

## **Коррозионная стойкость верхних панелей крыльев самолетов Ан-24, Ан-26**

*Авиационный научно-технический комплекс им. О.К. Антонова (АНТК)*

**Ключевые слова:** коррозия, верхняя панель, коррозионное повреждение, очаг коррозии, ресурс

**Ключові слова:** корозія, верхня панель, корозійні пошкодження, осередок корозії, ресурс

**Keywords:** corrosion, upper panel, corrosion injury, corrosion slat, service life

При обеспечении эксплуатации стареющего парка самолетов, к которым относятся и самолеты Ан-24 и Ан-26, авиационным специалистам приходится сталкиваться помимо фактора усталости конструкции, также и с фактором ее коррозионного повреждения. Оба фактора являются практически неизбежными, и их проявление в эксплуатации зависит только от наработки самолета и его срока службы. Однако если фактор усталости можно считать хорошо изученным, то фактор коррозии можно отнести скорее к случайным явлениям.

Действительно, перед поступлением в эксплуатацию самолет проходит усталостные испытания, в процессе которых окончательно уточняются критические места силовой конструкции планера, определяются моменты появления возможных усталостных трещин, скорость их развития, а также критический размер повреждения. На основании полученной информации составляется регламент технического обслуживания. Что же касается фактора коррозии, то возможные места ее появления можно предсказывать, в основном, опираясь на опыт эксплуатации самолетов, конструктивно подобных по применяемым материалам и технологиям противокоррозионной защиты. Главной задачей при этом является своевременное выявление зон коррозионного повреждения, пока они не приведут к снижению прочности силовой конструкции планера ниже допустимого уровня или их удаление не потребует дорогостоящего ремонта. Важно также знать, может ли коррозионное повреждение переходить в усталостное, и если да, то при каких условиях.

В этом плане, с точки зрения возникновения и развития коррозии, представляет интерес длительный опыт эксплуатации самолетов Ан-24 и Ан-26. В настоящей работе рассматривается коррозионное состояние внешней поверхности верхних панелей крыльев указанных самолетов. Используются данные, собранные за период эксплуатации самолетов Ан-24 и Ан-26 более 30 лет в различных регионах и климатических зонах, с разной интенсивностью полетов. Анализируются причины появления коррозии, ее виды, зоны расположения очагов коррозии и определяется скорость развития коррозии по глубине материала в зависимости от зон базирования самолетов.

### **Конструкция верхних панелей самолетов Ан-24 и Ан-26**

Крыло пассажирского самолета Ан-24 состоит из прямоугольного центроплана и двух отъемных консолей трапецевидной формы в плане, средней части крыла (СЧК) и отъемной части крыла (ОЧК).

Верхние панели крыла самолета Ан-24 изготовлены из алюминиевого сплава В95Т1.

Верхние панели центроплана изготовлены из крупногабаритных прессованных полуфабрикатов с толщиной полотна 3,5 мм и представляют собой обшивку, выполненную заодно со стрингерами двутаврового сечения. Верхние панели центроплана делятся на съемные и несъемные – технологические панели. Две съемные панели расположены между стрингерами 3-7 и стыкуются между собой по оси симметрии самолета. Две несъемные панели расположены между I и II лонжеронами и съемными панелями.

Верхние панели СЧК клепаной конструкции, выполнены из катаного листа и состоят из химически фрезерованных обшивок с девятью приклепаннными стрингерами двутаврового сечения. Между стрингерами 3 и 7 расположена съемная панель, которая крепится к стрингерам и профилям разъема.

Съемные панели центроплана и СЧК крепятся к несъемным панелям с помощью болтов с потайными головками и анкерных гаек. Герметизация съемных панелей осуществляется резиновой уплотнительной прокладкой и герметиком УЗ0МЭС-5, болты герметизируются резиновыми уплотнительными кольцами, ус-танавливаемыми под головки в зенковку на обшивке, и герметическими анкерными гайками.

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

Самолет Ан-26 является модификацией самолета Ан-24 и предназначен для транспортировки грузов.

Сравнительный анализ геометрических параметров самолетов Ан-24 и Ан-26 показывает, что теоретические обводы крыла обоих самолетов совпадают, но силовой набор крыла самолета Ан-26 несколько усилен по сравнению с самолетом Ан-24 в связи с увеличением максимального взлетного веса до 24 т против 21 т у самолета Ан-24.

### **Характеристика статистической информации и способ ее обработки**

На АНТК была разработана форма сбора информации о коррозионных повреждениях силовых элементов конструкции самолетов, которая в 1973 г. направлена на все ремонтные заводы. Информация о коррозионных повреждениях самолетов, проходивших капитальные ремонты, а также данные отчетов специалистов АНТК, принимавших участие в исследованиях технического состояния самолетов с целью продления назначенных ресурсов и сроков службы, и явились основным материалом для анализа.

За период эксплуатации с 1974г. по 2007г. на АНТК собрана информация по коррозионному состоянию крыльев более 1200 самолетов Ан-24, Ан-26. Срок службы самолетов с начала эксплуатации составлял от 7 до 40 лет, периодичность осмотров в среднем ~3-16 лет между соседними капитальными ремонтами и ~2-6 лет между техническими осмотрами при продлениях межремонтных сроков службы. Диапазон налетов при обнаружении коррозионных повреждений составил от 700 до 45000 полетов с начала эксплуатации для самолетов Ан-24 и от 700 до 26500 полетов для самолетов Ан-26. Налет после последнего ремонта составил ~ 2-8200 полетов для самолетов Ан-24 и ~ 2- 7500 полетов для самолетов Ан-26. Интенсивность полетов варьировалась от 2 до 1800 полетов в год. В настоящее

время самолеты Ан-24 в среднем прошли от 5 до 10, а самолеты Ан-26 от 2 до 6 капитальных ремонтов.

