

ОТЗЫВ

официального оппонента

доктора технических наук, профессора Гриневича Анатолия Владимировича
на диссертационную работу Тимофеева Александра Николаевича
«Ресурс и срок службы авиационной конструкции с коррозионным
повреждением», представленную на соискание учёной степени кандидата
технических наук
по специальности 05.07.03 — «Прочность и тепловые режимы летательных
аппаратов»

Актуальность темы диссертации

Проблема обеспечения прочности и долговечности воздушных судов в условиях внешних воздействий, таких как температура и влажность, всегда находилась в центре внимания разработчиков авиационной техники. В «Нормах лётной годности гражданских самолётов (1985г.) в параграфе 5.13.1. высказано общее требование, гласящее, что “материалы, применяемые для изготовления самолёта, его систем и агрегатов должны быть выбраны с учётом ожидаемых условий эксплуатации”. В последних редакциях отечественных «Норм лётной годности гражданских самолётов», гармонизированных с американскими FAR и получивших заголовок Авиационные Правила (АП), требования к материалам более конкретизированы и прописаны более чётко, поскольку наряду с общими требованиями к материалам, рассматриваются и требования по обоснованию расчётных значений прочностных характеристик. В АП часть 25 «Нормы лётной годности самолётов транспортной категории» наряду с общими требованиями, изложенными в параграфе 25.603, и гласящими, что “пригодность и долговечность материалов, используемых для изготовления деталей, поломка которых может отрицательно повлиять на безопасность, должны: ... (с) оцениваться с учётом влияния окружающих условий,

ожидаемых в эксплуатации, таких, как температура и влажность” появилось требование по обоснованию расчётных прочностных характеристик, исходя из воздействия внешних факторов. Параграф 25.613 АП «Прочностные характеристики материалов и их расчётные значения» в пункте (с) указывает, что “должно учитываться влияние условий окружающей среды, таких как температура и влажность, на расчётные значения, применяемых в ответственных элементах или узлах конструкции материалов, если в диапазоне условий эксплуатации самолёта это влияние является существенным”. Однако, в Рекомендательном циркуляре Авиарегистра по параграфу 25.613 АП, определяющем методы определения соответствия данному параграфу АП, отсутствуют характеристики коррозионной прочности (кроме K_{1SCC} и $\sigma_{пор}$, которые крайне условно можно считать расчётными прочностными показателями материала в условиях воздействия коррозионной среды), что приводит к невозможности доказательной аргументации по выполнению данного параграфа. Даже при сертификации последней отечественной разработки - «Суперджет» по воздействию коррозионной среды на конструкцию, в которой мне пришлось принимать участие, оценка прочности и долговечности с позиции параграфа 25.613 АП 25 не рассматривалась, а вопросы защиты элементов конструкции от коррозии по пункту 25.609 АП 25 решались экспертной оценкой специалистов в области коррозии.

В настоящее время сложилась парадоксальная ситуация, когда существует закон (АП 25) для разработчиков воздушных судов по представлению расчётных значений прочностных характеристик при воздействии коррозионной среды, но не существует инструментария (методик) для его реализации.

Ситуация в ещё большей степени обостряется, поскольку проектирование изделий проводится по принципу безопасной повреждаемости, предполагающему как отсутствие коррозионной защиты

или её повреждение, так и возможность возникновения трещин в конструкции.

Не менее сложной оказывается проблема эксплуатационной надёжности в связи со значительным увеличением проектного срока службы авиатехники, а также практики продления ресурсов и календарных сроков эксплуатируемых самолётов сверх проектных значений. При поддержании лётной годности парка воздушных судов с календарным сроком свыше 20-30 лет эксплуатант, как правило, сталкивается с проблемой оценки эксплуатационной безопасности в связи с коррозионными повреждениями силовой конструкции.

