



Государственный научный центр Российской Федерации
Федеральное автономное учреждение

**ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени профессора Н.Е. Жуковского
ФАУ «ЦАГИ»**

Жуковского ул., д. 1, г. Жуковский, Московская область, 140180
тел.: +7 495 556-4303, факс: +7 495 777-6332, www.tsagi.ru
ОГРН 1225000018803, ИНН 5040177331, КПП 504001001, ОКПО 50205960

20.04.2022 № 21348-10-3396

На № _____ от _____



125993 г. Москва, А-80, ГСП-3
Волоколамское шоссе, д. 4,
«Московский авиационный
институт (национальный
исследовательский
университет)» :
учёному секретарю
диссертационного совета
Д 212.125.10 к.т.н., доценту
Денискиной Антонине
Робертовне

Уважаемая Антонина Робертовна!

Высылаю Вам отзыв оппонента Гришина В.И. на диссертацию Гавва Любовь Михайловны «Методы анализа статической прочности и устойчивости конструктивно-анизотропных панелей летательных аппаратов из композиционных материалов на основе уточнённой теории с учётом технологии изготовления», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.07.03 – прочность и тепловые режимы летательных аппаратов

С уважением
Зам. генерального директора ФГУП «ЦАГИ»
— начальник комплекса прочности ЛА

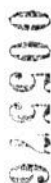
Зиченков М.Ч.

Приложение: Отзыв оппонента на диссертацию Гавва Любовь Михайловны «Методы анализа статической прочности и устойчивости конструктивно-анизотропных панелей летательных аппаратов из композиционных материалов на основе уточнённой теории с учётом технологии изготовления» на 5-и стр. в 2-х экз..

Исп. Гришин В.И., т. (8-495) 5564706

Отдел документационного
обеспечения МАИ

22 04 2022



ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Гавва Л.М. на тему «Методы анализа статической прочности и устойчивости конструктивно-анизотропных панелей летательных аппаратов из композиционных материалов на основе уточнённой теории с учётом технологии изготовления», представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05. 07. 03 «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов»

Диссертация Л.М. Гавва является комплексом теоретических и экспериментальных исследований, направленных на решение проблем в рамках междисциплинарного подхода на основе уточнённой теории статической прочности и устойчивости эксцентрично подкреплённых прямоугольных панелей несущих поверхностей летательных аппаратов (ЛА), изготовленных из композиционных и металлических материалов. Такие **актуальные** проблемы приобретает особое значение и важность при проектировании авиационных конструкций строящихся и перспективных воздушных судов. В работе представлены основные результаты научных и прикладных исследований, выполненных автором в соответствии с грантами по фундаментальным исследованиям Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы и приложений с актами внедрения результатов исследования. Общий объём диссертации составляет 315 страниц, работа содержит 43 рисунка, 12 таблиц. Список публикаций соискателя и использованных источников включает 364 наименования. Основные результаты диссертации опубликованы в 29 работах.

Во **введении** приведена общая характеристика работы: обоснована актуальность научной проблемы, степень её разработанности, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна и новые научные результаты, теоретическая и практическая значимость работы, изложена методология исследования, перечислены положения, выносимые на защиту, обоснована степень достоверности полученных результатов, представлены апробация диссертации и личный научный вклад автора.

Первая, обзорная глава достаточно традиционна. В ней приводится обзор работ отечественных и зарубежных авторов, а также анализируется современное состояние проблем статичности и устойчивости, излагаются получившие наибольшее распространение подходы к проблеме оптимального проектирования конструктивно-анизотропных прямоугольных панелей из композиционных материалов, находящихся в условиях силового и температурного воздействия. Оценка современного состояния даёт возможность сформулировать рекомендации и перспективы последующей разработки темы, определяет направление дальнейших исследований в области рационального проектирования несущих поверхностей перспективных изделий авиационной техники из композиционных материалов.

Глава 2 посвящена построению математических моделей конструктивно-анизотропных панелей из композиционных материалов, находящихся под действием произвольной поперечной нагрузки и температуры, с учётом технологии изготовления.

Разработана проблема исследования напряжённо-деформированного состояния конструктивно-анизотропных композитных панелей в уточнённой постановке в рамках междисциплинарного подхода. Рассматриваются статические задачи по определению сложного напряжённо-деформированного состояния (НДС) плоской прямоугольной многослойной панели, изготовленной из полимерных композиционных материалов (ПКМ) с эксцентричным продольно-поперечным набором. Кинематические и статические условия на контуре панелей предполагаются достаточно общими. Принимаются во внимание технологические факторы, имеющие место при изготовлении композитов: остаточные температурные напряжения, возникающие при охлаждении после завершения процесса

«22» 04 2022

отверждения, и технологическая операция предварительного натяжения армирующих волокон, осуществляемая в целях повышения несущей способности конструкции. В качестве математической модели предлагается схематизация панелей как конструктивно-анизотропных с осреднением жесткостей тонкостенных подкрепляющих элементов, которые находятся в условиях косоугольного изгиба и стеснённого кручения вследствие одностороннего контакта с обшивкой. Для определения НДС рёбер жёсткости применяется предложенный В.З. Власовым вариационный метод расчёта тонкостенных пространственных систем в перемещениях, дающий возможность построить теорию тонкостенных упругих стержней без введения гипотезы об отсутствии деформации сдвига срединной поверхности профиля.

