

УДК 658.52.011.56.012.3

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ НА ОСНОВЕ МОНИТОРИНГА ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

© 2016 Е.А. Гаврилова, В.П. Махитько

Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П.Бугаева

Статья поступила в редакцию 12.12.2016

В статье рассматриваются вопросы оценки показателей безопасности полетов воздушных судов, характеристики проектной, производственной и эксплуатационной надежности в условиях эксплуатации. *Ключевые слова:* безопасность, воздушное судно, надежность, проектная надежность, производственная надежность, эксплуатационная надежность, факторный анализ, функциональные системы.

Повышение эффективности использования по назначению авиационной техники при высокой безопасности полетов – главный источник укрепления и роста экономики предприятий гражданской авиации.

Для повышения эффективности использования авиационная техника совершенствуется, растет насыщение воздушных судов автоматическими системами управления и регулирования, цифровыми вычислительными устройствами. Усложнение воздушных судов (ВС) с целью повышения эффективности обостряет проблемы обеспечения их надежности и безопасности полетов.

При рассмотрении технической составляющей ВС уровень надежности в условиях его эксплуатации можно определять как суммарную надежность этапов проектирования, изготовления и эксплуатации. Следует отметить, что надежность является внутренним свойством ВС и лишь опосредованно учитывает влияние возмущающих факторов. Надежность в определенном смысле является статическим показателем, субъективно характеризующим запас прочности ВС и безопасность полетов. При разработке модели планирования технической эксплуатации необходимо определить экономически обоснованный уровень надежности. При этом важно помнить, что увеличение надежности, как правило ведет к ухудшению основных экономических характеристик обеспечения надежности ВС (затраты, уровень запасов и т.д.).

Создание «запаса прочности» по надежности и безопасности полетов в технической эксплуатации ВС связано:

- с определением и выбором максимального уровня надежности в технической эксплуатации функциональных систем ВС
- с включением в алгоритмы планирования технической эксплуатации ВС различных

Гаврилова Екатерина Александровна, аспирант, инспектор по безопасности полетов.

Махитько Вячеслав Петрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой управления и экономики на воздушном транспорте. E-mail: mvp-1945@mail.ru

страховых параметров, например, буферных интервалов.

- с формированием множества допустимых управляющих воздействий.

Интуитивно можно предположить, что высокий уровень эксплуатационной надежности ВС будет способствовать повышению ее устойчивости.

Под **эксплуатационной надежностью** понимают надежность, определяемую в реальных условиях эксплуатации с учетом комплексного воздействия внешних и внутренних факторов, связанных с климатическими и географическими особенностями эксплуатации, реальными режимами работы узлов и агрегатов ВС и условиями их обслуживания [1].

Ниже рассмотрим виды надежности, характеризующие состояние ВС в условиях эксплуатации.

Проектная надежность ВС определяется в основном надежностью структуры ВС и эксплуатационной надежностью.

Под **производственной надежностью** ВС понимают надежность, которую можно обеспечить в данных конкретных условиях при идеальной технической эксплуатации (ТЭ).

При идеальной ТЭ ВС проектная надежность равна производственной. При нарушении правил эксплуатации, несоблюдении установленных режимов работы ВС, отклонениях условий применения ВС от установленных эксплуатационно-технической документацией и т.д. проектная надежность ВС ниже производственной.

Структурную модель формирования проектной надежности ВС можно представить в виде

$$A = AB, \quad (1)$$

где A — событие, означающее достижение целей эксплуатации (обеспечение перевозочного процесса); B — событие, означающее безотказность работы ВС в перевозочном процессе.

Вероятность события A

$$P(A) = P(A/B)P(B), \quad (2)$$

где $P(A)$ — полная вероятность выполнения ВС задач в процессе эксплуатации; $P(A/B)$ — условная

вероятность выполнения ВС задач в процессе эксплуатации, вычисленная при условии безотказной работы узлов, агрегатов ВС; $P(B)$ — вероятность безотказной работы узлов, агрегатов ВС.

Событие B сложное, и его можно представить в виде произведения событий:

$$B = B_1 B_2 B_3 B_4, \quad (3)$$

где B_1 — отсутствие в ВС дефектов проектирования; B_2 — отсутствие в ВС производственных дефектов; B_3 — отсутствие в ВС дефектов монтажа ВС; B_4 — отсутствие дефектов эксплуатационно-технической документации.

