

УДК 629.7+656.7

МОДЕЛИ НАДЁЖНОСТИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИЕМЛЕМОЙ ПЕРИОДИЧНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СТАРЕЮЩЕГО ПАРКА ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

© 2014 В. Н. Писаренко

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)

Рассматриваются математические модели технического обслуживания (ТО) воздушных судов (ВС): первая модель простоя ВС на ТО, которая является функцией от количества выполненных периодических ТО, вторая – оптимальной периодичности ТО для поддержания лётной годности в условиях обеспечения заданного уровня надёжности ВС, третья – как оптимизационная модель затрат на ТО ВС и обеспечения максимальной прибыли в условиях рыночной экономики. С использованием теории дифференциальных уравнений, а также теории надёжности и теории восстановления найдены формулы расчёта оптимального планового времени простоя ВС на периодическом ТО для поддержания лётной годности ВС; оптимальной периодичности ТО, оптимального количества периодических обслуживаний ВС в целях обеспечения оптимальной производственной работы и получения максимальной прибыли от лётной эксплуатации. Предложенные модели технической эксплуатации исследованы на предмет определения приемлемой периодичности ТО с учётом рентабельности эксплуатации ВС и рассмотрены на возможность применения для оптимизации ТО стареющего парка ВС гражданской авиации. Произведённые расчёты доказывают необходимость уменьшения периодичности ТО для оптимизации обслуживания и эффективного использования стареющего парка ВС.

Воздушное судно, техническое обслуживание, неисправность, производственный налёт, простой самолёта, оптимизация, надёжность, прибыль.

При определённом налёте часов воздушных судов (ВС) в соответствии с регламентом поддержания лётной годности ВС требуется выполнение периодического технического обслуживания (ТО). Простой ВС на периодическом ТО, а также при устранении отказов и неисправностей систем снижают общий производственный налёт ВС. Внешне кажется, что увеличение периодичности между ТО позволит увеличить производственный налёт ВС и добиться повышения рентабельности эксплуатации. Но это далеко не так в условиях эксплуатации стареющего парка существующей отечественной авиационной техники (АТ), у которой при старении значительно увеличивается простой ВС, обусловленный устранением интенсивно возрастающих отказов и неисправностей, и в этом разберёмся в процессе дальнейшего анализа.

В вопросе назначения периодичности ТО ориентируются на новую зарубежную АТ, у которой по мере эксплуата-

ции постоянно увеличивается периодичность ТО. Но в России сейчас особенно остро стоит задача поддержания лётной годности стареющего парка ВС [1]. Вопрос назначения оптимальной периодичности ТО стареющего парка отечественной АТ в России в настоящее время является актуальным и недостаточно изученным.

Многие учёные в России и за рубежом в своё время пытались подойти к вопросу оптимизации ТО с различных позиций. Так, например, Н.Н. Смирнов, Н.И. Владимиров, Ж.С. Черненко [2], G. Collin [3], предложили решение оптимальной периодичности ТО производить путём определения перечня работ по ТО комплекующих изделий (КИ) АТ, группировки работ по ТО ВС в определённые формы регламента, использования оценки экономического последствия отказа, который может быть предотвращён более частым проведением обслуживания. Н.Н. Смирнов, А.А. Ицкович [4], Р.А. Marks [5]

предложили использование критериев оптимальности процесса технической эксплуатации (ТЭ) на основе полученных доходов от использования ВС в целевом состоянии. В.В. Денисов, В.В. Козарук, В.С. Новиков [6] и S. Jung [7] предложили оценку эффективности ТО производить с помощью коэффициента технического использования, заданной вероятности отказа и прогнозирования технического состояния АТ. В.Г. Воробьёв, В.Д. Константинов, В.Г. Денисов и др. [8], J.P. Fielding [9] предложили расчёт периодичности регламентных работ с использованием потока отказов. Все эти и ряд других учёных затрагивали эксплуатацию АТ в обычных условиях экспоненциального распределения потока отказов с постоянной величиной плотности потока отказов. Но никто не сосредотачивал особое внимание на периодичности ТО стареющего парка ВС исходя из поведения КИ АТ при старении.

Задача данной статьи состоит в том, чтобы определить такую систему технического обслуживания ВС, которая бы упреждала возникающие отказы и неисправности, произвести разработку формул вычисления оптимальной периодичности ТО при старении ВС, используя классическую математическую теорию вероятностей и дифференциальных уравнений, а также теорию восстановления [10].

