

## **Анализ повреждений конструкции самолета Ан-32 в зависимости от воздействия коррозии, среды и циклических нагрузок**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского „ХАИ”  
Государственное предприятие «ЗАВОД 410 ГА»*

При исследовании элементов обшивки планера, имеющих предварительное коррозионное поражение, и элементов, усталостное повреждение которых сопровождалось развитием коррозионных процессов, были получены различные зависимости допускаемого коррозионного повреждения от напряжений, а также их влияние на вероятность разрушения.

Выявлена тенденция, когда на самолетах со значительно меньшим налетом и числом посадок, эксплуатировавшихся в горном субтропическом климате, глубина коррозионных повреждений была в 1,25-1,3 раза больше по сравнению с глубиной повреждений при морском субэкваториальном климате.

Подтверждена гипотеза о том, что циклические нагрузки критичны для конструкции самолета в сочетании с глубинной коррозией, превышающей 30 % от толщины обшивки, и условиями эксплуатации.

**Ключевые слова:** коррозия, усталость, тенденции, ресурс.

Ан-32 – транспортный самолет, который был разработан специально для эксплуатации в условиях высокогорья и агрессивного климата и, соответственно, поставлялся в страны Азии, Африки и Латинской Америки. Как следует из анализа теоретических и экспериментальных исследований в данной области [1, 2, 3], в таких условиях эксплуатации совместное воздействие статических и циклических нагрузок, а также климатических условий агрессивных сред приводит к возникновению различных коррозионных и коррозионно-усталостных повреждений, интенсивность которых со временем увеличивается. Большое значение имеет также то, что при экспериментальных исследованиях элементов обшивки планера, имеющих предварительное коррозионное поражение, и элементов, усталостное повреждение которых сопровождалось развитием коррозионных процессов, были получены различные зависимости допускаемого коррозионного повреждения от напряжений, а также их влияние на вероятность разрушения [1].

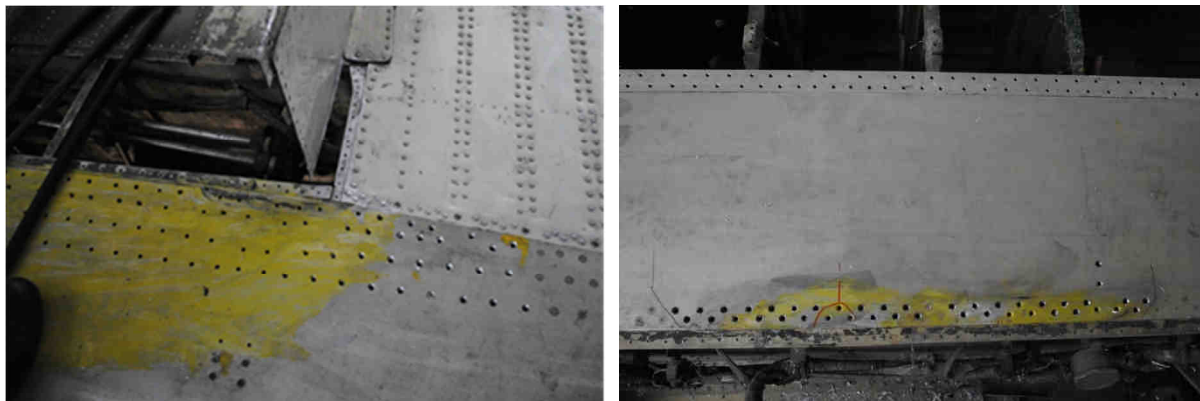


Рис. 1. Коррозия центроплана

Сложность диагностики конструктивных соединений, пораженных коррозией, обусловлена, в первую очередь, труднодоступностью и невозможностью визуального определения места и характера поражения. Исходя из результатов дефектации при ремонте коррозия обычно распространяется на несколько деталей, которые находятся в контакте, причем величина и характер поражения могут быть у них различными.

