

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Гавва Любови Михайловны на тему:  
«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  
учёной степени доктора технических наук по специальности  
05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов»

Актуальность темы исследования. В соответствии с потребностями развития авиации – практики создания и применения летательных аппаратов (ЛА) различного назначения – возникли и постоянно развиваются научные направления, объединённые в единую школу конструкции и прочности ЛА.

Основой методологии анализа и синтеза конструкции планера ЛА являются принципы применения и оценки эффективности новых технических решений. Для скоростных самолётов с работающей подкреплённой обшивкой актуальность всех видов оценки прочностных характеристик возрастает. Применение полимерных композиционных материалов (ПКМ) в конструкциях новых самолётов необходимо для обеспечения снижения массы агрегатов, улучшения лётно-технических характеристик, снижения стоимости производства и эксплуатации.

Поэтому диссертация Гавва Л.М. посвящённая разработке и совершенствованию методов оценки статической прочности и устойчивости конструктивно-анизотропных панелей летательных аппаратов из полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе уточнённой теории с учётом технологии изготовления является актуальной. Объект исследования - эксцентрично подкреплённые прямоугольные панели из композиционных, металлических и комбинированных материалов, а также обшивки с несимметричной структурой композитного пакета моделирующие несущие поверхности ЛА.

Наиболее значимые научные результаты исследования. На наш взгляд, наиболее значимыми научными результатами работы, обладающими научной новизной, являются:

- математические модели: для расчёта на прочность и устойчивость конструктивно-анизотропных панелей несущих поверхностей ЛА с учётом деформаций сдвига ребер жёсткости в условиях косоугольного изгиба и стеснённого кручения вследствие одностороннего контакта с обшивкой. В работе сформулированы и исследованы различные варианты вариационных задач, предложены дифференциальные уравнения равновесия с линейными дифференциальными операторами высоких порядков. Новые математические

Служба документационного  
обеспечения МАИ

04.05.2022

модели максимально приближены к условиям работы натуральных панелей элементов конструкции планера ЛА;

- аналитические методы решения краевых задач: распространение известных способов решения различных краевых бигармонических задач на интегрирование дифференциального уравнения восьмого порядка в частных производных и применение модификаций метода однородных решений к расчёту широкого класса конструктивно-анизотропных панелей с эксцентричным продольно-поперечным набором, с реальными типами опираний и закреплений смежных сторон контура;

- решение проблемы потери устойчивости подкреплённых панелей при сжатии. Выполнено математическое моделирование общей изгибной и многоволновой крутильной форм потери устойчивости, включая постановку задач и вывод разрешающих дифференциальных уравнений с учётом переменности сложного докритического напряжённого состояния;

- способы определения сложного напряжённо-деформированного состояния и критических параметров произвольным образом закреплённых прямоугольных панелей с учётом технологических факторов: остаточных температурных напряжений, возникающих после завершения процессов отверждения, и операции предварительного натяжения армирующих волокон композита. Оценка влияния технологии изготовления на статику и устойчивость конструктивно-анизотропных панелей из полимерных волокнистых композиционных материалов выполнена в рамках решения краевых задач для дифференциального уравнения восьмого порядка.

Указанные результаты соответствуют области исследований, определённой паспортом специальности 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов»:

- по пункту 2 в части разработки и совершенствования методов обеспечения статической прочности, включая создание аналитических методов, численных алгоритмов и программ по обеспечению прочности ЛА под действием статических нагрузок, в том числе, – для деталей из композиционных материалов;

- по пункту 6 в части разработки методов теплового проектирования ЛА, включая создание эффективных методов математического моделирования различных теплообменных процессов, сопровождающих работу теплонагруженных агрегатов и систем ЛА.

Практическая значимость диссертации. Математические модели и численная реализация решений представляют интерес с точки зрения практики проектирования панелей из современных композиционных материалов для перспективных изделий авиационной техники.

Построенные алгоритмы и разработанный комплекс MATLAB-программ предназначены для дальнейшего применения при проектировании авиационной

техники. Уточнение в отношении возможностей конструкции противостоять продольно-поперечным и температурным внешним воздействиям при жёстких требованиях к весу и надёжности составляет основу анализа о минимальной массе в рамках решения задачи о проектировании под заданную стоимость. Так как решение строится точными аналитическими методами, время расчёта минимально, что представляет интерес с точки зрения практики проектирования с использованием параметрического анализа. Результаты расчётов на прочность и устойчивость с учётом технологических факторов дают возможность снижения и оптимизации весовых характеристик конструкции.

