

**Акционерное общество
«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ
СПЕЦИАЛЬНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ»
(АО «ЦНИИСМ»)**

ул.Заводская, д. 34, г.Хотьково, Сергиево-Посадский г.о.,
Московская обл., 141371
тел.8-495-993-00-11, факс 8-496-543-82-94
e-mail: tsniism@tsniism.ru
<http://www.tsniism.ru>
ИНН/КПП 5042003203/ 504201001

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
АО «ЦНИИСМ»
доктор технических наук


А.Ф. Разин
«20» ноября 2025 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения» на диссертационную работу Корольского Владислава Валентиновича «Метод оптимального проектирования конструктивно анизотропных панелей несущих поверхностей летательных аппаратов из композиционных материалов с ограничениями по устойчивости на основе уточнённой теории», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.13. – «Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов».

Актуальность темы диссертации

В связи с расширением использования полимерных композиционных материалов (ПКМ) в конструкции воздушного судна для изготовления основных несущих элементов актуальна задача разработки метода оптимального проектирования силовых элементов конструкций авиационной техники из ПКМ. Применение методов математического моделирования является важным инструментом, который способствует синтезу эффективных и безопасных авиационных конструкций, обеспечивая высокую точность проектирования на всех этапах. В диссертации представлен новый разработанный метод, позволяющий с высоким быстродействием определять проектные параметры конструктивно анизотропных панелей летательных аппаратов из композиционных материалов при оптимальном размерно-весовом проектировании.

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ
28.11.25

Разработка и реализация математического обеспечения, позволяющего сократить сроки проектирования современных образцов авиационной техники является **актуальной научной проблемой** как в фундаментальном, так и в прикладном отношении.

Целью диссертации является разработка метода оптимального проектирования конструктивно анизотропных панелей несущих поверхностей летательных аппаратов (ЛА) из композиционных материалов с ограничениями по устойчивости на основе уточнённой теории и реализация оптимальных размерно-весовых проектов.

Научная новизна диссертации

Разработан новый метод оптимального проектирования конструктивно анизотропных панелей несущих поверхностей ЛА из композиционных материалов с аналитическими ограничениями в соответствии с уточнённой теорией потери устойчивости для реализации оптимального размерно-весового проекта.

Сформирована новая математическая модель для исследования с учётом деформаций поперечного сдвига статической прочности и устойчивости конструктивно анизотропных композитных панелей ЛА с обшивкой средней и большой толщины, находящихся в условиях механического воздействия.

Построены новые аналитические ограничения на целевую функцию веса при оптимальном проектировании конструктивно анизотропных композитных панелей ЛА с обшивкой средней толщины в соответствии с уточнённой теорией потери устойчивости с учётом деформаций поперечного сдвига.

Выполнена оценка границ применимости теории деформаций поперечного сдвига первого порядка и теории тонких пластин для сжатых в продольном направлении плоских прямоугольных обшивок из углепластика при варьировании толщин слоёв и углов укладки косых слоёв в пакете. Оценка границ применимости теорий предназначена для построения аналитических ограничений по устойчивости при проектировании конструктивно анизотропных композитных обшивок.

Сформулировано заключение об ограничениях на целевую функцию веса при оптимальном проектировании панелей большой толщины в районе стыка крыла с фюзеляжем, которые следует вводить по прочности на сжатие, так как средние по пакету критические напряжения соответствуют высоким значениям запасам по устойчивости. Результат известен экспериментально. Впервые получен аналитически и подтверждён численно в рамках параметрических исследований при расчёте углепластиковых панелей большой толщины в зоне крепления крыла к фюзеляжу.

Теоретическая значимость работы состоит в развитии математического обеспечения, требуемого в процессе проектирования летательных аппаратов на ранних этапах проектирования для отработки силовых композитных конструкций крыла.

Практическая ценность диссертации. Значимость полученных автором диссертации результатов для развития авиастроения.

На основе нового метода оптимального проектирования в операционной среде MATLAB разработан пакет прикладных программ для реализации размерно-весовых проектов конструктивно анизотропных панелей из композиционных материалов в конструкциях современных образцов авиационной техники. Задача оптимального проектирования формулируется в строгой математической постановке, ограничения на целевую функцию веса строятся точными аналитическими методами, время расчёта сведено к минимуму.

Представлены результаты численной реализации оптимальных размерно-весовых проектов методом градиентного поиска для плоских прямоугольных стрингерных панелей из углепластика с несимметричными структурами по толщине многослойных пакетов обшивки и полки стрингера. Авторская MATLAB- программа выступает в качестве составной части комплекса программных сервисов для разработки, апробации и использования новых методов в области оптимального весового проектирования и контроля массы летательных аппаратов. Программа выполняет контроль рассчитанных оптимальных геометрических параметров на заданные ограничения.