Этот экскурс, вскрывает всю сложность проблемы, которую Тимофеев А.Н. решает в своей диссертационной работе, её насущность и практическую направленность. Полагаю, что автоматически закрывается вопрос и об её актуальности. Одной из важных черт данной работы является направленность на отказ от планирования технического обслуживания на основе экспертных оценок к научно обоснованным нормам контроля, лишенным субъективности.

Структура и содержание работы

Диссертация Тимофеева А.Н. состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы из 133 наименований и 2-х приложений. Общий объём работы составляет 181 страницу, включая 127 рисунков и 20 таблиц. Структура и оформление диссертации и автореферата соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11 – 2011 «Диссертация и автореферат диссертации».

Во **введении** диссертант рассматривает проблему поддержания лётной годности авиационных конструкций с позиции современных требований к срокам эксплуатации летательных аппаратов (ЛА), организации системы технического обслуживания и ремонта, а также её связь с конкурентоспособностью авиационной техники. Во введении им

представлены цель и задачи исследований, рассмотрены объект, предмет и методы исследований, защищена актуальность, новизна и практическая значимость диссертационной работы.

В первой главе «Анализ известных подходов к оценке технического состояния ЛА по критерию коррозии» выполнен обзор типовых коррозионных повреждений авиационных конструкций. Проведён анализ основных отраслевых нормативных документов, определяющих требования к обеспечению прочности силовой конструкции с повреждениями. Рассмотрены практика и предлагаемые различными исследователями методы оценки технического состояния ЛА по критерию коррозии, выявлены нерешённые вопросы. На основании анализа материала, изложенного в литературном обзоре, сформулированы выводы, послужившие основой для постановки задач диссертационной работы.

Во второй главе «Модели повреждений. Методы и результаты исследований моделей» определены исходные положения задачи о повреждениях элементов конструкции от различных видов коррозии, рассмотрены типовые схемы и модели, дано описание разработанных для их исследования методов, представлены результаты исследований напряжённо-деформированного состояния моделей и влияния коррозионных сред на зарождение и рост усталостных трещин.

В третьей главе «Мера коррозионного повреждения. Метод определения сопротивления усталости металла с повреждением» выполнено обоснование выбора количественной оценки коррозии и исследована зависимость от неё усталостной долговечности алюминиевых сплавов с повреждениями различных форм и видов коррозии. Определена характеристика сопротивления усталости металла с коррозионным повреждением и способ её оценки.

Выбор количественной оценки коррозионного поражения Тимофеев А.Н. обосновывает исследованиями напряжённо-деформированного состояния при варьировании геометрии повреждения, результатами

усталостных испытаний и анализом усталостных изломов образцов с коррозионными повреждениями. Универсальность параметра подтверждена в экспериментах с повреждениями на поверхности, кромке пластины или кромке отверстия. Экспериментально установлен факт снижения циклической долговечности стандартных образцов со свободным отверстием при наличии неметаллических включений на кромке отверстия. Возможность применения параметра коррозионного поражения продемонстрирована в экспериментах с модельными образцами как расслаивающей, так и язвенной коррозии. Исследования усталостной долговечности при переменном воздействии коррозионной среды и усталостного нагружения позволили диссертанту подойти к решению задачи определения наработки для повреждения, обнаруженного при осмотре с установлением интервала осмотра для обеспечения безопасности полётов.

В четвёртой главе «Методы расчетной оценки допустимых размеров коррозионных повреждений, ресурса и срока службы повреждённой конструкции. Алгоритм отработки назначенного ресурса» установлены условия допустимости повреждений в конструкции ЛА; составлены уравнения для вычислений допустимых размеров повреждений, усталостной долговечности повреждённой конструкции и календарного срока службы; представлен алгоритм назначения интервалов осмотров, обеспечивающий полную отработку назначенного ресурса. Решения всего комплекса вопросов получены на основе разработанной, исходя из требований Норм лётной годности, математической модели допустимости повреждений.