Особенно часто коррозионно-усталостным повреждениям подвергается планер самолета и элементы органов управления. Исследования самолетов

Ан-32, отправленных в ремонт, показали, что коррозия деталей самолетов бывает как локальной, так и сплошной. Наиболее часто возникает равномерная коррозия, которая при значительной величине поражения сопровождается ростом отдельных очагов. Глубина коррозии колеблется от сотых долей миллиметра до сквозного поражения обшивки. Так, среднее арифметическое значение глубины коррозионных повреждений самолетов, эксплуатировавшихся 25-28 лет, составило от 0,87 до 1,62 мм в отдельных случаях. Понятно, что эти сравнения не совсем технически корректны, поскольку не могут быть распространены на весь парк самолетов. Тем не менее они отражают общую тенденцию, связанную с техническим состоянием эксплуатируемой авиатехники.

На каждом самолете Ан-32, отправленном в ремонт, были обнаружены очаги коррозии на силовых элементах центроплана, СЧК, ОЧК, верхних и нижних съемных панелях, нервюрах, лонжеронах, хвостовом оперении, рампе и даже на отдельных компонентах, находящихся в пилотской кабине, мотогондолах и фюзеляже самолета. Усугубляется техническое состояние воздушных судов также тяжелыми условиями их эксплуатации, в том числе связанными с климатическими условиями.

На рис. 2 изображена схема типовых коррозионных повреждений конструкций, а также трещин, включая повреждения органов управления, выявленных при дефектации (определении технического состояния) и в процессе капитального ремонта, на примере самолета Ан-32, эксплуатировавшегося в горном субтропическом влажном климате.

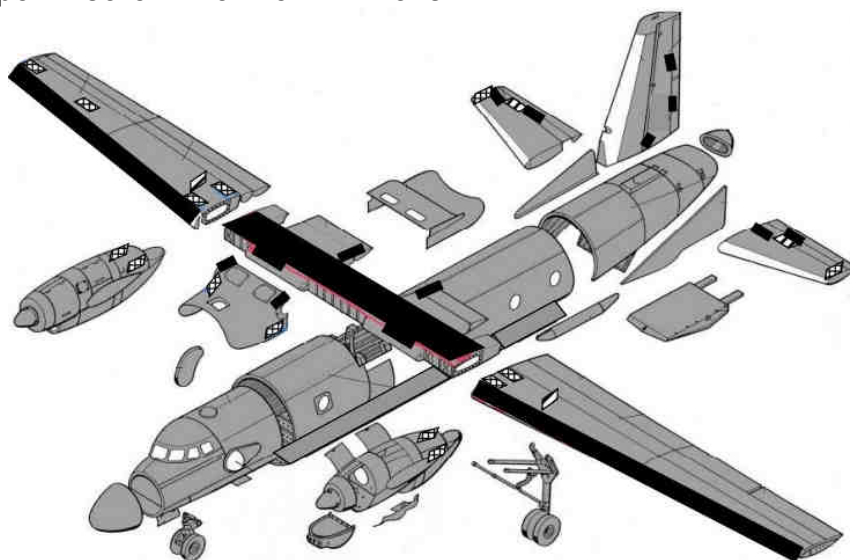


Рис. 2. Схема коррозионных повреждений и трещин конструкции самолета Ан-32, эксплуатировавшегося в горном субтропическом климате:

- – коррозия элементов конструкции планера (глубиной 0,5...1,62 мм);
- ▨ – сквозная коррозия элементов конструкции планера (замена);
- ▩ – трещины (длиной до 70 мм), вмятины

На рис. 3 показаны выборочные данные статистического анализа дефектов технического состояния самолетов Ан-32, эксплуатировавшихся в разных климатических условиях. При этом, как видно из сводной таблицы, количество дефектов элементов конструкции планера (фюзеляжа, крыла, оперения и т.д.) при сравнении данных трех взятых для примера самолетов А, В и С – выросло в 1,25–1,3 раза для самолетов, эксплуатировавшихся в горном субтропическом влажном климате.

