

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора кафедры ДЛА Московского государственного технического университета гражданской авиации Никонова Валерия Васильевича на диссертационную работу Зарецкого Максима Владимировича «Численное моделирование напряженно-деформированного состояния конструкций авиационных изделий при совместной эксплуатации с носителем», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры

1. Характеристика структуры и основного содержания работы.

Рецензируемая работа состоит из введения, пяти глав, заключения и библиографического списка из 87 наименований, 63 рисунков. Общий объем диссертации составляет 102 страницы машинописного текста.

Введение соответствует рубрике автореферата. **Первая глава** содержит обзор литературных источников по задачам, поставленным в диссертационной работе; даны основные положения методов решения этих задач. Представлен анализ существующих методов исследований динамического и напряженно-деформированного состояния конструкций при действии случайной вибрации и работ по оценке характеристик усталостного разрушения материалов и конструкций, вызванного случайными внешними нагрузками. Сформулированы основные задачи диссертационной работы.

Во второй главе представлена общая методика моделирования напряженного состояния и оценки долговечности конструкций авиационных изделий при случайном вибрационном нагружении, учитывающая наличие зон концентрации напряжений, на основе методов конечного элемента (МКЭ), статистического моделирования и теории суммирования усталостных повреждений. Изложены основные положения этих методов. Описаны методики конечно-элементного моделирования динамического и напряженного состояния конструкции, методики моделирования реализаций случайных процессов напряжений и расчета усталостной долговечности.

Конечно-элементное моделирование динамического состояния конструкции авиационного изделия выполняется в среде универсальной системы твердотельного моделирования и конечно-элементного расчета сложных конструкций. Конечно-элементная модель (КЭМ) конструкции строится в режиме диалога с использованием функционального меню. Соединение КЭ различной размерности выполняется на основе комбинированной сетки конечных элементов. Узлы крепления, подкрепляющие элементы, наполнитель и массовый макет остальных отсеков моделируются как объёмные твердотельные элементы. Обечайка моделируется оболочечными КЭ. После этого создается комбинированная сетка конечных элементов и выполняется соединение оболочечных SHELL-элементов обечайки и SOLID-элементов узлов крепления, подкрепляющих элементов, наполнителя и габаритно-массовых макетов отсеков.

В третьей главе изложены результаты реализации разработанной методики численного моделирования для исследования динамического состояния конструкции реального авиационного изделия. Расчетные исследования проводятся для авиационного изделия, находящегося на внутренней подвеске маневренного самолета. Расчетные исследования динамического состояние изделия выполнены для случаев нагружения кинематическим возбуждением в форме стационарного случайного процесса ускорения с заданной спектральной плотностью в диапазоне $[0; 360]$ Гц. Рассматривались два вида спектральной плотности ускорения: модельная («белый» шум) и спектральная плотность, соответствующая реальным условиям эксплуатации изделия совместно с носителем.

В четвертой главе реализована представленная в главе 2 методика исследования напряженного состояния конструкции авиационного изделия при случайном кинематическом возбуждении.

Расчетные исследования проводились с использованием оболочечной КЭМ и условий кинематического возбуждения аналогичных представленным

в главе 3. Для обеспечения корректности определения напряжений проводились вычисления с последовательным дроблением КЭ сетки

В пятой главе проведена оценка долговечности конструкции авиационного изделия при случайном нагружении. Оценка характеристик долговечности проводится на основе разработанной численной модели НДС конструкции и скорректированной линейной гипотезы накопления усталостных повреждений. Исходными данными для реализации линейной гипотезы накопления усталостных повреждений служат: характеристики приведённой кривой усталости; максимальные уровни циклов напряжений σ_i , возникающих в элементах конструкции изделия и их количество n_i , которые определяются по графикам функции повторяемости напряжений.

Диссертация выполнена аккуратно и с минимальным количеством опечаток. Следует констатировать, что структура и содержание диссертационной работы соответствует заявленной теме, автореферату и паспорту специальности 01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры.

2. Оценка актуальности рассматриваемой работы.

