



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РФ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ»

Россия, 125319, Москва, ул. Викторенко, 7  
Тел.: (499) 157-70-47  
Факс: (499) 943-86-05

Дата 27.10.2014 г. Исх. № 3200/3974

Ученому секретарю института  
«Московский авиационный  
институт (национальный  
исследовательский университет)»  
МАИ

к.т.н., доц. А.Н. Ульяшиной.  
125993, Волоколамское шоссе, 4  
Факс: 8(499) 158-29-77

На ваш исх.№ 902-09-14 от 15.09.14

Направляю Вам отзыв Государственного научного центра Федерального государственного унитарного предприятия «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем» на диссертацию Зарецкого Максима Владимировича на тему: «Численное моделирование напряженно-деформированного состояния конструкций авиационных изделий при совместной эксплуатации с носителем», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Приложение:

1. Отзыв ГНЦ ФГУП «ГосНИИАС» на диссертацию – 2 экз., на 6 листах каждый.
2. Диссертация в 1 экз. – 1 книга.

Ученый секретарь НТС ФГУП «ГосНИИАС»

С.М. Мужичек

«УТВЕРЖДАЮ»

Зам. Генерального директора

ФГУП «ГосНИИАС»,

доктор технических наук

В.П. Самойлов

«27» октября 2014 г.



### ОТЗЫВ

ведущей организации ФГУП «Государственный НИИ авиационных систем»  
на диссертацию Зарецкого Максима Владимировича  
«Численное моделирование напряженно-деформированного состояния  
конструкций авиационных изделий при совместной эксплуатации с  
носителем», представленной на соискание ученой степени кандидата  
технических наук по специальности 01.02.06 – Динамика, прочность машин,  
приборов и аппаратуры

Диссертация Зарецкого М.В. посвящена проблеме оценки и подтверждения характеристик прочности и долговечности конструкций изделий авиационной техники, которая является актуальной и представляет научный и практический интерес.

**Актуальность темы выполненной работы.** Актуальность диссертационной работы обусловлена, с одной стороны, практической необходимостью обеспечения установленных показателей прочности и долговечности, с другой - относительно высокой сложностью решения этих проблем. Рациональным путем решения здесь является математическое моделирование с использованием современных прикладных систем, которое позволяет получить адекватные количественные оценки требуемых характеристик и существенно уменьшить объем экспериментальной отработки изделий на различных стадиях жизненного цикла.

В работе решен комплекс задач, связанных с исследованием динамического и напряженно-деформированного состояний конструкций изделий при эксплуатационных нагрузках, соответствующих некоторым режимам этапа совместного полета изделия с носителем. Положительной

стороной диссертации является комплексный подход к решению поставленной задачи, включающий этапы от определения динамических характеристик изделия до оценки его долговечности.

**Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

В качестве новизны работы следует отметить разработку комплексной методики моделирования напряженного состояния авиационных изделий, позволяющей корректно определять уровни локальных напряжений в зонах концентрации и формировать блоки приведенных регулярных циклов напряжений. В отличие от известных исследований здесь рассматриваются численные модели, позволяющие учитывать деформирование конструкции при колебаниях по высоким формам, которые могут давать существенный вклад в суммарный уровень напряжений. Для получения оценок долговечности предложено использовать статистическое моделирование случайных процессов напряжений по спектральной плотности с последующим приведением случайных процессов к блоку регулярных циклов с использованием эффективного метода «дождя».

Автором получены научные результаты, характеризующие напряженно-деформированное состояние и долговечность конструкций реальных изделий авиационной техники в зависимости от свойств конструкции, условий нагружения и характеристик конструкционных материалов.

**Содержание работы**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследований, определена научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведены положения, выносимые на защиту, дано краткое содержание работы по главам.

**В первой главе** представлен обзор публикаций по теме диссертации. Дан анализ работ по расчетным исследованиям динамического и напряженно-деформированного состояния конструкций при действии случайной вибрации. Рассмотрены работы, посвященные определению характеристик усталостного разрушения материалов и конструкций при случайном

нагружении. Показаны недостаточно исследованные проблемы и сформулирована постановка задачи диссертационной работы.

**Во второй главе** представлена разработанная методика численного моделирования напряженного состояния, случайного процесса напряжений и оценки долговечности конструкций авиационных изделий при случайном вибрационном нагружении. Изложено применение методов конечного элемента (МКЭ), статистического моделирования и теории суммирования усталостных повреждений. При создании сетки конечных элементов существенную сложность представляет корректное соединение оболочечных и твердотельных КЭ, применяемых для моделирования элементов конструкции. Результатами динамического расчета являются спектральные плотности ускорения и среднеквадратические отклонения ускорения в узлах конструкции.

Далее проводится вычисление вероятностных характеристик напряжений в заданном частотном диапазоне при последовательном изменении параметров КЭ для обеспечения сходимости результатов вычислений.

