

Киевский международный университет  
гражданской авиации

На правах рукописи

РЕЙНАЛЬДО ЯУРО ИГЛЕСИАС

ДЕГРАДАЦИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ АВИАЦИОННЫХ  
ЗАКЛЕПОЧНЫХ СОЕДИНЕНИИ ПОД ВЛИЯНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ  
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Специальность 05.02.09 - Динамика, прочность машин,  
приборов и аппаратуры

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Киев 1995



00761359 (V)

Работа выполнена в Киевском  
университете гражданской авиации

- Научный руководитель: кандидат технических наук,  
профессор  
Радченко Александр Иванович
- Официальные оппоненты: доктор технических наук,  
профессор  
Третьяченко Георгий  
Николаевич
- кандидат технических наук,  
доцент  
Борозинец Григорий Михайлович
- Ведущая организация: Завод N 410 гражданской  
авиации.

Защита состоится 24 ноября 1995 года в 15 часов на заседании специализированного совета К 01.35.06 при Киевском международном университете гражданской авиации (ауд. 1.121).

(25205В, Киев-5В, ГСП, пр. Космонавта Комарова, 1, КМУГА).

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Киевского Международного Университета гражданской авиации.

Автореферат разослан "19" октября 1995 года.

Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим направлять в адрес института.

Ученый секретарь  
специализированного совета  
кандидат технических наук

Лебедев Ю.А.

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Экономические причины заставляют увеличивать ресурсы и календарные сроки службы авиационной техники. Это повышает опасность разрушения конструкции в результате деградации служебных свойств материалов и конструктивных элементов.

В этих условиях возникает настоятельная необходимость учета ряда факторов, влиянием которых ранее пренебрегали. Одним из таких факторов является коррозия, которая при современных сроках службы самолетов становится второй по важности причиной разрушения.

Атмосферные осадки - дождь, туман, и, особенно, роса, которые всегда содержат агрессивные примеси, способствуют образованию на поверхности металлических конструкций тонкой пленки электролита. Интенсивная диффузия кислорода к поверхности изделия через пленку обуславливает активизацию процесса электрохимической коррозии.

Влияние агрессивной среды зависит от функционального назначения и конструкции детали, а также от особенностей зоны, где она расположена.

С точки зрения условий протекания процесса коррозии можно выделить три группы деталей и элементов конструкции.

Детали первой группы расположены в местах, которые хорошо обдуваются потоком воздуха при движении самолета. Это приводит к высыханию пленки электролита уже при разбеге самолета и повреждение этих деталей обусловлено процессами атмосферной коррозии, происходящими при стоянке самолета на земле.

Детали второй группы находятся в необогреваемых и неventилируемых отсеках воздушного судна. После взлета пленка электролита замерзает и электрохимический процесс коррозии прекращается.

Разрушение в этом случае обусловлено последовательным дей-

ствием в течении каждого полета двух факторов: атмосферной коррозии при стоянке и процессами малоциклового коррозионной усталости, связанными с нагрузками цикла "земля - воздух - земля".

Третью группу составляют элементы конструкции, находящиеся в обогреваемых отсеках самолета, которые при стоянке и в течении всего полета могут оставаться покрытыми слоем электролита и воспринимать статические и циклические нагрузки.

Разрушение этих деталей обусловлено процессами, протекающими по определенной программе: электрохимическая атмосферная коррозия при стоянке сменяется коррозионной усталостью в полете.

Процессы коррозии самолетных конструкций значительно усложняются в зазорах и щелях, которые образуются при соединении деталей планера самолета между собой заклепками или болтами.

Попавшая в щель агрессивная среда удерживается более длительное время, чем на открытых участках конструкции, а капиллярный эффект приводит к конденсации атмосферной влаги в щели в условиях, когда появление росы на открытых участках конструкции - невозможно.

Электрохимические процессы в щелях и зазорах имеют ряд особенностей, влияющих на характер и кинетику коррозионного разрушения.

Скорость коррозии алюминия в щелях в 10...12 раз больше, чем на открытых участках.

Разрушение авиационных заклепочных соединений сопровождается также явлениями фреттинга, что еще больше усложняет этот процесс.

Указанные особенности позволяют объяснить почему до 65% всех разрушений конструкций планеров самолетов происходит в местах соединения их элементов.

Продолжительная эксплуатация приводит к старению защитных лако-красочных покрытий и их разрушению. После этого агрессивная

среда попадает в конструктивные зазоры и щели, вызывая появление очагов коррозионных повреждений, снижающих ресурс конструкции.

В последние годы для повышения ресурсов ЛКП применяются так называемые профилактические покрытия, которые периодически дополнительно наносятся на слои лакокрасочного покрытия.

Обычно в качестве профилактических покрытий используются пленкообразующие ингибированные нефтяные составы (ПИНС).

