоев с различными материальными свойствами), в окрестности которых возникает концентрация напряжений (кромочный эффект), что может привести к расслоению конструкции. В работе не дается оценка возможной концентрации напряжений вблизи таких линий.

9. В эксперименте (рис.4.17) деформации достигают 20%. Корректно ли сравнивать с таким экспериментом решение по линейной теории?

10. Рис.4.17г. Датчики 32 и 33 расположены симметрично относительно точки крепления. Чем объясняется значительное различие в показаниях датчиков?

11. В работе встречаются опечатки. Например, рис. 1.18. Обозначения момента M_z и система координат не согласуются. Рис.4.14а. По оси абсцисс откладываются не перемещения, а время.

Заключение о соответствии диссертации критериям установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней».

Диссертация Пеленева Константина Александровича «Напряженно-деформированное состояние и прочность шпангоута авиационного двигателя из полимерных композиционных материалов» является законченной научно-квалификационной работой, в которой исследуется влияние структуры

слоистых композиционных материалов на напряженно-деформированное состояние шпангоута реверсивного устройства авиационного двигателя.

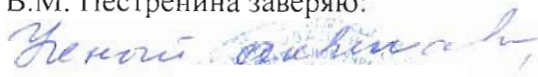

Диссертационная работа Пеленева К.А. соответствует требованиям пункта 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент, доцент кафедры
вычислительной и экспериментальной механики
Федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Пермский государственный национальный
исследовательский университет», кандидат физико-
математических наук (01.02.01), доцент


Пестренин
Валерий Михайлович

614990, г. Пермь, ул. Букирева 15
Тел.: +8 (342) 260-19-01
E-mail: pestreninVM@mail.ru

Подпись В.М. Пестренина заверяю:


6.9.21

12.12.2021