Глава 3 посвящена разработке аналитических методов исследования проблем статической прочности при определении сложного НДС конструктивно-анизотропных панелей с граничными условиями общего вида.

С математической точки зрения проблема исследования основного напряжённо-деформированного состояния конструктивно-анизотропных панелей, трактуемых как ортотропные, сводится к решению краевых задач в прямоугольной области для неоднородного линейного дифференциального уравнения восьмого порядка в частных производных относительно искомой потенциальной функции.

Изложен алгоритм нового метода, позволяющего представить решение дифференциального уравнения восьмого порядка в частных производных в виде разложения по неортогональной системе обобщённых собственных функций с коэффициентами, определяемыми явно.

В главе 4 представлены результаты численной реализации разработанных алгоритмов на основе уточнённой теории при определении общего напряжённого состояния с краевыми эффектами и основного напряжённо-деформированного состояния конструктивно-анизотропных панелей.

На основе полученных результатов численного анализа в широком диапазоне изменения геометрических и жесткостных характеристик конструктивно-анизотропных панелей обоснована возможность расчета без учёта краевых эффектов в соответствии с теорией асимптотического интегрирования дифференциальных уравнений.

Глава 5 содержит исследование различных аспектов проблем устойчивости конструктивно-анизотропных панелей с граничными условиями общего вида. Выполнено математическое моделирование общей изгибаемой формы потери устойчивости, включая постановку задачи и вывод разрешающих уравнений. Предлагается математическое моделирование многоволновой крутильной формы потери устойчивости в рамках вариационной формулировки задачи с последующим выводом разрешающих уравнений. Постановка задач устойчивости и подходы к решению с учётом неравномерности докритического напряжённого состояния и технологии изготовления панелей в рамках разрешающего дифференциального уравнения восьмого порядка являются новыми и представляют интерес с точки зрения практики проектирования композитных панелей для перспективных изделий авиационной техники.

В главе 6 получены результаты численной реализации разработанных алгоритмов на основе уточнённой теории при исследовании проблем устойчивости конструктивно-анизотропных панелей. Представлены новые достижения в области вычислительных исследований устойчивости композитных авиационных конструкций.

Глава 7 демонстрирует верификацию математических моделей. Здесь приведены результаты экспериментальных исследований устойчивости и деформированного состояния конструктивно-анизотропных панелей.

Проведены экспериментальные исследования устойчивости конструктивно-анизотропных панелей из композиционных материалов. Результаты натуральных экспериментов и расчётные данные совпадают качественно по формам потери устойчивости и количественно с точностью до 12–13 %, если не рассматривать переменное

докритическое напряжённое состояние. Учёт неравномерности основного напряжённого состояния приводит к увеличению точности до 8–10 %.

Представлены результаты экспериментальных исследований устойчивости конструктивно-анизотропных панелей из изотропных материалов, усиленных композитными жгутами, а также экспериментальных исследований устойчивости конструктивно-анизотропных панелей кессона из изотропных материалов, усиленных подобными жгутами.

Приложение содержит акты внедрения полученных в диссертации результатов. Результаты диссертационной работы внедрены в ОКБ Сухого и использованы в исследовательских проектах по перспективным направлениям развития самолётостроения. Результаты исследований, полученные и изложенные в диссертации, используются в учебном процессе МАИ (НИУ) при реализации основных образовательных программ университета.

Научная новизна диссертации состоит в построении универсальной математической модели для расчётов на прочность и устойчивость конструктивно-анизотропных панелей несущих плоскостей летальных аппаратов при силовых и температурных нагрузках. При этом учтены деформации сдвига при кручении подкрепляющего элемента при его контакте с обшивкой. Также приняты во внимание эффекты, вносимые технологическим процессом изготовления изделий из полимерных композиционных материалов. Разработаны методологии определения критических сил при разных формах потери устойчивости конструктивно-анизотропных панелей с учётом неравномерности и сложности докритического напряжённого состояния. Автором впервые предложено математически строгое решение связанной задачи в рамках общей контактной задачи композитных обшивки и набора с учётом кручения подкрепляющих элементов, созданы алгоритмы интегрирования уравнений восемнадцатого и восьмого порядков в одиарных тригонометрических рядах. Кроме того, на основе уточнённой теории исследованы напряжения, деформации и критические параметры произвольным образом закреплённых прямоугольных композиционных панелей, усиленных односторонним взаимно-ортогональным набором, а также гладких композитных панелей с несимметричной структурой пакета по толщине.

