

УДК 629.735.017.84

ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ТРЕБОВАНИЯМ НОРМ ЛЕТНОЙ ГОДНОСТИ

И.Д. ДАШКОВ, Б.В. ЗУБКОВ

В статье рассматриваются вопросы определения вероятности появления событий, связанных с изменением технического состояния элементов, касающихся непосредственно оценки соответствия функциональных систем воздушных судов требованиям Норм летной годности, которые позволили определить критерии уровня безопасности полетов, используемые в системе управления надежностью авиационной техники.

Ключевые слова: воздушное судно, функциональные системы, функциональные уравнения надежности, особая ситуация в полете.

Для решения уравнений надежностных состояний системы необходимо знать значения вероятности P_{jk} не появления j -го состояния у k -го элемента. В общем случае число состояний элемента в соответствии с принятой в Нормах летной годности (НЛГ) классификацией особых ситуаций, к которым приводит отказ, равно 4, т.е. $j = 0, 4$.

Пусть событие A означает отказ элемента, а события H_j , которые обозначим гипотезами, означают появление у элемента j -го состояния. События H_j несовместимы, т.е. появиться одновременно не могут. Тогда в соответствии с формулой полной вероятности имеем

$$F(A) = \sum_{j=0}^4 F(H_j) F(A/H_j), \quad (1)$$

где $F(A)$ - вероятность отказа элемента; $F(A/H_j)$ - условная вероятность отказа элемента при условии появления у него H_j состояния.

Как известно, вероятность одновременного появления двух событий C и D определяется соотношением

$$F(CD) = F(C) \cdot F(D/C) = F(D) \cdot F(C/D). \quad (2)$$

Тогда

$$F(H_j) \cdot F(A/H_j) = F(A) \cdot F(H_j/A). \quad (3)$$

Подставляя это соотношение в формулу (1), и вынося $F(A)$ из-под знака суммы, получаем

$$\sum_{j=0}^4 F(H_j/A) = 1. \quad (4)$$

Это равенство означает, что гипотезы H_j образуют полную группу несовместимых событий. Следовательно

$$F\left(\sum_{j=0}^4 H_j\right) = \sum_{j=0}^4 F(H_j) = 1. \quad (5)$$

Теперь оперируя полученными результатами, нетрудно определить вероятность появления j -го состояния элемента. Пусть на испытания поставлено N элементов. В некоторый момент времени отказало n элементов. Пусть среди них n_j отказало из-за появления j -го состояния.

Тогда $n = \sum_{j=0}^4 n_j$.

Вероятность отказа элемента будет равна $F(A) = \frac{n}{N}$. Тогда легко показать, что $F(H_j)$ будет равна

$$F(H_j) = \frac{n_j}{n} \cdot \frac{n}{N} = \frac{n_j}{N} F(A). \quad (6)$$

Следовательно, если нам известна вероятность отказа k -го элемента системы $F_k(t)$ и число n_{jk} снятых с эксплуатации элементов с j -м состоянием из общего количества n_k отказавших элементов, то вероятность появления у k -го элемента j -го состояния будет равна

$$F_{jk} = \omega_{jk} F_k(t), \quad (7)$$

где $\omega_{jk} = \frac{n_{jk}}{n_k}$ - относительная частота появления j -го состояния.

Видно, что $\sum_{j=0}^4 \omega_{jk} = 1$. Очевидно, что:

$$F_k(t) = \sum_{j=0}^4 F_{jk}(t); \quad (8)$$

$$P_{jk}(t) = 1 - F_{jk}(t); \quad (9)$$

$$P_k(t) = 1 - F_k(t). \quad (10)$$

Таким образом, значения F_{jk} будут определяться из уравнения

$$F_{jk} = \omega_{jk} \cdot \left(1 - e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \right), \quad (11)$$

где $\lambda(t)$ - интенсивность отказов k -го элемента ВС.