. В работе анализируются случаи повреждения обшивок расслаивающей, питтинговой, межкристаллитной, щелевой, контактной видами коррозии (за исключением случаев коррозионного растрескивания, которые рассматриваются отдельно) без их разделения. В условиях эксплуатации невозможно провести четкое разделение коррозии обшивок по видам, т. к. например, питтинговая коррозия в процессе своего развития может переходить в межкристаллитную либо расслаивающую, возникновение коррозии в щелях приводит, как правило, к ее дальнейшему распространению вдоль волокон материала, т.е. развитию по механизму расслаивающей коррозии.

### **Виды коррозии на поверхности крыльев самолетов, причины ее образования и места расположения**

Как показал длительный опыт эксплуатации рассматриваемых самолетов, для обшивок верхних панелей крыла характерны питтинговая, расслаивающая, межкристаллитная коррозия и коррозионное растрескивание. Равномерная питтинговая коррозия часто сопровождается язвенным коррозионным поражением различной глубины. Вследствие малых размеров она трудно обнаруживается и может способствовать развитию других видов коррозии. Преимущественное образование коррозионных язв наблюдается на ребрах торцевых поверхностей, у рисок, границ лакокрасочного покрытия, в местах механических повреждений защитного покрытия.

Очаги расслаивающей коррозии обнаруживаются у зенкованных отверстий под заклепки и болты крепления панелей - в продольных швах соединения панелей с поясами лонжеронов, в зоне крепления панелей к стрингерам 3 и 7 и к нервюрам. Факторами, способствующими возникновению данного вида коррозии, служат, как правило, нарушения защитного покрытия, локальные механические повреждения поверхности, локальные повреждения в результате питтинговой, межкристаллитной или щелевой коррозии.

На рис. 1 показан поврежденный расслаивающей коррозией участок обшивки верхних панелей СЧК самолета Ан-24 после 15 лет эксплуатации в условиях влажного тропического климата.



Рис. 1. Расслаивающая коррозия обшивки верхних панелей СЧК, обнаруженная на самолете Ан-24 (x50).

Внешним признаком расслаивающей коррозии является наличие на поверхности деталей неровностей в виде бугров и трещин, идущих от торцов и отверстий, вспучивание и отслоение ЛКП и самого металла под покрытием.

При вскрытии очагов расслаивающей коррозии под нарушенным покрытием, кроме порошка белого или серого цвета, обнаруживаются обычно продукты коррозионного расслоения металла в виде жестких хрупких чешуек, пластин или

волокон серого цвета; в начальной стадии коррозионного расслоения эти чешуйки могут сохранять металлический блеск.

На рис. 2 показан очаг расслаивающей коррозии верхней панели центроплана самолета Ан-24 у зенкованного отверстия после 18 лет эксплуатации в условиях влажных тропиков.

В эксплуатации отмечаются случаи, когда одновременно с питтинговой и расслаивающей развивается межкристаллитная коррозия, например, у заправочных горловин и лючков топливомеров.



Рис. 2. Коррозия верхней панели центроплана самолета Ан-24 у зенкованного отверстия после 18 лет эксплуатации в условиях влажных тропиков (x3).

В местах контакта двух разнородных металлов, например, в отверстиях крепления обшивки при контакте с крепежными болтами из стали 30ХГСА либо 40ХНМА и т.д., наблюдались случаи возникновения электрохимической (контактной) коррозии.

В соединениях внахлестку (например, под усиливающими накладками), под головками болтов и заклепок, под налетом грязи или продуктов коррозии обнаруживаются повреждения, возникшие в результате щелевой коррозии.

Наиболее массовыми, как по количеству, так и по площади поражения, являются очаги расслаивающей коррозии.

Возникновение и развитие коррозионных поражений на верхних панелях крыла носит неоднозначный характер как по площади коррозионных поражений, так и по их глубине. На поверхности обшивки наблюдаются отдельные, в некоторых случаях множественные, очаги коррозии от незначительной глубины до сквозных. Места расположения очагов коррозии на конструкции верхних панелей крыла и повторяемость их возникновения в парке самолетов Ан-24 (аналогично для Ан-26) показаны на рис. 3 .

Из рис. 3 видно, что максимальное число случаев повреждений возникает на обшивке центроплана. Значительно меньше, даже в условиях влажного тропического климата, повреждается обшивка СЧК. Случаев повреждения обшивки ОЧК зафиксировано наименьшее количество. Это можно объяснить следующими факторами. Панели СЧК и ОЧК изготовлены из листов, имеющих меньшую склонность к расслаивающей коррозии по сравнению с прессованными панелями центроплана. Кроме того, частота демонтажа съемных панелей центроплана больше, чем СЧК, что способствует нарушению лакокрасочного покрытия в местах установки крепежа и повреждению поверхности зенкованных отверстий. ОЧК же вообще не

имеет съемных панелей. Следует также принимать во внимание воздействие напряжений на верхние панели крыла, максимум которых приходится на центроплан, что может приводить к микролокальным изменениям в материале и к появлению микротрещин в лакокрасочном покрытии.

