

ОТЗЫВ

официального оппонента

доктора технических наук Смыслова Всеволода Игоревича
на диссертационную работу Жукова Егора Павловича
«Диагностика дефектов авиационных конструкций по результатам
вибрационных испытаний», представленную на соискание учёной степени
кандидата технических наук по специальности
05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов»

Актуальность темы диссертации

Диссертация Е.П. Жукова посвящена актуальной теме: разработке способов обнаружения повреждений самолетов путем наземных испытаний. В частности, по результатам наземных резонансных, иначе модальных, испытаний. По зарубежной терминологии это GVT (ground resonant ntst), по официальной финансовой (авиационной) – «частотные испытания». Модальные испытания опытных самолетов проводятся десятилетиями (в основном, силами ЦАГИ), детали их методики непрерывно совершенствуются, непосредственной целью является корректирование расчетной схемы. Общая их направленность есть обеспечение безопасности от флаттера. На этапе серийного производства задача контроля дефектов возникает в полном объеме, и ее решение связано, как и в проблеме флаттера, с обеспечением безопасности самолета в полете.

Наличие множества публикаций, посвященных разным способам обнаружения дефектов конструкций, которые достаточно полно рассмотрены диссертантом в первой главе, является дополнительным подтверждением актуальности задачи. С другой стороны, сам факт разнообразных вариантов диагностики дефектов по данным вибрационных испытаний свидетельствует об отсутствии единого, универсального способа. Тем более, что значительная часть этих предложений имеет «академический» или учебный характер, не имеющий непосредственной связи с авиационной промышленностью.

Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы из 175 наименований, 2-х приложений. Общий объем работы составляет 166 страниц основного текста и 4 страницы приложений, включает 139 рисунков, 12 таблиц. Структура и оформление диссертации и автореферата соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11–2011 «Диссертация и автореферат диссертации».

Во введении к диссертации обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследований и положения, выносимые на защиту; обозначены научная новизна, теоретическая и практическая значимость; приведена информация об апробации и использовании результатов работы.

В первой главе в результате анализа публикаций по теме диссертации сформулированы выводы, послужившие основой для выбора цели и задач исследований в диссертационной работе.

Вторая глава содержит описание методики модальных испытаний ЛА, основанной на анализе соотношений между вынужденными монофазными и собственными колебаниями конструкций. Такой подход позволяет отказаться от использования априорного математического описания диссипативных свойств механических колебательных систем. При-

ведены оценки погрешностей определения собственных частот, обобщенных масс и характеристик демпфирования, полученные другими исследователями. Причинами таких погрешностей являются случайные ошибки измерений отклика конструкции на тестовое воздействие и взаимное влияние тонов с близкими частотами. Автором проведены исследования влияния системы упругого вывешивания ЛА на его динамические характеристики. Разработан способ экспериментального определения модальных параметров, обладающий более низкой, по сравнению с известными способами, чувствительностью к ошибкам в экспериментальных данных.

В третьей главе разработана модификация метода диагностирования люфтов в проводках управления летательных аппаратов по искажениям фигур Лиссажу, заключающаяся в следующем:

- замене фигуры Лиссажу на другой портрет колебаний, что позволяет использовать этот метод в мониторинге люфтов в процессе эксплуатации авиационной техники;
- применении двух источников для возбуждения колебаний органа управления и ручки управления, что повышает достоверность диагностирования безбустерных протяжённых проводок управления;
- использовании искажений портретов колебаний для выявления зазоров в узлах стыковки агрегатов и планера самолета.

Эффективность такой модификации продемонстрирована на примере контроля люфтов в безбустерной проводке учебного самолёта, обнаружения зазоров в установках управляемого стабилизатора и переднего горизонтального оперения, а также в механизме закрытия створки шасси самолётов.

Аналогичная модификация создана и для способа выявления несоосной установки опор отклоняемых поверхностей, проявляющейся в повышенных нагрузках монтажа и сухом трении. Замена идентификационного признака трения, которым являлись искажения фазовых портретов органа управления, на признак в виде искажений портретов вынужденных колебаний позволила повысить достоверность обнаружения дефекта.

В четвертой главе изучается возможность обнаружения трещин в элементах планера самолёта по нелинейным искажениям портретов колебаний. Показано, что этот идентификационный признак чувствителен к соударениям берегов и трению в вершинах трещин, поэтому может быть использован для их выявления. В работе предложен способ математической обработки искажений портретов колебаний, позволяющий определить местоположения и отследить динамику изменения трещин в металлических элементах конструкции самолёта. Приведены примеры диагностики дефектов в подкреплённой панели фюзеляжа и нервюре крыла самолёта *RRJ*, нервюре крыла самолёта *Су-27*. Проведены параметрические исследования достоверности такой диагностики.

