

ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К СРЕДНЕМУ ВРЕМЕНИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЗРК

д.т.н., проф. Б.Н. Ланецкий, к.т.н. В.В. Бурцев, О.Н. Рябец

Рассмотрен подход к обоснованию требуемого среднего времени восстановления работоспособности зенитно - ракетного комплекса (ЗРК), учитывающий его различные эксплуатационные состояния и режимы функционирования.

Для оценки эффективности ремонта ТЭЗ радиоэлектронных средств (РЭС) ЗРК обычно используют стационарный коэффициент готовности ЗРК. Однако, этот показатель не в полной мере характеризует основные эксплуатационные состояния и режимы функционирования РЭС ЗРК. Поэтому требования, задаваемые к среднему времени восстановления работоспособности ЗРК ($T_{в}$), исходя из заданной величины $K_{г}$, характеризуются значительными погрешностями. Для устранения этого вводится понятие обобщенный показатель эффективности функционирования ЗРК (W), который учитывает сложный режим работы и особенности его приведения в готовность к использованию по назначению из различных эксплуатационных состояний, и разрабатывается математическая модель его расчета. Предлагается требования к среднему времени восстановления работоспособности ЗРК задавать по известной величине обобщенного показателя эффективности функционирования ЗРК ($W_{тр}$).

Рассмотрим процесс функционирования ЗРК на интервале эксплуатации между плановыми техническими обслуживаниями (ТО). Выделим возможные эксплуатационные состояния ЗРК на рассматриваемом интервале эксплуатации:

E1 – ЗРК работоспособен, ожидает использования по назначению в выключенном состоянии;

E2 – ЗРК работоспособен, проводится плановый контроль функционирования (КФ) или плановое использование по назначению;

E3 – ЗРК неработоспособен, проводится текущий ремонт;

E4 – ЗРК неработоспособен, ожидает использования по назначению в выключенном состоянии, считается работоспособным и готовым к применению;

E5 – ЗРК неработоспособен, находится в состоянии скрытого отказа, проводится КФ или плановое использование по назначению.

В произвольный момент времени может быть объявлена готовность к применению ЗРК, если он находится в одном из состояний E1, E2, E4, E5. При этом проводится включение, если ЗРК был выключен (состояния E1, E4),

полное включение, если ЗРК был частично выключен (состояния E2, E5) или продолжается КФ, если ЗРК был полностью включен (состояние E2, E5). Предполагается известным коэффициент полных включений (α), определяемый как отношение числа полных плановых включений ЗРК к общему числу плановых включений на рассматриваемом интервале эксплуатации.

По окончании нормативного времени приведения (t_n) ЗРК в готовность к использованию по назначению принимается решение о готовности ЗРК к использованию по назначению. В случайные моменты времени на интервале ожидания использования по назначению во включенном состоянии ЗРК выдается целеуказание для уничтожения целей. При этом, начиная с этого момента и до окончания обстрела, ЗРК должен функционировать безотказно. Рассмотрим возможные переходы ЗРК на множестве состояний E1 ÷ E5.

ЗРК, находящийся в состоянии E1, переходит в состояние E2 через неслучайные интервалы времени ($T_{кф}$), если к концу этого интервала он остался работоспособным. В случае, если на промежутке $T_{кф}$ на ЗРК возникают скрытые отказы, то он переходит в состояние E4. Из состояния E4 по окончании периода $T_{кф}$ ЗРК переходит в состояние E5. Контроль функционирования и плановое использование по назначению (E2, E5) продолжают неслучайное время $\tau_{кф}$ и $\tau_{ин}$ соответственно. По окончании этих интервалов времени, если не будет выявлен отказ, ЗРК выключается и переходит в состояние E1. В случае отказа при КФ (E2, E5) ЗРК переходит в состояние E3 – восстановление работоспособности, которое длится случайное время. После восстановления работоспособности ЗРК переходит в состояние E1.