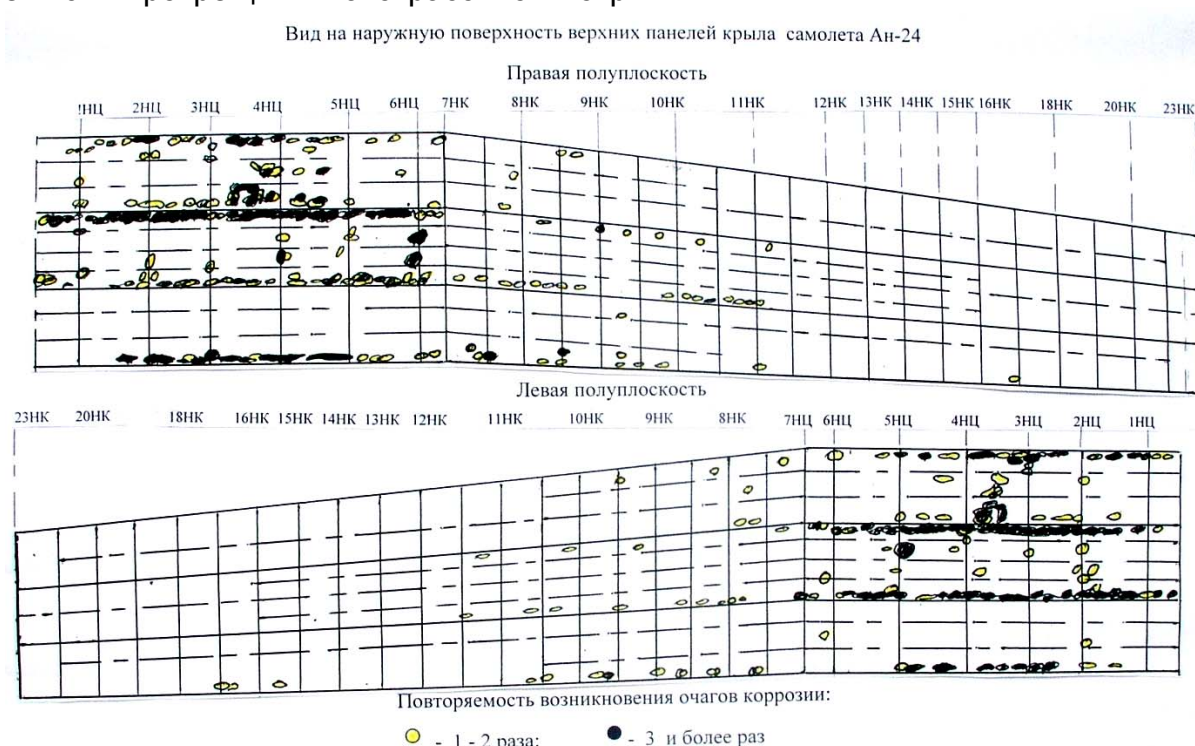


Рис. 3. Расположение очагов коррозии и повторяемость их возникновения на внешней поверхности верхних панелей крыла парка самолетов Ан-24.

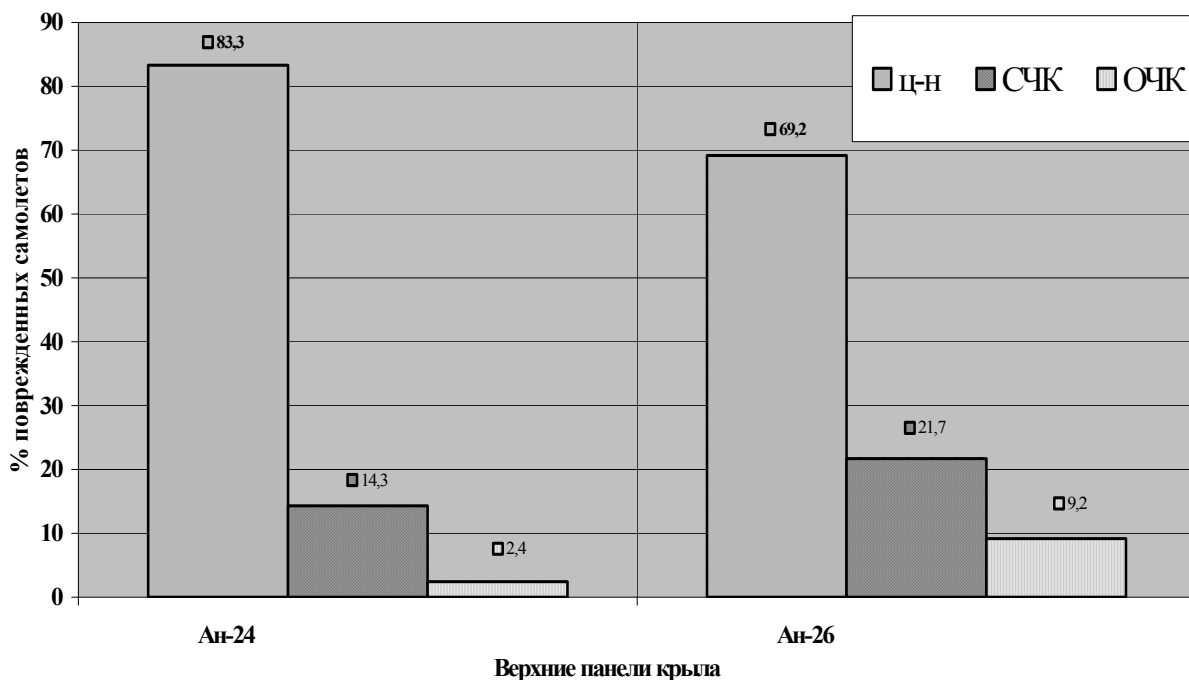
На рис. 4 представлена диаграмма, иллюстрирующая различную повреждаемость коррозией обшивок верхних панелей центроплана, СЧК и ОЧК самолетов Ан-24 и Ан-26 в анализируемой выборке самолетов.

