

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель управляющего
директора АО «РСК «МиГ» -

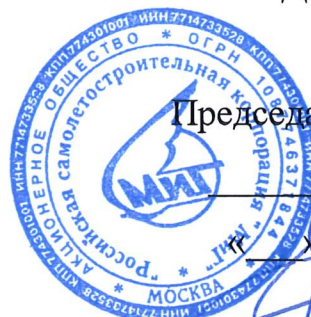
Директор «ОКБ имени

А.И.Микояна»,

Председатель НТС АО «РСК «МиГ»

С.В.Шальнев

04.12.2020 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Нагорнова Андрея Юрьевича на тему «Обеспечение аэроупругой устойчивости беспилотных летательных аппаратов из композиционных материалов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Актуальность темы исследования

В настоящее время в нашей стране активно разрабатываются перспективные беспилотные летательные аппараты (БЛА) самолетного типа из композиционных материалов. При этом, уже на ранних стадиях проектирования БЛА необходимо учитывать особенности конструкции, которые оказывают влияние на аэроупругую устойчивость. Важной задачей является исследование аэроупругой устойчивости при взаимодействии планера БЛА с системой автоматического управления (САУ). Применение современных композиционных материалов позволяет достигнуть необходимых для эффективного применения БЛА характеристик: высокой удельной прочности и радиопрозрачности, длительности автономного полета, аэродинамического качества.

Служба документационного
обеспечения МАИ
07 12 2020

Целью диссертации Нагорнова А.Ю. является разработка математических моделей и проведение исследований, направленных на обеспечение аэроупругой устойчивости беспилотных летательных аппаратов из

композиционных материалов. В диссертации Нагорнова А.Ю. рассмотрены способы расчета жесткостных характеристик аппарата, разработаны аэроупругие модели БЛА из композиционных материалов с двухбалочным хвостовым оперением, проведены исследования флаттера в дозвуковом диапазоне скоростей полета с учетом податливостей хвостовых балок и несбалансированности органов управления, подобраны параметры фильтров упругих колебаний для устранения неустойчивости системы стабилизации САУ в канале тангажа. Тема исследования является актуальной.

Научная новизна заключается в разработке математических моделей аэроупругих колебаний БЛА двухбалочной схемы из композиционных материалов, с помощью которых получены новые результаты исследования безрулевых и рулевых форм флаттера БЛА рассматриваемого типа. При исследовании аэроупругой устойчивости БЛА с системой стабилизации САУ предложен алгоритм выбора фильтров, направленных на подавление упругих тонов колебаний планера БЛА.

Достоверность работы подтверждается использованием известных методов составления уравнений аэроупругих колебаний, строгости математических моделей и получении решений, общий вид которых хорошо согласуется с накопленными результатами исследований аэроупругой устойчивости различных летательных аппаратов.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в применении разработанных математических моделей аэроупругих колебаний к определению критических скоростей флаттера БЛА двухбалочной схемы из композиционных материалов. В исследовании отражены особенности применения метода Ритца и метода конечных элементов для составления уравнений аэроупругих колебаний; произведено сравнение расчетных жесткостных характеристик, полученных методами строительной механики и найденных с применением детализированных конечно-элементных моделей, позволяющих учесть местные податливости агрегатов и деформацию сдвига.

Во введении диссертационной работы обоснована актуальность темы исследования, определены цели и задачи работы, научная новизна, практическая значимость, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе дан анализ состояния проблемы аэроупругой устойчивости БЛА двухбалочной схемы из композиционных материалов. Описан объект и предмет исследования, отмечены особенности БЛА рассматриваемой схемы с точки зрения задач аэроупругости. Представлен обзор работ в области исследования флаттера и аэросервоупругой устойчивости.

Во второй главе рассмотрены методы составления уравнений аэроупругих колебаний БЛА с использованием балочной схематизации. Приведен способ вычисления жесткостных характеристик по детализованным конечно-элементным моделям (КЭМ), произведено сравнение для крыла балочных жесткостей, полученных интегрированием по сечениям и из КЭМ.

Решена задача о дозвуковом флаттере крыла из композиционных материалов при использовании различных математических моделей. Уравнения аэроупругих колебаний для первых двух моделей составлены с применением метода Ритца для стационарной и нестационарной (с гипотезой гармоничности) аэродинамических теорий. Уравнения аэроупругих колебаний для третьей модели получены с использованием метода конечных элементов, аэродинамические силы при этом рассчитываются с использованием панельного метода с особенностями типа диполей. Расчеты крыла на флаттер с использованием разработанных моделей показали, что результаты существенно зависят от способа вычисления аэродинамических сил. Так, критическая скорость флаттера при использовании стационарной аэродинамической теории оказывается наименьшей. Применение гипотезы гармоничности позволяет более точно определить аэродинамические нагрузки с учетом частоты колебаний и дает результат более высокой критической скорости флаттера. Использование панельного метода, учитывающего нестационарность течения воздуха, дает наибольшее значение критических скоростей флаттера, что может

быть объяснено влиянием конечности размаха крыла, не учитываемого в первых двух расчетных моделях.