Достоверность результатов диссертации определяется использованием в работе фундаментальных положений механики деформируемого твёрдого тела и строгих аналитических методов строительной механики композиционных материалов и конструкций. В обоснование достоверности теоретические выводы подтверждаются сравнением с численными решениями и согласуются с экспериментальными результатами, полученными соискателем, а также заимствованными из литературы.

Практическое значение диссертации. В операционной среде MATLAB разработан пакет прикладных программ и реализован процесс компьютерной многокритериальной оптимизации с учётом технологии изготовления конструктивно-анизотропных панелей из композиционных материалов, находящихся в условиях механического, внешнего температурного и технологического температурного воздействия. Разработаны быстрые процедуры для анализа прочности и устойчивости подкреплённых панелей из ПКМ. Так как решение строится точными аналитическими методами, время расчёта вариантов минимально, что представляет интерес для практики проектирования с использованием параметрического анализа. Результаты расчётов дают возможность снижения и оптимизации весовых характеристик конструкции для перспективных изделий авиационной техники.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждена строгостью и корректностью математических формулировок, проведением обширных параметрических исследований.

К недостаткам диссертации отношу следующее.

1. В рамках развития теории тонкостенных упругих стержней В.З. Власова применительно к общей контактной задаче для обшивки и ребра соискателем учтены сдвиговые деформации и напряжения при закручивании элементов продольно-поперечного набора в плоскости панели. Однако, значительный интерес представляет учёт деформаций поперечного сдвига применительно к обшивкам средней и большой толщины в зоне крепления крыла к фюзеляжу для современных образцов авиационной техники из ПКМ.

2. На стр. 7 автор пишет, что «Опыт эксплуатации ПКМснижает массу конструкции на 30-50%». Однако в реальной эксплуатации влияния климата и эксплуатационных повреждений снижают эту величину до 10-15%.

3. В блок схемах метода последовательных приближений для определения критических сил при сжатии панели (рис. 28 и 29) отсутствует ошибка вычисления детерминанта, управляющая итерационным процессом.

4. Вывод автора из анализа рис. 22 на стр. 192 не соответствует содержанию рисунка. На рисунке отсутствуют размерности обозначений.

5. Сноска на стр. 254. Не понятно, почему диссертация на степень к.ф.-м. наук по специальности 01.02.04. называется зарубежным исследованием.

6. Имеется ряд описок на стр. 62, 153 158. На стр. 49, 170-172 оставлены непонятные знаки вопросов. Содержание табл.№10 повторяет содержание табл.№1. По всему тексту работы отсутствуют точки, обозначающие окончания предложений.

Вышеуказанные замечания носят рекомендательный характер, не ставят под сомнение значимость представленных в диссертации результатов, квалификацию соискателя и общую положительную оценку диссертационной работы Гавва Л.М.

Основное содержание диссертации изложено в пятнадцати публикациях в изданиях перечня ВАК, из которых три публикации проиндексированы в международных базах данных SCOPUS и Web of Science. Основные положения и результаты доложены и обсуждены на международных и всероссийских научных конференциях, симпозиумах и семинарах. Пять публикаций статей по материалам конференций проиндексированы в SCOPUS и Web of Science.

Автореферат диссертации полностью и объективно отражает содержание диссертации.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о присуждении учёных степеней».

Представленная диссертация Гавва Л.М. является законченной научно-исследовательской работой, в которой решена актуальная научная проблема, имеющая важное народно-хозяйственное значение. Получены новые научно обоснованные методы обеспечения прочности и устойчивости конструктивных элементов современной авиационной техники. Изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие авиационной промышленности. Таким образом, диссертация Гавва Л.М. выполнена на высоком научном уровне, соответствует всем критериям, которым должны отвечать диссертации на соискание учёной степени доктора наук, в том числе, - требованиям пп. 9 – 14 Положения ВАК о присуждении учёных степеней, утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, с изменениями, которые установлены Постановлением Правительства РФ от 20.03.2021 № 426. Автор диссертации, Гавва Любовь Михайловна, заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 05. 07. 03 - «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов».

Официальный оппонент,
Доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник
отделения статической и тепловой прочности
Федерального автономного учреждения (ФАУ)
«Центральный аэрогидродинамический институт
имени профессора Н.Е. Жуковского» ЦАГИ

Гришин Вячеслав Иванович

140180, Московская обл., г. Жуковский, ул. Жуковского, д. 1
«Центральный аэрогидродинамический институт
имени профессора Н.Е. Жуковского» ЦАГИ
dzuba@tsagi.ru для Гришина В.И.
8-916-565-88-78

Подпись Гришина Вячеслава Ивановича заверяю -
заместитель генерального директора
- начальник комплекса прочности ЛА ФАУ «ЦАГИ» к.т.н.

Дата

20.04.2022



Зиченков М.Ч.

С отзывом официального
оппонента Гришина В.И.
ознакомлена

/ Табба Л.М.

22.04.2022 г.