В процессе выполнения работы на внешней поверхности обшивок верхних панелей крыла были выделены зоны, максимально подверженные коррозии:

1. Зоны зенкованных отверстий 1 и 2 технологических панелей под заклепки и болты крепления панелей к I и II лонжеронам (продольные швы) и к нервюрам крыла.
2. Зоны зенкованных отверстий под болты крепления съемных панелей к технологическим панелям (продольные швы) и к нервюрам крыла.
4. Зоны у заливных горловин и гнезд заземления.
5. Края обшивок 1 и 2 технологических панелей СЧК.

Согласно результатам анализа, повреждаемость коррозией в зонах зенкованных отверстий под болты крепления съемных панелей была максимальной. Повреждения в указанных зонах имели более 50% самолетов Ан-24 и более 60 % самолетов Ан-26 (от числа машин, имеющих коррозионные дефекты внешней обшивки верхних панелей крыла). Несколько меньше коррозионных повреждений обнаруживалось у зенкованных отверстий 1 и 2 технологических панелей под заклепки и болты крепления панелей к I и II лонжеронам. Коррозия у заливных горловин была обнаружена на самолетах, эксплуатация которых проходила преимущественно в условиях агрессивных сред





\*Примечание. За 100% повреждений принимали общее количество самолетов Ан-24 либо Ан-26, имеющих коррозионные повреждения на обшивках верхних панелей крыла.

Рис. 4. Повреждаемость коррозией внешней поверхности обшивок панелей крыла самолетов Ан-24, Ан-26

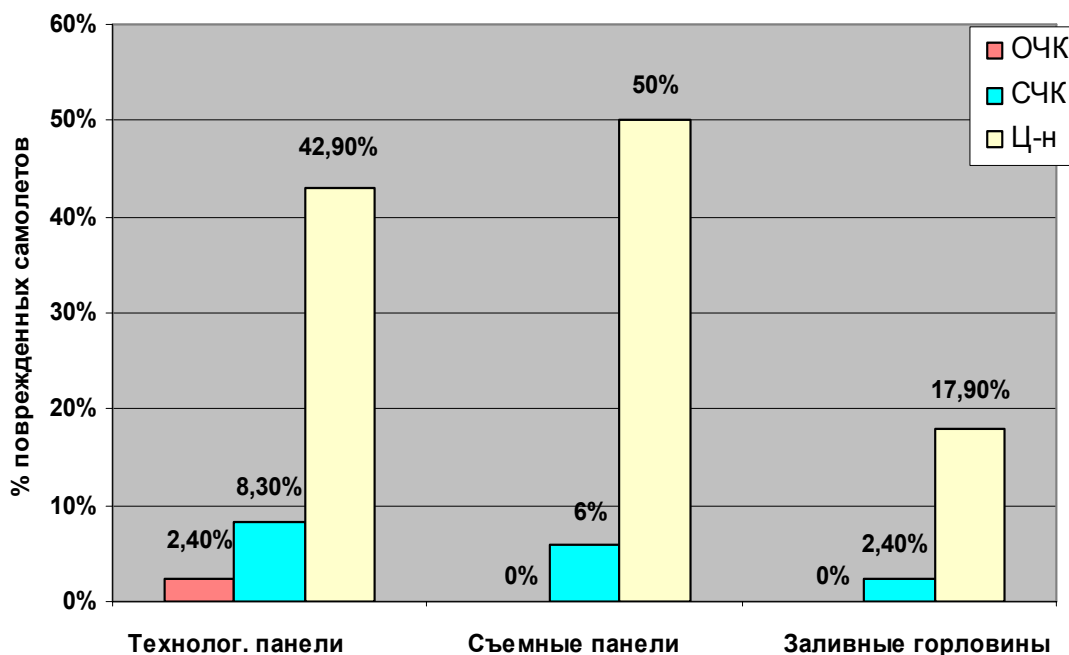


Рис. 5. Повреждаемость коррозией элементов конструкции верхних панелей крыла самолетов Ан-24.

либо атмосфер повышенной влажности. Повреждения в зоне заливных горловин имели ~20% самолетов Ан-24 и ~10% самолетов Ан-26. Следует отметить, что в тропиках эксплуатировались ~ 37 % самолетов Ан-24 и ~ 60 % самолетов Ан-26.

Результаты систематизации коррозионных повреждений по зонам и по элементам конструкции крыла самолетов Ан-24 (аналогично Ан-26) в процентном отношении представлены в виде диаграммы на рис. 5.

Основными причинами появления описанных выше видов коррозии являются:

- повышенная склонность к расслаивающей коррозии элементов конструкции; изготовленных из прессованных конструкционных сплавов В95Т1;
- недостаточная защита мест постановки крепежа, при наличии незащищенных поверхностей зенкованных отверстий;
- несовершенство противокоррозионной защиты агрегатов.
- повреждение защитных покрытий в процессе эксплуатации;
- несвоевременное обнаружение очагов коррозии в эксплуатации или некачественное их удаление;
- неблагоприятные воздействия агрессивных сред и климатических условий эксплуатации.

### **Повреждаемость коррозией обшивок верхних панелей крыла в различных условиях эксплуатации**

Коррозионные поражения в большинстве случаев возникали в условиях повышенной влажности и агрессивных сред.

