

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу **Лакизы Павла Анатольевича** «Коррекция расчетных моделей летательных аппаратов по результатам модальных испытаний», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.14 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов»

Актуальность темы диссертационной работы

Процесс проектирования перспективных летательных аппаратов неизменно сопровождается расчетно-экспериментальными исследованиями, необходимые для обоснования и проработки выбранных технологий и конструктивных решений. В связи с этим актуальной является разработка новых расчетных динамических моделей для прогнозирования динамического поведения летательных аппаратов под действием внешних факторов. В частности подобные модели актуальны для задач обеспечения аэроупругой устойчивости самолётов.

Несмотря на значительное развитие численных методов и комплексов программ математического моделирования динамических систем построение достоверных динамических моделей по-прежнему остается актуальной задачей. С целью обеспечения достоверности расчетных моделей, актуально развитие методов их коррекции по результатам натурных испытаний, позволяющих учесть погрешности определения физико-механических свойств исследуемого объекта, а также наличие конструктивных дефектов, искажающих определяемые характеристики.

Таким образом, считаю, что диссертационная работа Лакизы Павла Анатольевича, направленная на создание комплексного подхода к коррекции расчетных динамических моделей, учитывающего особенности проведения как экспериментальных, так и расчетных исследований, посвящена решению актуальной научно-практической задачи.

Научная новизна работы состоит в создании новой методики коррекции расчетных динамических моделей посредством введения дополнительных конечных элементов, характеристики которых определяются на основе данных экспериментального модального анализа. Развита методика определения упругих и диссипативных характеристик составных конструкций, которые затруднительно испытывать в условиях земного притяжения. Развита в работе новый способ определения собственных частот и форм колебаний свободной конструкции по результатам ее испытаний с наложенными связями защищен патентом РФ.

Теоретическая и практическая значимость диссертации

Теоретическая значимость проведенных соискателем исследований выражается в развитии методического аппарата коррекции расчетных динамических моделей, построенных на основе метода конечных элементов, что позволило определять модальные характеристики свободнолетающей конструкции по результатам её испытаний с наложенными связями. Практическую значимость работы определяют четыре зарегистрированных комплекса программ, в которых воплощены разработанные методики, а также акты об использовании результатов работы в ПАО «Объединенная авиастроительная корпорация» и ФАУ «Сибирский научно-исследовательский институт авиации имени С.А. Чаплыгина» при проведении экспериментальных исследований и конструкторско-технологической доводки ряда авиационных изделий. Выработанные решения также нашли практическое применение не только для летательных аппаратов, но и при проектировании агрегатов накопителя ЦКП «Сибирский кольцевой источник фотонов».

Достоверность и обоснованность научных результатов, выводов, положений

Достоверность результатов, полученных при выполнении диссертационной работы, обеспечивается использованием основных положений механики, анализом погрешностей определяемых характеристик и применением метода статистического моделирования в задаче оценки сходимости алгоритма коррекции. Экспериментальные исследования проводились на прецизионном оборудовании согласно современным методикам, выработанным на основе отечественного опыта. Полученные автором результаты не противоречат известным опубликованным данным по теме исследования. Основные результаты работы достаточно полно отражены в 27 публикациях, из них: 2 – в журналах, входящих в перечень ВАК РФ, 2 – в журналах, входящих в базы цитирования Scopus и Web of Science, а также 23 – в изданиях и сборниках трудов международных и всероссийских научно-технических конференций.

Анализ содержания диссертационной работы

Диссертация изложена на 162 страницах и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 178 наименований, а также четырех приложений. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации.

Во введении дана общая характеристика работы: актуальность и разработанность темы исследования, цели и задачи работы, приведены научная новизна, защищаемые положения, а также теоретическая и практическая значимость работы.

В первой главе проведен достаточно полный обзор исследований, посвященных методам коррекции расчетных моделей по результатам экспериментов. Описаны подходы, позволяющие проводить ассемблирование моделей составных частей конструкций во временной и частотной областях. Показаны особенности различных методов, используемых для решения задачи определения динамических характеристик конструкций в рамках операционного модального анализа.

