

АО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение»

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

«ГОСУДАРСТВЕННОЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЕ
КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО «ВЫМПЕЛ»
ИМЕНИ И.И. ТОРОПОВА»

(АО «Гос МКБ «Вымпел» им. И.И. Торопова»)

Волоколамское шоссе, д. 90, Москва, Россия, 125424
ОКПО 07537513, ОГРН 1057747296166, ИНН/КПП 7733546058/774850001

Тел: (495) 491-85-89 Факс: (495) 490-22-22
E-mail: info@vypelmkb.com

06.03.2017 № 050/800/1898

На № _____ от _____

Отзыв ведущей организации

Проректору ФГБОУ ВО «МАИ (НИУ)»
по научной работе, д.т.н., профессору
Равиковичу Ю. А.

125993, г. Москва, А-80, ГСП-3
Волоколамское шоссе, д. 4

Уважаемый Юрий Александрович!

Направляю Вам отзыв нашего предприятия как ведущей организации по диссертации Рыбаулина Артема Григорьевича на тему «Исследование динамического напряженного состояния и долговечности тонкостенных авиационных конструкций с дискретными сварными соединениями при случайном нагружении», представленной на соискании ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

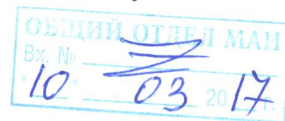
ПРИЛОЖЕНИЕ: Отзыв два экземпляра на 8-ми листах каждый.

Диссертация в 1 экз.


Генеральный директор, д.э.н.



Гусев Н.А.



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
АО «ГосМКБ «Вымпел»
им. И.И. Торопова», д.э.н.

Гусев Н.А.

2017 г.

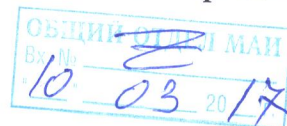


ОТЗЫВ

ведущей организации АО "Государственное машиностроительное конструкторское бюро «Вымпел» им. И.И. Торопова" на диссертацию Рыбаулина Артема Григорьевича на тему «Исследование динамического напряженного состояния и долговечности тонкостенных авиационных конструкций с дискретными сварными соединениями при случайном нагружении», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры.

Диссертация Рыбаулина А. Г. посвящена проблеме оценки и подтверждения характеристик прочности и долговечности конструкций изделий авиационной техники, которая является актуальной и представляет несомненный научный и практический интерес.

Актуальность темы выполненной работы. Актуальность диссертационной работы обусловлена, практической необходимостью обеспечения установленных показателей прочности и долговечности конструкций авиационных изделий при действии случайных эксплуатационных нагрузок. Ввиду относительно высокой сложности и стоимости экспериментального решения этих задач, рациональным путем решения здесь является применение математического моделирования с использованием современных прикладных систем. Это позволяет получить адекватные количественные оценки требуемых характеристик и существенно уменьшить объем экспериментальной отработки изделий на различных этапах эксплуатации.



В работе решен комплекс задач оценки динамического напряженно-деформированного состояния и долговечности конструкций авиационных изделий, содержащих дискретные сварные соединения, при случайных эксплуатационных нагрузках, соответствующих этапу 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 основной научной новизны работы следует отметить разработку и реализацию комплексной методики подробного моделирования напряженного состояния конструкции в зонах дискретных сварных соединений, позволяющей корректно определять уровни локальных динамических напряжений в зонах концентрации и получать оценки долговечности конструкции. В отличие от известных исследований, здесь рассматриваются численные модели напряженного состояния высокой размерности с учетом изменения механических характеристик конструкционного материала в локальных зонах дискретных сварных соединений. 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».

Самостоятельную научную новизну представляют результаты расчетного и экспериментального определения прочности модельных образцов с дискретными сварными соединениями при статическом растяжении и сдвиге.