Динамическое состояние изделий авиационной техники, транспортируемых на подвесках авиационных носителей на полетных режимах, является одним из основных факторов, влияющих на прочностную надежность и безопасность эксплуатации как самих изделий, так и комплекса носитель-изделие. Определение характеристик динамического состояния конструкций авиационных изделий в условиях действия случайной вибрации имеет существенное практическое значение, так как уровни колебаний конструкции во многих случаях являются определяющими при оценке и подтверждении характеристик прочности и долговечности изделия. Подобная задача возникает также при оценке возможности транспортирования изделия на других носителях или при более жестких режимах полета.

В этой связи тематику диссертационной работы следует признать актуальной.

3. Краткая характеристика новизны и практической значимости

Научная новизна работы заключается в том, что при выполнении работы получены следующие результаты.

– разработана общая методика расчетной оценки показателей долговечности несущих конструкций авиационных изделий при действии случайных нагрузок, включающая определение вероятностных характеристик локального напряженного состояния на основе конечно-элементного моделирования, генерирование реализаций и схематизацию случайных процессов напряжений, суммирование усталостных повреждений;

– построена методика численного моделирования динамического и напряженного состояний конструкций авиационных изделий при действии стационарных случайных нагрузок, учитывающая геометрические характеристики и распределение массы реальных конструкций, и позволяющая определять характеристики напряженного состояния в зонах нерегулярностей на основе численных моделей высокой размерности;

– разработана и обоснована методика статистического моделирования временных реализаций случайных процессов напряжений по графику спектральной плотности и построения кривых повторяемости для приведенных регулярных циклов напряжений;

– разработанные методики реализованы для исследования динамического и напряженного состояний и оценки долговечности конструкции реального авиационного изделия при действии кинематического случайного нагружения в условиях совместного полета с носителем;

– проведено сопоставление результатов моделирования динамического состояния изделия с данными лабораторно-стендовых испытаний реального

изделия, показавшее их удовлетворительное соответствие по уровням виброускорения;

– на основе методики моделирования временных реализаций случайных процессов напряжений, построенных кривых повторяемости циклов напряжений и скорректированной линейной гипотезы накопления повреждений получены оценки медианной долговечности (т.е. соответствующей вероятности появления усталостного разрушения равной 50%) для реальной конструкции авиационного изделия.

Достоверность результатов подтверждается:

– обеспечением сходимости результатов вычислений с данными эксперимента и данными эксплуатации натуральных конструкций;

– не противоречием основных результатов диссертационной работы известным теоретическим зависимостям;

– корректным применением методов механики твердого деформируемого тела, теории усталостного разрушения, конечно-элементной теории, теории вероятностей и теории случайных функций.

Практическая значимость заключается в следующем.

Разработанные методики моделирования могут быть использованы и используются (соответствующая справка имеется) в НИИ и КБ для оценки и прогнозирования прочностных и ресурсных характеристик изделий авиационной техники, транспортируемых на внутренних подвесках авиационных носителей.

К недостаткам работы можно отнести следующие:

– в диссертационной работе не указан объект исследования;

– в работе проведена оценка долговечности только по скорректированной линейной гипотезе; нет сравнения с линейной гипотезой суммирования повреждения;

– приведение случайного процесса к набору регулярных циклов проводится с использованием одного метода. Желательно было иметь для сравнения результаты с использованием распространенного в авиапромышленности

метода полных циклов;

– получена только одна реализация процесса напряжений, из которой брались соответствующие выборки;

-на стр. 7 автореферата указано, что диссертация состоит из четырех глав. На самом деле их 5.

– по спектральным характеристикам напряженного состояния восстановлен процесс напряжений, но не решена обратная задача.

4. Общее заключение по диссертации

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, имеющей внутренне единство и логическую завершенность. Введение, четыре главы и заключение находятся во взаимосвязи. Стиль замечаний не вызывает.

Автореферат и публикации отражают основное содержание диссертации.

Научное содержание и практическая ценность результатов позволяет считать ее полностью отвечающей требованиям Положения ВАК. Соискатель Зарецкий Максим Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры.

Официальный оппонент

Д.т.н., проф., зав.каф. ДЛА МГТУ ГА

В.В.Никонов

Подпись проф. В.В.Никонова заверяю

Проректор по НРиИ МГТУ ГА

В.В.Воробьев

