

УДК 351.814.24

DOI:10.47813/dnit-nto.2021.22-28

Влияние наземного ремонта на надёжность летательных аппаратов

О.Е. Лукьянов, Г.И. Рыжов*

Самарский национальный исследовательский университет им. академика
С.П.Королёва, ул. Московское шоссе, д. 34, г. Самара, 443086

* E-mail: 00nimostor00@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассмотрена прямая зависимость повышения надёжности летательного аппарата от своевременного ремонта на земле. С помощью методов математической статистики выявлены основные параметры, характеризующие надёжность авиационной техники.

Ключевые слова: надёжность летательного аппарата, работоспособность авиационной техники, ремонт, математическая статистика, наземные работы

The impact of ground repairs on the reliability of aircraft

O.E. Lukyanov, G.I. Ryzhov*

Samara National Research University. academician S. P. Korolev, 34, Moskovskoye
shosse, Samara, 443086, Russia

* E-mail: 00nimostor00@mail.ru

Abstract. This article considers the direct dependence of increasing the reliability of an aircraft on timely repair on the ground. Using the methods of mathematical statistics, the main parameters characterizing the reliability of aviation equipment are identified.

Keywords: aircraft reliability, performance of aviation equipment, repair, mathematical statistics, ground work

Прогноз технического состояния воздушных судов зачастую обусловлен высокой стоимостью результата отказа отдельного элемента сложной технической системы, которой является современный самолет. Эта стоимость приобретает серьезное значение, когда речь идёт о целостности машины и жизни лётного состава.

Под надёжностью летательного аппарата принято понимать способность машины сохранять интенсивные показатели в заданных режимах и условиях эксплуатации. Недостаточная надёжность снижает уровень исправности и, соответственно, вероятность появления катастрофических последствий для среды обитания и человека резко возрастает.

Надёжность любого технического устройства во много определяется множеством отдельных сборочных единиц, взаимосвязанных между собой, которые образуют сложное техническое устройство.

Влияние на работоспособность авиационной техники во многом определяется комплексом мероприятий, которые проводятся на земле. Данный комплекс принято дифференцировать на следующие виды:

- Работы по контролю и измерению параметров состояния изделий.
- Работы по контролю надёжности изделий.
- Работы по поддержанию надёжности изделий в процессе использования ЛА.
- Работы по регулировке функциональных параметров.
- Работы по восстановлению защитных и упрочняющих покрытий.
- Работы по аккумулярованию изделий, потребляющих энергию.
- Работы по конструктивным заменам изделий.
- Работы по проверке функционирования ЛА.

Под ремонтом авиационной техники понимается комплекс мероприятий, который позволяет устранить отказы и повреждения ВС с целью сохранения установленного уровня технической пригодности и готовности ЛА к эксплуатации. Различают три вида ремонта: текущий, средний и капитальный.

- Текущий ремонт — это минимальный объем ремонта, который обеспечивает нормальную работу изделия до следующего планового ремонта. В ходе текущего ремонта устраняются неисправности путем замены или восстановления отдельных деталей (быстроизнашивающихся частей), а также производятся регулировки. Текущие ремонты выполняются эксплуатационными

предприятиями и являются неотъемлемой частью регламентного обслуживания воздушных судов.

- Средний ремонт — это ремонт, который осуществляется путем восстановления эксплуатационных характеристик изделия или замены изношенных или поврежденных деталей. Кроме того, при среднем ремонте проверяется состояние других изделий ЛА с устранением выявленных неисправностей.
- Капитальный ремонт характеризуется значительной продолжительностью. В капитальный ремонт входят мероприятия, направленные на полное восстановление ресурса ЛА. После окончания капитального ремонта устанавливаются новые сроки службы деталей и составных частей.

Вид ремонта определяется сложностью найденных дефектов, техническим состоянием авиационной техники и временем восстановительных работ.

Надёжность авиационной техники представляет собой сложную многогранную систему, напрямую связанную с умножением и суммированием отдельно взятой надёжности каждого элемента.

Надёжность отдельно взятого элемента есть функция внешних факторов:

$$P_i(t) = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

x_1, x_2 – внешние факторы.