Автором получены новые научные результаты, характеризующие напряженно-деформированное состояние и долговечность реальных конструкций с учетом условий случайного нагружения и изменчивости локальных характеристик конструкционных материалов в зонах сварных соединений.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и перечислены решаемые задачи, определена научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приведены положения, выносимые на защиту. Дано подтверждение достоверности полученных результатов, приведена структура и краткое содержание работы по главам.

В первой главе представлен обзор публикаций по теме диссертации. Дан анализ известных расчетных и экспериментальных исследований динамического и напряженно-деформированного состояния элементов конструкций с точечными сварными соединениями, в том числе 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, содержащих точечные сварные соединения при случайном вибрационном нагружении. Подробно изложено применение методов конечного элемента (МКЭ), статистического моделирования и теории суммирования усталостных повреждений для случая стационарного случайного нагружения. Основное содержание главы посвящено новой методике численного моделирования отдельной сварной точки, позволяющей учитывать существенную изменчивость механических характеристик исходного материала конструкции в локальной зоне точечного сварного соединения. Особенностью методики является то, что каждая сварная точка формируется в виде сочетания трех цилиндрических тел, моделирующих ядро, первую и вторую зоны термического влияния. Механические характеристики для зон сварной точки пересчитываются по распределению твердости по сечению сварной точки. Определение переменного по сечению сварной точки предела текучести

проводится по эмпирическим соотношениям на основе данных измерений микротвердости материала.

Результатами динамического расчета являются распределение спектральных плотностей и среднеквадратических отклонений эквивалентных напряжений в зоне сварного соединения. Показано, что наиболее напряженные области сварного соединения расположены вблизи контура сварной точки.

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 наиболее напряженных зон и применение принятой теории суммирования усталостных повреждений. В качестве показателя долговечности конструкции принимается медианное значение числа блоков нагружения до момента образования усталостной макротрещины в наиболее напряженной точке.

В третьей главе изложены результаты реализации разработанной методики численного моделирования для исследования динамического состояния и оценки долговечности реальной конструкции авиационного изделия с дискретными сварными соединениями при случайном нагружении.

Особенностью конструкции является соединение четырех крестообразно расположенных плоскостей крыла с корпусом изделия с помощью точечной сварки. Моделирование проводится при соблюдении соответствия между КЭМ и реальной конструкцией изделия по условиям закрепления, геометрии, общей массе, положению центра масс и по величине момента массы.

Проведены исследования напряженного состояния несущей конструкции авиационного изделия при случайном кинематическом возбуждении. Рассматривается кинематическое возбуждение вибрации, аналогичное реальному эксплуатационному нагружению. Динамический

расчет конструкции проводится с применением алгоритмов модального анализа для случайных процессов. В результате расчетных исследований определено распределение напряжений в конструкции и зоны максимальных напряжений. Для этих зон определены спектральные плотности, суммарные дисперсии и распределения дисперсии напряжений по частоте в сварном соединении. Установлено, что максимальные уровни напряжений наблюдаются вблизи контура сварной точки на крайних точках сварного шва.

Для обоснования корректности методики КЭ моделирования точечного сварного соединения автором проведены испытания на прочность при растяжении и сдвиге модельных образцов с точечным сварным соединением и показано соответствие расчетных и экспериментальных значений разрушающих нагрузок.

На основе проведенного моделирования напряженного состояния проведена оценка долговечности конструкции авиационного изделия при случайном нагружении с использованием различных теорий накопления усталостных повреждений. Для этого построены блоки эквивалентных регулярных циклов напряжений и приведенные кривые усталости материала в зоне сварного соединения. Для построения блоков напряжений по предложенной методике проведено статистическое моделирование случайных узкополосных процессов напряжений, имеющих распределение близкое к нормальному. Нормальность полученных модельных процессов подтверждена близостью распределения их амплитуд к распределению Рэлея и величиной максимального размаха. 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 различной продолжительности реализаций случайных процессов напряжений и обоснован выбор необходимой минимальной продолжительности реализации. На заключительном этапе определены значения корректирующего коэффициента для приведенной кривой усталости и определены значения медианной долговечности до появления усталостного разрушения с использованием линейной теории, коррек-

тированной линейной теории и спектральной теории суммирования усталостных повреждений.