Старение ВС сопровождается ростом интенсивности отказов [5, 10] и необходимыми профилактическими мероприятиями, компенсирующими деградацию состояния КИ, увеличением простоя ВС на устранение отказов и неисправностей. Для решения поставленной задачи составим математическую модель простоя АТ, произведём моделирование процесса ТЭ ВС разными подходами.

Первая модель ТЭ. Полное время простоя ВС можно определить как функцию от числа выполненных периодических ТО ВС

$$T_{\Pi} = nT_{\text{ТОср}} + \frac{cT_{\text{В}}}{n}, \quad (1)$$

где T_{Π} – полное время простоя ВС за определённый период времени; n – число

выполненных периодических ТО ВС за определённый период времени; $T_{\text{ТОср}}$ – среднее или плановое время простоя ВС на выполнение периодического ТО за определённый период времени; c – постоянный коэффициент, связанный со спецификой обслуживания ВС, учитывающий простои ВС на устранение неисправностей при оперативном ТО; $T_{\text{В}}$ – время простоя ВС на устранение неисправностей при отказах КИ за определённый период времени.

Введём следующие ограничения: функция $T_{\Pi} = f(n)$ непрерывна и ограничена областью $t_{\text{ст}} < t < t_{\text{жц}}$, где t – наработка ВС в процессе эксплуатации, $t_{\text{ст}}$ – начало старения, $t_{\text{жц}}$ – продолжительность жизненного цикла ВС. Для достижения оптимальности функции найдем её экстремум. Для этого дифференцируем функцию (1) относительно n , получаем

$$\frac{dT_{\Pi}}{dn} = T_{\text{ТОср}} - \frac{cT_{\text{В}}}{n^2}. \quad (2)$$

В соответствии с теоремой существования и единственности задачи Коши дифференциальное уравнение (2) имеет единственное решение оптимального числа периодических ТО стареющего парка ВС

$$T_{\text{ТОср}} - \frac{cT_{\text{В}}}{n^2} = 0. \quad (3)$$

Решая уравнение (3), получаем

$$n^2 = \frac{cT_{\text{В}}}{T_{\text{ТОср}}}.$$

Отсюда оптимальное число периодических обслуживаний ВС

$$n^* = \left(\frac{cT_{\text{В}}}{T_{\text{ТОср}}} \right)^{1/2}, \quad (4)$$

где n^* – оптимальное число периодических ТО ВС для поддержания лётной годности за определённый период времени.

Подставляя (4) в (1), получаем

$$T_{\Pi}^* = \left(\frac{cT_{\text{В}}}{T_{\text{ТОср}}} \right)^{1/2} T_{\text{ТОср}} + \frac{cT_{\text{В}}}{\left(\frac{cT_{\text{В}}}{T_{\text{ТОср}}} \right)^{1/2}}.$$

После преобразования получаем формулу для расчёта полного оптимального времени простоя ВС для поддержания лётной годности

$$T_{\Pi}^* = 2(cT_{\text{ТОср}}T_{\text{В}})^{1/2}, \quad (5)$$

где T_{Π}^* – полное оптимальное время простоя ВС для поддержания лётной годности за определённый период времени.

Рассмотрим влияние надёжности воздушного судна на общее время простоя ВС и оптимизацию периодичности ТО. Для этого составим оптимизационную математическую модель надёжности и среднего времени простоя ВС для поддержания лётной годности.

Оптимизационная модель подчинена следующим правилам и ограничениям:

- отказавшее оборудование заменяется на исправное;
- периодическое обслуживание ВС выполняется через каждые Δt часов, отсчитанных от начального времени после последнего ремонта ВС на авиационном ремонтном заводе.

Для периодического обслуживания интервалы времени ТО запишем как

$$t = t_i + \Delta t, \text{ при } i = 0, 1, 2, \dots; 0 \leq \Delta t < t_i, \quad (6)$$

где t – текущая наработка ВС (в летных часах); t_i – время наступления i -й формы периодического обслуживания; i – номер формы периодического ТО, 0 – нулевое обслуживание после определения эффекта старения; Δt – период времени между обслуживаниями ВС, выраженный в налёте ВС в часах.