В заключении сформулированы основные выводы по результатам исследований, свидетельствующие о достижении Тимофеевым А.Н. поставленной цели. Приведены рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.

Анализ научной новизны и практической значимости диссертации.

Рассмотрим более детально основные характеристики диссертационной работы: научную новизну, теоретическую и практическую значимость - выделяющие её среди рядовых научно-исследовательских работ.

Обычно камнем преткновения является вопрос о научной новизне, ибо всегда можно найти огромную информацию о коррозии, и столь же объёмную по усталости. Однако коррозионисты, изучая механизмы коррозии, не могут дать оценку изменению механических характеристик при статических и, тем более, при переменных нагрузках, а исследователи механических характеристик материалов не владеют методиками коррозионных воздействий. Диссертант сумел сочетать знание об усталостной долговечности со знанием о коррозионном поражении металла. Диссертант теоретически обосновал и экспериментально подтвердил, по его словам, «меру» коррозионного поражения. Не углубляясь в критику терминологии, полагаю целесообразным говорить о нахождении параметра коррозионного повреждения, определяющего выносливость коррозионно-повреждённого металла. Параметр коррозионного поражения, сформированный А.Н. Тимофеевым и определённый, как отношение площади миделя сечения коррозионного поражения, перпендикулярного максимальным растягивающим напряжениям, квадрату толщины является логичным и не противоречащим основным закономерностям усталостного разрушения. Параметр коррозионного поражения, являясь безразмерным, объединяет показатель относительной глубины и относительной ширины коррозионного поражения. Правомерность данного параметра подтверждена при исследовании питтинговой и расслаивающей коррозии. Изыскания диссертанта по усталостной долговечности образцов с повреждениями на кромке отверстий, гладкими кратерами, язвенными поражениями подтвердили обоснованность данного параметра для оценки коррозионного поражения.

Очевидна практическая значимость данного параметра коррозионного поражения для экспертной оценки установления остаточного ресурса конструкции, равно как и его приближённость, фиксирующая первую ориентировочную оценку. Огромный экспериментальный материал, полученный как на модельных образцах с коррозионными поражениями, так и на образцах из реальных конструкций позволил диссертанту установить устойчивое соотношение сопротивления усталости конструкции с коррозионными поражениями различной геометрии, что крайне важно для практического применения и развития теории коррозионной усталости.

Диссертант вычленил определяющий фактор коррозионного поражения в условиях усталостного разрушения, которое по своей природе является многофакторным, что даёт основание говорить об определённом вкладе в науку об усталости при наличии коррозионных поражений.

В диссертации установлены связь сопротивления усталостной долговечности конструкций с размерами повреждений различных видов, и на её основе сформированы предложения для развития теории усталостного разрушения и решения ряда практических задач.

А.Н. Тимофеев предложил математическую модель допустимости повреждений, в которой коррозионное повреждение и критическое место конструкции представлены своими распределениями усталостной долговечности.

Теоретически обоснована возможность повреждений, не снижающих ресурс конструкции. Модель позволяет на основе расчётной оценки определить допустимые размеры коррозионных повреждений и остаточную долговечность конструкции. На основе модели предложено теоретическое решение задачи определения календарного срока эксплуатации по условиям коррозии. А.Н. Тимофеев на основе расчётных оценок ресурса и срока службы конструкции предложил алгоритм назначения осмотров при эксплуатации в ожидаемых коррозионно-климатических условиях для обеспечения полной отработки назначенного ресурса.

Разработка А.Н.Тимофеевым проблемы сопротивления усталости конструкций, повреждённых коррозией, позволила расширить область анализируемых повреждений для обоснования процедур поддержания лётной годности.

