

УТВЕРЖДАЮ

Главный конструктор НАО «Ил»

С.В. Ганин

«17» января 2022 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Кулемина Александра Васильевича

«Развитие расчётных и экспериментальных методов обоснования эксплуатационной живучести самолётных конструкций», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.14. (05.07.03) – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов»

Диссертационная работа посвящена актуальной теме совершенствования расчётных и экспериментальных методов обоснования эксплуатационной живучести авиационных конструкций.

Для безопасной эксплуатации самолётов, спроектированных по принципу эксплуатационной живучести, в соответствии с Авиационными правилами, необходимо обосновать, что любые повреждения таких конструкций должны обнаруживаться при очередных регламентных осмотрах раньше, чем достигнут критических размеров, снижающих остаточную прочность ниже безопасного уровня. Для обоснования этого, проводят комплекс экспериментальных и расчётных исследований.

В своей работе автор выделяет три направления исследований, посвящённых методам обоснования эксплуатационной живучести:

1. Оценка влияния двухосного напряжённого состояния на скорость роста трещин в тонкостенных конструкциях и на остаточную прочность.

Актуальность исследований по данному направлению автор обосновывает необходимостью оценки влияния на живучесть конструкции динамики роста трещины в условиях двухосного напряжённого состояния с учётом возможного её отклонения от направления исходного развития. Для учёта этого влияния ставится задача разработки соответствующего расчётного метода и проведения его верификации на экспериментальных образцах.

2. Развитие методов расчёта остаточной прочности конструкций с использованием R-кривых.

Актуальность исследований по данному направлению обосновывается ограниченностью существующих методов расчёта остаточной прочности конструкций с использованием вязкости разрушений K_{IC}^Y . Для развития внедрения более точных и информативных методов расчёта трещиностойкости конструкций с использованием R-кривых ставится ряд задач, включая задачу разработки процедуры добавления R-кривых в качестве расчётных характеристик в Справочник расчётных характеристик авиационных материалов.

3. Экспериментальные исследования прочностных характеристик современных конструкционных материалов, а также материалов конструкции длительно эксплуатируемых самолётов.

Актуальность исследований по данному направлению обосновывается:

- во-первых, необходимостью наличия у специалистов ОКБ информации по основным прочностным характеристикам современных отечественных и зарубежных материалов с целью возможности прямого сравнения интересующих характеристик и выбора оптимального материала для определённой зоны конструкции на этапе проектирования;
- во-вторых, необходимостью оценки влияния длительной эксплуатации на прочностные характеристики материалов конструкций стареющих самолётов и учёта возможного ухудшения этих характеристик с целью подтверждения возможности продления ресурсов и сроков службы самолётов сверх проектных значений.

Структура и содержание диссертации

Диссертация состоит из 4 глав, введения, заключения и списка использованной литературы из 103 наименований. Общий объём работы 194 страницы, включая 16 таблиц и 107 рисунков.

Во введении обосновывается актуальность диссертационной работы, сформулированы цели и задачи работы, представлены основные положения научной новизны, отмечена практическая значимость, а также приведены положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведён обзор отечественных и зарубежных расчётно-экспериментальных исследований по следующим направлениям:

- Рост трещин в условиях двухосного напряжённого состояния;
- Энергетическая концепция R-кривой, методы экспериментального получения и практического применения;
- Экспериментальные исследования прочностных характеристик отечественных и зарубежных сплавов, деградация материалов.

Во второй главе приведена процедура и представлены результаты экспериментальных исследований трещиностойкости образцов типа двойной консольной балки (ДКБ) и крестообразных образцов. Проведён расчёт поворота трещин в образцах ДКБ и крестообразных образцах с использованием формул критерия поворота трещин второго порядка. По результатам сравнения расчёта с экспериментом показана ограниченность рассматриваемого критерия. Даны рекомендации, касающиеся выбора начальных исходных данных для выполнения расчёта отклонения трещин в тонкостенных конструкциях в условиях двухосного напряжённого состояния. Представлена процедура расчёта поворота трещин в крестообразных образцах при статическом и усталостном нагружении. Даны рекомендации по расчёту остаточной прочности и длительности роста трещин в конструкции с учётом возможного изменения траектории роста трещин.

Третья глава посвящена отработке метода получения R -кривой в качестве расчётной характеристики статической трещиностойкости материалов в условиях плоского напряжённого состояния. Представлены примеры расчёта остаточной прочности подкреплённой панели, а также приведено расчётно-экспериментальное исследование влияния длин многоочаговых трещин на остаточную прочность образца. Показана ограниченность метода расчёта, с использованием вязкости разрушения K_{IC}^Y по сравнению с методами, использующими R -кривые. Приведены рекомендации по гармонизации отечественного и зарубежного стандартов по экспериментальному определению R -кривых, рассмотрены особенности расчётной обработки первичных экспериментальных данных. На примере алюминиевого сплава 1163АТВ представлена процедура расчётного определения вязкости разрушения стандартных образцов с центральной трещиной различной ширины по параметрам R -кривой. Представлен метод определения R -кривой в качестве расчётной характеристики статической трещиностойкости. Приведён рекомендуемый формат представления расчётной R -кривой в Справочнике.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований прочностных характеристик конструкционных материалов. Представлены результаты сравнительных испытаний современных отечественных и зарубежных конструкционных материалов верхней и нижней обшивки крыла, а также обшивки фюзеляжа. Наглядно показаны «сильные» и «слабые» прочностные характеристики рассматриваемых материалов. Представлены результаты экспериментальных исследований материалов обшивки крыла и фюзеляжа самолётов после длительной (со сроком службы до 50 лет) эксплуатации, с целью их оценки и выявления возможной деградации прочностных свойств.