Составлены уравнений колебаний БЛА с помощью метода Ритца для расчета безрулевых форм флаттера. В качестве координатных функций в методе Ритца использованы собственные формы колебаний БЛА, рассчитанные с использованием метода начальных параметров в дифференциальной форме. В котором краевая задача о собственных колебаниях БЛА сведена к задаче Коши с начальными параметрами. Расчет критических скоростей безрулевого флаттера при варьировании изгибной жесткости хвостовых балок показал, что у рассматриваемого в диссертации БЛА двухбалочной схемы имеются достаточные запасы по критической скорости флаттера в широком диапазоне значений жесткостей. Сделан вывод о неопасности рулевых форм флаттера для БЛА рассматриваемой схемы.

Для исследования рулевых форм флаттера использован метод конечных элементов. В расчетной модели учтены местные податливости узлов и статические жесткости приводов органов управления. Проведены расчеты критических скоростей флаттера при варьировании парциальных частот органов управления. Получены зависимости критической скорости рулевого флаттера от собственных вращательных частот органов управления, из которых видно, что в некотором диапазоне частот существует аэроупругая неустойчивость в диапазоне полетных скоростей БЛА для всех органов управления. Подобные результаты связаны, прежде всего, с отсутствием весовой балансировки органов управления.

Третья глава посвящена вопросам аэросервоупругости БЛА из композиционных материалов с двухбалочным хвостовым оперением. Параметры САУ, ее структура и исполнительные механизмы при исследовании устойчивости считаются заданными. Проведено исследование разомкнутого контура канала тангажа, которое показало наличие неустойчивости по амплитуде. Для устранения неустойчивости системы стабилизации введены

фильтры подавления упругих колебаний, параметры которых рассчитаны по предложенному в работе алгоритму.

В заключении перечислены основные результаты диссертационной работы.

Замечания по диссертации

1. В диссертационной работе недостаточно полно раскрыты особенности использования композиционных материалов с точки зрения аэроупругой устойчивости. Было бы полезно оценить влияние ориентации слоев композиционного материала в агрегатах БЛА на флаттер.

2. Во второй главе получены результаты, показывающие наличие рулевого флаттера исследуемого БЛА в диапазоне полетных скоростей. При этом в тексте диссертации отсутствуют рекомендации по устранению полученной неустойчивости.

3. Критические скорости флаттера летательного аппарата существенно зависят от его конфигурации, в частности от загрузки топливом и положения топливных баков. Данный вопрос не отражен в диссертационной работе.

4. Демпфирование в конструкции БЛА учитывается введением логарифмического декремента колебаний $\delta=0,05$ в формуле (91), который для разных тонов колебаний реального аппарата может иметь различное значение, не обязательно равное использованному в диссертации.

Заключение по диссертационной работе

Сформулированные замечания не снижают общего положительного впечатления от диссертации Нагорнова А.Ю.

По теме диссертации опубликовано пять печатных работ, в том числе две статьи в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ. Основные результаты апробированы и докладывались на конференциях высокого уровня.

Автореферат полностью отражает результаты диссертации.

Полученные в диссертационной работе результаты являются актуальными, имеют важное практическое значение и соответствуют уровню кандидатской диссертации по специальности 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Диссертация Нагорнова А.Ю. является законченной научной-квалификационной работой, которая полностью соответствует все требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, а ее автор Нагорнов Андрей Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании НТС АО «РСК «МиГ»

«4» декабря 2020 г., протокол № 11.

Заместитель председателя НТС АО «РСК «МиГ»,
Заместитель Главного конструктора по системам управления
Инженерного центра АО «Российская самолетостроительная корпорация «МиГ»
Заслуженный машиностроитель РФ,
Доктор технических наук, профессор

Юрий Геннадьевич Оболенский

4 декабря 2020 г.

Контактные данные организации:

Акционерное общество «Российская самолетостроительная корпорация «МиГ»
Адрес: 125171, Российская Федерация, г. Москва, Ленинградское шоссе, 6 стр.

1

Телефон: +7 495 721-81-00, добавочный 101 26-03

E-mail: inbox@rsk-mig.ru, y.obolensky@rsk-mig.ru

Официальный сайт: <http://www.migavia.ru>