

УДК 629.735.083.:65

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВИАЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

© 2012 В.П. Махитько<sup>1</sup>, М.А. Черников<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ульяновское высшее авиационное училище гражданской авиации (институт)

<sup>2</sup> ООО «Авиакомпания Волга-Днепр», г. Ульяновск

Поступила в редакцию 05.10.2012

Предложена формальная постановка задач технической эксплуатации авиационных изделий для реализации автоматизированными средствами и управления техническим обслуживанием и ремонтом функциональных систем. Рассматриваются изменения технического состояния и описание математической модели на основе априорной и апостериорной характеристик технического состояния авиационных изделий. Ключевые слова: авиационные изделия, техническое обслуживание, математические модели, априорная и апостериорная характеристика, функциональная система.

Важная составная часть системы технической эксплуатации авиационных изделий (АИ) - система технического обслуживания и ремонта (ТОиР). Она представляет собой совокупность взаимодействующих структур и средств ТОиР, инженерно-технического состава и соответствующей программы.

Целью системы ТОиР является управление техническим состоянием АИ в течение их срока службы или ресурса до списания, позволяющее обеспечить: заданный уровень готовности изделий к использованию по назначению и их работоспособность в процессе эксплуатации, минимальные затраты времени, труда и средств на выполнение ТОиР АИ [1].

В процессе эксплуатации АИ, их узлы и агрегаты подвергаются постоянному воздействию ряда факторов, по-разному влияющих на их техническое состояние.

Факторы, влияющие на изменение технического состояния, можно разделить на: конструктивно-производственные, определяющие начальное качество АИ; эксплуатационные, отражающие изменение технического состояния в процессе эксплуатации.

К первой группе факторов относятся: выбор схемных и конструктивных решений, элементов и материалов; технология изготовления деталей и узлов, сборки и испытания функциональных систем АИ; качество производства; характеристики текущего и выходного контроля. Во вторую группу входят эксплуатационные факторы, которые могут быть субъективными и объективными.

Субъективные факторы связаны с воздействием обслуживающего персонала и могут способствовать как повышению, так и снижению на-

дежности. Они связаны с выбором правильных режимов эксплуатации АИ, их технического обслуживания и ремонта, квалификацией обслуживающего персонала и качеством его работы.

Объективные факторы отражают: условия работы АИ, включающие значения и периодичность повторения эксплуатационных нагрузок (статистических и динамических), испытываемых агрегатами и узлами в процессе нормальной эксплуатации; температурные режимы; физико-химические свойства рабочих жидкостей; воздействие окружающей среды (температура, влажность, давление). Характеристики эксплуатационных факторов изменяются в широких пределах, и их воздействие на техническое состояние АИ носит случайный характер. Влияние эксплуатационных факторов проявляется в виде отклонений от номинала их параметров вследствие износа, старения деталей и разрегулировки агрегатов.

Многообразие и стохастический характер воздействия эксплуатационных факторов на функциональные системы АИ приводят к тому, что при одной и той же наработке или продолжительности эксплуатации функциональные системы АИ имеют различное фактическое состояние. В связи с этим наработка или календарный срок службы не характеризуют однозначно техническое состояние АИ в процессе эксплуатации. При этом к состояниям эксплуатации следует отнести: использование по назначению (полет), техническое диагностирование, техническое обслуживание, ремонт, готовность, ожидание попадания в каждое из указанных состояний и др.

Из теории надежности известно, что неисправное состояние характеризуется несоответствием любого параметра (признака) требованиям, установленным нормативно-технической документацией. Неработоспособное состояние

*Махитько Вячеслав Петрович, кандидат экономических наук, доцент. E-mail: tgr-1945@mail.ru*

*Черников Максим Александрович, специалист по настройкам изделий. E-mail: 4maks@bk.ru*

означает несоответствие требованиям, установленным НТД только тех параметров функциональных систем АИ, которые характеризуют способность выполнять заданные функции надежности.

