

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАДЕЖНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ МОБИЛЬНОГО ЗРК**

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

*Вводится новый показатель надежности – полный нестационарный коэффициент оперативной готовности. Предлагается математическая модель надежности радиоэлектронных средств мобильного зенитного ракетного комплекса (ЗРК) с учетом его возможных эксплуатационных состояний на интервалах эксплуатации между плановыми техническими обслуживаниями.*

**Введение.** При обосновании требований к надежности радиоэлектронных средств (РЭС) ЗРК в качестве одного из показателей надежности (ПН) обычно используют стационарный коэффициент оперативной готовности комплекса [1, 2]. Однако этот показатель не в полной мере характеризует основные эксплуатационные состояния и режимы функционирования РЭС мобильного ЗРК. Поэтому требования, предъявляемые к надежности РЭС ЗРК, исходя из заданной величины стационарного коэффициента оперативной готовности  $K_{o.g.}$ , как правило, являются завышенными, что требует неоправданных затрат на их обеспечение и подтверждение.

В [3] рассматривается нестационарный коэффициент оперативной готовности РЭС ЗРК на этапе ожидания боевого использования и при боевой работе для немобильного ЗРК. Для объективной оценки надежности РЭС мобильных ЗРК необходимо учитывать большее количество эксплуатационных состояний: перемещения, свертывания-развертывания и соответствующих им режимов эксплуатации.

Ниже для учета перечисленных факторов вводится новый показатель надежности мобильного ЗРК, разрабатывается математическая модель его надежности и предлагается для обоснования требований к надежности использовать задачу [4].

**Цель статьи** – разработка математической модели надежности РЭС мобильного ЗРК для расчета полного нестационарного коэффициента оперативной готовности (ПНКОГ), которую можно использовать для обоснования требований к надежности согласно [1] и контроля на этапах разработки и эксплуатации.

Под ПНКОГ  $W_{0.g.}$  мобильного ЗРК будем понимать вероятность того, что ЗРК в произвольный момент времени поступления заявки на боевое использование между плановыми техническими обслуживаниями (ТО) будет приведен в готовность к боевому использованию из различных эксплуатационных состояний за нормативное время  $t_n$ ; далее в случае признания его по результатам контроля функционирования (КФ) работоспособным, будет ожидать выдачи целеуказания, а в случае принятия решения о неработоспособном состоянии (по окончанию времени  $t_n$ ) будет восстанавливаться и по окончанию восстановления будет ожидать выдачи целеуказания; далее на интервале ожидания боевого использования в случайный момент выдачи целеуказания будет работоспособен и, начиная с этого момента времени, профункционирует без отказов в течение интервала боевой работы продолжительностью  $t_{бр}$ , после чего он будет свернут и перемещен на новую позицию.

Предлагается требования к величинам средней наработки на отказ и среднего времени восстановления работоспособности ЗРК задавать, исходя из известной величины ( $W_{тр}$ ) ПНКОГ мобильного ЗРК.

В разработанной математической модели надежности выделены следующие эксплуатационные состояния мобильного ЗРК на интервалах между ТО с минимальной периодичностью  $T_{ТО}$ :  $E_1$  – ЗРК работоспособен, ожидает использования по назначению в выключенном состоянии;  $E_2$  – ЗРК работоспособен, проводится плановый контроль функционирования продолжительностью  $\tau_{кф}$  или (и) плановое использование по назначению продолжительностью  $\tau_{и.н.}$ ;  $E_3$  – ЗРК неработоспособен, проводится текущий ремонт;  $E_4$  – ЗРК неработоспособен, ожидает использования по назначению в выключенном состоянии, считается работоспособным и готовым к применению;  $E_5$  – ЗРК неработоспособен, находится в состоянии скрытого отказа, проводится КФ;  $E_6$  – ЗРК работоспособен, свертывается и затем перемещается на новую позицию;  $E_7$  – работоспособен, ЗРК развертывается на новой позиции;  $E_8$  – ЗРК свертывается и затем перемещается на новую позицию, находится в состоянии скрытого отказа;  $E_9$  – ЗРК разворачивается на новой позиции, находится в состоянии скрытого отказа;  $E_{10}$  – ЗРК неработоспособен, свертывается и затем перемещается на новую позицию;  $E_{11}$  – ЗРК неработоспособен, разворачивается на новой позиции.

В произвольный момент времени  $t_{0г}$  может быть объявлена готовность к применению ЗРК, если он находится в одном из состояний  $E_1, E_2, E_4, E_5, E_6, E_7, E_8, E_9$ . При этом проводится включение, если ЗРК был выключен (состояние  $E_1, E_2, E_4, E_5, E_6, E_7$ ), полное включение, если ЗРК был частично включен (состояние  $E_2, E_3$ ) или продолжается КФ, если

ЗРК был полностью включен (состояние  $E_2, E_3$ ). Предполагается известным коэффициент  $\alpha_{\text{вкл}}$  полных включений, определяемый как отношение числа полных плановых включений ЗРК к общему числу плановых включений на рассматриваемом интервале эксплуатации. Если ЗРК в момент объявления готовности к применению находится в состоянии  $E_3$ , то его приведение в готовность осуществляется в случае своевременного восстановления работоспособности.