Так, например: форма 1 по регламенту РО-90 выполняется при налёте Ту-154М 500 часов, форма 2 выполняется при налёте 1000 часов, затем при налёте 1500 часов вновь выполняется форма 1, при налёте 2000 часов выполняется форма 2, при налёте 2500 часов вновь выполняется форма 1, а при налёте 3000 часов выполняется форма 3 и т.д. Т.е. период времени

между выполнением периодического ТО составляет 500 лётных часов.

Для $i = 1$ и $\Delta t = 0$ поддержание лётной годности обеспечивается периодическим ТО с оптимальной периодичностью через $\Delta t_{\text{опт}}$; надёжность ВС запишем в виде следующего равенства

$$R_t(t = \Delta t_{\text{опт}}) = R(T^{\text{опт}}), \quad (7)$$

где $\Delta t_{\text{опт}}$ – оптимальный промежуток времени между обслуживаниями ВС; $T^{\text{опт}}$ – оптимальная периодичность ТО ВС, $R(T^{\text{опт}})$ – надёжность ВС при оптимальной периодичности ТО.

При увеличении периодичности обслуживания уменьшается надёжность ВС и для $t = 2\Delta t_{\text{опт}}$ и $\Delta t = 0$ имеем

$$R_t(t = 2\Delta t_{\text{опт}}) = [R(T^{\text{опт}})]^2. \quad (8)$$

В этом случае воздушное судно используется в первые часы $\Delta t_{\text{опт}}$ без отказов и неисправностей. Далее в течение других часов $\Delta t_{\text{опт}}$ ВС используется по назначению после того, как будут устранены возникшие отказы и неисправности во время t_i .

При наработке ВС $0 < t_i < \Delta t_{\text{опт}}$ воздушное судно безотказно выполняет авиационные перевозки по расписанию. Таким образом, надёжность ВС обеспечивается его обслуживанием через оптимальный промежуток времени $\Delta t_{\text{опт}}$

$$R_t(t = 2\Delta t_{\text{опт}} + t_i) = [R(T^{\text{опт}})]^2 R(t_i). \quad (9)$$

В общем виде уравнение (9) примет вид

$$R_t(t = t_i + \Delta t_{\text{опт}}) = [R(T^{\text{опт}})]^i R(T^{\text{опт}}),$$

для $i = 0, 1, 2, 3, \dots;$

$$0 \leq t_i < \Delta t_{\text{опт}}. \quad (10)$$

Средняя периодичность ТО означает периодичность времени устранения неисправностей и выполнения периодического ТО для поддержания лётной годности

$$T_{\text{ТО ср}} = \int_0^{\infty} R_t(\Delta t_{\text{ОПТ}}) dt . \quad (11)$$

Оценивая уравнение (11), запишем составной период по диапазону $t_{\text{ст}} < t < t_{\text{жц}}$ следующим образом:

$$T_{\text{ТО ср}} = \sum_{t=0}^{\infty} \int_{t_i}^{t_{i+1}} R_t(t) dt . \quad (12)$$

В уравнении (12), составленном из уравнения (11), интервалы времени разделены на длины Δt .

Для $t = t_i + \Delta t$, заменяя в уравнении (12) надёжность выражением (10), получаем

$$T_{\text{ТО ср}} = \sum_{i=0}^{\infty} \int_{t_i}^{\Delta t_{\text{ОПТ}}} [R(T^{\text{ОПТ}})]^i R(T^{\text{ОПТ}}) dt . \quad (13)$$

В уравнении (13) для $t = t_i + \Delta t_{\text{ОПТ}}$, $dt = dt_i$ пределы станут 0 и $\Delta t_{\text{ОПТ}}$.

Таким образом, перестраивая уравнение (13), получаем

$$T_{\text{ТО ср}} = \sum_{i=0}^{\infty} [R(T^{\text{ОПТ}})]^i R(T^{\text{ОПТ}}) dt . \quad (14)$$

С тех пор как

$$\sum_{i=0}^{\infty} [R(T^{\text{ОПТ}})]^i = \frac{1}{1 - R(T^{\text{ОПТ}})} \quad (15)$$

уравнение (13) становится следующим

$$T_{\text{ТО ср}}^* = \frac{\int_0^{\Delta t_{\text{ОПТ}}} R(T^{\text{ОПТ}}) d\Delta t_{\text{ОПТ}}}{1 - R(T^{\text{ОПТ}})} , \quad (16)$$

где $T_{\text{ТО ср}}^*$ – оптимальное плановое время простоя для поддержания лётной годности ВС при оптимальной периодичности ТО за определённый период времени, час; $\Delta t_{\text{ОПТ}}$ – оптимальный период времени между периодическим ТО ВС; $R(T^{\text{ОПТ}})$ –

надёжность ВС при оптимальной периодичности ТО.

