

УТВЕРЖДАЮ

Председатель НТС, заместитель
генерального директора по НИОКР

АО «ГосМКБ «Вымпел»
им. И.И.Торопова», к.т.н.



А.Н. Беляев

2024 г.

ОТЗЫВ ведущей организации

на диссертационную работу Куприяновой Янины Алексеевны на тему: «Методика рационального проектирования конструктивно-технологических решений силовых конструкций летательных аппаратов с использованием топологической оптимизации», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.13. «Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов»

Актуальность

Целью диссертационной работы Куприяновой Я. А. является создание методики проектирования силовых конструкций летательных аппаратов (ЛА), которая базируется на методах топологической и параметрической оптимизации. Данные методы оптимизации получили в настоящее время доступность в связи с развитием вычислительных средств (в частности, программных инструментов на основе метода конечных элементов). Однако, существует определенный дефицит в научно-обоснованных подходах к интерпретации результатов топологической оптимизации и их правильному преобразованию в конструктивно-технологические решения.

В работе особое внимание уделяется учёту технологических аспектов на ранних этапах проектирования, что позволяет разрабатывать эффективные конструктивно-технологические решения. Предложенная методика направлена на оптимизацию конструкций с учетом ряда функциональных и технологических

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

25.11.2024 г.

ограничений, что в итоге приводит к снижению массы конструкции и улучшению эксплуатационных характеристик.

Снижение массы силовых конструкций ЛА (при сохранении несущей способности) является ключевой задачей в процессе повышения тактико-технических характеристик и конкурентоспособности ЛА. Полученные в работе результаты могут быть использованы при проектировании конструкций перспективных беспилотных летательных аппаратов (БЛА), что подтверждает актуальность темы диссертационной работы.

Научная новизна

Научная новизна диссертационной работы Куприяновой Я.А. состоит в усовершенствовании метода топологической оптимизации (ТО), применительно к силовым конструкциям БЛА, и разработке нового алгоритма постобработки результатов ТО на основе аппроксимации функций, что обеспечило необходимую математическую формализацию процесса и повышение точности расчетов. В работе представлена методика рационального проектирования силовых элементов, учитывающая технологические ограничения как для традиционных, так и для аддитивных способов изготовления. Проведены исследования, направленные на минимизацию массы, а также обеспечение жесткости и прочности силовых конструкций, включая шпангоуты, силовые панели и несущие поверхности.

Достоверность

Достоверность полученных в диссертации результатов подтверждается использованием проверенных методов анализа напряженно-деформированного состояния конструкций, описания аэродинамических характеристик несущих элементов ЛА, а также использованием формализованных математических методов формирования расчетных моделей. В целях верификации проведено сравнение конструкций, спроектированных с помощью классических аналитических методов с конструкциями, разработанными по предложенной методике.

Практическая значимость

Практическая значимость заключается в использовании предложенной методики для проектирования силовых конструкций ЛА, таких как шпангоуты и несущие поверхности, что способствует повышению конструктивно-технологического совершенства и снижению затрат на их разработку. В ходе исследования была создана оптимизированная конструкция детали для бронирования двери вертолета, проведены натурные испытания, результатом которых стало получение акта внедрения.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в процессе проектирования различных нагруженных машиностроительных конструкций.

Содержание работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, перечня сокращений и условных обозначений, списка литературы и трех приложений, общий объем составляет 139 страниц.

В введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, проанализирована степень разработанности темы, четко определены цель и задачи работы. Также представлена научная новизна, обоснована теоретическая и практическая значимость основных результатов диссертации. Кроме того, изложены положения, выносимые на защиту, обоснована достоверность и апробация результатов, а также обозначен личный вклад автора в исследование.

Первая глава посвящена обзору и классификации методов проектирования конструкций ЛА. Рассмотрены работы, посвященные структурной оптимизации, показана необходимость разработки новой методики проектирования силовых конструкций.

Вторая глава содержит описание разработанной методики рационального проектирования конструкции ЛА, которая включает этапы топологической и параметрической оптимизации, а также постобработки результатов. Основной задачей постобработки является преобразование данных в аналитическую форму, описывающую пространственное положение элементов, что достигается с

помощью линейной аппроксимации табличных значений функций. В качестве целевой функции ТО автором предлагается использовать минимизацию податливости, при этом объем конструкции задается как ограничение. Для параметрической оптимизации, которая направлена на получение рационального конструктивно-технологического решения минимальной массы, используются размерные параметры, полученные после постобработки, а ограничением выступает прочность конструкции.