В заключении сформулированы основные выводы по полученным результатам.

Автореферат полностью отражает положения диссертации.

Соответствие паспорту специальности. Диссертация посвящена развитию расчётных и экспериментальных методов обоснования эксплуатационной живучести самолётных конструкций, и полностью соответствует паспорту специальности 05.07.03 – «Методы и средства повышения ресурса и долговечности ЛА и его элементов», «Организация, экономика и оптимизация процессов обеспечения прочности ЛА».

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработан новый упрощённый метод расчёта поворота трещин в крестообразных образцах, а также предложены рекомендации по учёту влияния поворота трещин в обшивке фюзеляжа при анализе трещиностойкости;
2. Разработана процедура, позволившая впервые в отечественной практике добавлять данные по R -кривым конструкционных материалов в Справочник. Предложен новый подход по расчётному определению вязкости разрушения K_{IC}^y для плоских образцов различной ширины по параметрам R -кривой;
3. Впервые, в условиях одной испытательной лаборатории, на одинаковых типовых образцах, по идентичным процедурам, проведены экспериментальные исследования по сравнительной оценке основных прочностных характеристик ряда современных отечественных и зарубежных конструкционных материалов;
4. Получены новые экспериментальные данные по влиянию длительной эксплуатации самолётов на основные прочностные характеристики материалов, используемых в конструкции крыла и фюзеляжа.

Достоверность результатов и выводов диссертации обосновывается большим объёмом экспериментальных исследований, проведённых автором в сертифицированной испытательной лаборатории комплекса прочности ЛА ФГУП «ЦАГИ».

Практическая значимость

Результаты, представленные в работе, могут быть использованы специалистами ОКБ по прочности авиационных конструкций, а именно:

- Учёт влияния двухосного напряжённого состояния на характеристики трещиностойкости тонкостенных конструкций позволит повысить точность определения периодов осмотров соответствующих зон планера самолёта;
- Добавление в справочник R -кривых материалов, позволит расширить спектр задач, решаемых в рамках обоснования живучести конструкций и повысить точность проводимых расчётов;

- Полученные основные прочностные характеристики современных отечественных и зарубежных авиационных материалов позволят специалистам ОКБ на этапе проектирования более обосновано подойти к выбору материалов для определённых зон конструкции;
- Исследование и учёт деградации материалов после длительной эксплуатации, позволит обосновать безопасность эксплуатации стареющих самолётов.

Апробация работы

Результаты работы были представлены на 8-ми международных конференциях, труды 3-х из них (ICAS-2008, ICAF-2015, MRDMS-2020) входят в базу данных Scopus, а также на 5-ти других научно-технических конференциях и семинарах. По теме диссертации опубликовано 24 печатные работы, 4 из которых в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Замечания по диссертации

К работе имеются следующие замечания:

1. В работе не описано каким образом, в настоящее время, в руководствах для конструкторов рекомендуется учитывать влияние двухосного напряжённого состояния при расчёте трещиностойкости герметических фюзеляжей.
2. В качестве примеров эффективности использования R-кривых, автор представляет два случая относящиеся к тонкостенным конструкциям, но ничего не сказано о применимости R-кривых для определения остаточной прочности массивных элементов конструкции, например, кронштейнов или элементов шасси.
3. В разделе по описанию методики расчётного определения вязкости разрушения по параметрам R-кривой, в качестве примера рассматривается расчётное получение вязкости разрушения для образцов из алюминиевого сплава 1163АТВ, но не упоминается об апробации этой методики на других материалах, например, стальных листах или титановых сплавах.
4. По представленному обзору сводных данных по деградации материалов можно отметить, что зарубежные материалы, например, сплавы серии 2024, оказались значительно меньше подвержены деградации прочностных свойств по сравнению с отечественными сплавами, возможно это связано с технологией производства, но в выводах работы ничего об этом не сказано.

Отметим, что указанные выше замечания не снижают научной значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Заключение

Диссертация Кулемина Александра Васильевича является завершённой научно-квалификационной работой, содержащей актуальные научно-практические результаты, основанные на существенном объёме проведённых соискателем экспериментальных исследований. Диссертация соответствует паспорту специальности, полностью удовлетворяет требованиям пункта 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.14. (05.07.03) – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов».

Мы Калиш Александр Георгиевич и Говорун Максим Валерьевич, даём согласие на обработку персональных данных и включение их в аттестационное дело соискателя.

Зам. главного конструктора
по прочности и ресурсу ПАО «Ил»
125190, г. Москва, Ленинградский
проспект, д.45 «Г»,
E-mail: KalishAG@ilyushin.org,
тел.: +7(499) 943-83-56
«17» 01 2022г.



Александр Георгиевич Калиш

Начальник отдела общей
прочности ПАО «Ил», к.т.н.
125190, г. Москва, Ленинградский
проспект, д.45 «Г»,
E-mail: Otdel124@ilyushin.org,
тел.: +7(499) 943-81-21
«17» января 2022г.



Максим Валерьевич Говорун

Наименование организации: Публичное акционерное общество «Авиационный комплекс им. С.В. Ильюшина»

Сокращённое наименование организации: ПАО «Ил»

Почтовый адрес: 125190, г. Москва, Ленинградский пр-т, д.45 «Г»

Телефон: +7 (495) 000-00-10

Электронная почта: info@ilyushin.org

Сайт: www.ilyushin.org

С отзывом ознакомлен Кулеми А.В. 18.01.2022г.