
УДК 621.785.539

МОДЕЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ РОСТА ТРЕЩИН В ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИИ КРЫЛЬЕВ САМОЛЕТОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Аболихина Е.В.¹, Семенец А.И.¹, Чернега С.М.³

1 - ГП «АНТОНОВ» г. Киев, Украина

2 - КПИ им. Игоря Сикорского

Аннотация: Мониторинг эволюции дефектов на этапе эксплуатации изделий является необходимым техническим средством, которое определяет надежность работы конструкций, позволяет установить сроки постановки на ремонт и предельный срок их эксплуатации. В работе на основе обширного статистического материала методами математической статистики получено линейное уравнение регрессии для скорости развития коррозионных повреждений на поверхности крыльев самолетов средней дальности с учетом индивидуальных параметров. С его помощью выполнено прогнозирование скорости развития коррозии на элементах конструкции крыльев самолетов в различных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: скорость роста трещин, конструкции крыльев самолетов,

Введение

При проектировании летательных аппаратов используется концепция "безопасно повреждаемой конструкции", которая обеспечивается за счет применения конструктивных материалов с высокими коррозионными свойствами, за счет конструктивных и технологических решений. Для эксплуатируемой техники применяется понятие "допустимого повреждения", допускающее наличие конструктивных и эксплуатационных дефектов и трещин, которые могут развиваться до возникновения некоторого предельного состояния, определяемого из условия силового нагружения конструкции и влияния факторов окружающей среды. Это обеспечивается повышением эффективности методов диагностики и оценки технического состояния, разработкой соответствующих регламентов технического обслуживания, уточнением методов оценки предельных состояний конструкции с учетом анализа реальных условий эксплуатации. Анализ допустимости коррозионных поражений [2] является одним из требований обеспечения ресурса по условиям усталости в нормах прочности России (АП-25), США (FAR-25). Поэтому при оценке пригодности к дальнейшей эксплуатации самолетов, приближающихся к выработке назначенного ресурса, в качестве одного из основных факторов учитывается фактор коррозии.

Возникновение и развитие коррозионных повреждений может привести к снижению усталостной долговечности и ограничению ресурса конструкции по условиям выносливости, а также к снижению статической прочности конструкции [3]. При различных наработках и

сроках службы применительно к различным условиям эксплуатации важно оценивать скорость развития коррозионных повреждений и иметь возможность ее прогнозирования.

Коррозионное повреждение должно быть обнаружено своевременно до того момента, когда его удаление потребует ремонта или снизит остаточную прочность силовой конструкции планера самолета ниже допустимого уровня [4]. Особое внимание уделяется труднодоступным для осмотров местам конструкции планера, в частности, кессонам крыльев самолетов, где образование повреждений происходит в закрытых полостях и имеет свои специфические особенности.

Верхние и нижние панели крыльев изготовлены из алюминиевых сплавов Д16Т и В95Т1, соответственно. Для панелей центроплана использованы крупногабаритные прессованные полуфабрикаты с толщиной полотна 3,5 мм, представляющие собой обшивку, выполненную заодно со стрингерами двутаврового сечения. Панели средней части крыла (СЧК) клепаной конструкции, выполнены из катаного листа и состоят из химически фрезерованных обшивок с

приклепанными стрингерами двутаврового сечения. Панели защищены от коррозии комплексом покрытий, состоящих из искусственной окисной пленки, плакирующего слоя (СЧК) и лакокрасочного покрытия (обычно многослойного), непосредственно защищающего конструкцию от влияния внешней среды.

Осмотр внутренних элементов конструкции крыла на предмет наличия коррозии производится после демонтажа съемных панелей центропланов или СЧК. Демонтаж панелей является трудоемкой и дорогостоящей процедурой. Любые демонтажно-монтажные работы могут привносить дополнительные повреждения – царапины, нарушения покрытий, повреждение крепежа и анкерных гаек, смятие и скручивание мягких топливных баков. Поэтому, если с точки зрения своевременного выявления коррозии, панели необходимо демонтировать как можно чаще, то для эффективности эксплуатации самолета это желательно делать как можно реже. Для эффективного обнаружения коррозии в кессонах требуется знание максимально повреждаемых зон. Оценка скорости развития коррозионных повреждений осуществлялась на основе объективной статистической информации и ретроспективного анализа коррозионного состояния конструкций.

Целью данной работы явилось получение уравнение регрессии, с учетом индивидуальных параметров и особенностей эксплуатации самолетов, для прогнозирования скорости развития коррозионных повреждений на обшивках верхних и нижних панелей крыльев.

Экспериментально-теоретическая методика. На ГП «Антонов» была разработана форма сбора информации о коррозионных повреждениях элементов конструкции крыльев и фюзеляжа, включающая нанесение повреждений на соответствующие схемы при технических осмотрах самолетов как в условиях эксплуатации, так и во время прохождения капитальных ремонтов (рис. 1).

