

## **ОТЗЫВ официального оппонента**

кандидата технических наук, доцента Адеговой Людмилы Алексеевны  
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**

Диссертация А. Н. Тимофеева посвящена актуальной теме повышения безопасности, эксплуатационной надёжности и экономической эффективности гражданской и военной авиационной техники в связи со значительной зависимостью этих показателей от полноты решения вопросов, создаваемых коррозией силовых элементов конструкции, т. к. по статистике до 80% эксплуатационных повреждений составляют коррозионные.

Любое, в том числе и коррозионное, повреждение силовой конструкции ставит вопрос о безопасности по условиям прочности. Эксплуатационная надёжность определяется частотой срывов расписания полётов из-за технических неисправностей, вызванных коррозией, и длительностью внеплановых простоев на их ремонт, минимизацией плановых простоев на техническое обслуживание и ремонт (ТОиР) и исключением досрочного списания из-за неремонтопригодности. «В настоящее время затраты на техническое обслуживание — практически единственная статья расходов в структуре себестоимости лётного часа авиакомпаний, которая поддаётся регулированию в сторону сокращения» (Хозяйственный механизм авиатранспортных предприятий: Учебное пособие / Под. ред. В. Маслакова. СПб.: Питер, 2015. 368 с., с. 140). Низкий уровень затрат на эксплуатацию и высокие показатели эксплуатационной надёжности (боеготовности военных летательных аппаратов) являются весомым конкурентным преимуществом любого образца авиационной техники.

Наличие множества публикаций, посвящённых коррозии авиационных конструкций, которые достаточно полно рассмотрены диссертантом в первой главе, является дополнительным подтверждением актуальности задачи. С другой стороны, наличие разных подходов к оценке безопасности повреждённой конструкции свидетельствует об отсутствии единого и приемлемого для всех метода; применение для этих целей как основного опыта эксплуатации и экспертных оценок отражает крайнюю степень неразработанности темы. Данный вывод подтверждается критическим тоном

публикаций на тему современного состояния методов оценок коррозионных повреждений авиационных конструкций.

Вопросы повышения безопасности, эксплуатационной надёжности и экономической эффективности в работе рассматриваются совместно. Это соответствует современным потребностям отрасли. Ведущие мировые производители авиационной техники, авиационные власти западных стран для целей поддержания лётной годности используют опыт десятилетий эксплуатации в климатических условиях всего мира многих тысяч самолётов и вертолётов, отечественная опытная база значительно уже, что создаёт трудности в применении заимствованных и общепринятых в мировой практике методов. В частности, “в западной системе технического обслуживания несколько десятилетий назад произошёл переход от единого регламента технического обслуживания (ТО) к индивидуальным программам. Отечественные авиакомпании столкнулись с необходимостью выполнения ТО в соответствии с индивидуальными Программами ТО в середине 90-х годов”, но до настоящего времени вопрос не решен: “Программы ТО, некогда разработанные и утверждённые, далее используются долгие годы”; тогда как “западные Разработчики пересматривают эксплуатационную документацию исходя из опыта эксплуатации всего парка, имеющую отношение к ТО воздушного судна (ВС), не реже одного раза в год” (Акопян К.Э. Проблемы поддержания лётной годности воздушных судов иностранного производства // Крылья Родины. 2016. № 5. С. 50 — 51.). Считается, что переходу препятствует то, что в отечественных нормах отсутствуют “требования по содержанию Программы ТО, порядку её утверждения, контроля и периодического пересмотра”, что, очевидно, является следствием недостаточной разработанности данных вопросов. В диссертационной работе рассматриваются пути решения стоящей задачи.

### **Структура и содержание работы**

Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы из 133-х наименований и 2-х приложений. Общий объём работы составляет 181 страницу, включая 127 рисунков, 20 таблиц и 2 страницы приложений.

Структура и оформление диссертации и автореферата соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11 – 2011 «Диссертация и автореферат диссертации».

**Во введении** к диссертации обоснована актуальность темы, сформулированы цель, задачи исследований и положения, выносимые

на защиту; обозначены научная новизна, теоретическая и практическая значимость; приведена информация об апробации и использовании результатов работы.

**В первой главе** выполнен обзор типовых КП авиационных конструкций; проведён анализ основных отраслевых нормативных документов, определяющих требования к обеспечению прочности силовой конструкции с КП; рассмотрены практика и предлагаемые различными исследователями методы оценки технического состояния ЛА по критерию коррозии; установлены вопросы, требующие исследования. На основании анализа публикаций по теме диссертации сформулированы выводы, послужившие основой для выбора цели и задач исследований в диссертационной работе.

