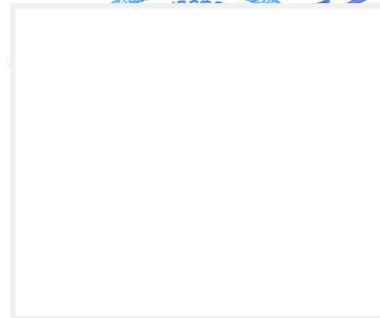


«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель генерального директора
ФГУП «ЦАГИ» — начальник
комплекса прочности ЛА,
канд. техн. наук



М. Ч. Зиченков
_____ 2020 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации — **Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского»**

на диссертацию 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»

На отзыв представлены:

- диссертационная работа общим объёмом 181 страница, состоящая из введения, 4-х глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы из 133-х наименований и 2-х приложений;
- автореферата на 18-ти страницах, включая список из 14-ти основных публикаций по теме диссертационной работы, из которых 6 статей, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК (одна из них входит в реферативные базы данных *Scopus* и *Web of Science*); 8 — в прочих изданиях и сборниках трудов международных и всероссийских научно-технических конференций.

Актуальность темы диссертационной работы

В работе рассматриваются пути решения задачи поддержания лётной годности авиационной техники по условию коррозии несущей конструкции. Лётная годность воздушного судна обеспечивается на этапах его разработки и изготовления и поддерживается в условиях эксплуатации системой

технического обслуживания и ремонта (ТОиР). Условия конкурентоспособности требуют возможно более низкого уровня затрат на ТОиР, высокие показатели эксплуатационной надёжности и сохраняемости при соответствии прочности конструкции Нормам лётной годности. Методами определения соответствия МОС 25.571-1А (Методы определения соответствия. Оценка допустимости повреждений и усталостной прочности конструкции: проект МОС 25.571-1А / ЦАГИ. — 2008. — 94 с.) определены условия прочности повреждённой конструкции: “3.1. Должно быть обеспечено и подтверждено, что повреждения конструкции, которые могут непосредственно привести к аварийной или катастрофической ситуации, в пределах ограничений, устанавливаемых в ЭД (эксплуатационной документации), практически невероятны.” Исходя из данных положений поддержание годности по условию прочности на этапе эксплуатации состоит в том, чтобы обеспечить планированием ТОиР и подтвердить методами оценок допустимых наработки и календарного срока службы практическую невероятность предельного состояния авиационной конструкции при повреждениях коррозией. Методы планирования и оценок должны быть привязаны к ожидаемым коррозионно-климатическим условиям эксплуатации ВС. Разработка таких методов поставлена целью диссертационной работы.

Естественно возникающие коррозионные повреждения конструкции составляют до 80...90% всех повреждений в эксплуатации, поэтому основная часть временных и материальных затрат на ТОиР связана с профилактикой коррозии и устранением её последствий на техническое состояние воздушного судна. Полностью избежать коррозии путём применения более коррозионностойких материалов и совершенствованием защиты в настоящее время не представляется возможным: конструкционные материалы, как правило, не обладают достаточной для длительных сроков эксплуатации коррозионной стойкостью, а усиление антикоррозионной защиты способно лишь сдвинуть сроки появления коррозии. Удлинение срока эксплуатации и более жёсткие климатические условия возвращают при любом усилении защиты к исходной постановке задачи.

Сохраняемость авиационной техники определяется полнотой отработки ею назначенных ресурса и срока службы в ожидаемых условиях эксплуатации, преждевременное списание может быть следствием неремонтопригодности из-за коррозии. Для предотвращения таких случаев необходимы методы прогноза ремонтпригодности. Возможность продления срока службы сверх назначенного для металлической конструкции определяется её техническим, в частности, коррозионным состоянием. Показатели эксплуатационной надёжности устанавливаются статистикой частоты нарушений планов

эксплуатации из-за недопустимых коррозионных повреждений, длительностью внеплановых простоев на их устранение, длительностью плановых простоев на ТОиР и случаями вывода из эксплуатации вследствие досрочного списания.

Для гражданских самолётов минимальный достигнутый уровень расходов на ТОиР составляет примерно 6% в себестоимости лётного часа. По мере старения доля повышается, превышение типичного для каждой категории самолётов уровня автоматически ставит вопрос о рентабельности эксплуатации.

По статистике до 40% лётных происшествий по техническим причинам обусловлены коррозией.

