

А. П. Кирпичников, С. Н. Моисеев, В. В. Лебедев,
В. А. Сухарев, И. В. Герасимов, В. С. Олешко, Д. П. Ткаченко

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ключевые слова: надежность, техническое обслуживание, радиотехническая система.

В статье рассматривается анализ надёжности наземных средств радиотехнического обеспечения полётов авиации. Предложен вариант определения оптимальной периодичности и оценки эффективности технического обслуживания с точки зрения поддержания заданных эксплуатационных и технико-экономических характеристик авиационных радиотехнических систем.

Keywords: reliability, maintenance, radiotechnical system.

The article considers the reliability analysis of ground-based radiotechnical maintenance of aviation flights. Offered the option of determining the optimal maintenance frequency and effectiveness evaluation in terms of maintaining the specified operating and technical-economic characteristics of aircraft radiotechnical systems.

Безотказность функционирования авиационных радиотехнических систем (РТС) является обязательным условием безопасности и регулярности полетов. При этом необходимо обеспечить требуемый уровень готовности парка РТС, т. е. поддержание установленных эксплуатационных и технико-экономических характеристик на требуемом уровне. За последние десятилетия проведен ряд исследований по развитию и совершенствованию систем технического обслуживания (ТО) РТС. Анализ показывает, что в основном решается техническая сторона этого вопроса и в меньшей степени рассматривается экономический аспект, а именно — экономическое обоснование реализации прогрессивных методов ТО.

На основании руководящих документов, регламентирующих эксплуатацию РТС для оценки соответствия эксплуатационного качества РТС заданному, а также разработки предложений эксплуатирующим организациям по совершенствованию системы эксплуатации, определения возможности продления установленных ресурса и срока службы, проводится подконтрольная эксплуатация РТС. На основании результатов подконтрольной эксплуатации проведена оценка временных параметров проведения ТО РТС.

В качестве комплексного показателя характеризующего пребывание изделия в работоспособном состоянии относительно общей продолжительности эксплуатации РТС предлагается использовать коэффициент технического использования $K_{ТИ}$.

Статистически коэффициент технического использования определяется по формуле:

$$K_{ТИ}^* = \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{r=1}^r t_{раб}}{\sum_{j=1}^k \sum_{r=1}^r t_{раб} + \sum_{j=1}^k \sum_{r=1}^r t_{рем} + \sum_{j=1}^k \sum_{r=1}^r t_{ож} + \sum_{j=1}^k \sum_{r=1}^r t_{ТО}}$$

где k — число периодов эксплуатации РТС; r — число отказов и восстановлений в течение одного периода эксплуатации; S — число технических обслуживаний в течение одного периода эксплуатации; $t_{раб\ i}$ — интервал нормальной работы РТС; $t_{рем\ i}$ — продолжительность восстановления работоспособности РТС после отказов; $t_{ож\ i}$ — продолжительность ожидания обслуживания; $t_{ТО\ i}$ — продолжительность технического обслуживания РТС.

При увеличении k средние арифметические будут приближаться к математическим ожиданиям указанных времён, а статистическое значение $K_{ТИ}^*$ будет близко к истинному значению $K_{ТИ}$.

$$K_{ТИ} = \frac{t_{раб}}{t_{раб} + t_{рем} + t_{ож} + t_{ТО}}$$

где $t_{ТО}$ — ежегодные временные затраты на ТО одного изделия, эксплуатирующегося ежедневно, и которые будут определяться:

$$t_{ТО} = (365 - N) \cdot t_{ЕТО} + N_{ТО1} \cdot t_{ТО1} + N_{ТО2} \cdot t_{ТО2} + N_{СО} \cdot t_{СО}$$

где $N_{ТО1}$ — количество дней в году, в которые проводится ежемесячное ТО; $N_{ТО2}$ — количество дней в году, в которые проводится годовое ТО; $N_{СО}$ — количество дней в году, в которые проводится сезонное ТО; $N = N_{ТО1} + N_{ТО2} + N_{СО}$ — количество дней в году, в которые проводятся все виды ТО, за исключением ежедневного ТО; $t_{ЕТО}$, $t_{ТО1}$, $t_{ТО2}$, $t_{СО}$ — время затрачиваемое на проведение ежедневного, ежемесячного, годового и сезонного ТО соответственно.

На основании проведённого анализа для повышения $K_{ТИ}$ РТС предпочтительным является применение технической эксплуатации по состоянию.