В четвертой главе содержатся результаты численного моделирования динамического состояния реального изделия, содержащего точечные сварные соединения, при действии случайного стационарного кинематического нагружения. Цель моделирования – оценка соответствия результатов моделирования по разработанной методике с данными измерений характеристик динамического состояния при лабораторных испытаниях рассматриваемого изделия. При моделировании воспроизводятся условия лабораторных вибрационных испытаний, в которых изделие при испытаниях соединяется с вибровозбудителем с помощью специального крепежного приспособления. При испытаниях регистрировались процессы виброускорений и определялись спектральные плотности составляющих вибрационного ускорения в направлениях осей X, Y и Z изделия в различных точках конструкции.

Проведено сопоставление результатов численного моделирования в виде спектральных плотностей и распределение дисперсий составляющих виброускорений в зонах конструкции, соответствующих местам расположения вибродатчиков при испытаниях. Получено удовлетворительное соответствие результатов численного моделирования и экспериментальных данных по суммарной дисперсии вибрационных ускорений, что позволяет говорить, что разработанная методика моделирования динамического состояния позволяет получать адекватные оценки интегральных уровней вибрационного ускорения для конструкций рассматриваемого типа при широкополосном случайном нагружении.

Значимость для науки и практики полученных результатов.

Результаты диссертационной работы в виде комплекса математических моделей и результатов исследований, обладают существенной научной и практической значимостью. Разработанная методика позволяет проводить исследования для авиационных изделий различных классов, транспортируемых на внутренних подвесках носителей. Данная методика может иметь развитие для случаев нестационарного нагружения.

Методика, как комплекс математических моделей, 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 прочностных различных вариантов конструктивного исполнения изделий на ранних стадиях разработки.

Разработанная автором методика может быть рекомендована для практического применения при проектировании блоков, узлов и агрегатов авиационных конструкций, таких как корпуса отсеков ракет, катапультных и пусковых устройств на предприятиях АО «ГосМКБ «Вымпел»», АО «ГосМКБ «Радуга»», АО «КТРВ», АО «МКБ «Искра»».

Методика может быть применена, в том числе, при разработке конструкции корпусов автомобилей, для которых характерно широкое применение точечных сварных соединений и случайное воздействие при эксплуатации

Достоверность полученных научных результатов подтверждается их соответствием известным закономерностям механики конструкций, использованием апробированных методов исследований, соответствием результатов численного моделирования и проведенных экспериментов для модельных образцов, а также данными экспериментального исследования вибродинамического состояния реального авиационного изделия со сварными соединениями.

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 оказать иметь существенное влияние на получаемые оценки долговечности.

3. Методика реализована только для одного режима полёта, что сужает круг задач, которые охватывает диссертация.

Заключение по работе.

Основные результаты диссертационной работы изложены в четырех статьях в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ и в семи тезисах докладов на научных конференциях и симпозиумах.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

В целом диссертация Рыбаулина А. Г. является завершённой научно-квалификационной работой, полностью удовлетворяет требованиям ВАК Российской Федерации и «Положения о порядке присуждения учёных степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям по техническим наукам. Автор диссертации Рыбаулин Артем Григорьевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Председатель НТС, Главный конструктор, к.т.н.



Богацкий В.Г.

Директор научно-исследовательского и лётно-испытательного центра,
д.т.н.



Правидло М. Н.

Директор научно-испытательного центра, к.т.н.



Ермолаев А.Ю.

Отзыв рассмотрен на заседании секции НТС АО "Государственное машиностроительное конструкторское бюро «Вымпел» им. И.И. Торопова"

«28» «февраля» 2017 года, Протокол № 24/17

Подписи Богацкого В.Г., Правидло М.Н., Ермолаева А.Ю. заверяю

Заместитель генерального директора по безопасности и кадрам



И. П. Зайцев