

## ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАЧИ ОБОСНОВАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К ПОКАЗАТЕЛЯМ НАДЕЖНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ МОБИЛЬНЫХ ЗРК И МЕТОД ЕЕ РЕШЕНИЯ

д.т.н., проф. Б.Н. Ланецкий, А.А. Зверев

*Формализована оптимизационная задача обоснования требований к надежности радиоэлектронных средств (РЭС) мобильного зенитно-ракетного комплекса (ЗРК) с использованием критерия минимума суммарной стоимости жизненного цикла и ущерба из-за ненадежности РЭС при обеспечении заданной эффективности применения ЗРК в ожидаемых условиях эксплуатации. Предложено решение задачи методом перебора на сетке параметров.*

Эффективность ЗРК во многом определяется надежностью РЭС, как основной и наименее надежной составной части комплекса. В связи с этим при разработке ЗРК особое внимание уделяется вопросам обоснования требований к надежности РЭС ЗРК. В настоящее время при обосновании требований к показателям надежности (ПН) РЭС ЗРК недостаточно полно учитывается многообразие режимов эксплуатации будущих изделий и, в частности, не учитываются режимы перемещения, свертывания-развертывания, включения-выключения, стоимости простоя из-за ненадежности РЭС ЗРК на различных интервалах использования по назначению и др. [1]. Неучет указанных факторов при обосновании требований к ПН РЭС мобильных ЗРК может привести к недостаточной эффективности разрабатываемого комплекса или к неоправданным расходам на обеспечение заданных уровней ПН.

Предлагаемая постановка задачи обоснования требований к надежности РЭС ЗРК ориентирована на более точный учет ожидаемых режимов эксплуатации разрабатываемых РЭС мобильных ЗРК и стоимостей простоев из-за их ненадежности. Ее суть состоит в следующем: определить такие значения средней наработки на отказ  $T_o$  и среднего времени восстановления  $T_v$  РЭС ЗРК, при которых в ожидаемых условиях эксплуатации ЗРК обеспечивается требуемая величина показателя эффективности функционирования (ПЭФ)  $W_{mp}$  ЗРК при выполнении комплексом типовых задач и минимум суммарной стоимости их жизненного цикла (ЖЦ)  $C_{жц}$  и стоимости ущерба  $C_{ущ}$ , обусловленного ненадежностью РЭС на интервалах использования по назначению:

$$\min_{T_o, T_v} \left\{ C_{жц}(T_o, T_v) + C_{ущ}(T_o, T_v) \mid W \geq W_{mp} \right\}. \quad (1)$$

Требуемое значение показателя  $W_{mp}$  определяется, исходя из заданной величины допустимого снижения эффективности функционирования

ЗРК в группировке ЗРВ из-за неидеальности характеристик систем поддержания боевой готовности. Для расчета ПЭФ  $W$  разработаны полумарковская модель процесса функционирования мобильного ЗРК на интервалах эксплуатации между техническими обслуживаниями и математическая модель приведения ЗРК в готовность к боевому использованию из различных исходных эксплуатационных состояний  $E_i$ .

На рассматриваемом интервале эксплуатации выделены следующие эксплуатационные состояния мобильного ЗРК:  $E_1$  – ЗРК работоспособен (РС), ожидает боевого использования (б.и.) в выключенном состоянии;  $E_2$  – ЗРК работоспособен, проводится плановый контроль функционирования (КФ) или плановое использование по назначению;  $E_3$  – ЗРК неработоспособен (НРС), проводится текущий ремонт;  $E_4$  – ЗРК неработоспособен, ожидает б.и. в выключенном состоянии, считается работоспособным и готовым к применению;  $E_5$  – ЗРК неработоспособен, находится в состоянии скрытого отказа, проводится КФ;  $E_6$  – ЗРК свертывается и затем перемещается на новую позицию;  $E_7$  – ЗРК развертывается на новой позиции.

Получены расчетные соотношения для вероятностей  $P_i$  ( $i = \overline{1,7}$ ) пребывания мобильного ЗРК в состояниях  $E_i$  и вероятностей  $P_{вз\ i}$  выполнения задачи ЗРК при условии нахождения его в момент возникновения заявки на б.и. в состоянии  $E_i$ . Вероятности  $P_i$  и  $P_{вз\ i}$  являются функциями величин  $T_o$  и  $T_6$ .

