

УДК 656.7

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КАК УПРАВЛЯЮЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

© 2015 В.Н. Писаренко

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

Поступила в редакцию 08.09.2015

Рассматривается математическая модель управления эксплуатационной технологичностью авиационной техники, основанная на измерении показателей и параметров эксплуатации, обработки этих данных, анализе и выработке управляющего воздействия на объект эксплуатации.

Ключевые слова: авиационная техника, наработка, простой, ожидание, распределение отказов, надежность, управление, технологичность.

Необдуманное внедрение иностранных компонентов в авиационную транспортную систему России без всестороннего учета всех факторов эксплуатации и ремонта приводит к сверхнормативным простоям дорогостоящей авиационной техники (АТ) и срыву расчетных значений эксплуатационной технологичности (ЭТ). Поступление новых зарубежных воздушных судов (ВС) в отечественную гражданскую авиацию выявило ряд существенных проблем, в том числе и в ЭТ АТ. Выявление оценок и факторов управления ЭТ (Maintainability) приобретает особую актуальность и требует всестороннего анализа.

В отечественной и зарубежной технической литературе достаточно большое внимание уделено ЭТ, но однозначной формулировки этой проблемы нет. Так, например, по Смирнову Н.Н. и Чинючину Ю.М. «ЭТ – свойство конструкции летательного аппарата, заключающееся в приспособленности его к выполнению всего комплекса работ по техническому обслуживанию и ремонту с использованием наиболее экономичных технологических процессов» [1]. По Барзиловичу Е.Ю. и Воскобоеву В.Ф. «ЭТ летательного аппарата – совокупность конструктивно-технических свойств летательного аппарата, определяющая его приспособленность к техническому обслуживанию в реальных условиях эксплуатации» [2]. По Воробьеву В.Г., Константинову В.Д., Денисову В.Г. и др. «ЭТ – совокупность конструктивно-технологических свойств, определяющая его приспособленность к техническому обслуживанию, ремонту и выполнению других видов работ в условиях эксплуатации» [3]. По Смирнову Н.Н. и Ицковичу А.А. «ЭТ – совокупность конструктивно-технических свойств объекта, определяющих приспособленность к выполнению всех видов работ по обслуживанию и ремонту в принятых

условиях эксплуатации с использованием наиболее эффективных технологических процессов» [4]. По стандартам США технологичность описана в MIL-HDBK-470A [8] как: «Относительная неприужденность и экономия времени и ресурсов, с которыми изделие может быть сохранено или восстановлено к указанному состоянию, когда обслуживание выполнено квалифицированным персоналом, используя предписанные процедуры и ресурсы, на каждом предписанном уровне обслуживания и ремонта». В этом контексте, это – функция проекта. Но ЭТ – технологичность конструкции изделий АТ к выполнению работ технологического обслуживания [6] – параметр эксплуатационно-технической характеристики ВС, нацеленный на уменьшение времени обслуживания и ремонта, в противоположность обслуживанию, который является действием для восстановления и поддержания исправности АТ [4, 7]. Цель ЭТ состоит в том, чтобы максимизировать пригодность ВС к техническому обслуживанию и ремонту [5] и включает уменьшение времени, трудовых затрат и других ресурсов на техническое обслуживание и ремонт, упрощение обслуживания и использования ВС [8].

В качестве количественных показателей оценки ЭТ обычно принимаются продолжительность и трудоёмкость выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту, замене блоков, агрегатов бортовых систем и их удельные показатели т.п. Необходимый уровень ЭТ достигается обеспечением модульной конструкции, сокращением объемов работ по плановому техническому обслуживанию и частоты их проведения (путём повышения надёжности АТ), обеспечением удобных подходов к блокам и агрегатам, широким применением стандартизованных и унифицированных изделий на ВС и т.д.

Ученые в основном изучали саму проблему ЭТ, ее влияние на продолжительность ТО и на стратегию ТО, но не занимались изучением вопросов управления ЭТ АТ. В настоящей статье этот

Писаренко Виктор Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации авиационной техники. E-mail: victornpisarenko@gmail.com

недостаток устранен путем представления результатов исследования возможности управления эксплуатационной технологичностью, используя математическую теорию и методы оптимального управления [11].

Будем предполагать, что для рассматриваемого управляемого объекта – ВС выполняется следующая гипотеза теории оптимального управления [11] – какова бы ни была отличная от s_1 точка s фазового пространства состояния ВС, существует оптимальный (в смысле быстродействия) процесс перехода состояния ВС из точки s в точку s_0 .

Время, в течение которого осуществляется оптимальный переход из начальной точки в конечную точку, обозначим через $T(s)$. Иначе говоря, за время меньше, чем $T(s)$ перейти из точки s в точку s_0 невозможно.