В первом приближении все основные виды коррозионных сред, действующих на конструкцию верхних панелей крыла, были сгруппированы по макроклиматическим районам и зонам воздействия агрессивных атмосфер:

1. зону умеренного климата (средние температуры от  $+40^{\circ}\text{C}$  до  $-40^{\circ}\text{C}$ ) - Украина, центральная часть России, Белоруссия, Молдавия ..., сюда же вошли и районы с выраженным континентальным холодным климатом (средние минимальные температуры могут быть ниже  $-40^{\circ}\text{C}$  с большими перепадами в течение суток, наличие ветров, инея, обледенения, мелкой снежной пыли) – Якутск, Сургут, Тюмень...;
2. зону воздействия морских атмосфер (содержание в атмосфере сернистого газа, хлоридов) – Прибалтика, Дальний восток, Крым, Архангельск ...; и сходную по агрессивному воздействию зону промышленных атмосфер - г. Москва, г. Киев, г. Тула, г. Ижевск ...;
3. зону с влажным тропическим климатом (характерно одновременное действие высокой относительной влажности воздуха и высокие температуры, интенсивные осадки и конденсация влаги, воздействие биологических факторов, интенсивная солнечная радиация - Куба, Вьетнам, Сомали ...).

Систематизация повреждений внешней поверхности панелей крыла по климатическим зонам показала, что если коррозия возникала в условиях умеренного климата, то она обнаруживалась только на обшивке центропланов. В условиях агрессивных атмосфер (морские атмосферы, промышленные зоны) повреждения возникали на центроплане и в ~10% случаев - на СЧК. Условия влажных тропиков способствовали возникновению повреждений на центроплане, СЧК и ОЧК. На рис. 6 представлена диаграмма, иллюстрирующая повреждаемость коррозией обшивок верхних панелей центроплана, СЧК и ОЧК анализируемой выборки самолетов Ан-24 и Ан-26 в различных климатических условиях.

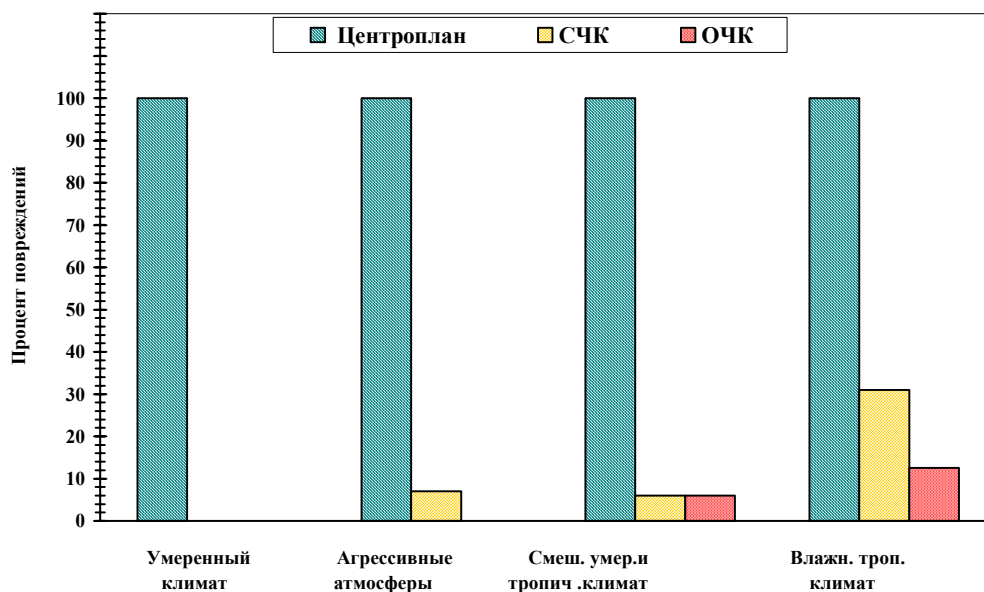


Рис. 6. Систематизация коррозионных повреждений, возникающих в различных климатических условиях, по элементам конструкции верхних панелей крыла самолетов Ан-24.

Сравнение значений глубины коррозионных повреждений, развившихся в выделенных выше зонах, показало, что повреждения, возникающие в одинаковых климатических условиях примерно за одинаковые промежутки времени мало отличаются по глубине и находятся в пределах разброса. Это позволило построить графические зависимости глубины коррозии на верхних панелях крыла от срока службы самолетов между ремонтами, представленные на рис. 7 и 8.

