

О расчете параметров регламента проведения технического обслуживания АФАР РЛС с учетом данных встроенного контроля

А.П. Линкевичиус¹, А.С. Кирмель²

¹ ОАО «РТИ»,

² Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны

Современные модели АФАР РЛС представляют собой высоконадежные аппаратно-программные комплексы (АПК) непрерывного применения, отказоустойчивость которых достигается, в том числе, за счет встроенного контроля и комплекса профилактических мероприятий. Основная цель контроля – своевременное принятие управляющего воздействия на техническое состояние всех элементов АФАР с целью обеспечения его соответствия, как техническим условиям, так и условиям длительной эксплуатации.

Поскольку АФАР – это типичная восстанавливаемая система, то для оценки периода и продолжительности технического обслуживания (ТО) необходимо использовать методы исследования надежности восстанавливаемых систем. Для математического описания надежности АФАР с учетом резервирования, планового и внепланового ТО и автоматического восстановления предлагается использовать марковские модели [1].

Будем предполагать, что на этапе нормальной эксплуатации технической системы на интервале времени между проведением ТО происходит объективное снижение ее работоспособности, а в результате проведения требуемого объема ТО работоспособность АФАР полностью восстанавливается. Так как в современных АФАР предусмотрены штатные средства автоматической диагностики, то значительную часть отказов можно предупредить при помощи дополнительных ТО, назначаемых в соответствии с данными непрерывного контроля [2]. Также следует учесть, что определенные типы отказов могут быть устранены автоматически. Наличие этих видов ТО и восстановления влияет на параметры общего регламента ТО, в частности, периодичность планового профилактического ТО.

Для того чтобы в регламенте проведения ТО учесть особенности встроенного контроля, в частности, для каких именно компонент АФАР он предусмотрен, используем вероятностный показатель полноты контроля, который определяется, как:

$$\eta = \frac{\sum_{j \in K} \lambda_j}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (1)$$

где n – общее количество компонент АФАР, а K – подмножество его контролируемых компонент, λ_i – интенсивность отказа i -го компонента.

Таким образом, можно учесть, что определенная часть отказов, для которой предусмотрен контроль, автоматически диагностируется, в результате чего запускается процесс восстановления работоспособности, который может быть, как автоматическим, так и неавтоматическим.

Чтобы количественно оценить эффект восстановления, рассмотрим укрупненную марковскую модель надежности АФАР с резервированием и восстановлением. Примем во внимание, что, наряду с контролируемыми, в случае параметра полноты контроля $\eta \neq 1$ в системе АФАР могут присутствовать неконтролируемые или «скрытые» отказы.

Чтобы конкретизировать простейшую модель надежности АФАР с учетом контроля, выделим три состояния:

- состояние 1 – полная работоспособность АФАР (с заявленными ТТХ);
- состояние 2 – состояние неработоспособности после возникновения отказа, обнаруженного средствами контроля (которое допускает восстановление работоспособности),
- состояние 3 – состояние неработоспособности после отказа, не обнаруженного средствами контроля.

Для количественной оценки будем считать, что статистика отказов является экспоненциальной с суммарной интенсивностью отказов λ . При этом, если глубина контроля равна η , то интенсивность переходов из работоспособное состояние 1 в состояние 2 задается интенсивностью $\lambda \cdot \eta$, а в состояние 3 – интенсивностью $\lambda \cdot (1 - \eta)$. Скорость восстановления из состояние 2 в состояние 1 определим, как μ .

В этом случае система обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) имеет вид:

$$\frac{d}{dt} P_1(t) = -\lambda \cdot P_1(t) + \mu \cdot P_2(t)$$

(2)

$$\frac{d}{dt}P_2(t) = \eta \cdot \lambda \cdot P_1(t) - \mu \cdot P_2(t)$$

$$\frac{d}{dt}P_3(t) = (1 - \eta) \cdot \lambda \cdot P_1(t)$$

Согласно определению, вероятность безотказной работы (ВБР) равна:

$$P = e^{(-\lambda \cdot t)} \quad (3)$$

Именно на этой оценке безотказности и основан расчет требуемой периодичности ТО и коэффициента готовности. Если задан требуемый уровень вероятности безотказной работы, то максимально допустимый период проведения ТО, исходя из требований к безотказности, т.е. ВБР $P(t) \geq P_{бр, треб}$, составляет:

$$T_0 = -\frac{1}{\lambda} \ln(P_{бр, треб}) \quad (4)$$

При заданной длительности планового профилактического ТО τ , коэффициент готовности, при выборе периода проведения ТО, исходя из требований к безотказности, составляет, соответственно:

$$K_{Г} = 1 - \frac{\lambda \cdot \tau}{-\ln(P_{бр, треб})} \quad (5)$$

Между тем, наличие состояний контролируемого отказа и восстановления требует рассматривать влияние временной контролируемой неработоспособности, т.е. состояние (2), на снижение коэффициента готовности, а требованием к безотказности считать условие:

$$1 - P_3(t) \geq P_{бр, треб} \quad (6)$$

где $P_3(t)$ – это вероятность нахождения АФАР в состоянии неработоспособности (3) в момент времени t (определяемая на основе решения системы ОДУ).

Для системы ОДУ (2) ее несложно определить аналитически:

$$P_3(t) = e^{[-\lambda \cdot (1-\eta) \cdot t]} \quad (7)$$

т.е. характеризовать требование безотказности интенсивностью «скрытых» отказов $\lambda \cdot (1-\eta)$. Соответственно, период ТО, определенный, согласно условию (4), составит

$$T_0 = -\frac{1}{\lambda \cdot (1-\eta)} \ln(P_{бр, треб}) \quad (8)$$

Значение коэффициента готовности будет определяться временными затратами на профилактическое ТО (5) и временной неработоспособностью, обусловленной состоянием контролируемого отказа и последующего восстановления:

$$K_{Г}(t) = 1 - \frac{\tau}{t} - P_2(t) \quad (9)$$

Таким образом, расчет заданной длительности планового профилактического ТО τ , будет, как и в случае применения формулы (5) основан на сравнении расчетных значений ВБР и коэффициента готовности с требуемыми пороговыми характеристиками безотказности и готовности, $P_{треб}$ и $K_{Г, треб}$ соответственно.

Применение марковских моделей, относящихся к логико-вероятностным методам теории надежности, позволяет более точно рассчитать интервалы времени между плановыми профилактическими ТО с учетом восстановления и контролепригодности АФАР. Чтобы количественно оценить эффект восстановления, мы использовали укрупненные марковские модели надежности АФАР, которые описывают особенности восстановления. Решение соответствующих систем обыкновенных дифференциальных уравнений позволяет рассчитать соответствующие вероятности состояний АФАР, и по соотношению работоспособных и неработоспособных состояний оценить коэффициент готовности.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ (№ НШ-6831.2016.8)

Литература

1. Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов. Учебное пособие. – СПб.: Питер, 2005. – 479 с.
2. Шишов Ю.А., Голик А.М., Клейменов Ю.А., Бахарев В.А., Демочко С.Ю. Адаптация управления ФАР по результатам встроенного контроля. Зарубежная радиоэлектроника №9.1990. С.69-89.