Для того чтобы определить вероятность того, что обслуживание и (или) ремонт ВС, начинающийся во время $t = 0$, будет закончено ко времени t воспользуемся функцией ЭТ. Функция ЭТ АТ определяется следующим выражением [1]

$$M_{\omega}(t) = \int_0^t f_{\omega}(t) dt, \quad (1)$$

где t – время, $M_{\omega}(t)$ – функция ЭТ АТ, $f_{\omega}(t)$ – функция плотности распределения ЭТ АТ.

В случае $t \rightarrow \infty$ $M_{\omega}(t) = \int_0^{\infty} f_{\omega}(t) dt$ представ-

ляет собой функцию длительности жизненного цикла АТ.

Таким образом, модель эксплуатационной технологичности АТ может быть представлена как определенное количественное представление эксплуатации АТ и анализа результатов эксплуатации, которые определяются группой параметров ЭТ характеризующихся временем простоя, эксплуатационной надежностью и функцией ЭТ АТ.

Введем коэффициент пропорциональности $E(T_{(s)})$ между относительным распределением продолжительности технического обслуживания и ремонта $T_{(s)}$ и относительным распределением функции плотности распределения ЭТ (вероятности времени обслуживания и ремонта АТ)

$$E(T_{(s)}) = dT_{(s)} / df_{\omega}(t). \quad (2)$$

Используя свойство инвариантности дифференциалов, запишем уравнение (1) в следующем виде

$$\left. \begin{aligned} \frac{dM_{\omega}(t)}{dt} &= af_{\omega}(t) \\ ds &= adt \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

где a – скорость изменения состояния АТ (скорость обслуживания и ремонта АТ), s – текущее состояние АТ.

Систему уравнений (3) решим на оптимум в смысле быстродействия перехода АТ из фазового неисправного состояния $s_i, i=1,2..n$ в исправное

фазовое состояние s_0 , используя «принцип максимума Понтрягина» [11], при этом конечную точку фазового пространства будем считать фиксированной, а в качестве начальной точки будем рассматривать различные точки фазового пространства состояния АТ. Приняв скорость изменения состояния АТ a за счет управляющего воздействия на ЭТ M_{ω} и, введя фазовые координаты состояния текущего состояния АТ $s_1 = M_{\omega}(t)$ и $s_2 = f_{\omega}(t)$ фазового пространства срока обслуживания и ремонта $T_{(s)}$, получаем систему дифференциальных уравнений состояния АТ в фазовых координатах

$$\left. \begin{aligned} \frac{ds_1}{dt} &= as_2 \\ \frac{ds_2}{dt} &= M_{\omega} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Учитывая, что срок технического обслуживания и ремонта $T_{(s)}$ не может быть беспредельным, введем ограничение по оптимальному времени $T_{(s)} \leq t$. Тогда задача оптимального управления обслуживанием и ремонтом АТ, математически может быть сформулирована следующим образом: требуется найти оптимальный алгоритм, согласно которому фазовая точка состояния АТ переместится из положения s_1, s_2 в положение s_0 за минимальное время.

Для рассматриваемого случая функция Гамильтона [12] описания траектории движения состояния АТ в задаче оптимального управления состоянием АТ

$$H = y_1 s_2 a + y_2 M_{\omega}, \quad (5)$$

где ψ_1, ψ_2 – вспомогательные переменные, для определения которых имеется система уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\psi_1}{dt} &= -\frac{dH}{ds_1} \\ \frac{d\psi_2}{dt} &= -\frac{dH}{ds_2} \end{aligned} \right\}. \quad (6)$$

Продифференцировав, получаем следующую систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\psi_1}{dt} &= 0 \\ \frac{d\psi_2}{dt} &= -\psi_1 a \end{aligned} \right\}, \quad (7)$$

которая удовлетворяет функции вида

$$\left. \begin{aligned} y_1(t) &= C_1 \\ y_2(t) &= C_2 - C_1 at, \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

где C_1, C_2 – постоянные интегрирования.

Если в каждый момент времени функция Гамильтона достигает максимума относительно управляющих параметров (при некоторых дополнительных условиях и ограничениях, наложенных на эти параметры), траектория оказывается оптимальной.

Функция H будет максимальна относительно M_w при условии

$$\frac{dH}{dM_w} = \psi_1(t) + \psi_2(t)E(T_{(s)}) = 0. \quad (9)$$

Подставляя значение $y_1(t)$ и $y_2(t)$ в уравнение (9), находим

$$C_1 = (C_1at - C_2)E(T_{(s)}), \quad (10)$$

откуда

$$E(T_{(s)}) = \frac{C_1}{C_1at - C_2} = \frac{1}{at - \frac{C_2}{C_1}}. \quad (11)$$