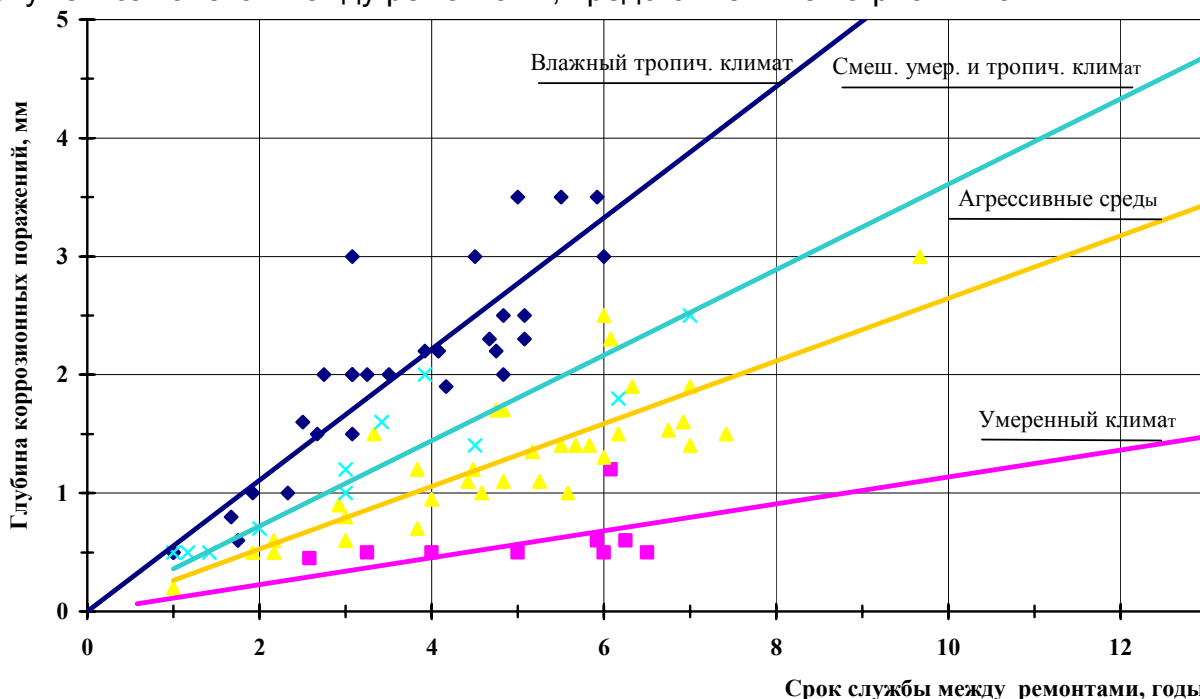


Рис. 7. Повреждаемость коррозией обшивок верхних панелей крыла самолетов Ан-24 в различных климатических зонах.



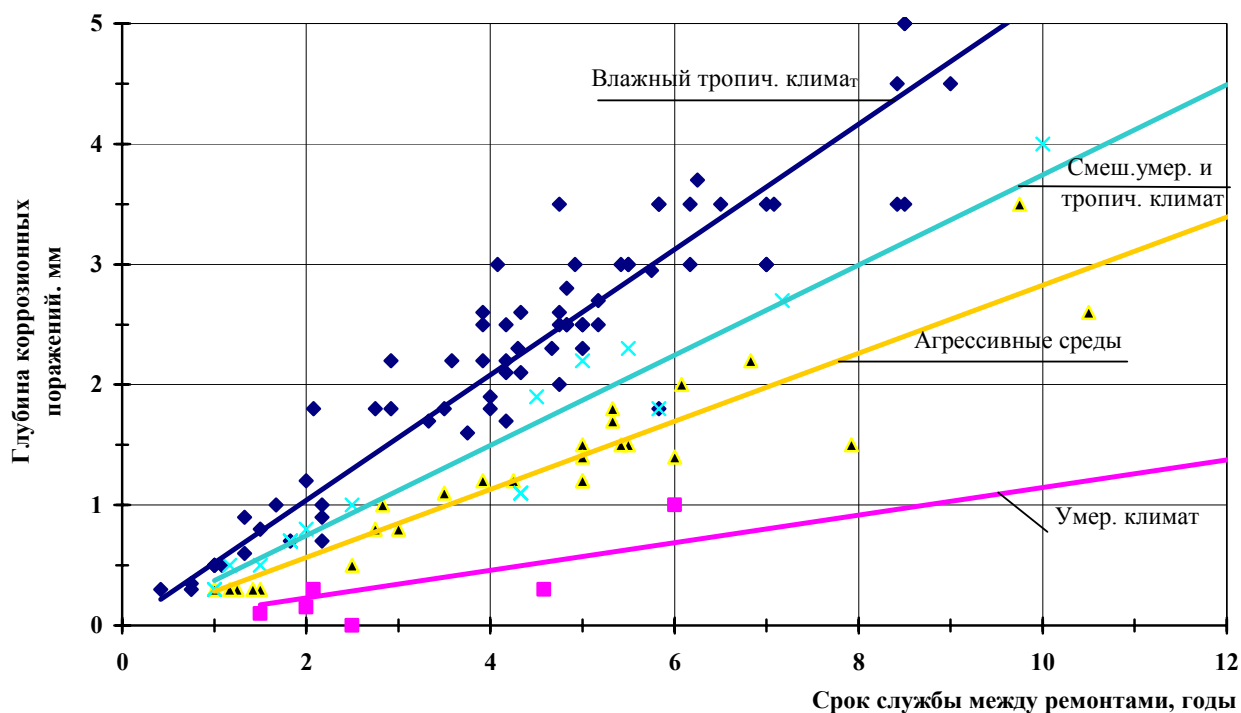


Рис. 8. Повреждаемость коррозией обшивок верхних панелей крыла самолетов Ан-26 в различных климатических зонах.

Полученные результаты подтверждают, что наиболее неблагоприятен в коррозионном отношении влажный тропический климат, где глубина выявляемых очагов коррозии значительно выше, чем в других регионах.

При сравнении коррозионного состояния верхних обшивок крыла самолетов Ан-24 и Ан-26, эксплуатирующихся примерно одинаковый период в одних и тех же климатических зонах, существенных отличий не выявлено.

При перемене мест базирования из регионов с умеренным и континентальным климатом в регионы с влажным тропическим климатом, уже через год эксплуатации на наружной поверхности обшивок выявляются множественные очаги коррозии глубиной 0,3-0,5 мм. В этом случае микротрещины, несплошности, риски, забоины и т.д. на поверхности обшивок панелей могут явиться факторами, способствующими развитию коррозии в условиях агрессивной среды.

Следует отметить, что не было обнаружено случаев образования усталостных трещин в верхних панелях центроплана от очагов рассмотренных выше видов коррозионных повреждений.

Не было также обнаружено случаев коррозионных повреждений, понижающих остаточную прочность крыла ниже допустимого уровня. Однако, были обнаружены случаи развития коррозии, требующие ремонтов, что свидетельствовало о недостаточно высоком уровне технического обслуживания.