Автором установлено:

учёт деформации сдвига в рамках теории тонкостенных упругих стержней для панелей из углепластика приводит к снижению прогибов в среднем на 17% по сравнению с «чистым» кручением;

учёт деформации сдвига в рамках теории тонкостенных упругих стержней для панелей из алюминиевого сплава, армированных жгутами из композиционных материалов, приводит к снижению прогибов и нормальных напряжений в поперечном направлении в среднем на 27%, продольных нормальных напряжений – в среднем на 8% по сравнению с «чистым» кручением;

результаты определения сложного напряжённо-деформированного состояния в рамках гипотезы Кирхгофа и при решении контактной задачи совпадают с точностью до 13%, если обшивка подкреплена ортогонально расположенными рёбрами жёсткости;

значительные расхождения имеют место в конструкции с однонаправленным набором, для панелей с ярко выраженной анизотропией свойств;

полученные результаты параметрического анализа в широком диапазоне изменения геометрических параметров конструктивно-анизотропных панелей определяют характеристики их равноустойчивости.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. Полученные теоретические результаты прошли экспериментальную проверку. Научные положения, выводы и рекомендации в полной мере обоснованы и критически оценены по сравнению с известными аналогами.

В качестве перспективы дальнейшей разработки темы можно отметить следующее:

Решение новой задачи проектирования – проектирование под заданную стоимость – возможно при объединении моделей высокой точности с современными компьютерными технологиями, подтверждении достоверности полученных результатов, снижении объёма экспериментальных исследований.

Комплексные решения сформулированных в диссертации проблем и задач возможно эффективно использовать на различных этапах проектирования панелей несущих поверхностей ЛА из композиционных материалов при выборе конструктивных вариантов. При исследовании целевых функций на условный экстремум в строгой математической постановке решения задач статики и устойчивости, построенные в рамках уточнённой теории, логично вводить в качестве строгих ограничений.

Замечание. Новые математические модели построены в диссертации по уточнённой теории на макро-уровне слоя композиционного материала. При оценке влияния предварительного натяжения армирующих волокон на уровень остаточных температурных напряжений, возникающих при охлаждении после завершения процесса отверждения, автор не рассматривает напряжённо-деформированное состояние на микро-уровне волокна и матрицы. В автореферате не отмечено принятое допущение о натяжении волокон, в то время как препрег деформируется полностью.

Указанное замечание не снижает качества выполненной работы.

#### Заключение.

1. Судя по автореферату, диссертация «Методы анализа статической прочности и устойчивости конструктивно-анизотропных панелей летательных аппаратов из композиционных материалов на основе уточнённой теории с учётом технологии изготовления» является завершённой научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная проблема, имеющая существенное теоретическое и практическое значение для авиационной промышленности.

2. Автореферат даёт основания утверждать, что диссертация Гавва Любови Михайловны обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты, соответствующие пунктам 2 и 6 раздела «Области исследований» паспорта специальности 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов», нашедшие практическое использование при разработке технических решений в рамках опытно-конструкторских работ путём введения дополнительных факторов при проектировании, повышения точности моделирования, применения уточнённых ограничений по прочности и устойчивости в различных алгоритмах оптимизации, и свидетельствующие о вкладе автора в науку.

3. Работа удовлетворяет требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Гавва Любовь Михайловна, достойна присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов».

Отзыв обсужден и одобрен на заседании 75 кафедры «Восстановления авиационной техники» ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж) 25 апреля 2022 года, протокол № 17/1.

Начальник 75 кафедры «Восстановления авиационной техники»  
ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж)  
кандидат технических наук,  
доцент

«25» апреля 2022 года

Сафин Альберт Мирсалимович

Профессор 75 кафедры «Восстановления авиационной техники»  
ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж)  
доктор технических наук,  
доцент

«25» апреля 2022 года

Попов Алексей Владимирович

Подлинность подписи кандидата технических наук, доцента Сафина Альберта Мирсалимовича и доктора технических наук, доцента Попова Алексея Владимировича заверяю:

Помощник начальника строевого отдела  
ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж)

«25» апреля 2022 г.



Саввин Александр Сергеевич

ВОЕННЫЙ УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ВОЕННО-ВОЗДУШНЫХ СИЛ  
«ВОЕННО-ВОЗДУШНАЯ АКАДЕМИЯ ИМЕНИ ПРОФЕССОРА  
Н.Е.ЖУКОВСКОГО И Ю.А.ГАГАРИНА» (Г. ВОРОНЕЖ)

394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а

E-mail: vva@mil.ru

Тел.: 8 (473) 244-76-13