Свойства ПИНС легко проникать в конструктивные зазоры (микротрещины), вытеснять воду с поверхности металла и создавать защитную пленку толщиной 5...100 мкм позволяют в течение длительного времени исключить контакт металла в щели с агрессивной средой и уменьшить скорость коррозии.

Однако в некоторых случаях применение ПИНС приводит к уменьшению усталостной долговечности заклепочных соединений, что связано с уменьшением сил трения между листами обшивки и перераспределением усилий, действующих на заклепки, расположенные в различных рядах.

Сложность изучения влияния щелевой коррозии тонкостенных элементов авиационных конструкций на их прочностные характеристики заключается также в отсутствии объективных инструментальных методов оценки характера и величины коррозионного повреждения.

Целью работы являлось разработка ускоренного метода оценки степени деградации несущей способности авиационных заклепочных соединений под влиянием циклических нагрузок и агрессивной среды, а также исследование эффективности антикоррозионной их защиты с помощью пленкообразующих нефтяных составов AV-25 и KC-23 применительно к условиям эксплуатации в Украине и на Кубе.

Актуальность работы обусловлена необходимостью обеспечения длительной экономически эффективной и безопасной экс-

платации воздушных судов в различных регионах земного шара со сложными климатическими условиями. Результаты работы могут быть использованы для ускоренной оценки эффективности применения различных антикоррозионных составов.

Задачи исследования состояли в:

1. Изучении типичных коррозионных повреждений самолетных конструкций при эксплуатации на Кубе:

2. Разработке комплексного ускоренного метода исследования деградации несущей способности авиационных заклепочных соединений, позволяющего наиболее полно учесть влияние эксплуатационных факторов на характер и кинетику коррозионных повреждений:

3. Исследовании закономерностей коррозионного и коррозионно - усталостного повреждения заклепочных соединений, а также эффективности применения в качестве антикоррозионной защиты пленкообразующих ингибированных нефтяных составов КС-23 и АВ-25.

4. Разработке математической модели, описывающей влияние различных исследованных факторов.

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что:

- разработан комплексный ускоренный метод исследования деградации несущей способности авиационных заклепочных соединений:

- исследована эффективность применения пленкообразующих нефтяных составов для защиты авиационных заклепочных соединений при различных сочетаниях эксплуатационных факторов:

- разработана математическая модель деградации несущей способности заклепочных соединений под влиянием коррозии.

Практическая ценность работы определяется тем, что:

- разработан ускоренный метод оценки влияния антикоррозионных средств на несущую способность соединений, позволяющий достаточно полно учесть влияние различных эксплуатационных факторов. Метод может быть использован при сертификационных испытаниях антикоррозионных средств;

- произведена сравнительная оценка эффективности применения ПИНС АВ-25 и КС-23 для защиты авиационных конструкций.

А в т о р з а щ и щ а е т :

- ускоренный метод оценки качества антикоррозионных средств, предназначенных для защиты заклепочных соединений;

обоснованность применения пленкообразующего ингибированного нефтяного состава КС-23 для защиты от коррозии заклепочных соединений.

А п р о б а ц и я работы. Результаты работы докладывались на научной конференции в Управлении гражданской авиации Республики Куба (1994 г), на отчетной научно-технической конференции Киевского международного университета гражданской авиации (1994 г)

П у б л и к а ц и и. По результатам выполненных исследований опубликовано 4 работы.

О б ъ е м работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и 3-х приложений. Материал изложен на 130 страницах и включает 30 рисунков и 15 таблиц. Библиография включает 77 наименований.

#### СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность проблемы. Кратко изложено содержание глав работы. Приведены основные положения диссертации, содержащие научную новизну. Рассмотрен вопрос о практической ценности результатов исследований.

В первой главе рассмотрены основные результаты исследований коррозии авиационных материалов, приведенные в литературных источниках.

Описаны основные закономерности коррозионного и коррозионно - усталостного разрушения материалов и элементов конструкции.

Приведены результаты исследований, направленных на обоснование применения пленкообразующих ингибированных нефтяных составов для антикоррозионной защиты авиационных конструкций.

Рассмотрены основные принципы проведения ускоренных коррозионных испытаний и методы количественной оценки повреждения.

Сформулированы задачи исследования.

Во второй главе рассмотрены результаты комплексных ускоренных исследований деградации несущей способности заклепочных соединений авиационных конструкций, находящихся в ненагруженном состоянии, под влиянием агрессивной окружающей среды.

Проанализированы особенности процессов разрушения элементов конструкции в зависимости от их условий работы и конструктивных особенностей. Произведена их классификация.

Рассмотрены особенности применения пленкообразующих ингибированных нефтяных составов (ПИНС) для дополнительной антикоррозионной защиты конструкции воздушных судов. Указано, что положительные свойства ПИНС делают их перспективными для защиты заклепочных и болтовых соединений

Однако уменьшение усталостной долговечности соединений при применении ПИНС требует изучения влияния их не только на коррозионную стойкость конструкции, но и на изменение несущей способности

В работе предложен комплексный ускоренный метод оценки деградации несущей способности заклепочных соединений, работающих при

действии циклических нагрузок и агрессивной среды. Метод использован для изучения влияния ПИНС на ресурс заклепочных соединений.