Таким образом, в задаче поддержания лётной годности по условию коррозии тесно связаны вопросы безопасности, эксплуатационной надёжности, сохраняемости, экономической эффективности и коррозионно-климатические условия эксплуатации. Вопрос безопасности является базовым, остальные вопросы могут рассматриваться только при условии обеспечения безопасности, но не допуская снижения конкурентоспособности. Данные вопросы в нашей стране и за рубежом решаются в основном (и это отражено в основных нормативных документах, например Методах определения соответствия) на основе опыта эксплуатации и экспертных оценок и вне связи между ними. Субъективизм подходов к частным вопросам и учёт их связей практически исключают оптимальные решения и не предохраняют от ошибок. Из этого следует, что разработка основанных на объективных методах оценки и прогноза технического состояния воздушного судна процедур поддержания лётной годности по условию коррозии в комплексе содержащих их вопросов является актуальной задачей для авиационной науки и практики.

Основные научные результаты, их значимость для науки и практики эксплуатации авиационной техники

Основные научные результаты, полученные автором:

1. Математическая модель допустимости локального коррозионного повреждения конструкции, нагружаемой переменными во времени нагрузками. Модель связывает величину повреждения с наработками конструкции и повреждённого коррозией элемента до и после возникновения повреждения, вероятность усталостного разрушения повреждённой конструкции и условия практической невероятности разрушения от повреждения.

2. Теоретическое и экспериментальное обоснование меры величины коррозионного повреждения типа питтинга, коррозионной каверны или очага расслаивающей коррозии на поверхности или кромке элемента конструкции, обеспечивающую высокую корреляцию с выносливостью повреждённого элемента и устойчивость корреляции к изменениям вида и формы повреждения в достаточном для практического применения диапазоне видов и форм

коррозионных повреждений. Данным решением обеспечивается единый подход к определению сопротивления усталости металла к повреждениям разных видов и форм.

3. Метод оценки усталостной долговечности металла с выходящим на поверхность неметаллическим включением.

4. Результаты исследований инкубационной стадии и скорости роста усталостных трещин в конструкционных алюминиевых сплавах в коррозионно-активных средах при различной частоте циклического нагружения.

5. Теоретическое доказательство существования безопасных повреждений.

6. Метод определения сопротивления усталости повреждённого коррозией элемента конструкции. Данным решением определяются параметры закона распределения выносливости элемента в условиях эксплуатационных нагрузок и воздействий коррозионной среды.

7. Определение связи ресурса и календарного срока службы по условиям коррозии в ожидаемых коррозионно-климатических условиях эксплуатации.

8. Методы определения допустимых по двум условиям размеров коррозионных повреждений, остаточного безопасного ресурса и срока службы повреждённой коррозией конструкции.

9. Результаты расчётных и экспериментальных исследований допустимости коррозионных повреждений в типовом элементе конструкции самолёта — полке лонжерона с отверстиями под крепёж.

10. Правило оценки наработки зоны коррозионно растущего повреждения в условиях одновременно или последовательно действующих циклических нагрузок.

11. Способ и алгоритм полной отработки назначенного ресурса в ожидаемых коррозионно-климатических условиях эксплуатации с минимально возможными при случайном характере коррозии затратами на её ремонт.

Значимость для науки состоит в совершенствовании теории поддержания лётной годности. Определены соответствующие Нормам критерии лётной годности повреждённых коррозией конструкций; разработаны базовые для решения вопросов определения и обеспечения прочности расчётные схемы и математическая модель, являющаяся инструментом для анализа и разработки подходов к допустимости повреждений. Установлена универсальная мера величины повреждений различных видов и форм, разработаны методы получения расчётных характеристик сопротивления усталости повреждённых элементов конструкции. Получены решения для допустимой длительности эксплуатации повреждённой коррозией авиатехники — остаточного ресурса и календарного срока службы, установлены их взаимная связь и связь с ожидаемыми условиями и интенсивностью эксплуатации, решён вопрос

обоснования интервалов ТОиР для ожидаемых коррозионно-климатических условий эксплуатации. Разработаны математически обоснованные, исключающие субъективность выводов методы решения задач, ответы на которые в настоящее время получают на основе опыта эксплуатации и экспертных оценок

Имеющими значение для авиационной науки являются результаты анализа существующих методов определения безопасности повреждённых коррозией конструкций на предмет соответствия базовым требованиям Норм лётной годности. Выявлены случаи несоответствия Нормам и (или) ограничения существующих и используемых на практике подходов, способные снизить безопасность воздушного судна.