На практике становится понятно, что все факторы оказывают различное влияние на надёжность ЛА в целом. И потому наиболее полную картину о надёжности каждого узла и агрегата можно получить из методов математической статистики.

Чтобы оценить влияние наземного ремонта на надёжность ЛА, необходимо воспользоваться количественным анализом надёжности. Количественный анализ характеризуется теоретическим законом распределения объекта до отказа. В учёт ставятся назначенные ресурсы агрегата, а также количество мероприятий, направленных на повышение надёжности ЛА.

В качестве теоретического закона рассмотрим нормальное распределение. Данное распределение используется в случае, когда происходит суммирование независимых случайных величин. Такое распределение напрямую связано с постепенными отказами, связанными с приобретёнными повреждениями, а также дефектами, возникшими в результате нерациональной эксплуатации. В авиационной технике такой закон находит своё место, например, в определении износа протектора или установления усталостных деформаций.

Начальными параметрами для определения надёжности являются:

- t – общее время использования объекта;
- N – общее количество используемых объектов;
- n – количество повреждённых объектов;
- t_1, t_2, t_n - наработка объектов до отказа.

Алгоритм количественного анализа состоит в следующем:

1. Составляют таблицу 1 об одном из отказов объекта в порядке возрастания наработки. Общее время эксплуатации t разделяют на q интервалов, причём в каждый k -й интервал должно попасть не менее двух отказов.

Таблица 1. Сведения об отказе объекта.

№	Наименование детали, узла	Характер отказа	Встречаемость, ч	Процесс обнаружения	Причина	Происхождение отказа
1	Лопатки компрессора	Усталостная трещина	1030	Технический осмотр	Совместное действие статических и вибрационных нагрузок	Конструктивно-производственный недостаток
2	т.д.					

2. На основе разделения наработки составляют таблицу 2, в которую вносят начальные данные и результаты расчета эмпирических параметров надёжности: $f(t)$, $\lambda(t)$, $P(t)$. Эти параметры определяются по следующим формулам:

$$f_i(t) = \frac{\Delta n_i}{N \cdot \Delta t_i}; \lambda_i(t) = \frac{\Delta n_i}{(N - n_{i-1}) \cdot \Delta t}; P_i(t) = \frac{f_i(t)}{\lambda_i(t)};$$

Таблица 2. Начальные данные и результаты расчета эмпирических параметров надёжности.

№ интервала	t_i, t_{i+1}	Δt_i	Δn_i	$f_i(t)$	$\lambda_i(t)$	$P_i(t)$
1	t_1, t_2	Δt_1	Δn_1	$f_1(t)$	$\lambda_1(t)$	$P_1(t)$
K	t_k	Δt_k	Δn_k	$f_k(t)$	$\lambda_k(t)$	$P_k(t)$

3. Следующим этапом будет составление гистограмм эмпирических функций. Выдвигается гипотеза о соответствии эмпирического закона заданному теоретическому закону.

4. Находят параметры m и σ для нормального закона:

$$F^*(t_1) = 1 - P^*(t_1) = \Phi \left\{ \frac{t_1 - m}{\sigma} \right\} = \Phi \{z_1\};$$

$$F^*(t_2) = 1 - P^*(2) = \Phi \left\{ \frac{t_2 - m}{\sigma} \right\} = \Phi \{z_2\};$$

Определяются значения аргументов z_1 и z_2 , а затем параметры теоретического закона:

$$m = \frac{t_1 * z_2 - t_2 * z_1}{z_2 - z_1}; \sigma = \frac{t_2 - t_1}{z_2 - z_1}$$

5. С помощью критерия согласия проводится проверка о правильности выбора теоретического закона. Значение данного критерия можно определить по формуле: $\xi^2 = \sum_{i=1}^k u_i^2$, где $u_i = \frac{(\Delta n_i - \Delta N_{qi})^2}{N_{qi}}$. Для нормального закона параметр q_i можно определить по следующему соотношению: $q_i = \Phi \left\{ \frac{t_{i+1} - m}{\sigma} \right\} - \Phi \left\{ \frac{t_i - m}{\sigma} \right\}$. По найденному критерию согласия ξ с учётом степени свободы $g = K + 1 - S$, зависящая от числа интервалов K и числа связей распределения S (для нормального закона $S=3$) определяют вероятность P сходимости законов. В случае, если найденная вероятность принимает значение $P < 0,1$, то принятый на начальном этапе закон следует заменить другим.