В качестве показателя влияния щелевой коррозии на несущую способность заклепочных соединений предложено использовать остаточную долговечность  $N$ , определяемую путем усталостных испытаний в воздухе поврежденных коррозией конструктивных элементов.

Этот показатель позволяет также учесть локальный характер коррозионных повреждений в щелях заклепочных соединений, которые практически невозможно оценить существующими методами контроля.

Исследования проводились применительно к условиям базирования самолетов в Украине и на острове Куба.

Объектами исследования являлись конструктивные элементы заклепочного соединения, моделирующие стык листов обшивки фюзеляжа самолета Ту-154, подкрепленный стрингером (рис. 1). Материал обшивки Д-16АТ (сплав системы Al-Cu-Mg). Материал стрингера В-05 ПЧТ1.

Четырехрядное соединение выполнялось высокоресурсными заклепками типа ЗУК диаметром 4 мм. Материал заклепок - сплав В-65.

После изготовления элементов заклепочных соединений на них не наносились лакокрасочные покрытия (ЛКП), т.е. моделировался случай полного разрушения ЛКП после некоторого периода эксплуатации.

Все испытания на усталость проводились в статистическом аспекте при максимальном напряжении отнулевого цикла  $\sigma=67.6$  МПа.

Были реализованы три схемы испытаний (рис. 2).

Первая схема А + У (см. рис. 2а) предусматривает испытания, проводимые в два этапа.

На первом этапе (А) в течении года производились стандартные испытания на атмосферную коррозию на коррозионных климатических станциях Киев (Украина), Кибикан и Вирiato (Куба).

Задачей этого этапа являлось создание в щелях заклепочных соединений первичных очагов коррозионного повреждения, характер которых полностью соответствует реальным эксплуатационным повреждениям при использовании самолета в данном регионе.

Коррозионная станция Киев расположена в промышленном районе города Киева. Станция Кибикан находится на расстоянии 42 км от побережья Атлантического океана в сельском районе, а станция Вириато - непосредственно на его берегу, что обуславливает очень жесткие условия испытаний на атмосферную коррозию.

Тропический климат Республики Куба характеризуется большей среднегодовой температурой по сравнению с условиями Украины при практически одинаковой среднегодовой относительной влажности. Однако в Гаване в два раза больше осадков, чем в Киеве.

Интенсификация процессов атмосферной коррозии на Кубе в значительной мере также обусловлена большими суточными перепадами температуры, которые вызывают конденсацию влаги на открытых металлических поверхностях в течении всего года.

На втором этапе исследований (У) проводились контрольные стандартные усталостные испытания в воздухе элементов заклепочных соединений, поврежденных коррозией при частоте 11 Гц. Определялась остаточная долговечность до полного разрушения элемента Na.

Вторая схема ускоренных испытаний (рис. 26) предусматривала их проведение в три этапа (схема А+К+У).

Первый этап А аналогичен этапу А первой схемы испытаний.

Второй этап К заключался в проведении лабораторных ускоренных коррозионных испытаний, ограниченных во времени  $T_k$ .

Задачей второго этапа являлось увеличение интенсивности коррозионных повреждений, возникших на первом этапе.

Ускоренные коррозионные испытания проводились на специальной установке с программным управлением.

Блок программы испытаний предусматривал полное погружение кассеты с партией ненагруженных элементов заклепочных соединений в 3% водный раствор NaCl в течение 5 минут с последующей 15 минутной сушкой струей теплого воздуха при температуре 50°C.

Продолжительность второго этапа варьировалась и составляла 60 или 180 дней (1440 или 4320 циклов коррозионных воздействий).

На третьем этапе (У) производились контрольные усталостные испытания для определения остаточной долговечности Нак.

Третья схема испытаний предусматривала испытания образцов заклепочных соединений, имевших антикоррозионную защиту. Она состояла из четырех этапов (рис. 2в).

Первый этап П заключался в нанесении ПИНС КС-23 (СССР) или AV-25 (Швеция) на поверхность и в щель заклепочного соединения.

Остальные этапы полностью соответствуют этапам второй схемы.

В результате проведения четвертого этапа испытаний определялась остаточная долговечность Nпак.

Всего было выполнено 23 серии и испытано 229 конструктивных элементов заклепочных соединений.

Показано, что эмпирические функции распределения логарифмов остаточной долговечности для всех серий испытаний аппроксимируются логарифмически нормальными распределениями.

Для сопоставления полученных данных и исследования развития коррозионных повреждений предложены диаграммы изменения остаточной долговечности (рис. 3). Они состоят из линий: А-атмосферные испытания и К-лабораторные ускоренные коррозионные испытания

Вид диаграмм зависят от климатических условий, наличия ПИНС и

его типа, продолжительности испытаний.