Прогнозирование лётной годности и по ресурсу, и по календарному сроку эксплуатации стало более достоверным, благодаря :

- разработке методики оценки допустимых коррозионных поражений;
- установлению параметра коррозионного поражения для питтингов, каверн, очагов расслаивающей коррозии и неметаллических включений;
- теоретическому обоснованию календарного срока службы;
- разработке алгоритма назначения интервалов осмотров;
- обоснованию расчётных схем оценки усталостной долговечности при коррозионных поражениях элементов силовой конструкции.

Всё вышесказанное позволяет утверждать о существенном научном и практическом вкладе методологию поддержания лётной годности А.Н.Тимофеева, вписавшим в неё страницу о повреждаемости элементов конструкции, вызванных коррозией.

Результаты экспериментальных исследований материалов и элементов натуральных конструкций с коррозионными повреждениями и методы оценки повреждений использованы филиалом ПАО «Компания Сухой» «ОКБ Сухого» при оценке технического состояния самолётов, находящихся в эксплуатации, а также в практике работ по анализу состояния отдельных образцов авиатехники «Отделения сопровождения создания и эксплуатации авиационной техники» ФГУП «СибНИА им. С. А. Чаплыгина», что подтверждено актами.

Достоверность и обоснованность положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Экспериментальная сторона диссертации основана на использовании аттестованного испытательного и исследовательского оборудования,

имеющего высокий метрологический уровень. Теоретические изыскания работы базируются на основных положениях теории вероятности и статистических методах, что подчёркивает высокую обоснованность и достоверность выводов.

Положения, выносимые на защиту, обоснованы в тексте работы.

Выводы соответствуют поставленным задачам.

Рекомендации направлены на расширение области применения разработанных методик в область исследований межкристаллитной коррозии и множественных повреждений с общей внешней границей.

Постановка задач диссертации и их решения обсуждены на всероссийских и международных конференциях, опубликованы в рецензируемых изданиях.

Замечания

При исследовании влияния корродированной поверхности на усталостную долговечность диссертантом была выполнена оценка ремонтной технологии, включающей зачистку коррозионного поражения шаровой фрезой с последующей полировкой. При усталостных испытаниях образцов разрушения имели место не в зачищенной зоне, а в более “слабых” зонах металла, что возможно произошло из-за нагартовки ремонтной зоны. Скорее в качестве пожелания, а не замечания, хотелось бы, чтобы в дальнейших изысканиях, которые планирует А.Н. Тимофеев, оценивалась величина наведённых механической обработкой поверхностных напряжений, что является самостоятельной и крайне сложной задачей.

Заключение

Содержание диссертации и автореферата соответствует специальности 05.07.03 — «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов», п. 4 «Методы и средства повышения ресурса и долговечности ЛА и его элементов, включая разработку методов расчётной оценки ресурса и

долговечности» и п. 5. «Организация, экономика и оптимизация процессов обеспечения прочности ЛА».

Содержание автореферата в полной мере отражает содержание диссертации.

Диссертация «Ресурс и срок службы авиационной конструкции с коррозионным повреждением», представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук, является завершённой научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной задачи обеспечения безопасности, эксплуатационной надёжности и сохраняемости авиационной техники, соответствует требованиям раздела II «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а её автор, Тимофеев Александр Николаевич, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук.

Доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник лаборатории
«Прочность и надёжность материалов

воздушного судна» ФГУП «ВИАМ»  Гриневич Анатолий Владимирович

Федеральное государственное унитарное предприятие
«Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных
материалов», Государственный научный центр Российской Федерации
(ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ)

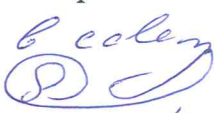
Адрес: 105005, Россия, Москва, ул. Радио, д. 17

Тел: +7 (499) 261-86-77; e-mail: admin@viam.ru

Учёный секретарь
ФГУП «ВИАМ»

 иновича А.В. заверяю

Свириденко Данила Сергеевич

Поступил в печать
29.05.2020 

Тюрин А.В.

Составлен оригиналом 29.05.2020

10



Тимофеев А.Н.