На основании представленных в координатах «Глубина коррозионного повреждения – срок службы между смежными осмотрами» данных статистики (см. рис. 7, 8) была проведена приближенная оценка средней скорости развития коррозии на внешней поверхности обшивок центропланов. Скорость развития коррозии для каждой климатической зоны определялась как функция глубины  $h$  коррозионного поражения от времени  $T$ , являющегося периодом между смежными осмотрами.

ми. Для простоты интерпретации массив полученных данных был аппроксимирован прямой линией.

Результаты обработки данных свидетельствуют, что скорости развития коррозии составляют:

#### **Внешняя поверхность верхних панелей центропланов**

	<b>Ан-24</b>	<b>Ан-26</b>
- умеренный климат -	~0,12 мм/год;	~0,11 мм/год;
- агрессивные среды -	~0,27 мм/год;	~0,28 мм/год;
- смешанные условия эксплуатации -	~0,36 мм/год;	~0,38 мм/год;
- влажные тропики -	~0,56 мм/год;	~0,55 мм/год.

На самом деле такая оценка является приближенной по нескольким причинам:

1. Аппроксимирующая прямая (кривая 1 порядка) имеет низкий коэффициент корреляции.
2. Срок эксплуатации самолетов является одним из основных факторов, влияющих на скорость развития коррозии, однако не учтено влияние других, не менее важных факторов, таких, как налет самолета и интенсивность полетов.

Степень влияния различных эксплуатационных факторов и прогнозирование скорости развития коррозионных повреждений в дальнейшем определялись методами математической статистики.

#### **Коррозионное растрескивание**

На процесс коррозионного растрескивания (КР) оказывают влияние многочисленные факторы: состав и структурное состояние металла, свойства коррозионно-активной среды и электрохимические условия, склонность металла к пассивации, наличие внутренних закалочных напряжений, наличие монтажных напряжений и др.

Трещины коррозионного характера могут образовываться под действием указанных выше факторов в деталях, изготовленных из крупногабаритных поковок и штамповок из сплавов В93Т1, В95Т, АК6Т1, Д16Т.

На рис. 9 показана трещина КР, развившаяся в обшивке верхней передней панели СЧК на самолете Ан-24 после 20 лет эксплуатации в условиях влажного тропического климата. Образовавшиеся коррозионные трещины в дальнейшем могут развиваться как по смешанному коррозионно-усталостному, так и по усталостному механизму.

Одним из примеров возможного перехода коррозионной трещины в усталостную трещину являются поперечные трещины в верхних обшивках СЧК, самолета Ан-24. Трещины обнаруживаются на некоторых самолетах в обшивке по последнему ряду крепления к профилю разъема по 7 нервюре крыла после 20 лет эксплуатации. Факторами, способствующими образованию таких трещин, являются монтажные напряжения, возникающие при креплении обшивки к жесткому профилю разъема, и длительно действующие при стоянках самолета растягивающие напряжения. Образовавшиеся в поперечном направлении (близком к направлению полета), трещины в дальнейшем могут развиваться как усталостные.

Скорость развития трещин, вызванных коррозионным растрескиванием, мало изучена, и для продолжения дальнейшей эксплуатации, как правило, требуется замена поврежденного конструктивного элемента либо его ремонт.

Существенно снизить возникновение трещин КР можно, понижая напряжение ниже предельных значений, обеспечивая сборку без монтажных напряжений, выбирая наилучший сплав, используя хорошую антикоррозионную защиту.

Для самолетов Ан-24 и Ан-26 обеспечивается остаточная прочность крыла в сечении по 7 нервюре центроплана при полностью разрушенной любой из трех верхних панелей.