Установлено, что попадание ПИНС КС-23 в зазор между листами обшивки приводит к снижению усталостной долговечности с  $N_0 = 998000$  циклов до  $N_{по} = 861000$  циклов т.е. на 13.7%.

Атмосферные испытания в течение одного года привели к существенному уменьшению остаточной долговечности образцов без защиты.

В Киеве это уменьшение составило 22.8%, на станции Кибикан - 68.3%, Вирiato - - 77.9%.

Как показали металлографические исследования столь большое уменьшение остаточной долговечности может быть объяснено возникновением достаточно острых концентраторов напряжений в зоне зенковки под потайную головку заклепки.

В таблице 1 произведено сравнение относительной величины остаточной долговечности образцов, испытывавшихся на первом этапе на различных коррозионных станциях, после 60 и 180 дней ускоренных коррозионных испытаний.

Из данных таблицы 1 видно, что при испытании образцов, не защищенных с помощью ПИНС, на станции Вирiato, а затем в лабораторных условиях в течение 15 месяцев, происходит практически полное исчерпание их несущей способности. При этом характер коррозионного повреждения близок к эксплуатационному, что играет большую роль при проведении ускоренных испытаний.

Таблица 1

Защита	Нак/No, %		Nпак/Nпо, %			
	без защиты		КС - 23		AV - 25	
Станция	Тк=60	Тк=180	Тк=60	Тк=180	Тк=60	Тк=180
Киев	37.6	32.96	67.25	47.14	65.5	56.0
Кибикан	17.22	12.86	25.06	21.33	38.06	20.34
Вирiato	17.57	9.76	25.08	18.40	32.69	18.23

Из таблицы 1 видно, что уже 60 дневные ускоренные коррозионные испытания практически нивелируют остаточную долговечность образцов, подвергавшихся атмосферной коррозии на различных коррозионных станциях.

Это указывает на то что, выбирать режимы ускоренных лабораторных коррозионных испытаний следует чрезвычайно осторожно, не допуская изменения условий воздействия агрессивной среды на исследуемые образцы.

Наибольший защитный эффект при использовании пленкообразующих ингибированных нефтяных составов получен в зоне с умеренной агрессивностью окружающей среды. Применение ПИНС АВ-25 для защиты образцов, испытывавшихся на Киевской станции, позволило уменьшить деградацию несущей способности в 2.27 раза ( $T_k=60$  дней) по сравнению с незащищенными заклепочными соединениями.

Однако, после такой же продолжительности ускоренных испытаний образцов, ранее испытывавшихся на атмосферную коррозию на кубинских коррозионных станциях, наблюдается уменьшение эффективности антикоррозионной защиты с помощью ПИНС.

Указанное явление можно объяснить тем, что процесс коррозионного разрушения заклепочных соединений имеет несколько стадий, каждая из которых характеризуется определенной скоростью деградации несущей способности.

Для выявления стадий процесса коррозии заклепочных соединений были исследованы закономерности изменения скорости убыли остаточной долговечности  $V$  в различные периоды (рис. 4а).

Процесс коррозионного разрушения заклепочных соединений, не имеющих антикоррозионной защиты, имеет три стадии.

Практически сразу после контакта со средой, начиная с точки

K1 скорость  $V$  резко возрастает, что связано с возникновением и развитием центров коррозионных повреждений.

Начиная с точки K2 скорость  $V$  начинает падать. Это связано с образованием большого количества коррозионных повреждений и затуплением острых концентраторов напряжений.

Процесс разрушения заклепочного соединения с антикоррозионным покрытием имеет четыре стадии.

Первая стадия (0-K0) обусловлена процессом разрушения защитных покрытий. Остальные стадии совпадают со стадиями незащищенных заклепочных соединений.

Более сложным является график изменения скорости убыли остаточной долговечности в случае проведения комплексных усталостных испытаний (рис. 4б), который основан на данных таблицы 2.

В таблице скорость выражена в тыс.циклов/день. Этап 1-2 соответствует атмосферным испытаниям на коррозионных станциях, а этапы e-3, 3-4, 5-6 и 7-8 - ускоренным лабораторным коррозионным испытаниям различной продолжительности (см.рис. 3).