Во второй главе автором сформулирована математическая постановка задачи коррекции упругих и диссипативных характеристик конечно-элементных моделей. Разработан реализующий методику итерационный численный алгоритм, позволяющий эффективно работать с полноразмерными расчетными моделями. Такие модели оказываются достаточно детализированными для того, чтобы в полной мере описать характеристики узлов сопряжения и навески агрегатов летательных аппаратов. С целью построения глобальных расчетных моделей составных конструкций автором предложено использовать в ходе коррекции результаты нескольких испытаний для каждой из подконструкций. Эффективность такого подхода обоснована на примере синтезированной модели космического аппарата, составные части которого корректировались по результатам испытаний как в свободном, так и закрепленном состояниях. Автор выполнил численные исследования, подтверждающие устойчивость алгоритма коррекции по отношению к ошибкам в экспериментальных данных. Кроме того, изложен и протестирован на модельных задачах способ определения частот и форм собственных колебаний авиационных изделий по результатам испытаний этих конструкций на шасси и системе упругого вывешивания.

Третья глава диссертации посвящена развитию и использованию методов экспериментального модального анализа для получения обоснованных оценок динамических характеристик. Автором создано программное обеспечение для расчета и визуализации распределений параметра искажений портретов колебаний, который выполняет роль индикатора возникновения повреждений в конструкциях. Это способствует их своевременному устранению непосредственно в процессе испытаний. Также разработана программа для оценки частот и декрементов по результатам лётных испытаний. Результаты обработки последних показали удовлетворительное согласование сопоставлены с известными данными.

В четвертой главе диссертационной работы рассмотрено применение разработанных автором методик для решения практических задач коррекции и синтеза расчетных моделей. Успешно верифицирована конечно-элементная модели самолета Ту-204. В результате сопоставления форм колебаний до и

после коррекции автором показано, что скорректированная модель является физически согласованной. Методика синтеза апробирована на примере состоящей из двух частей имитационной модели каркаса зонтичной антенны космического аппарата. Предложен способ, позволяющий учесть податливость креплений в испытаниях подконструкций. Также представлены результаты уточнения упругих характеристик изделия С-70 и гирдера модульной секции накопителя ЦКП «СКИФ».

В заключении представлены основные результаты и выводы, полученные при выполнении диссертационной работы.

Замечания по диссертационной работе

1. В разработанной автором методике коррекция модели производится только по собственным частотам колебаний, полученным в ходе модальных испытаний. В тексте диссертации нет данных, насколько хорошо удается обеспечить коррекцию собственных форм предложенной методикой.

2. Предложенный автором способ освобождения от наложенных связей, применим только для малых угловых скоростей вращения свободной конструкции, поскольку в представленных уравнениях системы (2.48) фигурируют только угловые ускорения, а влияние центробежных и кориолисовых сил, зависящих от угловой скорости вращения динамической системы не учитывается. Следует отметить, что обозначение углов греческой буквой «омега», не очень удачно, поскольку часто этой буквой обозначается угловая скорость. Автором в разделе 2.3.2 рассмотрен только пример поступательно движущейся системы. Было бы желательно также привести пример вращения освобожденной конструкции.

3. Отсутствуют данные о влиянии начального приближения параметров корректирующих элементов на результаты коррекции.

4. Не обоснован выбор метода сопряженных градиентов в качестве решателя задачи оптимизации.

Указанные замечания не снижают научной и практической ценности и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Лакизы П.А.

Заключение

Учитывая вышеизложенное, объем выполненного исследования, основные выводы, научно-практическую значимость и новизну результатов, считаю, что диссертация Лакизы Павла Анатольевича «Коррекция расчетных моделей летательных аппаратов по результатам модальных испытаний» соответствует пунктам 1, 2 и 6 научной специальности 2.5.14 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов» и представляет собой законченную

научно-квалификационную работу. Диссертация содержит новые научно-обоснованные результаты, внедрение которых окажет существенный вклад в повышение эксплуатационных характеристик летательных аппаратов. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертационного исследования.

Представленная работа полностью соответствует всем требованиям к кандидатским диссертациям, предъявляемым п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ (Постановление Правительства 842 от 24 сентября 2013 г.). Автор диссертационной работы Лакиза Павел Анатольевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.14 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов».

Официальный оппонент: доктор технических наук, профессор кафедры аэрокосмических систем Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», профессор

Георгий Александрович Щеглов

Подпись Г.А. Щеглова заверяю

18.05.2023

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ
ЗАМ. НАЧАЛЬНИКА УПРАВЛЕНИЯ
НАЗАРОВА О. В.
ТЕЛ. 8-499-263-60-



Почтовый адрес: 105005, Россия, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, к. 1.

Телефон: +7 (499) 263-63-10.

e-mail: shcheglov_ga@bmstu.ru.

Получено в совете
29.05.2023 [Подпись]

5

С отзывом ознакомлен 30.05.23
[Подпись] / Лакиза П.А.