Практическое значение полученных результатов состоит в том, что разработана общая методология как контроля технического состояния несущей конструкции воздушного судна при повреждениях питтинговой, язвенной или расслаивающей коррозией, так и управления состоянием путём назначения интервалов осмотров в целях обнаружения и устранения коррозии. Предложено научно-техническое решение для повышения эксплуатационной надёжности (боеготовности военной техники или регулярности рейсов гражданских судов) и сохраняемости изделий авиационной техники, снижения трудоемкости и затрат на техническое обслуживание и ремонт. Определены необходимые для измерений параметры коррозии, расчётные схемы для анализа и условия допустимости повреждений, выведены формулы для определения на требуемой вероятностной базе неснижающих ресурс размеров повреждений, остаточного ресурса конструкции с повреждением и календарного срока службы. Получены необходимые для расчётных оценок справочные данные для ряда конструкционных алюминиевых сплавов, составлены правила назначения интервалов осмотров в ожидаемых на этапе условиях эксплуатации, гарантирующие полную отработку заложенного в конструкцию ресурсного потенциала.

Результаты экспериментальных исследований материалов и элементов натуральных конструкций с коррозионным повреждением 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».

Достоверность научных положений, результатов и выводов, полученных в диссертационной работе, определяется корректностью

математических формулировок, применением при проведении экспериментов аттестованного научно-испытательного оборудования, подтверждением теоретических выводов значительным объёмом экспериментальных исследований, воспроизводимостью на различных материалах и конструкциях и соответствием результатам экспериментов других исследователей. Результаты диссертационной работы опубликованы в рецензируемых научных изданиях и обсуждались на международных и всероссийских конференциях.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Считаем целесообразным продолжить разработку методов для повреждений межкристаллитной коррозией и множественных повреждений, объединённых общей границей.

Результаты диссертационной работы могут найти применение как в эксплуатационных, так и в опытно-конструкторских и научно-исследовательских предприятиях, занимающихся разработкой, испытаниями, анализом безопасности и эффективности эксплуатации авиационной техники.

Разработанные методы могут быть использованы в целях технической диагностики и обеспечения безопасной эксплуатации ответственных технических объектов, нагружаемых переменными во времени нагрузками.

Замечания

1. В работе не определены границы применимости вариантов меры коррозии F и f .

2. Недостаточно чётко в тексте выделены различия содержания терминов “безопасный ресурс”, “ресурс”, “ресурсный потенциал”, “назначенный ресурс”, “допустимая наработка”.

3.

Указанные замечания не снижают научного и практического значения выполненной работы и не влияют на новизну и достоверность положений, выносимых на защиту.

Заключение

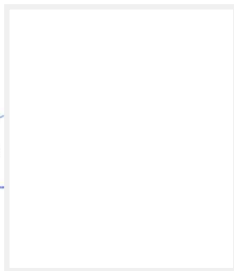
Диссертационная работа Тимофеева Александра Николаевича «Ресурс и срок службы авиационной конструкции с коррозионным повреждением» является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложено новое научно обоснованное решение задачи поддержания лётной годности воздушного судна по условиям коррозии. Основные результаты работы опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Содержание диссертационной работы Тимофеева А. Н. соответствует паспорту научной специальности 05.07.03 — «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов» и требованиям пункта 9 «Положения о присуждении

учёных степеней», а её автор заслуживает присуждения степени кандидата технических наук.

Материалы диссертационной работы и отзыв на неё рассмотрены и одобрены на заседании НТС ФГУП «ЦАГИ» по прочности (протокол № 4 от 23 апреля 2020 г.).

Должность: главный научный сотрудник
НИО-18 ФГУП ЦАГИ им. Н.Е. Жуковского
Учёное звание: кандидат технических наук



В.С. Дубинский

Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (государственный научный центр)

140180, Россия, г. Жуковский, Московская область, ул. Жуковского, 1

Телефон: +7 (495) 777-63-32; e-mail: info@tsagi.ru

сайт: <http://www.tsagi.ru>

Проставил в своем 20.05.2020

Тюмин Д.П.

с отзывом ознакомлен 22.05.2020

Тимонов А.М.