На основании модели (3) можно записать

$$P(B) = P(B_1)P(B_2/B_1)P(B_3/B_1 B_2)P(B_4/B_1 B_2 B_3), \quad (4)$$

где $P(B_1)$ — вероятность бездефектного проекта ВС; $P(B_2/B_1)$ — вероятность бездефектного изготовления ВС при условии отсутствия дефектов в проектной документации; $P(B_3/B_1 B_2)$ — вероятность бездефектного сборки и монтажа ВС при условии бездефектного проектирования и изготовления; $P(B_4/B_1 B_2 B_3)$ — вероятность бездефектной эксплуатационно-технической документации при отсутствии дефектов проекта, изготовления и монтажа ВС. Введя обозначения

$$R = P(A); R_{\Pi} = P(A/B); R_{\Phi} = P(B), \quad (5)$$

представим модель (5) в виде

$$R = R_{\Pi} R_{\Phi}, \quad (6)$$

где R , R_{Π} и R_{Φ} — обобщенные показатели проектной, производственной и эксплуатационной надежности ВС соответственно.

Модель (6) является фундаментальной моделью теории надежности, на ее основе должны быть построены все теоретические и практические работы по определению, контролю и обеспечению надежности ВС на всех стадиях их разработки, изготовления и эксплуатации.

Эта модель позволяет разделить ответственность заказчика, разработчика и потребителя за надежность ВС: разработчик несет ответственность за проектную, изготовитель — за производственную, пользователь — за эксплуатационную. Такое разделение ответственности позволяет построить модель интегрированной системы управления надежностью в жизненном цикле (ЖЦ) ВС на уровне тесного взаимодействия всех участников ЖЦ ВС.

Для успешного решения задач сохранения и повышения надежности ВС на стадии эксплуатации технический состав авиационно-технической базы (АТБ) должны четко представлять место и роль производственной надежности в системе формирования проектной надежности и учитывать эксплуатационную надежность, при снижении которой все усилия разработчиков по сохранению и повышению производственной надежности сводятся на нет. Специалисты предприятия — разработчика и изготовителя ВС должны также в совершенстве владеть методами факторного анализа формирования произ-

водственной надежности ВС на всех стадиях их разработки и эксплуатации.

При определении точечных оценок показателей производственной R_{Π} , эксплуатационной R_{Φ} и проектной R надежности ВС находят также точечные оценки их средних квадратических отклонений $\sigma_{R_{\Pi}}$, $\sigma_{R_{\Phi}}$, σ_R . Эту задачу решают, используя общие правила вычисления средних квадратических отклонений функций в зависимости от средних квадратических отклонений аргументов, изложенных в курсах теории вероятностей и математической статистики [2]. Рассмотрим эти правила.

Если показатель надежности P можно представить в виде функции аргументов $x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n$, т.е.

$$P = P(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n), \quad (7)$$

то среднюю квадратическую погрешность определения P можно приближенно определить по формуле

$$\sigma_P = \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial x_j} \right)^2_{x_j} \sigma_{x_j}^2}, \quad (8)$$

где $(\partial P / \partial x_j)_{x_j}$ — частные производные функции (8), вычисляемые при значениях аргументов x_j , равных математическим ожиданиям; x_j — среднее значение (математическое ожидание) аргумента x_j ; σ_{x_j} — среднее квадратическое отклонение аргумента x_j .

Среднее квадратическое отклонение обобщенного показателя проектной надежности ВС

$$\sigma_R = R \sqrt{(\sigma_{R_{\Pi}} / R_{\Pi})^2 + (\sigma_{R_{\Phi}} / R_{\Phi})^2}, \quad (9)$$

где σ_R , $\sigma_{R_{\Pi}}$, $\sigma_{R_{\Phi}}$ — средние квадратические отклонения точечных оценок R , R_{Π} и R_{Φ} соответственно.

Заметим, что средние квадратические отклонения σ_R , $\sigma_{R_{\Pi}}$, $\sigma_{R_{\Phi}}$ характеризуют точность точечных оценок R , R_{Π} , R_{Φ} , когда отсутствуют систематические погрешности ΔP определения этих оценок. При наличии таких погрешностей в качестве характеристик точности определения упомянутых точечных оценок следует использовать не средние квадратические отклонения, а *средние квадратические погрешности*.