Таблица 2

Защита	без защиты			КС-23	AV-25
	$V_{1-2}$	$V_{e-3}$	$V_{3-4}$		
Станция				$V_{5-6}$	$V_{7-8}$
Киев	0.623	6.586	0.388	1.443	2.449
Кибикан	1.869	2.400	0.362	0.836	1.474
Вириато	2.130	0.755	0.649	0.855	1.203

Из графика видно, что интенсивная коррозия образцов, испытывавшихся в Вириато, началась на этапе атмосферных испытаний, а испытывавшихся в Киеве - на первом этапе ускоренных коррозионных испытаний. Средняя скорость деградации несущей способности при этом соответственно равна 6586 и 755 цикл/день. Она характеризуется

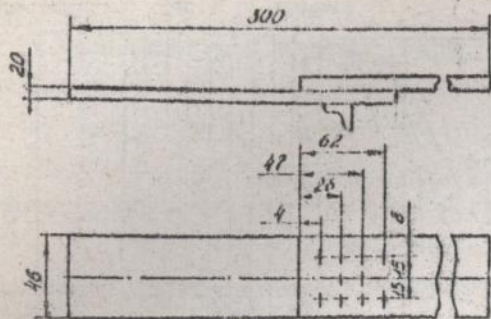


Рис. 1. Конструктивный элемент заклепочных соединений

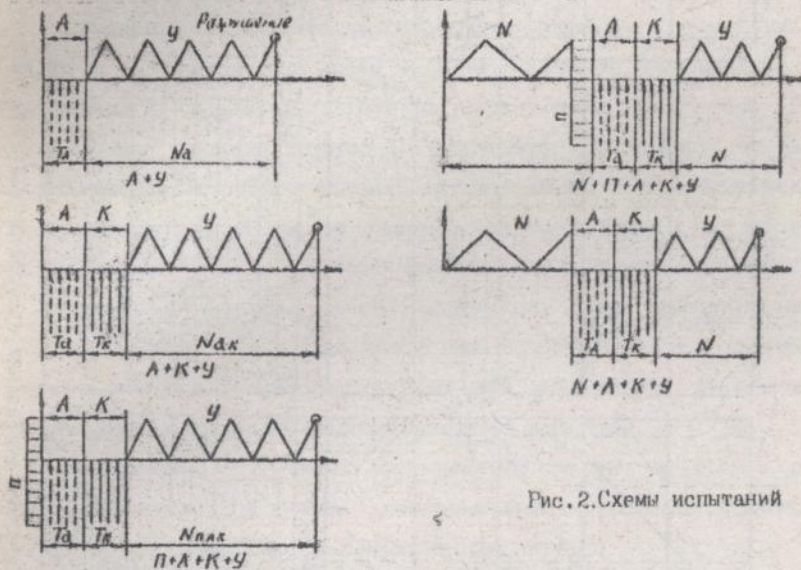


Рис. 2. Схемы испытаний

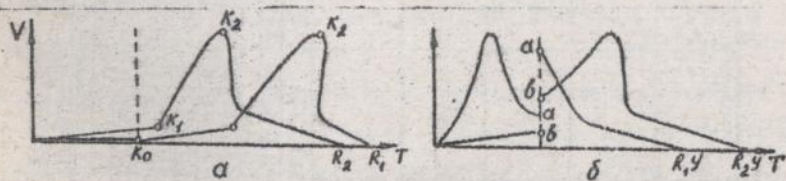


Рис. 4. Кинетические диаграммы деградации несущей способности заклепочных соединений