Программа позволяет с высоким быстродействием определять оптимальные толщины слоёв в пакетах, оптимальные расстояние между рёбрами жёсткости и, соответственно, число стрингеров, оптимальные сочетания высоты стенки и ширины полки стрингера, оптимальное значение целевой весовой функции, величины критических усилий панели на основе уточненной теории как ограничений при проектировании, параметры волнообразования форм потери устойчивости панели. Оптимальное проектирование элементов планера самолета с ограничениями, построенными в рамках уточнённой теории, является базисом для снижения массовых характеристик ЛА на основе представленных результатов многоуровневой комбинаторной оптимизации.

Практическая значимость диссертации подтверждается внедрением результатов диссертационной работы Корольского В.В. в исследовательские работы по перспективным направлениям самолётостроения Филиала ПАО «Яковлев» «Региональные самолёты».

Результаты исследований используются в учебном процессе МАИ (НИУ) при реализации программ магистратуры по направлению 24.04.04. - авиастроение.

Общая характеристика диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и приложений с актами внедрения результатов исследования. Общий объём диссертации составляет 186 страниц, работа содержит 58 рисунков, 25 таблиц. Список публикаций соискателя и использованных источников включает 110 наименований.

Содержание диссертации.

Во введении представлена общая характеристика работы, обоснована актуальность разработки метода оптимального проектирования конструктивно анизотропных панелей несущих поверхностей летательных

аппаратов из композиционных материалов с ограничениями по устойчивости на основе уточнённой теории. Представлена степень разработанности темы исследования, дан краткий анализ существующих научных школ и направлений исследования, посвящённых проблеме проектирования конструктивно анизотропных панелей из ПКМ. Определены объект исследования и предмет исследования, изложены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования, представлены положения, выносимые на защиту, степень достоверности результатов, личный вклад соискателя, апробация работы, структура и объём диссертации.

Первая глава диссертационной работы посвящена обзору существующих исследований по проблеме проектирования конструктивно анизотропных панелей из композиционных материалов. Представлена классификация работ по объектам и методам исследования. Рассмотрены: методы проектирования – аналитические и численные, ограничения при проектировании – по прочности, жёсткости, устойчивости и комбинированные.

Вторая глава диссертационной работы посвящена оптимальному проектированию конструктивно анизотропных тонкостенных обшивок из композиционных материалов. Рассмотрена постановка задачи оптимального проектирования, представлена математическая модель гладкой тонкостенной обшивки, обладающей анизотропией свойств вследствие несимметричной по толщине пакета укладки слоёв. Сформированы ограничения на целевую функцию веса при оптимальном проектировании. Представлены результаты численной реализации размерно-весовых проектов при оптимальном проектировании гладких тонких обшивок из композиционных материалов с уточнёнными ограничениями по устойчивости.

Третья глава диссертационной работы посвящена ограничениям по устойчивости для оптимального проектирования конструктивно анизотропных обшивок летательных аппаратов средней и большой толщины из композиционных материалов. Представлены постановка задач статики, моделирование напряжённо-деформированного состояния (НДС) и устойчивости конструктивно анизотропных панелей из полимерных композиционных материалов с учётом деформаций поперечного сдвига; построение аналитического решения задачи устойчивости в рамках нового разрешающего дифференциального уравнения десятого порядка в частных производных. Дана оценка границ применимости теорий для аналитических ограничений по устойчивости при проектировании конструктивно анизотропных композитных обшивок. Представлены результаты численного анализа по ограничениям на целевую функцию веса при оптимальном проектировании панелей в районе стыка крыла с фюзеляжем

Четвёртая глава диссертационной работы посвящена оптимальному проектированию конструктивно анизотропных тонкостенных подкреплённых панелей из композиционных материалов. Рассмотрена задача построения спектра геометрических параметров композитных панелей самолета

минимальной массы, подкреплённых в продольном направлении. Толщина слоя и геометрические размеры элементов панели являются неизвестными переменными. Задача оптимального проектирования приведена к поиску условного экстремума целевой функции многих переменных аналитическими методами в сочетании с методами нелинейного программирования. Представлены размерно-весовые проекты углепластиковых стрингерных панелей в рамках двухуровневой оптимизации и многоуровневой оптимизации при дискретном изменении углов укладки слоёв в пакетах.

Заключение диссертации состоит из семи основных новых научных результатов, отражающих исследование задач, сформулированных для достижения целей работы. Отражены перспективы дальнейшей разработки темы.

В приложении к диссертации приведены Акты внедрения результатов диссертации в исследовательские работы филиала ПАО «Яковлев» «Региональные самолеты» и в учебный процесс Московского авиационного института (национального исследовательского университета) МАИ (НИУ).

Достоверность основных научных положений, заключения и рекомендаций, сформулированных в работе.

