

В диссертационный совет Д 212.125.05
при ФБГОУ ВО «МАИ»
(Национальный исследовательский университет)
от доктора технических наук, Советника
по науке Генерального директора АО «Станкопром»
Государственной корпорации «РОСТЕХ»
Кузнецова Александра Павловича

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Агамирова В.Л. «Разработка оптимальных методов статистического оценивания характеристик усталостных свойств материалов и элементов авиационных конструкций», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Обеспечение надежности, долговечности и ресурса авиационных конструкций наряду с экономической эффективностью их производства и эксплуатации является приоритетной задачей современного авиастроения.

Эти важнейшие показатели обеспечиваются методами испытаний изделий авиастроения на всех этапах жизненного цикла изделий и летательных аппаратов. Среди необходимых и обязательных испытаний большое значение имеют прочностные и в особенности усталостные испытания силовых элементов конструкции самолетов и вертолетов, например планера, шасси и других агрегатов.

Такого рода испытаниям, как материалов, так и натуральных элементов конструкций, присущи значительный разброс свойств, вызванный объективными факторами: природой и технологией получения и обеспечения свойств конструкционных материалов, случайными вариациями факторов, которые формируют свойства конструкций, статистически малыми объемами испытаний вследствие жестких сроков ввода в эксплуатацию, сокращением сроков

Вх. №
25 11 2015г.

испытаний объектов, т. е. не доведением до критического состояния, являющимся критерием надежности, и другими факторами. Поэтому многие известные расчетные методы вероятностно-статистического анализа оказываются ограничено пригодными или их достоверность является недостаточной.

В связи с этим, тема диссертационной работы Агамирова В.Л., целью которой является разработка оптимальных методов статистического анализа, учитывающих вышеуказанные особенности усталостных испытаний, представляется **актуальной**.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Объем работы составляет 120 страниц основного текста, 17 рисунков и 13 таблиц, список литературы – 106 наименований, 7 стр., 4 приложений на 11 стр.

Во **введении** работы анализируются особенности усталостных испытаний, методы исследования, обосновывается актуальность, формулируются выносимые на защиту научные положения, научная новизна, практическая значимость, достоверность выводов и рекомендаций.

В **первой** главе проведен обзор состояния проблемы, существующих методов анализа рассеяния усталостной долговечности, методов точечного и доверительного оценивания характеристик усталостных свойств, критериев проверки статистических гипотез для принятия обоснованного решения при выборе материалов и технологических процессов производства авиационной техники.

Автором установлено, что существующие методы не в полной мере учитывают особенности усталостных испытаний, что влияет на достоверную оценку надежности авиационных конструкций.

На основании исследования состояния проблемы обоснованы и сформулированы **задачи** диссертационной работы:

- оптимизация методов решения уравнений максимального правдоподобия и наименьших квадратов при прямых и косвенных испытаниях в условиях многократного цензурирования;

- рациональные преобразования долговечности и предела выносливости с целью стабилизации рассеяния усталостных свойств, сокращения объемов механических испытаний, повышения точности определения расчетных характеристик выносливости;
- прогнозирование характеристик прочности и долговечности элементов конструкций в область эксплуатационных значений путем расчёта нижних гарантированных значений показателей ресурса;
- оптимальное планирование усталостных испытаний;
- рационализация методов расчета точных распределений ранговых статистических критериев в условиях ограниченных объемов экспериментальных данных.

Вторая глава работы посвящена разработке оптимальных методов решения уравнений максимального правдоподобия при обосновании параметров функции распределения долговечности и предела выносливости.

К числу основных достижений автора в этой части работы следует отнести:

- разработку алгоритмов и компьютерных программ численного решения сложных уравнений максимального правдоподобия, не имеющих однозначного решения в силу множества локальных экстремумов;
- разработку рациональных алгоритмов оценки параметров распределений методом наименьших квадратов в универсальном тензорном виде;
- создание рациональных методов расчёта точных доверительных интервалов для квантилей распределения.