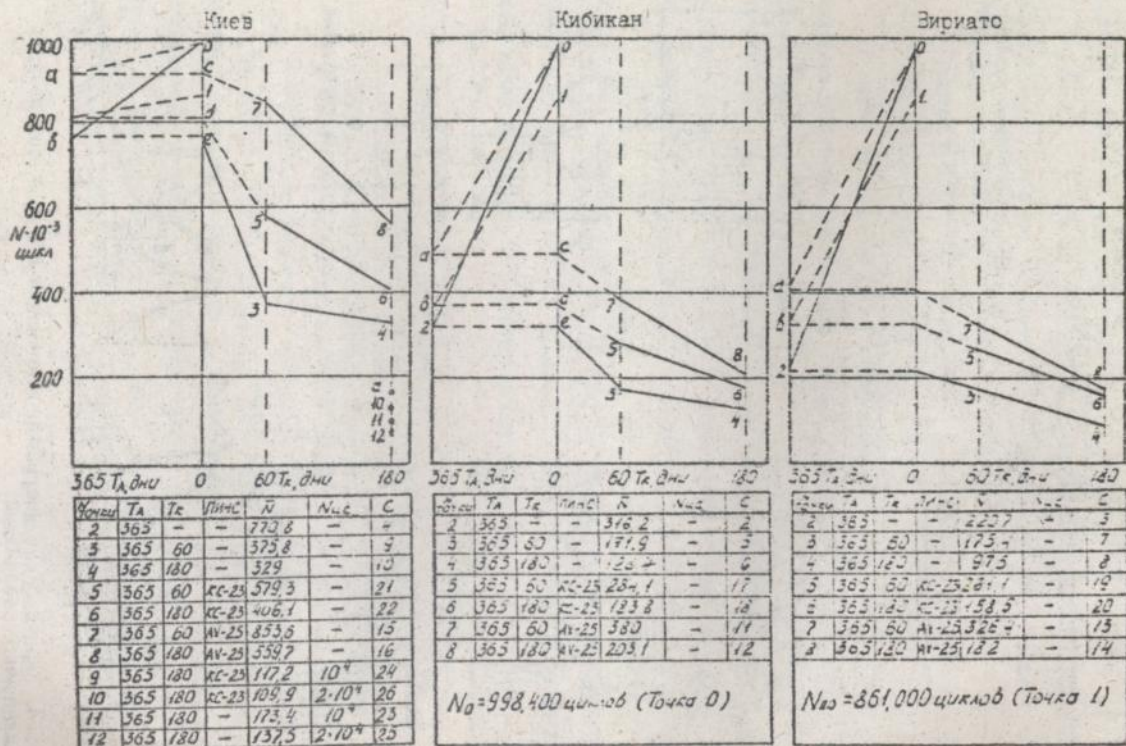


Рис. 3. Диаграммы деградации несущей способности заклепочных соединений

площадь под кривой на графике.

Экспериментальное выявление стадий коррозионного разрушения заклепочных соединений позволяет поставить и успешно решить ряд новых задач связанных с оптимизацией ускоренных коррозионных испытаний, определением коэффициентов их форсирования, определением периодичности восстановления антикоррозионной защиты.

В третьей главе рассмотрены результаты исследования деградации несущей способности заклепочных соединений под влиянием циклических нагрузок и окружающей среды.

Одновременное действие на заклепочные соединения циклических нагрузок и агрессивной среды изменяет характер процессов их разрушения по сравнению с коррозией ненагруженных соединений. В этом случае процесс разрушения усложняется не только из-за возникновения фреттинг-коррозии на внутренних соприкасающихся поверхностях деталей (листов обшивки воздушного судна), но также из-за специфических особенностей коррозионной усталости.

Изучалась ситуация, часто возникающая при эксплуатации воздушных судов в том случае, когда ПИНС наносится на конструкцию после некоторого периода эксплуатации при обнаружении признаков повреждения заклепочных соединений щелевой коррозией.

Проведенные исследования призваны были ответить на вопрос о целесообразности нанесения дополнительного профилактического покрытия на заклепочные соединения в этом случае.

Было выполнено четыре серии испытаний. Количество образцов в серии равнялось 13.

На первом этапе 23 серии испытаний (ЦС) заклепочное соединение без антикоррозионной защиты подвергалось предварительному низкочастотному циклическому нагружению ( $\nu = 5$  цикл/мин) при одно-

временном действии агрессивной среды - 3х водного раствора NaCl.

Было приложено  $N_{ис} = 10000$  циклов повторной нагрузки, в течение 105 дней, что составляет 1% от исходной долговечности.

Максимальное напряжение отнулевого цикла равнялось 67,6 МПа.

Для проведения низкочастотных усталостных испытаний использовался специально изготовленный стенд, позволявший нагружать одновременно 24 заклепочных соединения. На рабочей части образцов монтировались камеры, в которые подавалась агрессивная среда.

На втором этапе (А) образцы экспонировались на коррозионной станции Киев в течение 365 дней.

На третьем этапе (К) в течение 180 дней проводились ограниченные во времени ускоренные коррозионные испытания.

На четвертом этапе исследований (У) проводились контрольные усталостные испытания в воздухе при частоте 11 Гц, в результате которых определялась остаточная долговечность ИЦСАК. Максимальное напряжение отнулевого цикла равнялось 67,6 МПа, что позволило существенно ускорить процесс испытаний.

Программа испытаний при проведении 25 серии отличалась от 23 серии только удвоенной продолжительностью первого этапа.

Средняя величина остаточной долговечности при проведении 23 серии составляет 11,7% от исходной и равна 117200 циклов, а образцов 25 серии - 109900 циклов.

Полученные результаты показывают, что включение в программу испытаний предварительных коррозионно - усталостных воздействий приводит к резкому уменьшению несущей способности заклепочного соединения, не имеющего антикоррозионной защиты (см. рис. 3).

При проведении 24 и 26 серий испытаний на образцы после коррозионно-усталостных воздействий был нанесен слой пленкообразу-

ящего ингибированного нефтяного состава - КС-23 (этап П на рис. 2).

Средняя величина остаточной долговечности образцов 21 серии, на которые после 10000 циклов коррозионно-усталостных воздействий ( 1% от исходной долговечности ) был нанесен ПИНС, равна 173400 циклов ( 17.5% от исходной долговечности ). Это на 48% больше, чем без применения ПИНС.

Увеличение продолжительности коррозионно-усталостных воздействий в 2 раза (26 серия) привело к уменьшению средней величины остаточной долговечности до 137500 циклов, что указывает на уменьшение в 1.9 раза положительного эффекта от применения ПИНС и на необходимость более ранних сроков проведения профилактических мероприятий.

Полученные экспериментальные данные убедительно показывают, что при оценке ресурса заклепочных соединений необходимо учитывать всю совокупность эксплуатационных факторов, уделяя особое внимание действию циклических нагрузок и окружающей среды в различных вероятных сочетаниях.