**Во второй главе** определены исходные положения задачи; повреждения элементов конструкции от различных видов коррозии сведены к типовым схемам и моделям; методом конечных элементов получены распределения концентрации напряжений в моделях повреждений различных форм и видов; дано описание методов моделирования коррозии и определения момента зарождения магистральной трещины на повреждении; проведены исследования влияния коррозионно-активных сред и частоты нагружения на зарождение и рост усталостных трещин в алюминиевых сплавах.

**В третьей главе** на основе анализа распределений концентрации напряжений на повреждениях и результатов фрактографических исследований выполнено обоснование выбора характеристики коррозионного повреждения (меры его величины), определяющей сопротивление усталости, и исследована зависимость от неё выносливости алюминиевых сплавов с повреждениями различных форм, видов и положений повреждений в конструкции. Исследованиями распределений долговечности установлены закон распределения и метод определения его параметров. Установлены области применения меры повреждения и правила определения наработки при коррозионном росте повреждения.

**В четвёртой главе** определены условия допустимости повреждений в конструкции ЛА; разработана математическая модель допустимости повреждений, устанавливающая методы оценок допустимых размеров повреждений, усталостной долговечности, календарного срока службы повреждённой конструкции и теоретическое доказательство возможности существования безопасных повреждений; представлен алгоритм назначения

интервалов осмотров, обеспечивающий полную отработку назначенного ресурса с минимально возможными при случайном характере коррозии временными и материальными затратами на ремонт.

В приложениях приведены акты использования результатов работы в филиале ПАО «Компания Сухой» «ОКБ Сухого» и ФГУП «СибНИА им. С. А. Чаплыгина».

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

Содержание диссертации и автореферата соответствует формуле специальности 05.07.03 — «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов» в части пунктов:

п. 4. Методы и средства повышения ресурса и долговечности ЛА и его элементов;

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

Автореферат отражает основное содержание диссертации. Результаты диссертационной работы достаточно полно опубликованы в шести изданиях, рекомендованных ВАК РФ, и восьми прочих изданиях.

**Научная новизна** диссертации заключается в следующем. В работе впервые реализован соответствующий характеру явлений усталости металлов и коррозии вероятностный подход к оценке усталостной долговечности повреждённой конструкции, допустимых размеров коррозионных повреждений и сроку службы. В соответствии с ним принято условие допустимости коррозионных повреждений, исходящее из сохранения надёжности несущей конструкции по усталостному разрушению на каждый момент отработки назначенного ресурса. Применение именно такого условия повышает достоверность оценки безопасности при техническом диагностировании в эксплуатации и исчерпывающе полно учитывает резервы работоспособности повреждённой конструкции. На основе данного условия разработана математическая модель допустимости повреждений. Модель устанавливает более точный метод определения размеров повреждений, не снижающих ресурс конструкции, и отсутствующие к настоящему времени методы определения остаточного безопасного ресурса, календарного срока службы и теоретическое доказательство возможности существования безопасных повреждений конструкции.

Предпосылкой разработки математической модели явились метод определения параметров распределения выносливости повреждённого элемента конструкции, расчётные схемы и универсальная для точечной, язвенной и расслаивающей коррозии характеристика — мера величины коррозионного повреждения, полученные по результатам расчётных и экспериментальных исследований в диссертационной работе. Автором (с сотрудниками) впервые была показана возможность существования единой меры повреждения различных видов и форм. Впервые определена мера повреждения для очагов расслаивающей коррозии и краевых повреждений.

Модель может служить инструментом для анализа подходов к оценке безопасности повреждённой конструкции, методы оценок использованы в построении алгоритма полной отработки ресурса. Подобный инструментальный может быть использован для анализа и разработки Программ ТО в ожидаемых на каждом этапе эксплуатации коррозионно-климатических условиях. Это новая, не имеющая аналогов разработка автора.

### **Теоретическая и практическая значимость результатов**

Теоретическая значимость результатов исследований состоит в создании общего методического подхода к определению сопротивления усталости повреждённых коррозией конструкций и на основе этого обосновании процедур исследования, прогноза и поддержания лётной годности по критерию коррозии в реальных или виртуальных условиях эксплуатации.

Вкладом в теорию поддержания лётной годности являются:

- формулировка условий допустимости коррозионных повреждений на основе неснижения надёжности конструкции при повреждении и разработанная на этой основе математическая модель;
- теоретическое доказательство возможности безопасных повреждений;
- метод определения допустимых размеров повреждений;
- метод определения остаточного ресурса повреждённой конструкции;
- алгоритм полной отработки назначенного ресурса;
- рекомендации и практические приёмы обеспечения надёжности оценок;
- определение связи ресурса и календарного срока службы по условию коррозии, теоретическое решение задачи определения календарного срока службы в ожидаемых условиях эксплуатации и хранения;
- метод анализа подходов к допустимости повреждений в конструкции.

