

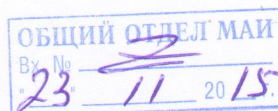
ОТЗЫВ

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»

Особенностью современного этапа развития экспериментальных исследований в области авиационной и ракетно-космической техники является сокращение сроков ввода в эксплуатацию изделий. По этим причинам, опытные данные, которыми располагает исследователь для расчета прочности, надежности и долговечности, оказываются весьма ограниченными по объему, качеству выборки и разбросу свойств.

В то же время нормативные требования к безопасности конструкции по условиям прочности при длительной эксплуатации обеспечиваются допустимыми повреждениями и безопасным ресурсом, что невозможно без применения оптимальных статистических процедур.

Работа посвящена разработке **актуальных** статистических методов, применение которых необходимо при анализе результатов механических испытаний материалов и элементов конструкций. Решаемые в работе задачи играют важную роль в контексте обеспечения эффективности, надежности и безопасности машин, приборов и аппаратуры на всех стадиях жизненного цикла, начиная с выбора конструктивного решения и заканчивая решением вопроса о снятии с эксплуатации или о продлении срока службы, что подтверждает высокую **практическую значимость** работы. **Целью** работы является обеспечения эффективности, надежности и безопасности летательных аппаратов с помощью применения вышеуказанных методов.



Во **введении** приводятся выносимые на защиту научные положения, новизна, практическая значимость и достоверность результатов исследования.

Первая глава содержит литературный обзор, по результатам которого автором определены задачи исследования, направленные на достижение поставленной цели, состоящей в повышении эффективности, надежности и безопасности машин и элементов конструкций путем разработки методов статистического оценивания характеристик выносливости.

Вторая глава посвящена разработке базовой, с точки зрения автора, задаче оптимального оценивания характеристик сопротивления усталостному разрушению. С этой целью автором рассматриваются два метода: метод максимального правдоподобия (ММП) и метод наименьших квадратов (МНК). Особенностью использования ММП, в общем случае многократно цензурированной выборки, является наличие множества локальных минимумов функции максимального правдоподобия L . Автор предлагает обходить эту сложность путем выбора приемлемого начального приближения, заведомо находящегося вблизи глобального экстремума, в качестве которого, рекомендует выбирать обычные оценки для полных выборок.

На основе метода наименьших квадратов в универсальной тензорной постановке автором разработаны и реализованы алгоритмы для расчета математических ожиданий и ковариаций порядковых статистик на основе разложения в ряд Корниша-Фишера для нормального распределения и распределения Вейбулла-Гнеденко.

В этой же главе рассматривается задача обоснования нижних гарантированных значений характеристик прочности, надежности и долговечности деталей машин и элементов конструкций. Автором разработана методика численного расчета обратной функции нецентрального распределения Стьюдента, с помощью сплайн-аппроксимации дискретных значений прямой функции распределения.

В **третьей** главе проведен анализ результатов усталостных испытаний конструкционных материалов, который показал, что характеристики рассеяния усталостных свойств существенно зависят от долговечности. Это обстоятельство вызывает необходимость введения весовых функций при использовании регрессионных методов статистического анализа и, кроме существенного усложнения статистических процедур, ведет к снижению точности оценивания характеристик сопротивления усталостному разрушению, особенно при экстраполяции в область больших долговечностей. С целью стабилизации весовой функции автор применил преобразование случайной величины, которое в дальнейшем оказалось полезным при статистическом анализе для оценки параметров уравнения кривой усталости.

Четвертая глава диссертационной работы посвящена актуальной задаче принятия статистически обоснованных решений путем рационального применения критериев проверки статистических гипотез. Особенности этой задачи автор объясняет необходимостью точного расчета процентных точек распределения вследствие большой неточности приближенных аппроксимаций при малых объемах наблюдений, в то время как непараметрические критерии особенно эффективны именно при работе с малыми выборками. В диссертации разработано несколько методов расчета точного распределения статистик ранговых критериев. Первая методика предполагает реализацию алгоритма автоматизированного умножения и деления полиномов. Вторая методика основана на алгоритме вычисления точных распределений в k -выборочной модели путем прямого перебора перестановок, когда нет точных аналитических решений (например, для критериев Краскела-Уоллиса, Лемана).

Пятая глава диссертации посвящена оптимальному планированию усталостных испытаний. Автором показано, что оптимизация испытаний позволяет существенно снизить затраты за счет точной формулировки целевых функций и факторов планирования эксперимента. Рассмотрены две задачи: планирование прямых усталостных испытаний с целью определения дол-

говечности и планирование косвенных усталостных испытаний с целью построения кривой усталости. В первой задаче автором разработаны методика и расчетный алгоритм для определения минимального объема выборки, во всех реальных диапазонах квантилей распределения долговечности. Во втором случае определены факторы планирования и методика минимизации затрат при обеспечении требуемой точности определения предела выносливости по кривой усталости, что весьма актуально для дорогостоящих усталостных испытаний элементов конструкций.

К работе имеются следующие **замечания**:

- Термин «оптимальный» используется автором более 40 раз в различных контекстах без введения критерия оптимальности, что, на мой взгляд, не всегда правомерно и порождает терминологическую путаницу;
- В главе 5 говорится о методике, позволяющей избежать применения итерационных процедур, при этом, сама эта методика (проиллюстрированная блок-схемой на рис. 5.2) представляет собой итерационную процедуру;
- При первом упоминании метода Нелдера-Мида даются ссылки на работы [10-11], при втором упоминании в аналогичном контексте – на работы [94-98];
- Метод Нелдера-Мида рассчитан на поиск локального экстремума функции. Предложенный способ выбора начального приближения по умолчанию не гарантирует сходимость к глобальному экстремуму. Данный вопрос в работе не исследуется. Кроме того, учитывая характер рассматриваемой функции, было бы целесообразно сравнить предложенный подход с методами поиска глобального экстремума такими как генетические алгоритмы и методы Монте-Карло.
- В работе встречаются синтаксические и пунктуационные ошибки.

Несмотря на указанные замечания, считаю, что рассматриваемая диссертационная работа выполнена на достаточно высоком научном уровне, является завершенной квалификационной работой, выполненной лично автором. Публикации и автореферат отражают содержание диссертации.

Диссертационная работа соответствует формуле специальности 01.02.06 «Динамика, прочность, машин, приборов и аппаратуры», так как направлена на исследование методами вычислительной математики прочности, надежности, долговечности и ресурса машин, закономерностей процессов рассеяния механических свойств материалов и элементов конструкций, путем построения алгоритмов оценивания характеристик сопротивления усталостному разрушению и планирования прямых и косвенных усталостных испытаний, выбора материалов, полуфабрикатов, конструктивных решений и параметров технологических процессов производства изделий авиационной техники.

По научным результатам и практической значимости диссертация отвечает требованиям ВАК, а ее автор – Агамиров В.Л., заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Доцент Департамента прикладной
математики МИЭМ НИУ ВШЭ, к.т.н.

С.А.Аксенов

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ
ЗАМЕСТИТЕЛЬ НАЧАЛЬНИКА
И.О. НАЧАЛЬНИКА
УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛА
М.В. ДЫБЦЫН