Таким образом, потребность в повышении надёжности ВС задаёт время простоя самолета на поддержание лётной годности. Используя данные по надёжности ВС и зная распределение среднего времени наработки на отказ, можно определить среднюю периодичность ТО стареющего парка для поддержания лётной годности ВС.

Вторая модель ТЭ. Эта модель подобна первой модели ТЭ. Модель можно использовать, чтобы определить оптимальную периодичность ТО ВС и минимизировать время простоя ВС. В этой оптимизационной системе полное время простоя является функцией времени наработки ВС или частоты периодического ТО. Математически вторая оптимизационная модель определяется следующей функцией:

$$T_{\Pi}(t) = T_{\text{ТО ср}}(t) + T_B(t) = \frac{t}{\theta} + \frac{\lambda(t)}{\mu} , \quad (17)$$

где $T_{\Pi}(t)$ – общее время простоя ВС в единицу времени; $T_{\text{ТО ср}}(t)$ – время простоя ВС на выполнение ТО в единицу времени; $T_B(t)$ – время простоя ВС на устранение отказов и неисправностей в единицу времени; t – наработка ВС; $\lambda(t)$ – интенсивность отказов на воздушном судне; μ – скорость устранения неисправностей; $1/\theta$ – коэффициент средней продолжительности технического обслуживания – отношение средней продолжительности периодического ТО к периодичности ТО, т.е. $1/\theta = T_{\text{ТО ср}} / \Delta t$, где Δt – период времени между ТО ВС.

Дифференцируя функцию (17) относительно t , получаем

$$\frac{dT_{\Pi}(t)}{dt} = \frac{1}{\theta} + \frac{d\lambda(t)}{d(t_i)} \cdot \frac{1}{\mu} . \quad (18)$$

Необходимое условие экстремума функции (18) даёт следующий результат

$$\frac{d\lambda(t)}{dt} = -\frac{\mu}{\theta} \quad (19)$$

Периодичность технического обслуживания будет оптимальная, когда левые и правые стороны формулы (19) будут равны. При этом время простоя ВС будет минимальное.

Примем, что интенсивность отказов систем ВС определяется формулой

$$\lambda(t) = fe^{-t}, \quad (20)$$

где f – функция интенсивности отказов систем ВС при $t = 0$.

Заменяя в формуле (19) интенсивность отказов из формулы (20), получаем

$$fe^{-t} = -\frac{\mu}{\theta} \quad (21)$$

Таким образом, равенство (21) даёт формулу для вычисления оптимальной периодичности ТО ВС

$$\Delta t^{\text{ОПТ}} = \ln \left[\frac{f\theta}{\mu} \right] \quad (22)$$

Подставляя в формулу (22) вместо функции интенсивности отказов (f) выражение $\frac{\lambda(t)}{e^{-t}}$, получаем

$$\Delta t^{\text{ОПТ}} = \ln \left[\frac{\lambda(t) \cdot \theta}{\mu \cdot e^{-t}} \right], \quad (23)$$

где $\Delta t^{\text{ОПТ}}$ – оптимальная периодичность выполнения ТО; $\lambda(t)$ – интенсивность отказов и неисправностей на ВС; μ – скорость восстановления отказов и неисправностей, $1/\theta$ – коэффициент средней продолжительности ТО.

Рассмотрим *третью оптимизационную модель ТЭ*. Если ВС обслуживается слишком часто, имеется опасность, что ТО может быть более дорогостоящим из-за таких факторов, как потеря производ-

ственного налёта, увеличение затрат на эксплуатационные материалы и заработную плату, чем потери из-за простоя ВС на устранение неисправностей при редком обслуживании. Эта модель ТЭ развита из условий современных рыночных отношений обеспечения максимальной прибыли при эксплуатации ВС. В модели использованы следующие правила и ограничения: работоспособность ВС восстанавливается при каждом периодическом ТО, интенсивность отказов КИ ВС и функция периодического ТО – величины постоянные; время периодического ТО и устранения неисправностей распределено по экспоненте; распределение неисправностей и скорости восстановления неисправностей ВС – постоянные величины.