**Пример результатов оценки технического состояния трех самолетов Ан-32, эксплуатировавшихся в разных климатических условиях**

Информация	Самолет - борт А	Самолет - борт В	Самолет - борт С
Год выпуска	1984	1985	1984
Наработка, часов	7337	5801	8839
Наработка, полетов	7553	5385	7844
Условия эксплуатации	Влажный, морской субэкваториальный климат, большие перепады температур	Горный, субтропический влажный климат, значительные сезонные и суточные перепады температур	
<b>Количество коррозионных повреждений конструкции</b>			
Элементы систем самолета	16	19	24
Двери, люки, створки	7	11	14
Фюзеляж	33	34	42
Гондолы двигателей	23	23	27
Оперение	14	16	21
Крыло	35	38	44
<b>ВСЕГО</b>	<b>128</b>	<b>141</b>	<b>172</b>

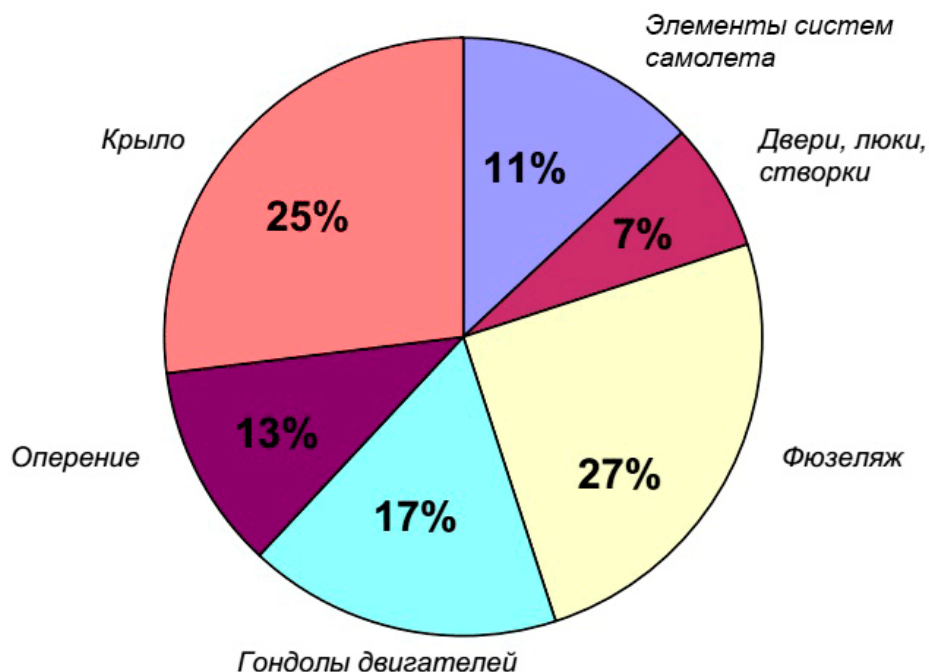


Рис. 3. Среднее значение распределения дефектов конструктивных элементов (коррозия, трещины) самолетов Ан-32 по результатам оценки технического состояния при поступлении в ремонт, %

Данные взяты на основании анализа дефектации и оценки технического состояния 40 самолетов.

На рис. 4 показаны сравнительные характеристики взаимосвязи значений локальных коррозионных повреждений, циклических нагрузок и вероятности разрушения элементов конструкции, полученные путем экстраполяции фактических средних значений коррозионных разрушений элементов конструкции самолетов Ан-32 на значения циклических нагрузок.

Как видно из рис. 4, для самолета С повреждения более 30% толщины обшивки являются критическими с вероятностью разрушения этого элемента конструкции  $P = 0,5$ . Следовательно, подтверждается гипотеза о том, что циклические нагрузки критичны для конструкции самолета в сочетании с глубиной коррозии, а также с условиями среды, в которой эксплуатируется самолет (рис. 4).