Средняя квадратическая погрешность σ_P^{Π} связана со средним квадратическим отклонением σ_P^0 оценки надежности P

$$\sigma_P^{\Pi} = \sqrt{(\sigma_P^0)^2 + (\Delta P)^2}. \quad (10)$$

На практике обычно вычисляют средние квадратические отклонения рассматриваемых показателей или факторов и принимают их в качестве характеристик точности. Согласно формуле (10) при $\Delta P \neq 0$ справедливо неравенство $\sigma_P^{\Pi} > \sigma_P^0$. Следовательно, использование в качестве характеристик точности средних

квадратических отклонений при $\Delta P \neq 0$ приводит к завышению действительной точности, а следовательно, и достоверности оценок показателей надежности.

Как следует из выражений (6) и (9), чтобы определить показатель проектной надежности системы R и его среднее квадратическое отклонение σ_R , необходимо знать показатели R_{Π} и R_{Φ} , а также их средние квадратические отклонения.

Для показателя производственной надежности R_{Π} в соответствии с моделью (5) можно записать

$$R_{\Pi} = R_{\text{ст}} R_{\text{пр}} R_{\text{тх}} R_{\text{эд}}, \quad (11)$$

здесь $R_{\Pi} = P(B)$, $R_{\text{ст}} = P(B_1)$, $R_{\text{пр}} = P(B_2/B_1)$, $R_{\text{тх}} = P(B_3/B_1 B_2)$ и $R_{\text{эд}} = P(B_4/B_1 B_2 B_3)$ — комплексные показатели производственной, проектной, технологической надежности и надежности эксплуатационно-технической документации соответственно. Среднее квадратическое отклонение оценки интегрированного показателя производственной надежности ВС R_{Π} определяют по формуле

$$\sigma_{R_{\Pi}} = R_{\Pi} \sqrt{(\sigma_{R_{\text{ст}}}^2 / R_{\Pi}^2)^2 + (\sigma_{R_{\text{пр}}}^2 / R_{\Pi}^2) + (\sigma_{R_{\text{тх}}}^2 / R_{\Pi}^2) + (\sigma_{R_{\text{эд}}}^2 / R_{\Pi}^2)}, \quad (12)$$

где $\sigma_{R_{\Pi}}$, $\sigma_{R_{\text{ст}}}$, $\sigma_{R_{\text{пр}}}$, $\sigma_{R_{\text{тх}}}$, $\sigma_{R_{\text{эд}}}$ — средние квадратические отклонения, характеризующие точность определения точечных оценок показателей R_{Π} , $R_{\text{ст}}$, $R_{\text{пр}}$, $R_{\text{тх}}$ и $R_{\text{эд}}$ соответственно.

Математические модели интегрированного показателя эксплуатационной надежности системы R_3 разрабатывают в соответствии со структурой и технологией процесса эксплуатации. Рассмотрим методический подход к решению этой задачи для ВС, имеющего три периода эксплуатации (поддержание установленной готовности; подготовка к эксплуатации; эксплуатация). Соответственно продолжительность одного цикла эксплуатации такого ВС определяют по формуле

$$\tau_3 = \tau_r + \tau_{\Pi} + \tau_{\text{пр}}, \quad (13)$$

где τ_r , τ_{Π} и $\tau_{\text{пр}}$ — продолжительности первого, второго и третьего периодов эксплуатации ВС.

Заметим, что основным периодом эксплуатации ВС является период организации перевозочного процесса ($\tau_{\text{пр}}$); два других периода (τ_r и τ_{Π}) — вспомогательные — предназначены для обеспечения своевременной и безотказной работы функциональных систем (ФС) ВС. В соответствии с таким разделением периода эксплуатации структурную модель надежности ВС в эксплуатации можно представить в виде

$$B = B H_1 H_2 H_3, \quad (14)$$

где H_1 — событие, означающее, что в момент времени t_3 заявлена эксплуатация ВС, которое подготовлено для эксплуатации; H_2 — событие, означающее, что ВС, находящееся в момент t_3 , будет подготовлено к эксплуатации за время τ , не превышающее τ_{Π} ($\tau \leq \tau_{\Pi}$); H_3 — событие, означающее, что ВС в эксплуатации обеспечит

безотказную работу ФС ВС при свершившихся событиях H_1 и H_2 .

