

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу  
Маскайкиной Анны Александровны  
«Разработка методов расчета стыковых металло-композитных узлов  
авиационных конструкций на прочность с учетом ресурса»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 2.5.14. «Прочность и тепловые режимы летательных  
аппаратов».

Диссертационная работа Маскайкиной А.А. посвящена разработке методов расчета металло-композитных узлов авиационных конструкций на прочность с учетом ресурса.

### **Актуальность темы диссертации.**

В процессе эксплуатации в соединениях конструкций, выполненных из композиционных материалов, наблюдается снижение механических свойств, таких как жесткость и прочность, ввиду возможного разрушения связующего в слоях. Развитие повреждений в армированном волокнами композите является сложным процессом из-за неоднородности и анизотропии свойств материала. Поскольку соединения являются одними из слабых звеньев в конструкциях летательных аппаратов, при проектировании соединений им следует уделять наибольшее внимание.

Несмотря на большое количество исследований, остается необходимость в продолжении изысканий в вопросах ресурса и накопления повреждений в силовых элементах композиционных конструкций. Это позволяет считать тему представленной диссертационной работы актуальной.

### **Общая характеристика работы.**

Диссертационная работа Маскайкиной А.А. имеет четкую структуру.

Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 114 наименований. Общий объем диссертации составляет 155 страниц машинописного текста, включая 102 рисунка и 20 таблиц.

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

«10» 04 2023

Диссертация имеет приложение с актом внедрения результатов диссертационной работы в учебный процесс организации, в которой выполнена работа.

Во **введении** обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, указана научная новизна, теоритическая и практическая значимость полученных результатов, обоснована степень достоверности, перечислены положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации результатов работы и публикациях.

**Первая глава** посвящена обзору современного состояния исследований по вопросам накопления повреждения и ресурсу авиационных композитных конструкций.

В разделе 1.1 приводится анализ работ по созданию моделей материала с учетом изменения жесткостных и прочностных характеристик композитных конструкций.

В разделе 1.2 рассматриваются различные методики определения ресурса конструкций.

В разделе 1.3 ставятся задачи исследования.

Глава демонстрирует способность диссертанта работе с научной информацией в областях, связанных с накоплением повреждений и ресурсом авиационных конструкций.

Во **второй главе** приводится разработанная А. А. Маскайкиной методика получения оптимальной длины стыка соединения, в котором обеспечивается равномерное распределение нагрузки по длине металло-композитного стыка в болтовом соединении. Для подтверждения разработанной методики выполнены расчеты на примерах узла крепления лопасти несущего винта и стыка крыла с центропланом.

Необходимо отметить, что проведены все необходимые аналитические и численные расчеты по полученным в главе формулам.

В **третьей главе** приведен алгоритм расчета накопления повреждений в ответственных узлах конструкции летательных аппаратов на примере стыка

крыла центроплана и зоны крепления лопасти вертолета. На основе разработанного алгоритма исследованы изменения модуля упругости и модуля сдвига в зависимости от числа циклов нагружения.

Полученная методика в данной главе позволяет прогнозировать деградацию механических свойств композиционного материала в зависимости от числа циклов.

**Четвертая глава** посвящена расчету ресурса авиационных конструкций. В данной главе представлена методика оценки несущей способности композитной конструкции с учетом роста поврежденности, который дает прогноз длительности работы конструкции без нарушения эксплуатационных свойств. Для конструкции узла крепления вертолетной лопасти получены поверхности прочности при различных числах циклах нагружения и изменение предельной нагрузки вследствие поврежденности материала.

Результаты данной главы имеют несомненную теоретическую и практическую значимость.

**В пятой главе** представлены результаты эксперимента по исследованию композитных образцов болтовых соединений. Проведены статические испытания композитных и металло-композитных соединений, представлены результаты усталостных испытаний композитных соединений. При изучении металло-композитных соединений проводились статические испытания с использованием корреляции цифровых изображений. Для анализа накопления повреждений проведены испытания образцов композитного соединения под действием растягивающих циклических напряжений с постоянной частотой. В результате получены экспериментальные данные по изменению модуля упругости в зависимости от числа циклов, подтверждающие предлагаемую автором диссертации методику оценки прочности металло-композитных узлов авиационных конструкций с учетом ресурса.