В четвертой главе рассмотрена математическая модель, описывающая результаты выполненных исследований, позволяющая оценить роль различных факторов на деградацию несущей способности заклепочных соединений и прогнозировать их поведение при различных условиях эксплуатации.

При разработке ранговой множественной корреляционной модели использовались методы планирования экспериментов.

Множественная корреляционная модель имеет вид

$$\lg N = 5.945 - 0.1838 \times KV - 0.5236 \times KIV - 0.597 \times VIR - 0.0036 \times K60 - \\ - 0.0021 \times K180 - 0.0275 \times N10 - 0.0214 \times N20 + 0.2191 \times AV + 0.1403 \times KS,$$

где KV, KIV, VIR - ранги места проведения атмосферных испытаний

в течение года (Киев, Кибикан, Вириато):

K60 и K180 - ранги продолжительности ускоренных коррозионных испытаний:

N10 и N20 - ранги продолжительности коррозионно-усталостных воздействий:

AV и KS - ранги типа ПИНС.

Квадрат множественного коэффициента корреляции при применении данной модели для описания полученных результатов экспериментов равен 0,9533, что свидетельствует о наличии достаточно тесной корреляционной связи между логарифмом средней величины остаточной долговечности  $\lg T$  и рассмотренными параметрами.

Анализ модели показал возможность математического описания процессов коррозионного и коррозионно-усталостного разрушения заклепочных соединений, а также перехода к количественной оценке ряда факторов при увеличении объемов эксперимента.

#### ВЫВОДЫ

1. Разработан метод ускоренных комплексных исследований деградации несущей способности соединений деталей тонкостенных авиационных конструкций под влиянием окружающей среды, включающий в себя элементы широко используемых методов исследования коррозионной стойкости металлов и сплавов - метода испытаний на атмосферную коррозию и ускоренного метода периодического смачивания электролитом.

2. Количественной характеристикой степени деградации несущей способности соединения и коррозионного повреждения предлагается использовать величину остаточной долговечности, определяемую путем проведения контрольных усталостных испытаний в воздухе, образцов с

коррозионными повреждениями

3. Изучены закономерности коррозионного разрушения заклепочных соединений авиационных конструкций при их эксплуатации в различных регионах земного шара.

Показано, что атмосферная коррозия в течение одного года приводит к уменьшению долговечности исследованного заклепочного соединения, не имеющего антикоррозионной защиты, в Киеве на 22.8%, в Кибикане на 68.3%, в Вирiato на 78% от исходной долговечности

4. Разработанный метод позволил количественно оценить относительную жесткость условий испытаний на атмосферную коррозию заклепочных соединений самолета Ту-154 при их экспонировании на атмосферных коррозионных станциях Украины и Кубы.

Показатели относительной жесткости условий атмосферных испытаний для Киева, Кибикана и Вирiato соответственно равны 1, 2.44, и 3.49.

5. Включение в программу исследований этапа лабораторных ускоренных испытаний позволяет достичь практически полного исчерпания несущей способности заклепочного соединения за 1.3 года

Так, за указанный период времени остаточная долговечность соединений, экспонировавшихся в Вирiato снизилась до 15.8% от исходной величины.

6. Наибольшее ускорение коррозионных испытаний путем включения в их программу лабораторного этапа ускоренных коррозионных воздействий достигается для заклепочных соединений, эксплуатирующихся в регионах с умеренной агрессивностью окружающей среды.

Для заклепочных соединений без антикоррозионной защиты, эксплуатирующихся в Киеве, проведение 60 дневных ускоренных испытаний позволяет увеличить коррозионное повреждение в 1.73 раза по

сравнению с атмосферными испытаниями в течение года.

Для заклепочных соединений, эксплуатирующихся в Вирiato, указанное увеличение составляет всего 4.5%.

7. Показано, что пленкообразующие ингибированные составы являются эффективными антикоррозионными защитными средствами для заклепочных соединений авиационных конструкций.

8. Попадание ПИНС КС-23 в щель исследованного заклепочного соединения приводит к уменьшению его усталостной долговечности на 13.7%. Это делает необходимым проведение сертификационных испытаний ПИНС при решении вопроса об их применении на конкретном типе воздушного судна.

9. Произведена сравнительная оценка антикоррозионных свойств пленкообразующих ингибированных нефтяных составов AV-25 и КС-23.

Установлено, что при применении состава AV - 25 деградация несущей способности заклепочного соединения в 1.25 - 1.5 раза меньше, чем при использовании состава КС - 23. По мере увеличения коррозионного повреждения указанное различие уменьшается.

10. Анализ кинетических диаграмм убыли остаточной долговечности дал возможность установить стадии коррозионного разрушения заклепочных соединений. Это позволяет оценить периодичность восстановления пленки ПИНС на конструкции воздушного судна, научно обосновывать программы ускоренных испытаний и форсировать процесс сертификационных испытаний ПИНС.