Надежность АИ характеризуется его способностью без отказов обеспечивать перевозки заданного качества и требований или отвечать своему технологическому назначению в течение заданного периода времени. Надежность АИ обусловлена его безотказностью, долговечностью и ремонтпригодностью. Следует заметить, что долговечность АИ зависит не только от специфических качеств отдельных технических средств и условий его эксплуатации, но и от темпов технического прогресса, которые определяют моральный износ техники и ограничивают экономически целесообразную долговечность изделий временем, в течение которого появляются более совершенные АИ.

Производительность АИ определяется количеством грузов, пассажиров перевозимых в единицу времени. Экономичность эксплуатации АИ определяется расходом сырья, материалов, топлива, а также стоимостью вспомогательных услуг, необходимых для создания нормальных условий функционирования АИ.

Известно, что экономическая эффективность машин определяется показателем [2]:

$$E_M = (C_{Т.Н} + C_{Т.П}) / C_{П}, \quad (1)$$

где  $(C_{Т.Н} + C_{Т.П})$  — экономия живого труда, полученная в процессе функционирования машины;  $C_{Т.Н}$  — стоимость, обусловленная необходимым трудом;  $C_{Т.П}$  — стоимость, обусловленная прибавочным трудом;  $C_{П}$  затраты труда на изготовление машины (прошлого, овеществленного).

Тогда, закон экономической целесообразности применения машин описывается неравенством  $E_M > 1$ , или согласно соотношению (1)

$$C_{П} < C_{Т.Н} + C_{Т.П}. \quad (2)$$

Следовательно, применение машин способствует росту общественного производства, если овеществленный в них труд меньше сберегаемого их применением живого труда.

АИ должны также удовлетворять требованиям эргономики, технической эстетики, экологии. Критерии эргономики предполагают согласованность функционирования технических систем с физиологическими и нервно-психическими особенностями человека. Оптимальное сочетание способностей человека и возможностей техники в системе человек — машина существенно повышает эффективность эксплуатационных характеристик АИ. Техническая эстетика определяет основные требования и направления формирования гармоничной предметной среды,

создаваемой средствами техники с целью улучшения условий труда, быта и отдыха людей. С расширением масштабов технического прогресса, появлением и развитием новых отраслей техники возрастает значимость факторов экологии, связанных с сохранением и улучшением природной среды, оптимизацией условий жизнедеятельности человека, предотвращением нежелательных и вредных последствий воздействия производственных и энергетических свойств АИ на атмосферу, флору и фауну.

Следовательно, эксплуатация АИ и создание новых видов АИ обуславливает необходимость учета человеческого фактора и проведения мероприятий по совершенствованию эксплуатационных характеристик АИ с целью охраны окружающей среды.

Таким образом, проблема оценки, анализа и обеспечения эффективности эксплуатации АИ является многокритериальной. Интегральный критерий эффективности должен быть сформирован на основании показателей: надежности, производительности, экономичности, эргономичности, технической эстетичности. Поскольку на основании такого числа показателей, отражающих существенные свойства АИ можно сформировать несколько интегральных критериев, необходимо решать проблему выбора оптимального критерия.

Для решения этой проблемы недостаточно использовать модели и объективные расчеты. Лица, принимающие решения по вопросам организации ТООР АИ и несущие ответственность за эффективность последнего, являются единственными источниками информации, позволяющими оценить варианты решений и выбрать из них наилучший. Эта информация субъективная, но является единственно возможной основой объединения основных показателей эффективности АИ в единый интегральный критерий, позволяющий оценить варианты решений.

В сложных системах критерии оптимальности не носят абсолютного характера. Их всегда задают и формируют в зависимости от конкретных условий. При диалектико-математическом толковании критерии оптимальности выступают как средство анализа и описания целостного поведения систем и вместе с тем как законы, связывающие категории возможности и действительности [3].

Таким образом, при решении многокритериальных задач необходимо обеспечить взаимосвязку критериев по следующей схеме:

$$K \rightarrow \{K_i\} \rightarrow \{K_{ij}\} \rightarrow \{K_{ijk}\}, \quad (3)$$

где  $K$  — интегральный критерий эффективности системы ТООР;  $K_i$  — комплексные критерии эффективности системы ТООР ( $i = \overline{1, m}$ );  $K_{ij}$  —

основные критерии эффективности подсистем системы ТООР ( $j = \overline{1, n}$ );  $K_{ijk}$  — единичные критерии эффективности отдельных элементов (мероприятий, работ) в процессе ТООР ( $k = \overline{1, s}$ ).