Созданы базы данных по коррозионному состоянию самолетов за период 20 - 50 лет, проанализирован опыт их эксплуатации с точки зрения повреждений силовой конструкции планера (рис.1), установлены причины появления коррозии, ее виды, способы устранения и возможное влияние на ресурсные характеристики [1]. В процессе выполнения работы были использованы данные по коррозионному состоянию 1400 самолетов средней дальности, срок службы которых составлял от 7 до 50 лет с начала эксплуатации. Осмотры самолетов в эксплуатации и при капитальных ремонтах в среднем проводились с периодичностью 3 - 14 лет в зависимости от налета и мест базирования. Интенсивность эксплуатации большинства самолетов не превышала 300-500 полетов в год. Места базирования самолетов находились в зонах умеренного, морского, влажного тропического климата и в промышленных регионах стран ближнего и дальнего зарубежья.

Для оценки скорости развития коррозионных повреждений в качестве критерия было принято изменение максимальной глубины повреждения в очаге. В случае нескольких очагов принимали во внимание максимально неблагоприятный результат. Традиционно скорость развития коррозии определялась как функция глубины h коррозионного поражения от времени T , являющегося периодом между предыдущим и последующим техническими осмотрами внешней поверхности верхних панелей крыла либо осмотрами внутренней поверхности нижних панелей (между соседними вскрытиями кессонов). Графически данные статистики представлялись в виде массива в координатах "Глубина коррозионного повреждения – срок службы между техническими осмотрами». Для простоты интерпретации массивы полученных данных для каждой климатической зоны были аппроксимированы прямыми линиями, по которым проводили оценку средней скорости развития коррозии на элементах конструкции крыла (рис. 1).

Для более точной оценки и прогнозирования скорости развития коррозионных повреждений на элементах конструкции крыльев был применен метод теории вероятностей и математической статистики с обработкой данных на ПК. Применение метода статистического анализа включало решение следующих задач:

1. Предварительную обработку данных, расчет характеристик их положения и рассеяния.
2. Установление корреляции между глубиной коррозионных повреждений и различными факторами (конструктивными и эксплуатационными), которые оказывают либо, предположительно, могли бы оказывать влияние на возникновение и развитие коррозии.
3. Построение линейного уравнения регрессии для скорости развития коррозионных повреждений с учетом степени влияния определенных ранее конкретных факторов.
4. Прогнозирование скорости развития коррозионных повреждений на внешней поверхности обшивок верхних панелей из сплава В95Т1 и нижних панелей из сплава Д16Т в различных климатических зонах.

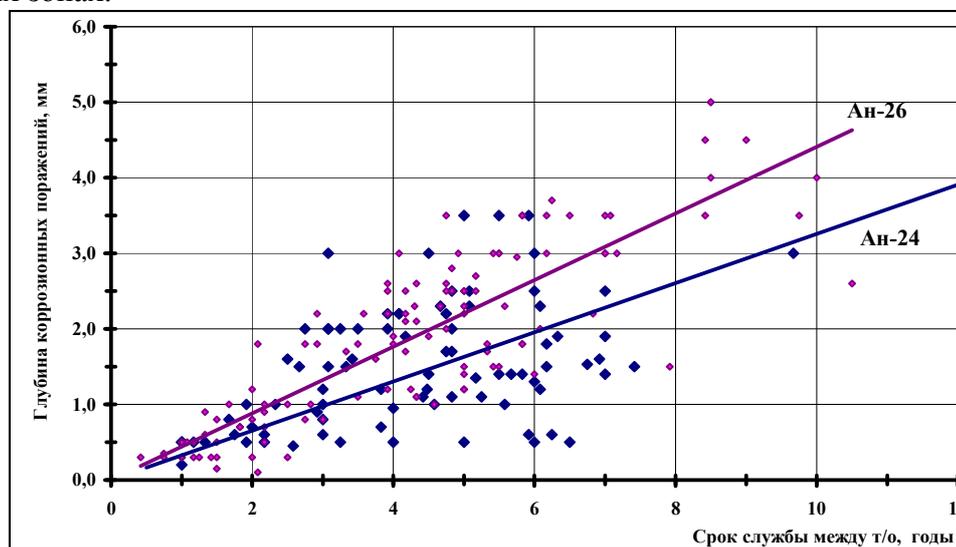


Рис. 1. Зависимость глубины коррозионных повреждений, развившихся на внешней поверхности обшивок верхних панелей крыльев самолетов Ан-24, Ан-26, от сроков службы между техническими осмотрами.

Результаты и их обсуждение.