На основании модели (14) можно построить модели эксплуатационной эксплуатации ВС. При этом следует учитывать особенности функционирования ВС.

Важный признак классификации ВС — их приспособленность к восстановлению работоспособности после отказа. По этому признаку ВС подразделяют на **восстанавливаемое** и **невосстанавливаемое**. ВС называют восстанавливаемым, если при отказе элементов ВС его работоспособность может быть восстановлена путем замены отказавших элементов новыми или в результате проведения других мероприятий. ВС называют невосстанавливаемым, если потеря работоспособности из-за отказов элементов не может быть восстановлена в процессе эксплуатации.

В процессе эксплуатации ВС технический персонал АТБ контролирует техническое состояние ВС и выполняет соответствующие мероприятия по обеспечению их работоспособности. В зависимости от вида технического обслуживания различают **периодическое, по состоянию, и комбинированное**. Все виды технического обслуживания устанавливаются регламентом обслуживания, который учитывает методы определения и обеспечения эксплуатационной надежности ВС.

Для ВС, к которым применима структурная модель в виде выражения (5), обобщенный показатель эксплуатационной надежности ВС (надежность эксплуатации) будет:

$$R = R_{\Phi} = P(B/H_1 H_2 H_3) P(H_1) P(H_2/H_1) P(H_3/H_1 H_2). \quad (15)$$

Введя обозначения

$$K_r(t_3) = P(H_1); \quad (16)$$

$$P(\tau_{\Pi}) = P(H_2/H_1); \quad (17)$$

$$P(\tau_{\text{пр}}) = P(B/H_1 H_2 H_3) P(H_3/H_1 H_2); \quad (18)$$

$$P_{\Phi} = P(B) \quad (19)$$

и подставив их в выражение получаем

$$P_{\Phi} = K_r(t_3) P(\tau_{\Pi}) P(\tau_{\text{пр}}), \quad (20)$$

где $K_r(t_3)$ — вероятность нахождения ВС в состоянии готовности к эксплуатации — интегральный показатель технической готовности ВС; $P(\tau_{\Pi})$ — вероятность подготовки ВС к эксплуатации за время $\tau \leq \tau_{\Pi}$ при условии, что в момент времени t_3 ВС находится в состоянии установленной готовности — интегральный показатель надежности подготовки ВС к эксплуатации; $P(\tau_{\text{пр}})$ — вероятность обеспечения требований эксплуатации ВС, установленных эксплуатационной технической документацией (ЭТД), $\tau_{\text{пр}}$ — интегральный показатель надежности эксплуатационного обеспечения ВС.

Конкретные методы и приемы решения этих задач специалисты должны разрабатывать на каждом этапе жизненного цикла ВС с учетом

конструктивных особенностей ВС и конкретных условий их эксплуатации.

Следует подчеркнуть, что применение количественных методов дает лишь исходную информацию для принятия решений. Решения принимают с учетом множества других факторов, не поддающихся математизации и количественной оценке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прокофьев А.И. Надежность и безопасность полетов. Учебное пособие для вузов. М.: Машиностроение, 1985.
2. Фадеева Л.Н., Жуков Ю.В. Математика для экономистов. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Эксмо, 2007.
3. Козлов В.В. Безопасность полетов: от обеспечения к управлению. М., 2010.

ASSESSMENT OF SAFETY PERFORMANCE BASED ON THE RESULTS OF MONITORING THE OPERATION OF AIRCRAFT

© 2016 E.A. Gavrilova, V.P. Mahitko

Ulyanovsk Institute of Civil Aviation named after B.P. Bugaev

The article deals with the assessment of the safety performance of aircraft design specifications, production and operational reliability in the field.

Keywords: safety, aircraft safety, reliability engineering, manufacturing reliability, operational reliability, factor analysis, functional systems

*Ekaterina Gavrilova, Graduate Student, Safety Inspector.
Vyacheslav Mahitko, Doctor of Technics, Professor, Head
at the Management and Economics in Air Transport
Department. E-mail:.mvp-1945@mail.ru*