Для построения системы критериев и практической реализации идеи об органической их взаимосвязи необходимо, чтобы критерии имели количественное выражение (желательно в относительных единицах), отражали качественные сдвиги, характеризующие развитие системы ТООР, обеспечивали количественное обоснование решений с учетом влияния систем высшего и низшего уровней, а также решение практических задач управления эффективностью ТООР, имели физический смысл и были статистически устойчивыми (имели бы минимальную дисперсию), имели иерархическую структуру, соответствующую структуре системы ТООР; были согласованы и взаимосвязаны с критериями и показателями эффективности эксплуатационных характеристик АИ.

Проблема формирования единого интегрального критерия эффективности в соответствии со схемой (3) весьма сложная, но вполне осуществимая. На практике применяют три формы модели интегрального критерия: аддитивную, мультипликативную и смешанную.

Аддитивную форму интегрального критерия эффективности  $K$  в соответствии со схемой (3) можно построить следующим образом:

$$K = \sum_{i=1}^m \alpha_i K_i; \quad (4)$$

$$K_i = \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} K_{ij}; \quad (5)$$

$$K_{ij} = \sum_{k=1}^s \alpha_{ijk} K_{ijk}. \quad (6)$$

После подстановки (6) в (5) получаем

$$K_i = \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \sum_{k=1}^s \alpha_{ijk} K_{ijk}. \quad (7)$$

Подставив (7) в (5), находим

$$K_i = \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \sum_{k=1}^s \alpha_{ijk} K_{ijk}, \quad (8)$$

где  $\alpha_i$ ,  $\alpha_{ij}$  и  $\alpha_{ijk}$  — весовые коэффициенты соответствующих критериев.

Мультипликативная форма интегрального критерия эффективности  $K$  построена следующим образом:

$$K = \prod_{i=1}^m K_i^{\alpha_i}; \quad (9)$$

$$K = \prod_{j=1}^n K_{ij}^{\alpha_{ij}}; \quad (10)$$

$$K = \prod_{k=1}^s K_{ijk}^{\alpha_{ijk}}; \quad (11)$$

После соответствующих подстановок получаем

$$K = \prod_{j=1}^n \left( \prod_{k=1}^s K_{ijk}^{\alpha_{ijk}} \right)^{\alpha_{ij}}; \quad (12)$$

$$K = \prod_{i=1}^m \left[ \prod_{j=1}^n \left( \prod_{k=1}^s K_{ijk}^{\alpha_{ijk}} \right)^{\alpha_{ij}} \right]^{\alpha_i}. \quad (13)$$

Смешанная форма модели критерия эффективности  $K$  представляет собой сочетание аддитивных и мультипликативных форм моделей отдельных составляющих критериев (комплексных, основных и единичных).

Весовые коэффициенты  $\alpha_i$ ,  $\alpha_{ij}$  и  $\alpha_{ijk}$  могут быть получены способом экспертных оценок или путем обработки статистических данных. В обоих случаях должны быть выполнены условия

$$\sum_{i=1}^m \alpha_i = 1; \quad \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} = 1; \quad \sum_{k=1}^s \alpha_{ijk} = 1. \quad (14)$$

Если статистических данных, необходимых для определения весовых коэффициентов, нет и нет экспертов, которые могли бы указать числовые значения этих коэффициентов с учетом условий (14), можно использовать формулу

$$\alpha_i = e^{-i/m} / \sum_{i=1}^m e^{-i/m}, \quad (15)$$

где  $i$  — порядок критерия  $K_i$  в ранговом ряду его значимости (веса);  $m$  — число критериев, используемых для построения модели интегрального критерия  $K$ .

Аналогичные формулы можно предложить для определения коэффициентов  $\alpha_{ij}$  и  $\alpha_{ijk}$ .