Общее заключение по результатам диссертационной работы не оставляет сомнений в целостности и завершённости проделанной работы, достижении поставленных целей.

Достоверность исследования обеспечивается корректностью постановки задачи, обоснованностью применения гипотез, полнотой расчётной модели и корректностью её математической обработки. Достоверность подтверждается сравнением полученных теоретических результатов с результатами натурных экспериментов, опубликованными в литературе. Ограничения на целевую функцию веса по устойчивости верифицированы и валидированы. Оптимальные тестовые весовые проекты уточняют поверочные расчёты на устойчивость при внешних нагрузках, близких к критическим. Продемонстрированы сходимость результатов весовых проектов к оптимальной целевой функции веса и сходимость результатов размерных проектов к оптимальным геометрическим параметрам панелей.

Оценка содержания диссертации.

Текст диссертации логически выстроен, диссертация наглядно иллюстрирована. Диссертационная работа обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты, достоверность которых не вызывает сомнений.

По содержанию работы имеются следующие **замечания**:

1. В Главе 2 представлены результаты численной реализации размерно-весовых проектов при оптимальном проектировании гладких тонкостенных обшивок из композиционных материалов с уточнёнными ограничениями по устойчивости. Выполнены оптимальные размерно-весовые проекты для многослойных углепластиковых обшивок с несимметричной укладкой слоёв по толщине, сжатых в продольном направлении, с соотношением сторон 2.0,

1.5, 1.0. Не представлены результаты оптимизации для элементов конструкции несущих поверхностей ЛА между стрингерами и нервюрами с соотношением сторон > 3.0 .

2. Во введении на Рисунке 4 представлена блок-схема с наглядной демонстрацией научных школ и направлений исследований проблемы проектирования конструктивно анизотропных панелей из ПКМ отечественных авторов. Блок-схема на Рисунке 5 отражает научные школы КНР по проектированию композитных панелей, но не раскрывает многообразие зарубежных научных школ мирового уровня.

3. Автором диссертации в соответствии с темой исследования разработан метод оптимального проектирования конструктивно анизотропных панелей несущих поверхностей летательных аппаратов из композиционных материалов с ограничениями по устойчивости на основе уточнённой теории. Метод оптимального проектирования с уточнёнными ограничениями по статической прочности представляет несомненный интерес.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы и могут быть учтены автором при проведении дальнейших исследований. Отмеченные замечания не ставят под сомнение квалификацию автора.

Основное содержание диссертации изложено в двенадцати публикациях, в том числе – в двух изданиях Перечня ВАК по специальности 2.5.13., в двух изданиях, проиндексированных в международных базах данных SCOPUS и Web of Science, – в семи публикациях по материалам международных и всероссийских научных конференций, – в свидетельстве о государственной регистрации программы для ЭВМ.

В автореферате излагаются основные идеи и результаты диссертации, продемонстрирован личный вклад автора в проведённое исследование, отражено соответствие диссертации специальности 2.5.13. «Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов», приведён список публикаций соискателя, в которых отражены основные научные результаты диссертации. Автореферат и список публикаций полностью отражают содержание диссертации.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленных Положением о порядке присуждения учёных степеней.

Диссертация Корольского Владислава Валентиновича «Метод оптимального проектирования конструктивно анизотропных панелей несущих поверхностей летательных аппаратов из композиционных материалов с ограничениями по устойчивости на основе уточнённой теории», представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.13. – «Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов», является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научная задача, имеющая важное значение для авиационной отрасли, получены новые научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит

значительный вклад в повышение весовой эффективности конструкций современных летательных аппаратов.

По научной и практической ценности, значимости полученных автором диссертации результатов для развития самолётостроения диссертация Корольского В.В. соответствует критериям, в том числе, - требованиям пп. 9 – 14 и 24 Положения ВАК о присуждении учёных степеней, утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842. Автор диссертации, Корольский Владислав Валентинович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.13. - «Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов».

Отзыв на диссертацию и автореферат обсуждён и одобрен «20» ноября 2025 г. на заседании секции 1 НТС АО «ЦНИИСМ», где принимали участие руководители структурных подразделений организации, основные направления научно-исследовательской деятельности которых соответствуют тематике диссертации.

Ученый секретарь
Акционерного общества «Центральный
научно-исследовательский институт
специального машиностроения»,
доктор технических наук (2.6.11),



Александр Алексеевич Кульков
20.11.2025 г.

тел.+7 496 543 1660

e-mail: tsniism@tsniism.ru

Адрес 141371, Московская область,
г. Хотьково, ул. Заводская, АО «ЦНИИСМ»

Я, **Кульков Александр Алексеевич**, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Подпись Кулькова А.А. удостоверяю
Начальник ГУД АО «ЦНИИСМ»



Г.В. Краснова

С отзывом ознакомлен  Корольский В.В.
28.11.25