Рассмотрим интенсивность появления состояний для группы элементов. Пусть имеется последовательное соединение F_{jk} элементов, которым поставлены в соответствие вероятности появления состояний. Вероятность непоявления у соединения состояния $j - (P_j)$ к моменту времени T будет равна

$$P_j = \prod_{k=1}^N P_{jk} = \prod_{k=1}^N (1 - \omega_{jk} F_k). \quad (12)$$

Тогда интенсивность отказов группы будет равна

$$\lambda_{jc} = -\frac{1}{P_j(T)} \cdot \frac{dP_j}{dx} \Big|_{x=T} = \frac{\frac{d}{dx} \left[\prod_{k=1}^N (1 - \omega_{jk} F_k) \right]_{x=T}}{\prod_{k=1}^N [1 - \omega_{jk} F_k(T)]}. \quad (13)$$

Так как $\frac{dP}{dx} = -\frac{dF}{dx}$, то имеем

$$\lambda_{jk} = \sum_{k=1}^N \frac{\omega_{jk} \lambda_k [1 - F_k(T)]}{1 - \omega_{jk} F_k(T)}. \quad (14)$$

При $\omega_{jk} = 1$ получаем известную формулу $\lambda_c = \sum_{k=1}^N \lambda_k$.

Для параллельного соединения N элементов с j -ми состояниями также получаем уравнение

$$\lambda_{jc} = \frac{\prod_{k=i}^N \omega_{jk} F_k}{1 - \prod_{k=i}^N \omega_{jk} F_k} \cdot \sum_{k=i}^N \lambda_k \left(\frac{1}{F_k} - 1 \right). \quad (15)$$

В связи с тем, что каждому функциональному состоянию системы поставлена особая ситуация полета, то для оценки функциональных систем необходимо использовать тот же принцип, который применяется при оценке особых ситуаций.

Примем интенсивность образования состояний функциональных систем с помощью λ_{ic} . Тогда очевидно, что $\lambda_{ic} \leq \lambda_{ic}^*$, где λ_{ic}^* - некие нормируемые значения.

Тогда вероятность появления состояния S_i ФС, непрерывно работающей в течение всего полета, должна оцениваться по формуле

$$\lambda_{ic}^* \geq \frac{1}{T} \left[1 - \frac{1 - F_{Si}(T+t)}{1 - F_{Si}(T)} \right]. \quad (16)$$

Для оценки вероятности появления S_i состояния ФС, которая работает лишь некоторое время t_ϕ в течение полета, должны применяться формулы

$$\frac{\lambda_{ic}^*}{\nu} \geq 1 - \frac{1 - F_{Si}(T+t)}{1 - F_{Si}(T)}; \quad (17)$$

$$\frac{\lambda_{ic}^*}{Q(B)} \geq 1 - \frac{1 - F_{Si}(T+t)}{1 - F_{Si}(T)}, \quad (18)$$

где $\nu = \frac{T_\phi}{T}$; $Q(B) = \frac{Q(B)}{T}$.

$Q(B)$ - вероятность возникновения фактора B , требующего включения в работу системы.

Вероятности состояний $F_{jk}(T)$ элементов, работающих без замен, определяются по формуле

$$F_{jk} = \omega_{jk} \left[1 - e^{-\int_0^T \lambda_k(t) dt} \right]. \quad (19)$$

Вероятности состояний F_{jk} элементов, работающих до плановой замены T_3 без контроля технического состояния, определяются уравнением

$$F_{jk} = \omega_{jk} \left[1 - e^{-\int_0^{T_3} \lambda_k(t) dt} \right]. \quad (20)$$

ASSESSMENT OF AIRCRAFT FUNCTIONAL SYSTEMS COMPLIANCE WITH THE REQUIREMENTS OF AIRCRAFT AIRWORTHINESS STANDARDS

Dashkov I.D, Zubkov B.V.

The article discusses issues related to the definition of the probability of occurrence of elements states, and directly related to the conformity assessment of functional systems.

Key words: Aircraft, functional systems, special situation in flight, functional equations of reliability.

Сведения об авторах

Дашков Иван Дмитриевич, 1990 г.р., окончил МГТУ ГА (2013), аспирант МГТУ ГА, область научных интересов – эксплуатация летательных аппаратов.

Зубков Борис Васильевич, 1940 г.р., окончил КИИГА (1966), действительный член Академии наук авиации и воздухоплавания, доктор технических наук, профессор МГТУ ГА, автор более 150 научных работ, область научных интересов – вопросы обеспечения безопасности полетов и жизнедеятельности авиационной безопасности.