Перевод сложных РТС на техническую эксплуатацию по состоянию требует решения

целого комплекса задач, основными из которых являются [1]:

- выбор необходимого и достаточного количества параметров, адекватно отражающих состояние РТС;
- установление области допустимых значений этих параметров, обеспечивающих нормальное функционирование РТС;
- построение аналитических моделей деградационных изменений этих параметров при эксплуатации РТС;
- разработка алгоритма прогнозирования состояния РТС на заданный интервал времени;
- разработка алгоритма принятия решения о продолжении эксплуатации РТС или снятии с эксплуатации для ТО;
- выбор метода и средств измерения определяющих параметров;
- оценка количественных показателей эксплуатационной надёжности при выбранной стратегии обслуживания.

Процесс ТО имеет циклический характер. Средняя продолжительность цикла ТО $\bar{T}_{\text{Ц}}$ любой из подсистем сложной РТС определяется выражением:

$$\bar{T}_{\text{Ц}} = T + \bar{T}_K + \bar{T}_П \cdot P(T) + \bar{T}_B \cdot [1 - P(T)], \quad (1)$$

где T — период обслуживания; $\bar{T}_K$ — среднее время контроля работоспособности; $\bar{T}_П$ — среднее время плановой предупредительной профилактики; $\bar{T}_B$ — среднее время аварийно-восстановительных работ; $P(T)$ — вероятность безотказной работы за время T .

Если контроль работоспособности и техническое обслуживание изделий сложной РТС осуществляются в плановые сеансы с периодичностью T , то на интервале времени между сеансами каждое изделие может находиться как в работоспособном состоянии, так и в состоянии явного либо «скрытого» отказа.

В связи с этим имеет место следующее выражение:

$$T = \bar{T}_P + \bar{T}_O, \quad (2)$$

где $\bar{T}_P$ — среднее время работоспособного состояния; $\bar{T}_O$ — среднее время пребывания изделия в неработоспособном состоянии.

Значение $\bar{T}_P$ определяется по формуле:

$$\bar{T}_P = \int_0^T P(t) dt. \quad (3)$$

При проведении операций контроля, профилактики и аварийно-восстановительных работ, а также при нахождении любого изделия системы в

состоянии отказа она не может функционировать по назначению [2]. Техническое обслуживание целесообразно проводить в сроки, обеспечивающие требуемое качество функционирования каждого изделия и системы в целом. Комплексным показателем качества является коэффициент готовности $K_{\Gamma}(T)$, который определяется следующим соотношением:

$$K_{\Gamma}(T) = \frac{\bar{T}_P}{\bar{T}_{\text{Ц}}}.$$

Используя выражения (1)–(3), получим:

$$K_{\Gamma}(T) = \frac{\int_0^T P(t) dt}{T + \bar{T}_K + \bar{T}_П \cdot P(T) + \bar{T}_B \cdot [1 - P(T)]}.$$

Очевидно, что при некотором значении $T = T^*$ коэффициент готовности имеет максимальное значение.

Комплексы РТС включают в себя множество $M = \{m\}$ различных по сложности и надёжности изделий. Каждое изделие характеризуется индивидуальными значениями всех составляющих цикла обслуживания (1). Поэтому для каждого i -го изделия системы целесообразно определить оптимальное значение T_i^* периода технического обслуживания. Множество значений T_i^* , $i = \overline{1, m}$, образует оптимальную временную программу обслуживания системы, однако практическая реализация такой программы затруднительна.

Рациональным решением является применение минимаксной стратегии ТО. При этом все подсистемы сложной РТС будут обслуживаться одновременно с периодичностью, определяемой следующим образом:

$$T^* = \min_i \max_T K_{\Gamma_i}(T)$$

или

$$T^* = \min_i \max_T \frac{\int_0^T P_i(t) dt}{T_i + \bar{T}_{Ki} + \bar{T}_{Pi} \cdot P_i(T) + \bar{T}_{Bi} \cdot [1 - P_i(T)]}, \quad (4)$$

Для восстанавливаемых систем при определении вероятности безотказной работы изделия $P_i(t)$ рекомендуется использовать следующий подход:

$$P_i(t) = 1 - q_{i,n}(t), \quad (5)$$

где $q_{i,n}(x)$ — вероятность появления отказа i -го изделия на интервале $[t_n, t_n + x)$ при условии, что в момент t_n произведена очередная проверка. Веро-

ятность $q_{i,n}(x)$ определяется следующим рекуррентным выражением [3]:

$$q_{i,n}(x) = \beta q_{i,n-1}(t_n) + (1-\alpha)(1-q_{i,n-1}(t_n)) \times \frac{q_{i,n-1}(t_n+x) - q_{i,n-1}(t_n)}{1-q_{i,n-1}(t_n)} + [\alpha(1-q_{i,n-1}(t_n)) + (1-\beta)q_{i,n-1}(t_n)] F_i(x) \quad (6)$$

где $q_{i,0}(t_1)=F_i(t_1)$ — начальное условие; x — длительность интервала между проверками $[t_n, t_n+x)$; t_n — длительность предыдущего интервала между проверками $[t_{n-1}, t_{n-1}+t_n)$; α — условная вероятность «ложного обнаружения отказа» на исправном изделии; β — условная вероятность «пропуска отказа»; $F_i(x)$ — функция распределения наработки на отказ для i -го изделия.