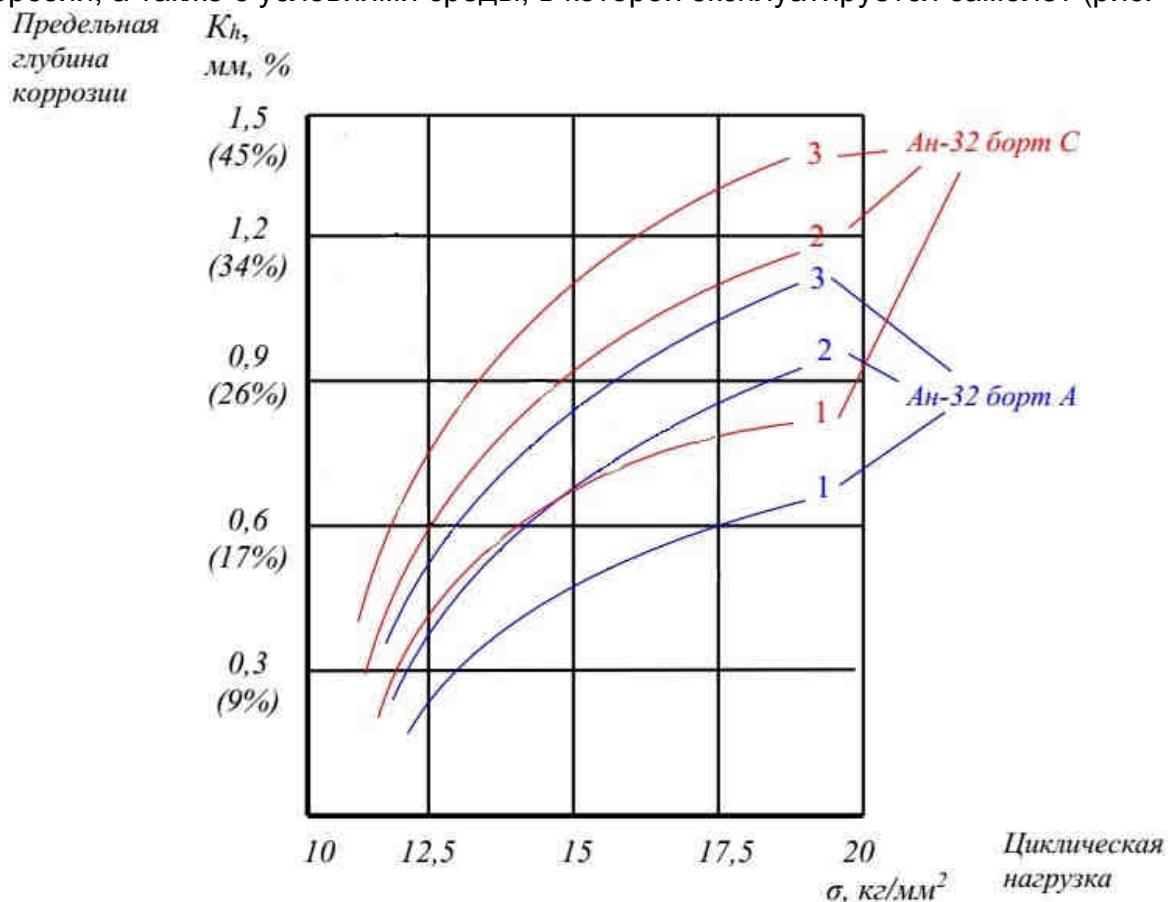


Рис. 4. Диаграмма взаимосвязи средних значений локальных коррозионных повреждений, циклических нагрузок и вероятности их разрушения, полученная путем экстраполяции фактических значений коррозионных разрушений элементов конструкции самолетов Ан-32 на значения циклических нагрузок. Вероятность разрушения конструкции: 1 –  $P=0,01$ ; 2 –  $P=0,1$ ; 3 –  $P=0,5$

Опыт эксплуатации и ремонта данного типа самолетов показал, что даже небольшие по величине, но часто повторяющиеся нагрузки оказывают большое влияние на долговечность элементов конструкции. Вместе с тем, фактически выявлена устойчивая тенденция, когда на самолетах со значительно меньшим числом часов налета и полетов глубина коррозионных повреждений была в 1,25-1,3 раза больше. Как правило, эти самолеты эксплуатировались не в морском субэкваториальном климате, а в горном субтропическом влажном климате со значительным суточным и сезонным перепадом температур (рис. 4, табл.).