Для развития уравнений модели использованы следующие символы: n – количество ТО, выполненных в единицу времени; $1/\theta$ – средняя продолжительность ТО; Π – прибыль от лётной эксплуатации ВС без учёта времени простоя ВС в единицу времени; $C_{\text{срТО}}$ – средняя стоимость ТО ВС в единицу времени; $C_{\text{В}}$ – средняя стоимость устранения неисправностей на ВС в единицу времени; $\lambda(t)$ – интенсивность возникновения отказов и неисправностей на ВС; μ – скорость устранения отказов и неисправностей.

Прибыль от эксплуатации ВС определяется следующей формулой

$$\begin{aligned} \Pi &= D - \zeta \cdot T_{\text{срТО}} - \zeta \cdot T_{\text{В}} - C_{\text{срТО}} - C_{\text{В}} = \\ &= D - \frac{B \cdot n}{\theta} - \frac{B\lambda(t)}{\mu} - \frac{n \cdot S_{\text{ТО}}}{\theta} - \frac{S_{\text{В}} \cdot \lambda(t)}{\mu}, \end{aligned} \quad (24)$$

где D – доходы от лётной эксплуатации ВС; ζ – стоимость одного часа простоя воздушного судна; $T_{\text{срТО}}$ – простой ВС на ТО; $T_{\text{В}}$ – простой ВС на устранении отказов и неисправностей; $C_{\text{срТО}}$ – средняя стоимость технического обслуживания; $C_{\text{В}}$ – средняя стоимость устранения отказов и неисправностей; $S_{\text{ТО}}$ – затраты на каждое ТО ВС; $S_{\text{В}}$ – затраты на каждое устранение отказа и неисправности ВС;

B – плановая выручка от использования ВС по назначению, руб./час налёта ВС.

Дифференцируя (24) относительно n , получаем

$$\frac{d\Pi}{dn} = -\frac{B}{\theta} - \frac{Bd\lambda(t)}{\mu dn} - \frac{S_{TO}}{\theta} - \frac{S_B d\lambda(t)}{\mu dn}. \quad (25)$$

Обнуление (25) и последующие преобразования дают следующее равенство

$$\frac{d\lambda(t)}{dn} = -\left[\frac{1}{\theta}(B + S_{TO})\right] / \left(\frac{B}{\mu} + \frac{S_B}{\mu}\right). \quad (26)$$

Периодичность n будет оптимальная, когда обе стороны формулы (26) равны, в этом случае прибыль будет максимальной.

Предположим, что интенсивность появления неисправностей воздушного судна определяется формулой (20). Использование (20) в (26) даёт следующее равенство

$$-fe^{-t} = \left[\frac{1}{\theta}(B + S_{TO})\right] / \left(\frac{B}{\mu} + \frac{S_B}{\mu}\right). \quad (27)$$

Преобразовав (26), получаем

$$n^{OPT} = \ln \left[\frac{\lambda(t) \cdot \theta \cdot (B + S_{TO})}{\mu \cdot e^{-t} \cdot (B + S_B)} \right], \quad (28)$$

где n^{OPT} – оптимальное количество периодических ТО ВС за определённый период времени; $\lambda(t)$ – интенсивность отказов на ВС; S_{TO} – затраты на каждое ТО ВС; S_B – затраты на каждое устранение отказа и неисправности ВС; B – плановая выручка от использования ВС по назначению, руб./час налёта ВС.

Эта модель может использоваться для вычисления оптимальной периодичности технического обслуживания ВС в условиях рыночной экономики для обеспечения максимальной прибыли от лётной эксплуатации.

Произведём проверку достоверности результатов работы путем выполнения

нижеследующих вычислений примера 1 и анализа результатов произведённых вычислений.

Пример 1. Исходные данные [1, 11]. Стандартное ТО ВС типа Ту-154М производится через 500 часов при выполнении регламента обслуживания РО-90. Средняя наработка на отказ КИ по статистическим данным авиакомпании «Самара» за 2008 г. составила 25000 ч. Плотность потока отказов КИ $\lambda(t) = 4 \cdot 10^{-5}$ час⁻¹, $\mu = 0,125$. Срок эксплуатации ВС – 25 лет, стоимость ТО $S_i = 5 \cdot 10^5$ руб., стоимость устранения отказа и неисправности $S_r = 5 \cdot 10^4$ руб. Среднее время простоя ВС на каждом ТО – 54 часа. Среднее время устранения одной неисправности – 8 часов в каждые 5 дней. Средний налёт одного ВС в год – 1800 ч. $c=2,5$; $n = 3,6$ обл./год; $R(t) = 0,00027$; $B = 3 \cdot 10^6$ руб./ч.