Вкладом в теорию сопротивления усталости повреждённого коррозией материала являются:

- определение универсальной меры величины повреждений типа питтингов, каверн, коррозионных язв, очагов расслаивающей коррозии и неметаллических включений;
- расчётные схемы оценки повреждений для всего набора элементов конструкции;
- закономерности зависимости усталостной долговечности от меры повреждения и способ определения функции распределения усталостной долговечности повреждённого коррозией металла;
- условия эквивалентности программ эксплуатационных спектров нагружения с коррозионными воздействиями.

Личный вклад диссертанта в науку состоит в совершенствовании научно-методического аппарата определения (исследования) и сохранения в коррозионно-климатических условиях эксплуатации прочности конструкций, нагружаемых переменными нагрузками. Разработаны математически обоснованные, исключающие субъективность выводов методы решения задач, ответы на которые в настоящее время получают на основе опыта эксплуатации и экспертных оценок.

Практическая значимость работы состоит в разработке методологии поддержания лётной годности по условию коррозии. Определены необходимые для измерений при осмотрах параметры коррозии, установлены условия допустимости повреждений, выведены формулы для определения не снижающих ресурс размеров повреждений, остаточного ресурса и календарного срока службы конструкции с повреждением. Разработаны методы получения в эксперименте необходимых для расчётов характеристик сопротивления усталости повреждённых коррозией материалов и алгоритм назначения интервалов осмотров.

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, при продлении межремонтных сроков и календарных сроков службы и 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 филиала ПАО «Компания Сухой» «ОКБ Сухого» и ФГУП «СибНИА им. С. А. Чаплыгина».

## **Достоверность и обоснованность научных результатов, положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Диссертация содержит теоретические и практические части, основанные на базовых построениях теории вероятностей, численных методов анализа напряжённо-деформированного состояния, методов фрактографии, металлографии, статистических методов. Экспериментальная сторона работы основана на использовании аттестованного испытательного оборудования, имеющего достаточный метрологический уровень.

Положения, выносимые на защиту, обоснованы в тексте работы. Теоретические положения подтверждены экспериментом. Выводы соответствуют поставленным задачам. Рекомендации направлены на расширение области применения разработанных методик: межкристаллитной коррозии и множественных, с общей внешней границей, повреждений.

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

### **Замечания**

1. В работе сделана попытка решения большого комплекса вопросов поддержания лётной годности ЛА по условиям коррозии. Из-за значительности темы отдельные вопросы требуют более глубокой проработки. К ним, в частности, относятся границы применимости вариантов меры коррозии  $F$  и  $f$ .

### **Заключение**

Несмотря на сделанные замечания, 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 для обеспечения безопасности, эксплуатационной надёжности и сохраняемости как гражданской, так и военной авиационной техники задачи, а так же имеющей значение для области знаний, охватывающей теорию, методы и средства определения технического состояния объектов, — технической диагностики, и имеющая существенное значение для развития страны, соответствует требованиям раздела II «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а её автор, Тимофеев Александр Николаевич, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент  
доцент кафедры «Строительная механика»  
ФГБОУВО «Сибирский государственный  
университет путей сообщения»  
кандидат технических наук, доцент

\_\_\_\_\_

Подпись

25.05.2020

Дата

\_\_\_\_\_

Адегова Людмила Алексеевна

Контактная информация

Адрес: 630008, г. Новосибирск,  
ул. Дуси Ковальчук, д. 191  
Тел: (383) 328-04-45;  
e-mail: [adegova@mail.ru](mailto:adegova@mail.ru)  
сайт: [www.stroymech.stu.ru](http://www.stroymech.stu.ru)

Подпись доцента Адеговой Л.А. заверяю

\_\_\_\_\_

25.05.2020

Дата

Москвина Т.М.

ФИО

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Сибирский государственный университет путей  
сообщения» (СГУПС)

Адрес: 630049, Россия, г. Новосибирск,  
ул. Дуси Ковальчук, д. 191  
тел: (383) 328-04-00,  
факс: (383) 226-79-78,  
e-mail: [public@stu.ru](mailto:public@stu.ru)  
сайт: [www.stu.ru](http://www.stu.ru)

Поступил в совет 01.06.2020

Тюрин А.Г.

С отзывом ознакомлен

02.06.2020

Тюрин А.Г.

Тюрин А.Г.