Порядок расчета коэффициентов  $\alpha_i$  по формуле (15) следующий. Выбирают критерии  $K_i$ ,  $K_{ij}$  и  $K_{ijk}$ ; располагают каждую группу критериев в ранговый ряд, присваивая наиболее важному критерию номер  $i = 1$ , второму по важности —  $i = 2$  и т. д., вплоть до  $i = m$ . Затем вычисляют значения  $e^{-i/m}$  и определяют по формуле (15) значения  $\alpha_i$ . Закончив расчет, обязательно проверяют выполнение условий (14). Аналогично начисляют коэффициенты  $\alpha_{ij}$  и  $\alpha_{ijk}$ .

Несколько слов о форме выражения критериев. Основная форма представления критериев — отношение интересующих нас значений показателей к их целевым значениям. Модели интегрального показателя формируют аналогично моделям интегрального критерия [см. (3)]:

$$W > \{ W_i \} > \{ W_{ij} \} \{ x_{ijk} \}, \quad (16)$$

где  $W$  — интегральный показатель эффективно-

сти системы;  $W_i$  — комплексные показатели эффективности системы;  $W_{ij}$  — основные показатели эффективности системы;  $x_{ijk}$  — единичные показатели эффективности системы.

Модели формирования единичных критериев можно представить в виде

$$K_{ijk} = \begin{cases} x_{ijk} / x_{ijk}^u & \text{если увеличение показателя;} \\ 2 - x_{ijk} / x_{ijk}^u & \text{если уменьшение показателя} \end{cases} \quad (17)$$

где  $x_{ijk}$  — фактически достигнутое или прогнозируемое значение показателя;  $x_{ijk}^u$  — целевой норматив показателя.

Если значения единичных критериев  $K_{ijk}$  известны, по приведенным формулам можно получить значения основных, комплексных и интегральных критериев эффективности системы.

Если для анализа нужен только конечный результат функционирования системы, для количественного обоснования решений достаточно построить интегральный критерий типа эффект - затраты:

$$K = W_k / W_{ц}, \quad (18)$$

где

$$W_k = E_k / E_0; \quad W_{ц} = E_{ц} / E_0, \quad (19)$$

где  $W_k$  и  $W_a$  — конечное и целевое значения интегрального показателя эффективности;  $E_k$ ,  $E_{ц}$  и  $E_0$  — конечное, целевое и базовое значения интегрального измерителя эффективности результата с едини-

цы затрат. После подстановки (19) в (18) получаем

$$K = E_k / E_{ц} \quad (20)$$

или с учетом эффективности результата с единицы затрат

$$K = \frac{P_k}{P_{ц}} \frac{Z_{ц}}{Z_k} \quad (21)$$

где  $P_k$  и  $P_{ц}$  — конечный и целевой результаты функционирования системы;  $Z_{ц}$  и  $Z_k$  — целевые и конечные затраты ресурсов.

Таким образом, для оценки эффективности эксплуатационных характеристик АИ, практической реализации взаимосвязанных показателей надежности, производительности и экономичности функциональных систем АИ, а также результативности при решении задач управления ТООИР и последующего совершенствования ТООИР, целесообразно использовать три формы модели интегрального критерия эффективности АИ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1990.
2. Голубев И.С., Червоный А.А. Моделирование эффективности воздушного транспорта. М.: РИО МИГА, 1986.
3. Экономическая эффективность управленческих и хозяйственных решений: Справочник / Е.Г. Яковенко, В.Ф. Карабасов, А.В. Горбунов. М.: Знание, 1990.

## ESTIMATION OF EFFICIENCY TECHNICAL CONDITION OF AVIATION PRODUCTS

© 2012 V.P. Mahitko<sup>1</sup>, M.A. Chernikov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ulyanovsk Higher Civil Aviation School (Institute)

<sup>2</sup>Open Society "Aviacompany "Volga-Dnepr", Ulyanovsk

The formal determination of aircraft maintenance cost is considered, which may be implemented through automated aids and aviations of products functioning systems maintenance and repair control. Technical condition changes are considered and the mathematical model based a priori and a posteriori characteristics of aviations products technical condition is described.

Key words: aviations of products, technical condition, mathematical model, a priori and a posteriori characteristics, functioning system.