Анализ полученных статистических данных свидетельствует о том, что дальнейшее продление назначенных ресурсов и сроков службы самолетов Ан-32

без проведения углубленной диагностики их технического состояния и выполнения ремонтных работ не является эффективным. Оптимальным вариантом (с учетом экономической целесообразности и одновременным обеспечением надежности и требований по поддержанию летной годности самолетов Ан-32) мог бы стать перевод их на базовое техническое обслуживание на основе выполнения контрольно-восстановительных или ремонтных работ с одновременным увеличением назначенных ресурсов и сроков службы, как это предусмотрено Авиационными правилами PART-145.

### Список литературы

1. Комплексный метод оценки коррозионных и коррозионно-усталостных повреждений конструктивных элементов летательных аппаратов: сборник научных трудов / А. И. Радченко, И. П. Олефир, А. Я. Заика [и др.]. – К.: КИИГА, 1974. – 19-30 с.
2. Радченко А. И. Обоснование критериев технического состояния деталей летательных аппаратов, имеющих эксплуатационные дефекты / Радченко А. И. // Сборник научных трудов. – К.: КИИГА, 1974.
3. Аболихина Е. В. Коррозионная стойкость верхних панелей крыльев самолетов Ан-24, Ан-26 / Е. В. Аболихина, А. И. Семенец, А. П. Еретин // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 41. – Х., 2007. – С. 76-91.

Поступила в редакцию 12.12.2016

## **Analysis of the Structural Damage of the An-32 Airplane Depending on Corrosion, Environment and Cyclic Loads Effect**

In the study of the elements of the airframe skins having pre-corrosion damage and the elements, fatigue damage which is accompanied by the development of corrosion processes, different dependences of the permissible corrosion damage from stress were obtained, as well as their impact on the probability of failure.

The tendency was cleared, that on airplanes with less quantity of flying hours and flights, which have been operated in mountainous subtropical climate, the depth of corrosion damages was 1,25-1,3 times more comparatively to sea subequatorial climate.

The hypothesis has been confirmed, that the cyclic loads themselves are critical to the aircraft structure in combination with interior corrosion exceeding 30% of the skin thickness and the operating conditions.

**Keywords:** corrosion, fatigue, tendencies, service life.

## **Аналіз пошкоджень конструкції літака Ан-32 в залежності від впливу середовища і циклічних навантажень**

При дослідженні елементів обшивок планера, що мають попередне корозійне ураження, і елементів, утомне пошкодження яких супроводжувалося розвитком корозійних процесів, були отримані різні залежності корозійного пошкодження, що допускається від напружень, а також їх вплив на ймовірність руйнування.

Виявлено тенденцію, коли на літаках з меншим нальотом і кількістю польотів, що експлуатувались у гірському субтропічного кліматі, глибина корозійних ушкоджень була в 1,25 - 1,3 рази більше глибиною порівняно з ушкодженнями при морському субекваторіальному кліматі.

Підтверджується гіпотеза про те, що циклічні навантаження самі по собі не критичні для конструкції літака, а критично їх поєднання з глибинною корозією, що перевищує 30% від товщі обшивки і умовами експлуатації.

**Ключові слова:** корозія, втома, тенденції, ресурс.

### **Сведения об авторах:**

**Топал Николай Саввович** – старший преподаватель кафедры проектирования самолетов и вертолетов НАУ им. Н. Е. Жуковского "ХАИ", Украина.

**Задорожный Артем Иванович** – заместитель Генерального директора - Директор по качеству и новой технике государственного предприятия «ЗАВОД 410 ГА», г. Киев, Украина.

**Якименко Илья Николаевич** – заместитель начальника отдела управления качеством, сертификацией и надежности авиационной техники государственного предприятия «ЗАВОД 410 ГА», г. Киев, Украина.