По формуле (4) вычисляем оптимальное число обслуживаний в год:

$$n^* = \left(\frac{cT_B}{T_{ТО\text{ср}}} \right)^{1/2} = \left(\frac{2,5 \cdot 8 \cdot 360 / 5}{54} \right)^{1/2} = 5,164.$$

Оптимальная периодичность ТО, исходя из оптимального числа обслуживаний в год и планового налёта ВС,

$$\Delta t_I^{OPT} = 1800 / 5,164 = 348,6 \text{ лётных часов.}$$

Полное оптимальное плановое время простоя ВС на периодическом ТО для поддержания лётной годности определяем по формуле (5)

$$T_{II}^* = 2(cT_{ТО\text{ср}}T_B)^{1/2} = 2(2,5 \cdot 54 \cdot 8)^{1/2} = 65,73 \text{ ч.}$$

Оптимальную периодичность ТО в месяц, исходя из плотности потока отказов и скорости восстановления отказов и неисправностей, определяем по формуле (23)

$$\Delta t^{OPT} = \ln \left[\frac{\lambda(t) \cdot \theta}{\mu \cdot e^{-t}} \right] = \ln \left[\frac{4 \cdot 10^{-5} \cdot 1}{0,125 e^{-150}} \right] = 141,96 \text{ ч.}$$

Оптимальное количество периодических ТО в год, исходя из требований

получения максимальной прибыли, определяем по формуле (28)

$$n^{OPT} = \ln \left[\frac{\lambda(t) \cdot \theta \cdot (B + S_i)}{\mu \cdot e^{-t} \cdot (B + S_r)} \right] =$$

$$= \ln \left[\frac{4 \cdot 10^{-5} \cdot 1 \cdot (3 \cdot 10^6 + 5 \cdot 10^5)}{0,125 \cdot (3 \cdot 10^6 + 5 \cdot 10^4) e^{-1800}} \right] = 1792,1ч,$$

или 4,9 обсл./год.

Оптимальный налёт ВС для выполнения периодического ТО, исходя из требований получения максимальной прибыли

$$\Delta t_2^{OPT} = 1800/4,9 = 367,3 \text{ лётных час.}$$

При облуживании стареющего парка ВС типа Ту-154М целесообразно вернуться от облуживания по регламенту РО-90 через 500 часов к облуживанию по регламенту РО-86 через 300 часов налёта ВС.

Таким образом, поставленные задачи решены, выполнено моделирование ТЭ стареющего парка ВС. Полученные в данной работе формулы позволяют определить оптимальную периодичность ТО, продолжительность ТО и подтверждают необходимость уменьшения налёта часов при облуживании стареющих ВС и увеличения количества облуживаний на планируемый период с целью оптимального поддержания лётной годности и эффективного использования стареющего парка АТ.

Библиографический список

1. Шапкин В.С. Состояние и перспективы развития гражданской авиации России // Доклад Генерального директора ГосНИИ ГА на коллегии гражданской авиации Минтранса России 28.02.2011 г.
2. Смирнов Н.Н., Владимиров Н.И. и др. Техническая эксплуатация летательных аппаратов. М.: Транспорт, 1990. 423 с.
3. Collin G. La maintenance des moteurs: des budgets tress lourds // Air et Cosmos. 1981. V.18, no 846. P. 195-219.
4. Смирнов Н.Н., Ицкович А.А. Облуживание и ремонт авиационной техники по состоянию. М.: Транспорт, 1987. 272 с.
5. Marks P.A. Design for Economy // Aircraft Engineering. 1981. V.53, no 3. P. 11-15.
6. Денисов В.Г., Козарук В.В. и др. Техническая эксплуатация пилотажно-навигационных комплексов. М.: Транспорт, 1992. 296 с.
7. Jung S. Houe Verfahren und Methoden der technischen Diagnostic und prognostic beim Tribwerk NK -8-4 // Techn. – okon. inf. Ziv. Luftfahit. 1981. V.17, no. 4. P. 193-195.
8. Воробьев В.Г., Константинов В.Д. и др. Техническая эксплуатация авиационного оборудования. М.: Транспорт, 1990. 296 с.
9. Fielding J.P. How Do Aircraft Break Down? Some Studies of Reliability Data Feedback // Aircraft Engineering. 1980. V.52, no. 11. P. 15-19.
10. Кокс Д., Смит В. Теория восстановления. М.: Советское Радио, 1967. 299 с.
11. Далецкий С.В. Формирование эксплуатационно-технических характеристик воздушных судов гражданской авиации. М.: Воздушный транспорт, 2005. 416 с.

