


УТВЕРЖДАЮ
Заместитель генерального
директора – начальник
центра исследований ЛА,
к.т.н. 

СЕНКОВ
« » 2023 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федеральное автономное учреждение «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (ФАУ «ЦАГИ») на диссертационную работу Лакизы Павла Анатольевича «Коррекция расчетных моделей летательных аппаратов по результатам модальных испытаний», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.14 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов»

На отзыв представлены:

– диссертационная работа объемом 162 страницы, состоящая из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 178 наименований и четырех приложений;

– автореферат диссертации на 20 страницах, включающий 12 основных публикаций по теме диссертации: четыре статьи из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК, в том числе, входящих в базы цитирования Web of Science и Scopus, патент на изобретение РФ, четыре свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ, а также три статьи в прочих изданиях.

Актуальность темы диссертационной работы

Несмотря на мощное развитие технологий компьютерного моделирования, экспериментальные исследования в области создания авиационной техники, в частности, наземные частотные (модальные) испытания натурных летательных аппаратов и их моделей по-прежнему играют ведущую роль. Требования на обязательное проведение таких испытаний сформулированы в действующих нормативных документах. Результаты наземных частотных испытаний используются, в том числе, как основа для коррекции расчетных моделей для исследования прочности и аэроупругости летательных аппаратов.

Комплексный характер современных исследований в области прочности авиационных конструкций предполагает создание таких расчетных моделей, сопровождающих жизненный цикл разрабатываемых изделий от этапа концептуального проектирования до серийного производства и эксплуатации. Одним из ключевых критериев, обеспечивающих достоверность моделей, является полнота и точность представления исходных данных в технической документации. Тем не менее, сложность объектов авиационной техники, невозможность априори учесть в математических моделях, создаваемых по конструкторской документации, все особенности реальных физических объектов, приводит к неизбежным отклонениям в результатах расчетов от экспериментальных данных. Немаловажную роль играет корректность моделирования граничных условий и обеспечение требуемой точности дискретизации моделей. Эти обстоятельства приводят к необходимости коррекций расчетных моделей по результатам экспериментальных исследований на натурных объектах.

Несмотря на совершенствование технических средств для проведения модальных испытаний, ряд научно-практических проблем, связанных с обеспечением эффективной и безопасной эксплуатации современной авиационной техники, остаются нерешенными. Так, известные методы коррекции расчетных моделей не являются универсальными и не учитывают в полной мере особенностей модальных испытаний и конструкций летательных аппаратов. Среди последних принято выделять конструктивно-производственные дефекты, наличие которых может оказывать существенное влияние на параметры технического состояния самолётов. Поэтому не вызывает сомнений **актуальность** представленной диссертационной работы, которая направлена на создание методики коррекции динамических расчетных моделей, учитывающей как наличие дефектов в исследуемой конструкции, так и особенности проведения модальных испытаний.

Анализ содержания диссертации

Во введении показана актуальность и степень разработанности темы исследования, обозначены цель и задачи работы, а также сформулированы положения, выносимые на защиту. Обозначены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, представлены методы и методология исследования, приведены данные об апробации результатов и личном вкладе автора, описана структура и объем диссертации.

В первой главе проведен детальный обзор литературных источников, посвящённых проведению экспериментального модального анализа и теме коррекции расчетных моделей. Особое внимание уделено операционному модальному анализу, который позволяет оценивать характеристики тонов

собственных колебаний на основе откликов конструкции на неизвестное внешнее воздействие. Приведены литературные данные по методам ассемблирования расчетных моделей подконструкций во временной и частотной областях.

Вторая глава – основная теоретическая глава, описывающая предлагаемую методику коррекции конечно-элементных моделей на основе введения вспомогательных корректирующих элементов, используемых для изменения упругих и диссипативных свойств расчетных моделей. Показаны важные с практической точки зрения приемы по снижению числа независимых параметров коррекции, основывающиеся на учёте конструктивных особенностей корректируемых конструкций. Величины параметров коррекции определяются из решения задачи безусловной минимизации целевой функции, представляющей собой среднеквадратичную разницу расчетных и экспериментальных характеристик тонов собственных колебаний (собственных частот). Обоснован выбор граничных условий в испытаниях составных частей конструкций для достоверного определения модальных характеристик глобальной расчетной модели. Отдельно рассмотрен вопрос влияния ошибок в значениях целевых частот на устойчивость результатов коррекции.

В третьей главе автором разработаны программные средства для контроля параметров технического состояния ЛА на основе временных откликов конструкций на гармонические воздействия с частотами фазового резонанса. В модальных испытаниях нескольких ЛА обнаружены зазоры в проводке управления, в узлах крепления оперения, люфт в соединении ручки управления с проводкой. По результатам вибрационных испытаний антенны космического аппарата определено местоположение разрушенного клеевого соединения между одной из опор рефлектора с его каркасом. Отдельно рассмотрен вопрос обработки результатов летных испытаний.

В четвертой главе автор использовал разработанные методики для коррекции расчетных моделей отъемной части крыла летательного аппарата, динамически-подобной модели самолета Ту-204 и гирдера модульной секции накопительной части кольца ЦКП «СКИФ». Затронут вопрос моделирования податливостей закреплений в ходе экспериментов. Выполнен синтез глобальной расчетной имитационной модели каркаса зонтичной антенны космического аппарата по результатам испытаний её составных частей.

В заключении представлены основные выводы по диссертационной работе и отражены перспективы и направления дальнейшей разработки темы.