По окончании нормативного времени  $t_n$  приведения ЗРК в готовность к боевому использованию принимается решение о боевой готовности ЗРК. При этом, если ЗРК работоспособен, то начинается режим ожидания боевого использования во включенном состоянии и, если ЗРК неработоспособен, начинается восстановление работоспособности ЗРК. По окончании восстановления ЗРК начинается режим ожидания боевого использования во включенном состоянии, если восстановление произошло своевременно (т.е. до выхода цели из зоны выдачи целеуказания), или, в случае несвоевременного восстановления, ЗРК выключают. В случайные моменты времени на интервале ожидания боевого использования во включенном и работоспособном состоянии ЗРК выдается целеуказание для уничтожения целей, при этом начиная с этого момента и до окончания обстрела ЗРК должен функционировать безотказно.

Кроме коэффициента  $\alpha_{\text{вкл}}$  полных включений будем полагать известными:  $F_{\text{б.н.}}(t)$  – функцию распределения (ф.р.) продолжительности поступления заявок на боевое использование ЗРК;  $P_i$  – стационарные вероятности пребывания ЗРК в  $E_i$  состоянии,  $i = \overline{1, II}$ ;  $P_{\text{вкл } 1}, P_{\text{вкл } 2}$  – вероятности безотказного включения ЗРК при полном и частичном включении соответственно;  $P_{\text{пр } i}(t_n)$  – условные вероятности того, что за нормативное время  $t_n$  будут выполнены операции приведения ЗРК в готовность к применению из состояния  $E_i$ ,  $i = \overline{1, II}$ ;  $P(t_{\text{б.р.}})$  – вероятность безотказной работы ЗРК за продолжительность  $t_{\text{б.р.}}$  выполнения стрельбы;  $K_i(t_{\text{ож}}), \overset{\circ}{K}_r(t_{\text{ож}})$  – величины нестационарных коэффициентов готовности ЗРК в момент окончания интервала ожидания боевого использования при условии, что в момент начала ожидания ЗРК был работоспособен ( $K_i(t_{\text{ож}})$ ) или неработоспособен ( $\overset{\circ}{K}_r(t_{\text{ож}})$ ) [3].

Для расчета стационарных вероятностей пребывания мобильного ЗРК в состояниях  $E_i$  разработана полумарковская модель функционирования мобильного ЗРК на множестве его возможных состояний  $E_1, \dots, E_{11}$  за интервал эксплуатации между плановыми ТО. Эти вероятности являются функциями показателей безотказности и ремонтпригодности.

Тогда в соответствии с формулой полной вероятности и определе-

нием ПНКОГ ЗРК можно записать следующее расчетное соотношение для величины ПНКОГ  $W_{0.г.}$  ЗРК:

$$W_{0.г.} = F_{б.и.}(T_{ТО})W_y + [1 - F_{б.и.}(T_{ТО})](P_1 + P_2), \quad (1)$$

где  $W_y$  – величина условного ПНКОГ ЗРК, вычисленная при условии, что на интервале между плановыми ТО поступила хотя бы одна заявка на боевое использование ЗРК;  $P_1$  и  $P_2$  – стационарные вероятности пребывания ЗРК в состояниях  $E_1$  и  $E_2$  соответственно.

Таким образом, получена математическая модель надежности РЭС мобильного ЗРК с учетом его возможных эксплуатационных состояний на интервалах эксплуатации между техническими обслуживаниями минимальной периодичности. Данная модель определяет функциональную связь между полным нестационарным коэффициентом оперативной готовности и интересующими нас характеристиками безотказности и ремонтпригодности для различных эксплуатационных состояний. Эти результаты могут быть использованы при задании требований к надежности РЭС мобильных ЗРК, при решении задач соответствия спроектированного (эксплуатируемого) ЗРК заданным требованиям на этапах разработки и эксплуатации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 27003-90. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 27 с.
2. Дзиркал Э.В. Задание и проверка требований к надежности сложных изделий. – М.: Радио и связь, 1981. – 176 с.
3. Ланецкий Б.Н. Расчет коэффициента оперативной готовности системы со случайными продолжительностями интервалов ожидания и использования по назначению // Збірник наукових праць ХВУ. – Х.: ХВУ, 1998. – Вип. 21.– С. 100 – 106.
4. Ланецкий Б.Н., Зверев А.А. Формулировка задачи обоснования требований к показателям надежности радиоэлектронных средств мобильных ЗРК и метод ее решения // Системи обробки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2002. – Вип. 6(22). – С. 187 – 189.

Поступила 21.02.2003

*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 ХВУ по программе ВИРТА ПВО. Область научных интересов – эксплуатация, надежность и эффективность в технике.*