6. Строятся графики $\lambda(t)$, $P(t)$ и $f(t)$. Для нормального закона параметры $P(t)$ и $f(t)$ можно найти следующим образом:

$$P(t) = 1 - \Phi \left\{ \frac{t_i - m}{\sigma} \right\}; f(t) = \frac{1}{\sigma * t_i} * \Phi \left\{ \frac{t_i - m}{\sigma} \right\}.$$

Параметры теоретического закона заносятся в новую таблицу:

Таблица 3. Параметры теоретического закона.

t_i	$\lambda_i(t)$	$P_i(t)$	$f_i(t)$
t_1	$\lambda_1(t)$	$P_1(t)$	$f_1(t)$
t_2	$\lambda_2(t)$	$P_2(t)$	$f_2(t)$
t_p	$\lambda_p(t)$	$P_p(t)$	$f_p(t)$

7. Определяется фактическая надёжность изделия при обработке установленного ресурса:

$$P(t_p) = 1 - \Phi \left\{ \frac{t_p - m}{\sigma} \right\}$$

8. На последнем этапе производится оценка надёжности объекта:

$$Q(t) = 1 - P(t),$$

причём $Q(t)$ за полёт не должна превышать значения $q_{доп} = 0.001$

Время проведённые наземные работы и изменение периодичности проведения профилактических работ повышают суммарную надёжность ЛА. Например, если

изделие характеризуется недостаточной надёжностью, то можно сократить его межремонтный ресурс, тем самым добиться высокого уровня технической пригодности.

Пусть деталь приобрела новый установленный ресурс. Тогда новый ресурс равен $t_{\text{мр}} = m + U_{\text{доп}} * \sigma$, где $U_{\text{доп}}$ – квантиль теоретического нормального распределения, соответствующий найденной оценке надёжности объекта $q_{\text{доп}}$.

Эффективность наземной работы может быть оценена таким показателем, как $K_{\text{кр}}$, который характеризует общее число отказов, найденных во время наземных работ.

Данный коэффициент можно вычислить по формуле:

$$K_{\text{кр}} = \frac{x}{x + m},$$

x – общее число отказов, которые находятся во время профилактических работ;

m – общее число отказов, которые происходят во время полёта.

Поскольку любая профилактика ведёт за собой общее уменьшение числа отказов, происходящих во время полёта, то становится ясно, что при уменьшении показателя m коэффициент эффективности наземной работы $K_{\text{кр}}$ будет увеличиваться, посредством чего возрастает безопасность и работоспособность авиационной техники.

Техническое обслуживание основывается на повышении работоспособности изделия. А это значит, что наземные работы, проведённые с установленными правилами, а также с соблюдением режимов эксплуатации, оказывают огромное влияние на формирование надёжности отдельно взятого устройства. Они формируют колоссальное воздействие на надёжность ЛА, повышая при этом основные интенсивные показатели каждого устройства и работоспособность авиационной техники во время полёта.

Список литературы

1. Куатов, Б.Ж. Управление надёжностью авиационной техники / Б.Ж. Куатов, Д.Х. Нуржанов, Н.Г. Жумашев // Труды Международного симпозиума «Надёжность и качество». – 2017. – № 1. – С. 2.
2. Степанов, В.П. Войсковой ремонт в системе технической эксплуатации на современном этапе развития авиационной техники / В.П. Степанов, А.М. Сафин, О.Н. Карпенко, М.В. Тромифмчук // Воздушно-космические силы. Теория и практика. – 2020. – С. 240.

3. Жуков, А.К. Эксплуатационная надёжность авиационной техники / А.К. Жуков, А.Е. Милов, Н.И. Епишев. – Куйбышев: КуАИ, 1987. – 84 с.
4. Чинючин, Ю.М. Основы технической эксплуатации и ремонта авиационной техники / Ю.М. Чинючин, И.Ф. Полякова. – Москва: МГТУ ГА, 2006. – 8 с.
5. Макаровский, И.М. Техническое обслуживание и ремонт авиационной техники: Метод. указания по курсовому проектированию / И. М. Макаровский. – Самара: СГАУ, 2003. – 62 с.