11. Показано, что совместное действие на начальном этапе эксплуатации циклических нагрузок и агрессивной среды при отсутствии антикоррозионной защиты вызывает существенное ускорение деградации несущей способности заклепочных соединений.

Так, при продолжительности коррозионно-усталостных воздействий

равной 1% от исходной долговечности, уменьшение долговечности заклепочных соединений эквивалентно 1 году эксплуатации в городе Киеве.

12. Нанесение ПИНС на заклепочные соединения после некоторого периода эксплуатации позволяет увеличить их долговечность.

При использовании в качестве защитного покрытия ПИНС КС-23 указанное увеличение равно 48%.

13. Нанесение ПИНС на лакокрасочные покрытия позволяет еще больше уменьшить скорость их разрушения в эксплуатационных условиях. Однако, в этом случае они могут не проникать в щели заклепочных соединений, что уменьшит эффект от их применения.

14. Разработана ранговая множественная корреляционная модель, позволяющая оценить влияние различных факторов на деградацию несущей способности заклепочных соединений под действием различных эксплуатационных факторов, а также положительный эффект при применении пленкообразующих ингибированных нефтяных составов AV-25 и КС-23.

Выносимые на защиту результаты получены лично диссертантом.

Основное содержание диссертационной работы изложено в следующих публикациях:

1. Радченко А. И., Яуро Иглесиас Р. Деградация несущей способности заклепочных соединений авиационных конструкций под влиянием окружающей среды. 02.03.95 №578-Ук95.

2. Павлов И. Г., Карускевич М. В., Яуро Иглесиас Р. Разработка методики контроля технологий антикоррозионной защиты элементов авиационных конструкций по критериям циклической долговечности. // Тез. докладов отчетной научно-технической конференции Киевского

международного университета гражданской авиации. Май 1994. - Киев, 1994. С. 23.

3. Llauro Iglesias R., Radchenko A. I. Influencia de los factores climaticos y sustancias agresivas sobre el estado tecnico de las aeronaves en condiciones tropicales. // Revista Construccion de Maquinaria. - 1993. - N6 - P. 23-26.

4. Радченко А. И., Яуро Иглесиас Р. Деградация несущей способности заклепочных соединений под влиянием циклических нагрузок и окружающей среды. 25.04.95 №65 Укр95.

Яуро Иглесиас Р. Деградация несущей способности авиационных заклепочных соединений под влиянием различных эксплуатационных факторов и окружающей среды.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 - Динамика, прочность машин, приборов, аппаратуры: Киевский международный университет гражданской авиации. Киев, 1994. Диссертацией является рукопись.

Защищается 4 научные работы, которые содержат результаты исследования деградации несущей способности авиационных заклепочных соединений под влиянием циклических нагрузок и окружающей среды, а также изучения возможности их антикоррозионной защиты с помощью пленкообразующих ингибированных нефтяных составов AV-25 и KC-23.

Разработан комплексный метод ускоренных исследования деградации несущей способности заклепочных соединений. Изучена кинетика коррозионного разрушения заклепочных соединений в условиях Украины и Кубы. Показана эффективность антикоррозионной защиты с помощью ПИНС AV-25 и KC-23. Разработана методика определения периодичности восстановления пленки ПИНС.

Ключові слова:


Літак, корозія, антикорозійний захист, плівкоутворюючі інгібіровані нафтові суміші, втома металу.

Досліджена деградація несучої здатності авіаційних заклепочних з'єднань під впливом циклічних навантажень та навколишнього середовища, а також вивчена можливість їх антикорозійного захисту за допомогою плівкоутворюючих інгібірованих нафтових складів АВ-25 та КС-23.

Розроблений комплексний метод прискорених досліджень деградації несучої здатності заклепочних з'єднань в умовах України та Куби. Показана ефективність антикорозійного захисту за допомогою ПІНС АВ-25 та КС-23. розроблена методика визначення періодичності відновлення плівки ПІНС.

The loss of the capacity of resistance of the riveted joints under the influence of cyclic loads and the environmental conditions has been researched. In addition to this, the capacity of anticorrosive defense of the inhibiting mixtures AV-25 and KC-23 was studied.

A complex method of accelerated scientific research of the loss of the resistance capacity of the riveted joints in the conditions of Ukraine and Cuba was made. The anticorrosive effectiveness of the inhibiting mixtures AV-25 and KC-23 was proven. A methodology to determine the periodicity of the reestablishment of the anticorrosive layers of the inhibiting mixtures, above mentioned, was also developed.



---

Подписано в печать 11.10.95. Формат 60x84/16. Бумага типографская.  
Офсетная печать. Усл.кр.-отт.7. Усл.печ.л. 1,39. Уч.-изд.л. 1,5.  
Тираж 100 экз. Заказ № 178-1. Цена . Изд. № 261/Ш.

---

Издательство КМУГА.

252058. Киев-58, проспект Космонавта Комарова, 1.

1/22 97h

AB 33.302