Следует также отметить рассмотрение автором незаслуженно мало применяемого на практике метода наименьших квадратов для оценки параметров сдвига и масштаба (для нормального, логнормального и Вейбулла-Гнеденко распределений) на основе порядковых статистик, показывающего наилучшие оценки с минимальной дисперсией, в том числе при цензурировании.

Третья глава посвящена исследованию методов стабилизации рассеяния характеристик усталостных свойств конструкционных материалов на основе функционального преобразования долговечности. Статистический анализ реальных усталостных испытаний образцов алюминиевого сплава В95 и титанового сплава ВТЗ-1 с разной степенью концентрации напряжений достаточно большого объема (в общей сложности анализировались результаты испытаний около 300 образцов) позволил выявить закономерности стабилизации, которые также справедливы и для других типов сплавов, из которых изготавливают детали элементов конструкций. Метод, предлагаемый автором, заключается в том, что в результате степенных преобразований логарифма долговечности, теоретически постоянной оказывается ее дисперсия в связи с вариацией уровня нагрузки, что в значительной степени облегчает проведение регрессионного анализа и обуславливает повышение точности построения кривой усталости, а, следовательно, сокращение требуемого объема и стоимости испытаний.

Четвертая глава посвящена расчету точных распределений непараметрических критериев проверки статистических гипотез.

Для исследования автором выбраны критерии знаков, Уилкоксона, Краскелла-Уоллиса. Необходимо отметить, что, несмотря на существующие точные таблицы (монография Холлендера и Вульфа) и математические алгоритмы (монографии Кендалла и Стюарта, Хеттманспергера), компьютерные алгоритмы быстрого расчета точных распределений недоступны пользователям. В этой связи, разработанные автором алгоритмы и программы расчета, представляют существенный практический интерес, так как при малых наблюдениях и трудностях определения закона распределения именно непараметрические критерии являются наиболее эффективными для решения задач статистического анализа для обоснования предпочтительности выбора материалов, техпроцессов, контроля и др.

В **пятой** главе рассматривается методика оптимального планирования усталостных испытаний, которая заключается в совместном анализе двух

противоречивых процессов: повышения точности определения характеристик усталостных свойств с увеличением объема испытаний и повышения стоимости испытаний. В качестве критерия точности автором выбраны известные решения для средней квадратичной ошибки определения предела выносливости, которая зависит от общего объема испытаний, их распределения по уровням напряжений, диапазона и количества этих уровней, планируемой экстраполяции по кривой усталости. От этих же факторов зависит и стоимость испытаний, и их влияние обратно влиянию на критерий точности. Таким образом, это приводит к решению задачи аналитической оптимизации, которая решена автором. Рассмотренный в работе пример (см. таблицу 5.1) наглядно иллюстрирует это решение.

К недостаткам работы следует отнести следующие:

1. Большинство решений, представленных в работе, относится лишь к нормальному распределению и распределению Вейбулла-Гнеденко. В то же время существуют и другие распределения, используемые в практических расчетах: гамма, бета распределения, распределения Джонсона, Пирсона разного типа т.д. По-видимому, следует обосновать или указать границы и области применения полученных решений;
2. Проведенный автором анализ экспериментальных данных касался лишь ограниченного количества видов материалов и типоразмеров образцов, что ограничивает возможность и область применения предлагаемых методов.

В целом, диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне и является завершенной квалификационной работой. Публикации автора и автореферат отражают содержание диссертационной работы. По полученным научным результатам и практической значимости диссертация отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Агамиров В.Л., заслуживает присуждения ученой степени кандидата техниче

ских наук по специальности 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Советник генерального директора
по науке
АО «Станкопром», д.т.н.

Кузнецов Александр Павлович

129110, г. Москва, ул. Гиляровского,
д. 65, стр. 1+ 7 (495) 640 67 16, доб. 234
a.kuznetsov@stankoprom.ru

*Подпись Кузнецова А.П. заверю
Начальник Управления по работе
с персоналом
25.11.2015*