Для разработки математической модели функционирования ЗРК сделаны следующие допущения: контроль функционирования достоверен; поиск отказов без ошибок 1-го и 2-го рода; наработка ЗРК между отказами распределена по экспоненциальному закону с параметрами ω_2 и ω_4 для включенного и выключенного состояний соответственно; время восстановления работоспособности РЭС ЗРК распределено по закону Эрланга с параметрами μ_1 и μ_2 . Граф описанных состояний и переходов представлен на рис. 1.

Разработана полумарковская модель функционирования ЗРК на множестве состояний E1 ÷ E5, т.е. получены матрица вероятностей переходов вложенной марковской цепи (ВМЦ)

P_{ij} ; матрица условных функций распределения времени пребывания $F_{ij}(t)$ и расчетные соотношения стационарных вероятностей $P_1 \dots P_5$ пребывания ЗРК в состояниях E1 ÷ E5 на рассматриваемом интервале эксплуатации.

Рассмотрим расчетные соотношения для обобщенного показателя эффективности функционирования ЗРК (W). Обобщенный показатель W является

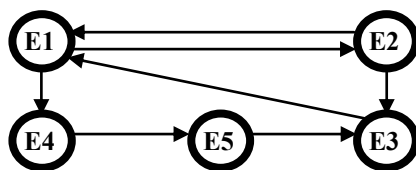


Рис. 1. Граф возможных состояний и переходов РЭС ЗРК

вероятностью того, что ЗРК в произвольный момент времени между плановыми ТО будет приведен в готовность к использованию по назначению из различных состояний за нормативное время. Далее в случае работоспособного состояния будет ожидать выдачи целеуказания, в случае неработоспособного состояния (по окончании t_n) будет восстанавливаться и по окончании восстановления будет ожидать выдачи целеуказания; в случайный момент выдачи целеуказания на интервале ожидания использования по назначению будет работоспособен и, начиная с этого момента времени, профункционирует без отказов в течение интервала боевой работы продолжительностью $t_{бр}$.

Расчетное соотношение показателя W имеет вид

$$W = [P_1 \cdot P_{пп1}(t_n) \cdot P_{ввк1} \cdot K_{\Gamma}(t_{ож}) + P_1 \cdot (1 - P_{пп1}(t_n)) \cdot P_{ввк1} \times \\ \times K_{\Gamma}(t_{ож}) + P_2 \cdot \alpha_1 \cdot P_{пп1}(t_n) \cdot K_{\Gamma}(t_{ож}) + P_2 \cdot (1 - \alpha) \cdot P_{пп2}(t_n) \times \\ \times P_{ввк2} \cdot K_{\Gamma}(t_{ож}) + (1 - P_{пп1}(t_n)) \cdot P_{ввк1} \cdot K_{\Gamma}(t_{ож}) + \\ + P_4 \cdot P_{пп4}(t_n) \cdot K_{\Gamma}(t_{ож}) + P_5 \cdot P_{пп5}(t_n) \cdot K_{\Gamma}(t_{ож})] \cdot P(t_{бр}), \quad (1)$$

где P_i - стационарная вероятность пребывания ЗРК в i -м состоянии; $P_{ввк1}$, $P_{ввк2}$ - вероятность безотказного включения ЗРК, при полном и частичном включении соответственно; $P_{прi}(t_n)$ - условная вероятность того, что ЗРК за нормативное время t_n будет приведен в готовность к применению из состояния E_i ; $K_{\Gamma}(t_{ож})$, $K_{\Gamma}(t_{ож})$ - величина нестационарного коэффициента готовности ЗРК в момент окончания интервала ожидания использования по назначению при условии, что в момент начала ожидания ЗРК был работоспособен или неработоспособен соответственно; $P(t_{бр})$ - вероятность безотказной работы ЗРК за продолжительность $t_{бр}$ выполнения стрельб.