Информация об авторе

Писаренко Виктор Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации авиационной техники, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика

С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: eat@ssau.ru. Область научных интересов: управление производственными процессами эксплуатации авиационной техники.

MODELS OF RELIABILITY AND DETERMINATION OF ACCEPTABLE PERIODICITY OF MAINTENANCE OF AGEING AIRCRAFT FLEET

© 2014 V. N. Pisarenko

Samara State Aerospace University, Russian Federation

Mathematical models of aircraft maintenance are discussed in the paper. The first model is that of aircraft downtime, which is a function of the number of periodically performed technical operations. The second model is that of optimal maintenance periodicity to support airworthiness in conditions of providing a given level of aircraft reliability. The third model is an optimization model of aircraft maintenance costs and providing maximum profit in market economy conditions. Using the theory of differential equations as well as the theories of reliability and renewal formulae of calculating optimal allotted aircraft downtime during periodic technical operations aimed at supporting the airworthiness as well as the formulae of optimal maintenance periodicity, optimal number of maintenance operations and getting maximum profits from flight operations have been found. The proposed models are investigated with a view to specifying acceptable maintenance periodicity with regard for the cost-benefit ratio of aircraft maintenance and the possibility of using them to optimize the maintenance of the ageing fleet of civil aviation. The calculations made show the necessity of decreasing maintenance periodicity in order to optimize the servicing and efficient use of the aircraft ageing fleet.

Aircraft, maintenance, fault, industrial use, fleet age, airplane downtime, optimization, reliability, profit.

References

1. Shapkin V.S. Condition and prospects of development of civil aviation of Russia // Report of the General Director of the State research institute of civil aviation at the meeting of the board of civil aviation of the ministry of transport of Russia 28.02.2011.
2. Smirnov N.N., Vladimirov N.I. et al. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya letatel'nykh apparatov [Aircraft maintenance]. Moscow: Transport Publ., 1990. 423 p.
3. Collin G. La maintenance des moteurs: des budgets tres lourds // Air et Cosmos. 1981. V. 18, no. 846. P. 195-219.
4. Smirnov N.N., Itskovich A.A. Obsluzhivanie i remont aviatsionnoy tekhniki po sostoyaniyu [Maintenance and repair of aeronautical equipment on condition]. Moscow: Transport Publ., 1987. 272 p.
5. Marks P.A. Design for Economy // Aircraft Engineering. 1981. V. 53, No. 3. P. 11-15.
6. Denisov V.G., Kozaruk V.V. et al. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya pilotazhno-navigatsionnykh kompleksov [Maintenance of navigation instrumentation]. Moscow: Transport Publ., 1992. 296 p.
7. Jung S. Houe Verfahren und Methoden der technischen Diagnostic und prognostic beim Tribwerk // Techn. –okon. inf. Ziv. Luftfahrt. 1981. V. 17, No. 4. P. 193-195.
8. Vorobiev V.G., Konstantinov V.D. et al. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya aviatsionnogo oborudovaniya [Maintenance of aeronautical equipment]. Moscow: Transport Publ., 1990. 296 p.
9. Fielding J.P. How Do Aircraft Break Down Some Studies of Reliability Data

Feedback // Aircraft Engineering. 1980. V. 52, no. 11. P. 15-19.

10. Cox D., Smit V. Teoriya vostanovleniya [Renewal Theory]. Moscow: Sovetskoe radio Publ., 1967. 229 p.

11. Daleckii S.V. Formirovanie ekspluatatsionno-tekhnicheskikh kharakteristik vozdushnykh sudov grazhdanskoy aviatsii [Formation of physical and operational characteristics of civil aircraft]. Moscow: Vozdushnyy transport Publ., 2005. 416 p.

About the author

Pisarenko Viktor Nikolaevitch, Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Aircraft Maintenance, Samara State Aerospace University,

Russian Federation. E-mail: eat@ssau.ru.
Area of Research: control of industrial processes of aeronautical equipment maintenance.