В заключении сформулированы основные выводы по результатам исследований, свидетельствующие о достижении поставленной цели. Приведены рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.

Содержание диссертации и автореферата соответствует формуле специальности 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов» в части обеспечения нормального функционирования авиационной техники.

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

Результаты диссертационной работы достаточно полно опубликованы в монографии; шести изданиях, рекомендованных ВАК РФ; пятнадцати прочих изданиях и защищены двумя патентами.

Научная новизна диссертации заключается в следующем. В работе впервые реализована новая методика модальных испытаний самолетов, (существенно дополняющая используемую при штатных резонансных испытаниях), снижающая влияние погрешностей. Диссертант показал ее работоспособность на ряде изделий, а также дополнил новым расчетно-экспериментальным способом уточнения величин модальных параметров конструкции за счет устранения влияния системы вывешивания самолета или его модели. Автором дополнена также стандартная идентификация диссипативных свойств по результатам модальных испытаний.

В работе приведены новые идентификационные признаки люфтов, зазоров и монтажных напряжений с помощью «портретов колебаний». Подобный инструментарий, дополненный соответствующей математической обработкой, позволяет выявлять наличие трещины и ее положение. Это новая, апробированная разработка автора.

Теоретическая и практическая значимость результатов

Теоретическая значимость результатов диссертационных исследований состоит в идентификации математической модели рассеяния энергии конструкции по результатам испытаний и определении параметров собственных тонов колебаний по амплитудно-частотной характеристике объекта испытаний.

К практической значимости работы относится повышение информативности модальных испытаний, снижение затрат на выявление и устранение дефектов самолетов. Разработанные в диссертации методики использованы в доводке самолётов Су-30 и Як-152 и наземной отработке космических аппаратов, что подтверждено актами ПАО «Корпорация «Иркут» и АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва».

Достоверность и обоснованность научных результатов, положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Диссертация содержит теоретические и практические части, основанные на базовых построениях теоретической механики и теории колебаний, теории ошибок и статистических методов. Экспериментальная сторона работы основана на использовании проверенных методов с новейшей аппаратной частью, имеющей достаточный метрологический уровень.

Положения, выносимые на защиту, обоснованы в тексте работы. Выводы соответствуют поставленным задачам. Рекомендации направлены на расширение области применения разработанных методик: контроль дефектов в конструкциях из композиционных материалов.

Постановки задач диссертации и их решения обсуждены на международных и всероссийских конференциях и опубликованы в рецензируемых изданиях.

Замечания

1. Следует отметить, в первую очередь, встречающиеся неточности обозначений. Так, к соотношению (2.1) на стр. 35 не указана связь между H и R , а ранее сказано, что R

считается неизвестным; на стр. 36 комплексное представление для перемещений введено, а для сил нет; на стр. 40 неудачный термин «собственные колебания» подразумевает вынужденные колебания по собственной форме;

2. Рисунок 3.39 диссертации представлен в автореферате с ошибкой (рисунок 2);

3. При разработке способа обнаружения трещин без обоснований исследовались колебания панели только по четырем низшим тонам;

4. В работе достаточно большое внимание уделено нормированию искажений портретов колебаний, но рекомендации по использованию того или иного способа нормирования не выработаны.

Заключение

Несмотря на сделанные замечания, диссертация «Диагностика дефектов авиационных конструкций по результатам вибрационных испытаний», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной для развития методов вибрационной диагностики авиационных конструкций задачи, соответствует требованиям раздела II «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор, Жуков Егор Павлович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов».

Официальный оппонент,
главный научный сотрудник
ФГУП «ЦАГИ»
доктор технических наук, доцент



Смыслов Всеволод Игоревич

Контактная информация:
140180, Россия, г. Жуковский,
Московская область, ул. Жуковского, 1
Телефон: 8 (495) 556-38-41
E-mail: smysl@tmail.ru

Подпись Смылова В.И. удостоверяется
Ученый секретарь диссертационного совета

ЦАГИ

Доктор физико-математических наук



Брутян М.А.

Федеральное государственное предприятие «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского»
(ФГУП «ЦАГИ»)

Адрес: 140180, Россия, г. Жуковский, Московская область, ул. Жуковского, 1
Телефон: 8 (495) 556-43-03
E-mail: info@tsagi.ru
http://www.tsagi.ru/

Рассмотрено в целом 12.03.2019

 Тюрин А.

Сотзвелем ознакомялен 14.05.2019

 Егор Жуков Е.Т.