На основании результатов регрессионного и дисперсионного анализа были вычислены коэффициенты регрессии и их статистические оценки, вычислены верхние и нижние границы доверительных интервалов. При выводе уравнений регрессии использовали результаты корреляции, вследствие чего в набор факторных признаков были включены срок службы

между техническими осмотрами (т/о), наработка между т/о и интенсивность полетов. Для соответствующих климатических зон коэффициенты либо часть коэффициентов при значениях x_n , соответствующих календарному сроку службы, общему налету самолета, интенсивности полетов ... оказались не значимыми, т.к. они меньше или же сравнимы со своими стандартными ошибками. Проверка значимости коэффициентов при факторных признаках подтвердила их значимость. Вычисленный показатель средней ошибки аппроксимации ϵ подтверждает среднюю и достаточно высокую адекватность полученных уравнений.

Полученные уравнения регрессии для расчета глубины коррозионных повреждений на внешней поверхности обшивок верхних панелей крыльев самолетов из сплава В95Т1 имеют вид:

- зона умеренного климата - $y=(0.12 \pm 0.028) x_1$;
- зона воздействия морских и промышленных атмосфер - $y=(0.27 \pm 0.014)x_1$;
- зона смешанного воздействия умеренного климата и тропиков - $y=(0.37 \pm 0.025)x_1$;
- зона влажного тропического климата - $y=(0.51 \pm 0.022)x_1 + (0.00024 \pm 0.00018)x_2$;

где x_1 - срок службы между ремонтами, x_2 - интенсивность полетов.

Сущность коэффициентов при факторных признаках состоит в следующем: увеличение срока службы между ремонтами на 1 год приводит к увеличению глубины коррозионных повреждений на поверхности внешней обшивки верхних панелей крыла в среднем:

- на ~ 0.12 мм в зоне умеренного климата;
- на ~ 0.27 мм в зоне воздействия морских и промышленных атмосфер;
- на ~ 0.37 мм в зоне смешанного - умеренного и тропического климата;
- на ~ 0.58 мм в зоне влажных тропиков при интенсивности 300 пол./год.

Полученные уравнения регрессии для расчета глубины повреждений на внутренней поверхности обшивок нижних панелей из сплава Д16Т имеют вид:

- зона умеренного климата - $y=(0.12 \pm 0.015) x_1$;
- зона резко-континентального климата - $y=(0.23 \pm 0.042)x_1$;
- зона воздействия промышленных атмосфер - $y=(0.33 \pm 0.035)x_1$;
- зона воздействия морского климата - $y=(0.34 \pm 0.045)x_1$;
- зона смешанного воздействия умеренного климата и тропиков - $y=(0.28 \pm 0.037)x_1$;
- зона влажного тропического климата - $y=(0.47 \pm 0.056)x_1$;

где x_1 - срок службы между ремонтами.

Сущность коэффициентов при факторных признаках состоит в следующем: увеличение срока

службы между ремонтами на 1 год приводит к увеличению максимальной глубины коррозионных повреждений на обшивках нижних панелей центропланов:

- на ~ 0.12 мм в зоне умеренного климата;
- на ~ 0.23 мм в зоне резко-континентального климата;
- на ~ 0.33 мм в промышленных зонах;
- на ~ 0.34 мм в зоне морского климата;
- на ~ 0.28 мм в смешанных условиях эксплуатации;
- на ~ 0.47 мм в зоне влажных тропиков.

Разработка (на основе объективной статистической информации) математических моделей изменения технического состояния элементов конструкции, имеющих коррозионные повреждения, дает возможность прогнозирования скорости развития этих повреждений при различных наработках и сроках службы, применительно к различным условиям эксплуатации.

Результаты оценки скорости развития коррозии на различных элементах конструкции крыла могут быть использованы для корректировки периодичности осмотров и определения оптимального времени восстановления антикоррозионной защиты как анализируемой зоны и группы самолетов, так и других зон, групп и типов самолетов, для которых эти зона и группа могут считаться прототипом. Исходя из полученных значений максимальной величины коррозионного повреждения за год, определяются сроки службы до первого осмотра для новых типов самолетов и периодичность их осмотров в процессе эксплуатации с соответствующими величинами запасов.

Накопленный в процессе эксплуатации самолетов Ан-24 и Ан-26 опыт позволил установить для самолетов Ан-32, Ан-70, Ан-124, Ан-225, Ан-140 более длительные интервалы между их капитальными ремонтами и повысить экономическую эффективность их эксплуатации.

Список литературы.

1. *Куранов В.Н., Лебедева Л.А., Клочкова Н.Н.* Проблемы коррозии в современном авиастроении (Обзоры по материалам открытой иностранной печати за 1970 – 1984 г.г.). ЦАГИ №672. – 1987.
 2. *Единые нормы летной годности гражданских транспортных самолетов.* –1985.
 3. *Дубинский В.С.* Порядок учета возможного снижения прочностных характеристик авиаконструкций из-за коррозии при установлении ресурса планеру. - ЦАГИ. №5004. – 1972.
 4. *Методы определения соответствия к АП 25.571 «Обеспечение безопасности конструкции по условиям прочности при длительной эксплуатации»,* 1996 г.
-