Показатель  $W$  рассчитывается в соответствии с формулой полной вероятности и определением ПЭФ ЗРК и определяется следующими величинами: вероятностью  $P_o(l_{mp})$  безотказного транспортирования РЭС ЗРК на дальность  $l_{mp}$ ; вероятностью  $P_{св}(P_{разв})$  безотказного свертывания (развертывания) РЭС ЗРК; вероятностью  $P_{вкл}$  безотказного включения РЭС ЗРК; вероятностями нахождения  $K(t_{ож})$  ( $\overset{\circ}{K}(t_{ож})$ ) РЭС ЗРК в РС состоянии в момент окончания режима ожидания во включенном состоянии продолжительностью  $t_{ож}$  при условии, что в момент начала этого режима РЭС ЗРК является РС (НРС); вероятностью  $P(t_p)$  восстановления РС РЭС ЗРК за время  $t_p$ ; вероятностью  $P(t_{б.р.})$  безотказной работы за продолжительность  $t_{б.р.}$  боевой работы [2, 3].

Задача (1) решается при следующих допущениях: 1) распределение наработки РЭС на отказ экспоненциальное; 2) величина  $T_6$  не зависит от  $T_o$ ; 3) распределение продолжительности восстановления РС РЭС ЗРК эрланговское первого порядка. Первое допущение приемлемо ввиду того, что для РЭС современных ЗРК выполняется неравенство  $T_o \gg t_{\Sigma оцз}$  ( $t_{\Sigma оцз}$  – суммарная наработка РЭС ЗРК за оперативный цикл эксплуатации) и на рассматриваемых интервалах эксплуатации можно считать, что  $T_o = const$ . Второе допущение связано с неполнотой информации об изделии на ранних этапах разработки; зависимость  $T_6$  от  $T_o$  предполагается учитывать по мере уточнения структуры РЭС. Третье допущение

обусловлено приемлемыми погрешностями аппроксимации продолжительности восстановления РС РЭС ЗРК эрланговским распределением.

Для расчета целевого функционала все стоимостные характеристики приводятся к одному комплексу. Стоимость ЖЦ РЭС ЗРК представляет сумму  $C_{жц} = C_n + C_э$ , где  $C_n$  – средняя стоимость производства (включая стоимость разработки) РЭС ЗРК;  $C_э$  – средняя суммарная стоимость эксплуатации РЭС за назначенный срок службы ЗРК. Средняя суммарная стоимость эксплуатации определяется как  $C_э = C_{тр} + C_{то}$ , где  $C_{тр}$  – средняя суммарная стоимость текущих ремонтов РЭС ЗРК,  $C_{то}$  – средняя суммарная стоимость выполнения технических обслуживаний РЭС за продолжительность назначенного срока службы. Средняя суммарная стоимость ущерба  $C_{ущ}$  из-за ненадежности РЭС ЗРК определяется количеством ЗРК в типовой группировке ЗРВ; режимами свертывания (развертывания), перемещения, ожидания б.и. в выключенном и включенном состояниях, стрельбы. При этом функционалы стоимостей  $C_n$ ,  $C_э$  и  $C_{ущ}$  являются функциями величин  $T_o$  и  $T_в$ .

Задача (1) является задачей нелинейного программирования. Так как диапазоны возможных значений  $T_o$  и  $T_в$  достаточно узкие, а требуемая точность задаваемых показателей обеспечивается их дискретным заданием, то задачу (1) целесообразно решать методом перебора на сетке.

Использование предложенной методики позволяет более полно учитывать ожидаемые режимы эксплуатации РЭС мобильного ЗРК и затраты, обусловленные ненадежностью ЗРК в этих режимах, что, в свою очередь, дает возможность корректно учитывать суммарные расходы на разработку, производство и эксплуатацию ЗРК при обосновании ПН его РЭС. Изложенную методику можно применять при обосновании требований к надежности РЭС передвижных и стационарных ЗРК, типовой цикл эксплуатации которых представляет собой частный случай рассмотренной.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 27003-90. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 27 с.
2. Ланецкий Б.Н., Радкевич А.А. Аналитический метод расчета нестационарного коэффициента оперативной готовности системы со сложным режимом работы: Статья // Депонир. рукопись № 4900. – М.: ЦИВТИ, 1990. – 28 с.
3. Надежность технических систем: Справочник / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырёв, В.В. Болотин и др. / Под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.

Поступила 22.10.2002

**ЛАНЕЦКИЙ Борис Николаевич**, доктор техн. наук, профессор, профессор кафедры ХВУ. Область научных интересов – эксплуатация, надежность и эффективность в технике.

**ЗВЕРЕВ Алексей Алексеевич**, адъюнкт научного центра при ХВУ. В 1997 году окончил Харьковский военный университет. Область научных интересов – эксплуатация, надежность и эффективность в технике.