Выражения (4)–(6) позволяют определить оптимальный по коэффициенту готовности период ТО сложной РТС с учетом временных затрат на контроль состояния, плановую профилактику и ремонтно-восстановительные работы каждой из подсистем обслуживаемой РТС. В свою очередь (6) позволяет определить вероятность безотказной работы широкого класса восстанавливаемых изделий РТС с различными функциями распределения наработки на отказ $F_i(x)$, с учётом «истории» проведённых ранее проверок технического состояния изделий для заданного интервала между проверками x .

Работы по техническому обслуживанию РТС могут быть выполнены с требуемым качеством при условии соответствия объема запланированных профилактических работ возможностям обслуживающего персонала. В качестве показателя эффективности организации ТО рассматривается коэффициент полноты выполнения работ ТО:

$$k_{\text{вып}} = \frac{T_{\text{оп}}}{\sum_{i=1}^n t_i}, i = \overline{1, n} \quad (7)$$

где $T_{\text{оп}}$ — имеющийся трудоресурс обслуживающего персонала по выполнению ТО на комплексной РТС;

t_i — трудозатраты на выполнение работ ТО на i -ом изделии комплексной РТС;

n — количество изделий входящих в состав комплексной РТС.

Коэффициент полноты выполнения работ ТО может принимать следующие значения:

- при $k_{\text{вып}}=1$ — считается, что работы ТО спланированы рационально и в полном объеме;

- при $k_{\text{вып}}>1$ — работы ТО спланированы в полном объеме, однако при этом имеется резерв трудоресурса обслуживающего персонала;

- при $k_{\text{вып}}<1$ — работы ТО спланированы с дефицитом трудоресурса обслуживающего персонала.

Из выражения (7) следует, что достижение требуемого значения коэффициента полноты выполнения работ ТО возможно, во-первых, при увеличении трудоресурса обслуживающего персонала при выполнении работ ТО, и, во-вторых, при уменьшении трудозатрат на выполнение работ ТО.

Таким образом, внедрение методов ТО РТС по техническому состоянию требует разработки комплексной системы контроля технического состояния, представляющей собой совокупность средств контроля и порядка их применения в различных состояниях эксплуатации. Должно быть предусмотрено применение средств автоматизированного контроля и разработаны программы автоматизированного сбора и обработки информации об отказах, повреждениях и изменении параметров, определяющих техническое состояние сложной РТС, а также методы оперативного управления режимами ТО.

Предложенный вариант определения оптимальной периодичности и оценки эффективности ТО при внедрении методов технической эксплуатации по состоянию позволит существенно снизить затраты на ТО РТС, при поддержании заданного уровня безотказности функционирования РТС, более полном использовании ресурса каждого изделия, а также соблюдении требований безопасности и регулярности полетов авиации.

Литература

1. Александровская, Л.Н., Афанасьев, А.П., Лисов, А.А. Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем. Логос, Москва, 2003. 208 с.
2. Буравлев, А.И., Доценко, Б.И., Казаков, И.Е. Управление техническим состоянием динамических систем. Машиностроение, Москва, 1995. 240 с.
3. Зырянов, Ю.Т., Малыков, К.А. Управление профилактикой в организационно-технических системах. АСТ-ПРЕСС КНИГА, Москва, 2005. 160 с.

© А. П. Кирпичников — док. физ.-мат. наук, зав. каф. интеллектуальных систем и управления информационными ресурсами КНИТУ, kirpichnikov@kstu.ru; С. Н. Моисеев — зам. нач. каф. ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»; В. В. Лебедев — ст. препод. каф. ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», ww168@mail.ru; В. А. Сухарев — препод. каф. ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», vova44rus@yandex.ru; И. В. Герасимов — нач. отдела учеб. воен. центра МАИ (НИУ), iv-gerasimov@mail.ru; В. С. Олешко — препод. воен. инст. МАИ (НИУ), v-oleshko@yandex.ru; Д. П. Ткаченко — канд. тех. наук, нач. цикла воен. инст. МАИ (НИУ), tdp@list.ru.