В третьей главе представлены результаты применения разработанной методики для рационального проектирования силовых конструкций ЛА, таких как шпангоуты БЛА и деталь «Поддержка» для крепления бронепанели двери вертолета. В процессе ТО силового шпангоута была получена структурная схема и определен набор параметров его структурных элементов в зависимости от их типа. После доработки конструкции с учетом технологических ограничений и проведения параметрической оптимизации масса конструкции, разработанной с использованием новой методики, оказалась на 21% меньше по сравнению с конструкцией, рассчитанной стандартным алгоритмом ТО. Также была исследована возможность применения разработанной методики для оптимизации формы стыковых шпангоутов, изготавливаемых литьевым способом, что позволило снизить массу стыка литьевого шпангоута в два раза относительно исходной конструкции. С целью апробации предложенной методики представлена рациональная конструкция детали «Поддержка» для крепления бронепанели двери вертолёта. Проведенные натурные испытания показали высокую эффективность и работоспособность новой конструкции по сравнению с прототипом.

В четвертой главе рассмотрены задачи рационального проектирования конструкции несущих поверхностей БЛА с учетом требований по жёсткости, прочности, аэроупругой устойчивости и минимизации массы. Применение разработанной методики позволило создать рациональное конструктивно-технологическое решение крыла малого удлинения, изготовленного с использованием аддитивных технологий. Для проведения ТО разработана конечно-элементная модель крыла, которая включала в себя такие элементы, как носок,

законцовку, концевую и бортовую нервюры, а также обшивку. Этап постобработки был выполнен с применением линейной аппроксимации, что позволило получить более точные результаты. Сравнение этой конструкции с типовой показало, что масса нового крыла на 24% меньше по сравнению с традиционным вариантом. В ходе проектирования конструкции аэродинамического руля методика была усовершенствована за счет включения этапов, учитывающих требования аэроупругой устойчивости. Разработана силовая схема с балансировочным носком, оптимальные параметры ширины которого определялись в процессе параметрической оптимизации. Было проведено исследование флаттера БЛА для выявления зависимости критической скорости флаттера от размерных параметров балансировочного носка руля. Установлено, что оптимальными по массе являются рули с противофлаттерными балансирами: для носка постоянной ширины — шириной 66 мм, а для носка переменной ширины — со средней шириной 58 мм. Сравнение полученных конструкций позволило сделать вывод, что масса руля с переменной передней кромкой меньше на 7%, чем масса руля с прямой передней кромкой.

Таким образом, топологическая и параметрическая оптимизация позволила разработать конструктивно-технологическое решение аэродинамического руля, соответствующее требованиям прочности, жесткости, аэроупругой устойчивости и минимальной массы.

В заключении работы сформулированы основные результаты диссертационного исследования и перспективы дальнейших работ.

Тема и содержание диссертации соответствуют паспорту специальности 2.5.13. – Проектирования, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов.

Основные результаты диссертации отражены в шести печатных работах, четыре из которых – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Одна научная статья опубликована в международном журнале, индексируемом в международных реферативных базах данных Scopus.

Автореферат соответствует содержанию диссертации, полно и правильно отражает её основные положения.

Замечания по диссертационной работе

1. Из текста работы не ясно, по какому принципу производится ручное определение узловых координат на отображении результата топологической оптимизации.
2. В тексте работы не в полной мере отражен вопрос о возможности автоматизации построения границ силовых элементов (в целях сокращения времени на проектирование).
3. В связи с расширением применения композиционных материалов в силовых элементах БЛА считаем целесообразным (в продолжении научной работы) оценить перспективы применения к ним данной методики.

Заключение

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы. Диссертация Куприяновой Янины Алексеевны является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком техническом уровне. Считаем, что диссертационная работа отвечает всем требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Куприянова Янина Алексеевна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.13. «Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов».

Директор Научно-исследовательского
испытательного комплекса,
д.т.н.



Ермолаев Андрей Юрьевич

Полное наименование организации: Акционерное общество «Государственное машиностроительное конструкторское бюро «Вымпел» им. И. И.Торопова».

Почтовый адрес организации: 125424, Российская Федерация, г. Москва, Волоколамское ш., дом 90.

Адрес электронной почты организации: info@vumpelmkb.ru

Отзыв утвержден на заседании НТС АО «ГосМКБ «Вымпел» им. И.И. Торопова», Протокол № 42 от 01.11.2024.

Подпись Ермолаев А.Ю. заверяю,
Секретарь НТС, к.т.н.



Н.В. Синицин

*С отзывом ознакомлена
Лущицкая 05.11.2024*