Глава свидетельствует о приобретенном опыте соискателя в экспериментальных работах и способности проводить и обрабатывать результаты экспериментальных исследований.

**В заключении** сформулированы основные результаты по диссертационной работе.

#### **Научная новизна.**

Научная новизна работы заключается в разработке уточненного расчетного алгоритма получения оптимальной длины стыка соединения, в котором достигается равномерное распределение нагрузки по длине стыка с вариантом болтового соединения; в разработке методики расчета накопления повреждений в ответственных зонах стыка авиационных конструкций, таких как стык крыла центроплана и крепление лопасти вертолета; в разработке и верификации методики оценки несущей способности зоны стыка силовых авиационных конструкций.

#### **Теоретическая и практическая значимость.**

**Теоретическая значимость работы** определяется возможностью проектирования оптимальных соединений самолетных и вертолетных конструкций и оценкой их ресурса.

#### **Практическая значимость работы**

Результаты исследования имеют большое практическое значение при проектировании и поверочном расчете напряженно-деформированного состояния тонкостенных конструкций в наиболее важных зонах. Разработанная автором методика позволяет находить рациональные варианты узлов стыка и тем самым увеличивать ресурс авиационных конструкций.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90122.

**Степень обоснованности и достоверности каждого из полученных положений, выводов и заключений, сформулированных в диссертации,** обеспечена использованием разработанных автором методик расчета стыковых металло-композитных узлов, в которых реализованы

математические модели, основанные на законах механики разрушения композиционных материалов. Необходимо отметить умелое использование А.А. Маскайкиной аналитического решения поставленной проблемы и метода конечных элементов при расчете конструкций для повышения достоверности полученных результатов. Теоретические исследования подтверждаются экспериментом на композиционных образцах.

#### **Соответствие публикаций и автореферата диссертационной работе**

Результаты исследований опубликованы в 10 работах, в том числе четыре статьи в научных изданиях из перечня ВАК РФ.

Автореферат в полной мере отражает основное содержание диссертации.

#### **Замечания по диссертационной работе:**

Считаю, что представленная работа, в целом, выполнена на высоком научном уровне и не имеет замечаний за исключением пятой главы, где приведены результаты усталостных испытаний только для композитных соединений.

Высказанные замечания не снижают общей хорошей оценки теоретической и практической значимости представленной диссертации. Они носят частный характер.

#### **Оценка работы.**

Рассмотренная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании полученных автором методик расчета приведены новые результаты, позволяющие обеспечить оптимальную длину стыка соединения и увеличить ресурс авиационных конструкций.

Работа выполнена на высоком научном уровне и удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор, Маскайкина Анна Александровна, заслуживает

математические модели, основанные на законах механики разрушения композиционных материалов. Необходимо отметить умелое использование А.А. Маскайкиной аналитического решения поставленной проблемы и метода конечных элементов при расчете конструкций для повышения достоверности полученных результатов. Теоретические исследования подтверждаются экспериментом на композиционных образцах.

#### **Соответствие публикаций и автореферата диссертационной работе**

Результаты исследований опубликованы в 10 работах, в том числе четыре статьи в научных изданиях из перечня ВАК РФ.

Автореферат в полной мере отражает основное содержание диссертации.

#### **Замечания по диссертационной работе:**

Считаю, что представленная работа, в целом, выполнена на высоком научном уровне и не имеет замечаний за исключением пятой главы, где приведены результаты усталостных испытаний только для композитных соединений.

Высказанные замечания не снижают общей хорошей оценки теоретической и практической значимости представленной диссертации. Они носят частный характер.

#### **Оценка работы.**

Рассмотренная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании полученных автором методик расчета приведены новые результаты, позволяющие обеспечить оптимальную длину стыка соединения и увеличить ресурс авиационных конструкций.

Работа выполнена на высоком научном уровне и удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор, Маскайкина Анна Александровна, заслуживает