Из уравнения (11) можно сделать заключение о том, что критерием оптимальности системы - единственным параметром характеризующим состояние АТ в диапазоне изменения состояний, ограниченном согласно уравнению изменения состояний, является его функция $E(T_{(s)})$ изменяющаяся по линейно убывающему закону. Приняв обозначение $\beta_1 = C_2/C_1$ имеем

$$E(T_{(s)}) = \frac{1}{at - \beta_1}. \quad (12)$$

Подставив значение $E(T_{(s)})$ в начальное условие, определяем функцию управления ЭТ АТ

$$M_w(t) = \frac{dT_{(s)}}{dt} \cdot \frac{1}{at - \beta_1}. \quad (13)$$

Это оптимальный закон управления ЭТ АТ, который можно сформулировать следующим образом: для того, чтобы процесс управления обслуживанием и ремонтом АТ решал заданную основную задачу и являлся оптимальным в смысле быстрогодействия, существует экстремальная функция продолжительности обслуживания и ремонта относительно областей управления ЭТ АТ.

Итак управление ЭТ означает вероятность, что воздушное судно будет восстановлено к приемлемому рабочему состоянию за определенное время с минимальными затратами времени, труда и других ресурсов, упрощение обслуживания, ремонта и использования АТ.

Таким образом, приведенные аргументы и разработанные формулы позволяют обосновать новый подход к ЭТ как управляющему параметру оптимизации процесса технического обслуживания и ремонта АТ. Управление ЭТ заключается в выполнении технического обслуживания и ремонта АТ в оптимальное время и минимально возможные сроки, и для этого необходимо учитывать не только среднее время простоя ВС при техническом обслуживании и ремонте, но и время простоя из-за административных ограничений, а также время логистической задержки на доставку необходимых запасных частей и расходных материалов [2].

Управление ЭТ направлено на предупреждение простоев АТ из-за отказов и неисправностей комплектующих изделий ВС путем принятой в эксплуатации стратегий технического обслуживания и ремонта АТ (по состоянию и наработке). В случае проактивного управления состоянием АТ управляющее воздействие Y_j , определяется попаданием АТ в определенное состояние в процессе контроля и регистрации состояния при эксплуатации, прогноза тенденции изменения технического состояния и формируется в зависимости от определенной величины отклонения X_i определяющих параметров X от их нормативного значения X_n .

Управляющее воздействие на АТ при эксплуатации и ремонте определяется выражением

$$Y_j = f(X_n - X_i). \quad (14)$$

В качестве определяющих параметров используются выходные параметры уровня ЭТ, определяемого временем простоя, эксплуатационной надежностью, функцией ЭТ и тенденции изменения технического состояния компонентов ВС. Управление ЭТ АТ осуществляется по замкнутой схеме и формируется по величине отклонения определяющих параметров. В этом случае достигается наиболее сильное влияние на управление ЭТ при эксплуатации АТ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов Н.Н., Чинючин Ю.М. Эксплуатационная технологичность летательных аппаратов. М.: Транспорт, 1994. 256 с.
2. Барзилович Е. Ю., Воскобоев В. Ф. Эксплуатация авиационных систем по состоянию, М., 1981. 197 с.
3. Воробьев В.Г., Константинов В.Д., Денисов В.Г. и др. Техническая эксплуатация авиационного оборудования. М.: Транспорт, 1990. 296 с.
4. Смирнов Н.Н., Ицкович А.А. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию. М.: Транспорт, 1987. 272 с.
5. Смирнов Н.Н., Мулкиджанов И.К. Эксплуатационная технологичность транспортных самолетов. М.: Транспорт, 1972. 208 с.
6. Далецкий С.В. Формирование эксплуатационно-технических характеристик воздушных судов гражданской авиации. М.: Транспорт, 2005. 416 с.
7. AMCP 706-134 Engineering Design Handbook: Maintainability Guide for Design / Washington, D.C., 1972, 176 p.
8. Department of Defense handbook. Designing and developing maintainable products and systems. Volume I. 1997. URL: http://www.barringer1.com/mil_files/MIL-HDBK-470A.pdf (дата обращения 15.07.2015).
9. Niebel B.W. Engineering Maintenance Management. New York, Marcel Dekker, 1994. 247 p.
10. Smith D.J. and Babb A.H. Maintainability Engineering. New York, John Wiley & Sons, 1973. 234 p.
11. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В.,

Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. М.: Наука, 1976, 392 с.

12. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. М.: Наука, 1981. 720 с.

**MAINTAINABILITY AS THE CONTROL CHARACTERISTIC
OF MAINTENANCE AND REPAIR OF AN AERONAUTICAL ENGINEERING**

© 2015 V.N. Pisarenko

Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolyov
(National Research University)

The mathematical model of control of maintainability of an aeronautical engineering based on measurement of indexes and parameters of maintenance, processing of these data, analysis and manufacture of control action on object of maintenance is considered.

Key words: an air miracle, operating time, idle time, expectation, distribution of failures, reliability, control, manufacturability.