Получены расчетные соотношения для нестационарных коэффициентов готовности для принятых допущений:

$$K_{\Gamma}(t_{ож}) = \frac{(\mu_1 \cdot \mu_2)}{\beta} \left[1 - e^{-\frac{\alpha \cdot t_{ож}}{2}} \left[\frac{\alpha \cdot \sin(t_{ож} \sqrt{\beta - \frac{\alpha^2}{4}})}{2 \cdot \sqrt{\beta - \frac{\alpha^2}{4}}} + \cos \left(t_{ож} \sqrt{\beta - \frac{\alpha^2}{4}} \right) \right] \right], \quad (2)$$

$$K_{\Gamma}(t_{ож}) = \frac{(\mu_1 \cdot \mu_2)}{\beta} + \left(1 - \frac{(\mu_1 \cdot \mu_2)}{\beta} \right) \cdot e^{-\frac{\alpha \cdot t_{ож}}{2}} \cdot \cos(t_{ож} \cdot \sqrt{\beta - \frac{\alpha^2}{4}}), \quad (3)$$

где $\alpha = \lambda + \mu_1 + \mu_2$; $\beta = \mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda \cdot \mu_1 + \lambda \cdot \mu_2$.

Из полученных расчетных соотношений для обобщенного показателя W видно, что он является функцией от среднего времени восстановления рабо-

тоспособности ЗРК ($T_{в}$), показателей безотказности ЗРК, периода КФ ($T_{кф}$) и других показателей, характеризующих процесс функционирования ЗРК.

На рис.2 приведены зависимости обобщенного показателя эффективности функционирования ЗРК и стационарного коэффициента оперативной готовности ($K_{ог}$) [1] от среднего времени восстановления работоспособности. При построении зависимостей использовались исходные данные:

$T_{о}, ч$	$T_{кф}, ч$	$\tau_{кф}, ч$	$\tau_{ин}, ч$	α	$P_{вкл1}$	$P_{вкл2}$	$P(t_{бр})$	$t_{ож}, ч$
40	12	0.1	0.15	0.001	0.95	0.99	0.99	0.25

Из рис.2. видно, что величине $K_{ог.г_{тр}} = 0.95$ соответствует требуемое среднее время восстановления $T_{в.г_{тр}} = 1.754 ч$, а величине $W_{тр} = 0.95$ соответствует $T_{в.г_{тр}} = 0.44 ч$. Учет режимов функционирования и эксплуатационных состояний ЗРК привел к более жестким требованиям к среднему времени восстановления работоспособности ЗРК.

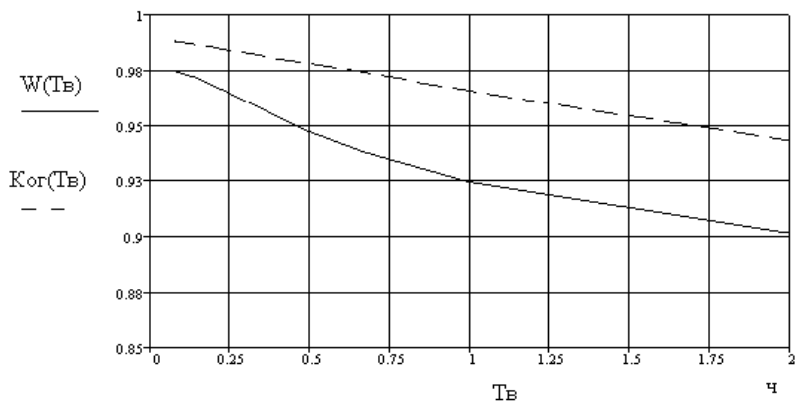


Рис. 2. Графики зависимостей $W = f(T_{в})$ и $K_{ог} = f(T_{в})$

Разработанная математическая модель может быть применена для обоснования предельно допустимого значения среднего времени восстановления работоспособности РЭС ЗРК. Эта величина является одной из основных показателей при обосновании требований к системе ремонта ТЭС ЗРК. Кроме этого, полученная модель может использоваться при обосновании требований к показателям безотказности и ремонта ЗРК на этапе его проектирования и для решения других задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Надежность технических систем: Справочник / Под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.

Поступила в редколлегию 31.05.2001