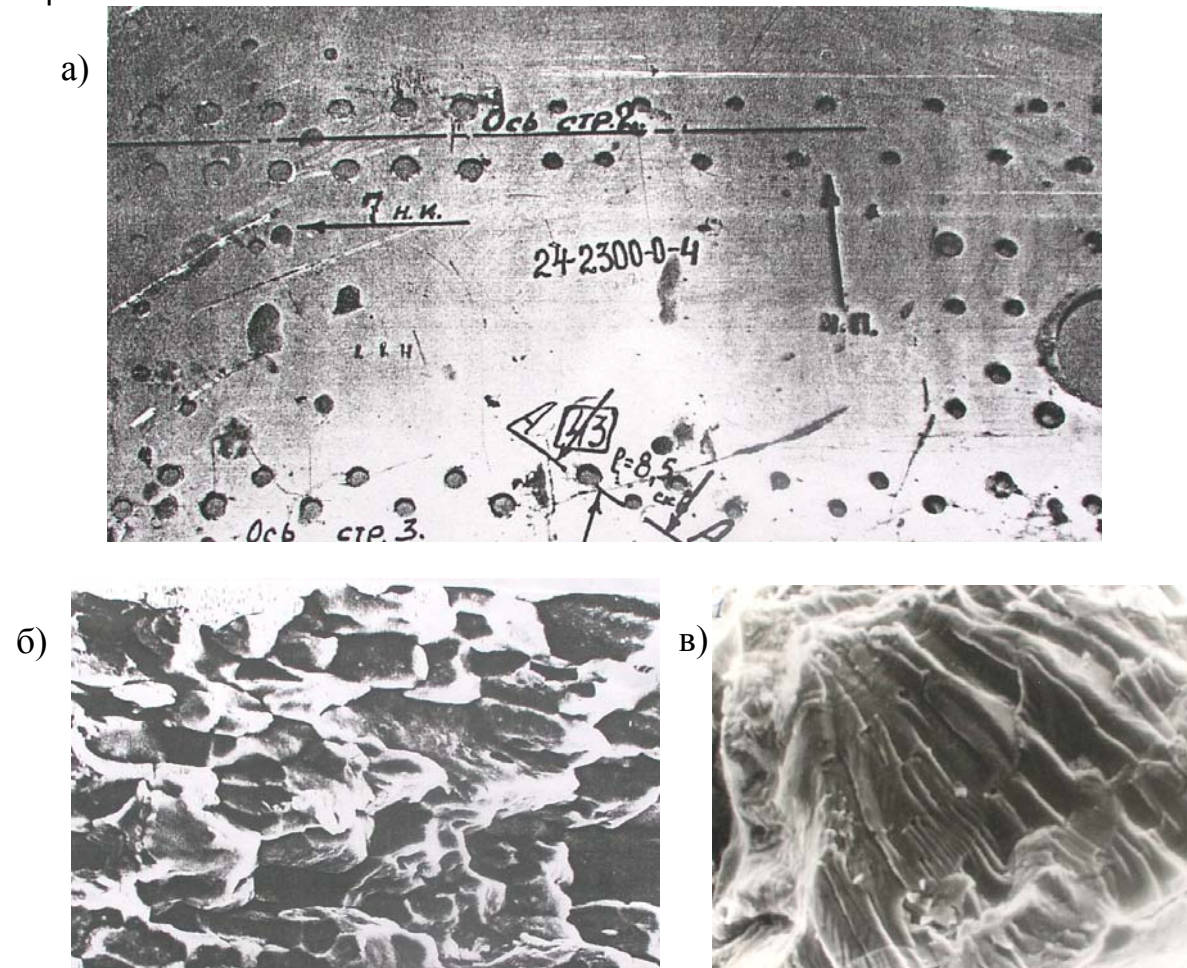


Рис. 9. Трещина КР, развившаяся в обшивке верхней передней панели СЧК самолета Ан-24 после 15 лет эксплуатации в условиях влажного тропического климата (а,  $\times 1,2$ ); особенности микрорельефа трещины в зоне коррозии (б,  $\times 860$ ) и на участке усталостного подрастания (в, 1500).

Для оценки вероятности появления коррозионных повреждений в определенных местах конструкции и установлении длительности роста выявленных ранее коррозионных повреждений применяется статистический метод определения скорости роста коррозионных повреждений по данным осмотров конструкций в эксплуатации.

Действующие регламенты технического обслуживания и программы исследования технического состояния самолетов при продлении ресурсов и сроков службы самолетов, выполняемые через 1-2 года с участием специалистов АНТК, включают осмотры всех критических элементов, в том числе в местах возможных коррозионных повреждений, и обеспечивают их надежное и своевременное обнаружение, что подтверждается длительным опытом эксплуатации самолетов Ан.

### Выводы

1. Наиболее характерными видами коррозии, чаще всего встречающимися на верхней поверхности крыльев самолетов Ан-24 и Ан-26, являются питтинговая и расслаивающая коррозия.

2. При надлежащем обслуживании, в соответствии с действующим регламентом технического обслуживания, очаги коррозии своевременно обнаруживаются, а ее продукты удаляются зачисткой. Выборки коррозии при этом не снижают остаточную прочность ниже требуемого уровня.

3. Не отмечено случаев появления усталостных трещин, обусловленных питтинговой или расслаивающей коррозией.

4. Определена средняя скорость развития этих видов коррозии по толщине материала в зависимости от зоны базирования.

5. Основными причинами появления вышеописанных видов коррозии являются:

- повышенная склонность к расслаивающей коррозии элементов конструкции; изготовленных из прессованных конструкционных сплавов В95Т1;
- недостаточная защита мест постановки крепежа, при наличии незащищенных поверхностей зенкованных отверстий;
- несовершенство противокоррозионной защиты агрегатов.

К причинам эксплуатационного характера относятся:

- повреждение защитных покрытий в процессе эксплуатации;
- человеческий фактор - несвоевременное обнаружение очагов коррозии в эксплуатации или некачественное их удаление;
- неблагоприятные воздействия агрессивных сред и климатических условий эксплуатации.

6. Выявлены места возможного образования трещин, обусловленных коррозионным растрескиванием. Отмечены случаи, развития таких трещин, либо по смешанному коррозионно-усталостному механизму, либо по усталостному механизму. Далее с такими трещинами работают как с усталостными - они либо зашлифовываются и дальнейшая эксплуатация осуществляется с периодическими осмотрами, либо, в зависимости от их длины, выполняется ремонт путем установки усиливающих накладок.

7. Действующая система периодического технического обслуживания силовых элементов рассмотренных самолетов, дает возможность, своевременно выявлять коррозионные поражения на начальной стадии их развития.

### Список литературы

1. Самолет Ан-24. Техническое описание. (Книга 2. Планер). МЖ Машиностроение, – 1971. – С. 31-39.
2. Отчет № 1137 по теме «Исследование механизма расслаивающей коррозии алюминиевых сплавов». – М.: ВИЛС, – 1983. 149 с.
- 3 Отчет № 889 по теме «Исследование КРН и РК полуфабрикатов из сплавов Д16чб В95пч». – М.: ВИЛС, – 1977. 38 с

**Рецензент:** заместитель Генерального конструктора  
Главный конструктор по прочности к.т.н. Г.Г. Онгирский,  
Авиационный научно-технический комплекс им. О.К. Антонова, Киев

Поступила в редакцию 12.03.09.