Для оценки долговечности проводится построение реализаций случайных процессов напряжений и преобразование этих процессов в блоки эквивалентных по повреждающему действию регулярных циклов, построение приведенных кривых усталости для элементов конструкции изделия и применение скорректированной линейной гипотезы суммирования усталостных повреждений. Выбирается и обосновывается выбор показателя долговечности конструкции.

**В третьей главе** изложены результаты реализации разработанных методик численного моделирования для исследования динамического состояния конструкции авиационного изделия, находящегося на подвеске самолета. Основная КЭ модель изделия сформирована с использованием оболочечных и объемных КЭ. Помимо этого сформирована КЭМ с использованием балочных (типа BEAM) КЭ. Расчетные исследования динамического состояния изделия выполнены для случаев нагружения

кинематическим возбуждением стационарными случайными процессами ускорения.

**В четвертой главе** на основе разработанной методики проведены исследования напряженного состояния конструкции авиационного изделия при случайном кинематическом возбуждении. Вычисления напряжений проводились для различных вариантов размера КЭ модели с последовательным дроблением КЭ сетки. В результате вычислений определено распределение СКЗ напряжений в конструкции и зоны максимальных напряжений. Для этих зон получены спектральные плотности и распределения дисперсии напряжений по частоте.

**В пятой главе** проведена оценка долговечности конструкции авиационного изделия при случайном нагружении на основе разработанной численной модели напряженного состояния конструкции и скорректированной линейной гипотезы накопления усталостных повреждений. Для этого построены блоки эквивалентных регулярных циклов напряжений и приведенные кривые усталости для элементов конструкции.

Для построения блоков напряжений по предложенной методике проведено статистическое моделирование случайных узкополосных процессов напряжений, имеющих распределение, близкое к нормальному. Схематизация полученных модельных процессов напряжений для приведения к набору регулярных циклов проведена с использованием алгоритмов метода «дождя». Получены графики повторяемости приведенного симметричного регулярного цикла напряжений для вариантов случайного нагружения и продолжительности реализаций.

На заключительном этапе определены значения корректирующего коэффициента и соответствующие оценки долговечности до появления усталостного разрушения.

#### **Значимость полученных результатов.**

Результаты исследований, полученные в диссертации, обладают практической значимостью. Разработанная методика позволяет проводить исследования для авиационных изделий различных классов,

транспортируемых на внутренних подвесках носителей. Данная методика может иметь развитие для случая нестационарного нагружения.

Разработанная методика может быть рекомендована для применения при проведении ОКР, разработках перспективных авиационных изделий различного назначения, модернизации существующих конструкций на предприятиях КТРВ и ОАК для получения расчетных оценок характеристик напряженного состояния и долговечности авиационных изделий, формирования режимов испытаний, подготовки заключений по ресурсу.

Использование результатов диссертационной работы возможно также при сравнительной оценке характеристик различных вариантов конструктивного исполнения изделий на ранних стадиях разработки. Результаты работы целесообразно внедрить на ОАО «МКБ «Искра».

**Достоверность полученных научных результатов** подтверждается их соответствием известным закономерностям механики конструкций, использованием апробированных методов исследований, удовлетворительным соответствием полученных результатов с экспериментальными данными других авторов для реального изделия.

#### **Замечания по работе.**

1. В разработанной методике не учитывается влияние аэродинамических нагрузок, поэтому она применима только для изделий, размещаемых на внутренних узлах подвески. Это ограничение не отмечено в работе.

2. В работе не приведены рекомендации по выбору продолжительности моделируемого случайного процесса напряжений. Эта характеристика может оказывать существенное влияние на получаемые оценки долговечности.

3. В разделе «новизна» сообщается, что разработана «общая методика расчетной оценки...при совместном полете». Однако, в работе не учтено влияние нагрузок при взлете и посадках (существенно влияющих на прочность изделий), а также при совместном действии вибраций с линейными ускорениями при совершении эволюций в воздухе, импульсные воздействия от работы СПВ. В то же время в работе указывается маневренный самолёт.

4. К недостаткам работы следует также отнести низкую популяризуемость (раздел «апробация работы»). Работа, в основном, докладывалась только на семинарах МАИ и публиковалась в трудах МАИ.

#### **Заключение по работе.**

Основные результаты диссертационной работы изложены в четырех статьях в издании, входящем в перечень ВАК РФ, и тезисах докладов на научных конференциях.

Автореферат отражает содержание диссертации.

В целом диссертация Зарецкого М.В. является завершенной научно-квалификационной работой, удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям по техническим наукам. Автор диссертации Зарецкий Максим Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Отзыв рассмотрен на заседании НТС №7 от 21.10.14 отделения 3200 ФГУП «ГосНИИАС».

Начальник подразделения, д.т.н., профессор

В.В. Бочаров

Начальник подразделения ФГУП «ГосНИИАС»

О.В. Соколов

Ведущий научный сотрудник, к.т.н.

М.А. Бомер

Начальник сектора, к.т.н.

Г.В. Воробьев

Подписи В.В.Бочарова, О.В.Соколова, М.А. Бомера, Г.В. Воробьева заверяю.

Ученый секретарь НТС ФГУП «ГосНИИАС»

С.М. Мужичек