Научная новизна работы

1. Создана методика коррекции расчетных динамических моделей летательных аппаратов посредством добавления корректирующих элементов на основе результатов модальных испытаний.

2. Разработан способ определения собственных тонов колебаний свободной конструкции по результатам ее испытаний с наложенными связями.

3. Развита методика испытаний составных частей летательных аппаратов для достоверного построения их матриц жесткости.

4. Выполнено обоснование методики моделирования глобальной матрицы демпфирования конструкции по результатам испытаний её составных частей.

Обоснованность и достоверность научных результатов

Достоверность полученных результатов, обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается использованием основных положений механики наряду с анализом погрешностей как самих определяемых параметров, так и их влияния на устойчивость алгоритма и сходимость методики коррекции. Основные результаты работы докладывались на всероссийских и международных конференциях и опубликованы в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, и индексируемых в базах Web of Science и Scopus. По результатам работы зарегистрирован патент на изобретение и получены четыре свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

Теоретическая и практическая значимость результатов

Теоретическая значимость диссертации заключается в разработке методики коррекции конечно-элементных моделей летательных аппаратов, состоящей в добавлении корректирующих элементов, характеристики которых устанавливаются по данным экспериментального модального анализа. К теоретическим результатам также относится способ определения модальных параметров свободной конструкции по результатам испытаний этой конструкции с наложенными связями.

Практическая значимость результатов состоит в разработке методик, позволяющих повысить эксплуатационные характеристики ЛА. Их эффективность продемонстрирована в ходе модальных испытаний и доводки ряда ЛА, включая самолет МС-21, а также при проектировании элементов кольца синхротрона поколения 4+. Получены акты об использовании и внедрении от ПАО «Объединенная авиастроительная корпорация», ФАУ

«Сибирский научно-исследовательский институт авиации им. С.А. Чаплыгина» и ЦКП «Сибирский кольцевой источник фотонов».

Соответствие содержания диссертации указанной специальности

По объектам, целям, методам проведенных исследований и содержанию диссертация соответствует паспорту специальности 2.5.14 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов» в части трех пунктов: «Методы определения внешних силовых и тепловых нагрузок, действующих на объекты авиационной, ракетной и космической техники на этапах транспортировки, применения и эксплуатации» (п. 1), «Обеспечение прочности объектов авиационной, ракетной и космической техники на основе современных аналитических и численных методов, методов натурного и полунатурного моделирования в условиях стационарных и нестационарных внешних воздействий» (п. 2) и «Организация, экономика и оптимизация процессов обеспечения прочности, термочечности и тепловых режимов летательных аппаратов» (п. 6).

Замечания и вопросы по диссертационной работе

1. Из результатов коррекции видно, что точность достижения целевых значений частот собственных колебаний для ряда конструкций значительно превышает погрешность их экспериментального определения. Насколько оправдан с практической точки зрения подобный подход?

2. Размер расчетной модели динамически-подобной модели самолёта Ту-204, схематизация которой предполагает органичное моделирование балочными элементами, кажется избыточным для подобного рода конструкций. Является ли такое количество степеней свободы необходимым условием для успешного завершения процедуры коррекции?

3. Не даны рекомендации по выбору численных значений весовых коэффициентов и параметра регуляризации в задаче коррекции.

4. Отсутствуют данные о минимальном размере дефекта каждого типа, который может быть идентифицирован по распределению параметра искажений портретов колебаний.

5. В таблицах, показывающих сходимость расчетных частот к целевым значениям, показаны только исходные частоты, а результаты итераций представлены уже только в виде отклонений от целевых значений в процентах. Желательно давать значения самих частот в процессе сходимости.

Отмеченные замечания и недостатки не снижают научной и практической значимости проведенной работы, а полученные в диссертации результаты соответствуют поставленной цели.

Заключение

Представленная к защите диссертационная работа Лакизы Павла Анатольевича «Коррекция расчетных моделей летательных аппаратов по результатам модальных испытаний» имеет как научную, так и практическую ценность. Автореферат и публикации в научных изданиях достаточно полно отражают содержание работы. Выводы по диссертационной работе являются достаточно полными, логичными и научно обоснованными. Диссертация написана корректным научно-техническим языком и являются завершённой научно-квалификационной работой. По своему содержанию работа соответствует пунктам 1, 2 и 6 паспорта научной специальности 2.5.14 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов».

Диссертационная работа содержит новые научно-обоснованные результаты, внедрение которых имеет существенный вклад для обеспечения безопасной и эффективной эксплуатации летательных аппаратов. Диссертация полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, в том числе в части пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней (Постановление правительства № 842 от 24.09.2013 г.), а её автор – Лакиза Павел Анатольевич заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.5.14 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов».

Отзыв подготовлен и рассмотрен в отделении норм прочности, нагрузок и аэроупругости и принят на заседании научно-технического совета ФАУ «ЦАГИ» по прочности (протокол № 4 от 03.05.2023).

Начальник отделения норм
прочности, нагрузок и
аэроупругости,
кандидат технических наук

Сергей Эмильевич Парышев
03.05.2023

Сведения о ведущей организации

Полное наименование: Федеральное автономное учреждение «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского».

Сокращенное наименование: ФАУ «ЦАГИ»

Почтовый адрес: 140180, г. Жуковский, ул. Жуковского, д. 1

Телефон: +7 (495) 556-43-03

E-mail: info@tsagi.ru

Сайт: www.tsagi.ru

Вступил в совет 18.05.2023

 / Тюрин И.Р.

С отзывом ознакомлен 19.05.2023

 Лопырев А.А.