

УДК 62 – 192;006

Б.Н. Ланецкий<sup>1</sup>, В.В. Лукьянчук<sup>1</sup>, В.С. Жуков<sup>1</sup>, И.Н. Теребуха<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

<sup>2</sup> Военская часть А0800, Одесса

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА ТЕКУЩЕГО РЕМОНТА РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ПАРКА ЗЕНИТНЫХ РАКЕТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ГРУППИРОВКИ ЗЕНИТНЫХ РАКЕТНЫХ ВОЙСК

*Разрабатываются модели процесса текущего ремонта радиоэлектронных средств парка ЗРК группировки ЗРВ при различных по организации выполнения методах текущего ремонта, которые в зависимости от уровня сложности текущего ремонта радиоэлектронных средств ЗРК проводятся эксплуатационным персоналом, либо бригадами текущего ремонта соединений (частей) ЗРВ, либо смешанными методами, представляющими собой различные комбинации методов текущего ремонта эксплуатационным персоналом, бригадами текущего ремонта соединений (частей) ЗРВ и бригадами текущего ремонта специализированных организаций более высокого иерархического уровня. Разработанные модели предполагается использовать для обоснования организационных методов текущего ремонта радиоэлектронных средств парка ЗРК группировки ЗРВ.*

**Ключевые слова:** парк зенитных ракетных комплексов группировки ЗРВ, методы текущего ремонта, математическая модель, коэффициент готовности парка зенитных ракетных комплексов.

### Введение

**Постановка проблемы.** Совершенствование методов эксплуатации зенитных ракетных комплексов (ЗРК) и, в частности, принятие для зенитного ракетного вооружения методов эксплуатации по техническому состоянию требует решения ряда технико-экономических и организационно-технических задач, в том числе анализа и обоснования методов текущего ремонта (ТР) радиоэлектронных средств (РЭС) ЗРК. Реализованный в настоящее время метод ТР РЭС ЗРК эксплуатационным персоналом (с привлечением при необходимости специалистов подразделений технического обслуживания и ремонта соединения (части)), характерный для регламентированной стратегии эксплуатации, характеризуется большими потребностями в специалистах высокой квалификации, расходом дополнительных средств на поддержание требуемого уровня квалификации исполнителей ТР и нерациональной их занятостью, на обеспечение требуемых запасов запасных частей в одиночных комплектах ЗИП низким коэффициентом использования средств измерения, большим расходом технического ресурса зенитного ракетного вооружения на восстановление работоспособности (РС), а так же значительными временными, материальными и другими затратами на ТР РЭС парка ЗРК группировки ЗРВ. Несоответствие реализованных организационных методов ТР возросшим требованиям к качеству и продолжительности выполнения ТР является одной из причин дополнительных простоев ЗРК в неработоспособном состоянии (НРС). С переводом ЗРК на эксплуатацию по техническому состоянию [1, 2] необходимо обос-

новывать и внедрять более совершенные организационные методы ТР РЭС ЗРК группировок ЗРВ (централизованные, децентрализованные, специализированными организациями и др.), отличающиеся от используемых в настоящее время более глубокой специализацией бригад ТР по восстановлению РС функциональных систем РЭС ЗРК, использованием специальных средств технической диагностики. Восстановление РС функциональных систем РЭС ЗРК требует использования бригад ТР различного квалификационного уровня, специальных средств диагностики и ремонта и др. В зависимости от уровня сложности и трудоёмкости операций ТР различных функциональных систем РЭС ЗРК предполагается проводить их ТР с использованием бригад ТР соответствующих уровней квалификации такими методами, при которых обеспечиваются требования к восстановлению РС РЭС парка ЗРК группировки ЗРВ с учётом затрат на реализацию этих методов. Обоснование рациональных методов ТР РЭС ЗРК группировки ЗРВ из множества возможных вариантов предполагает получение количественных оценок их эффективности. Оценки эффективности вариантов методов ТР РЭС ЗРК группировок ЗРВ можно получить с помощью моделей процесса ТР, учитывающих потребность РЭС ЗРК в ТР, их приспособленность к ТР, количественный состав и территориальное размещение ЗРК в группировках ЗРВ и другие факторы. В связи с этим актуальным является разработка моделей процесса ТР РЭС парка ЗРК группировки ЗРВ при различных по организации выполнения методах ТР.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Вопросы моделирования процессов сложных

технических систем рассматривались в ряде работ [2, 3, 5, 7], в частности, при обосновании организационных методов технического обслуживания и ТР РЭС ЗРК. При этом в [2, 3, 7] рассматривался ограниченный набор методов ТР (эксплуатационным персоналом или выездными бригадами ТР соединений (частей) ЗРВ), ориентированных, в основном, на ТР РЭС ЗРК бригадами одного уровня, не рассматривались смешанные методы ТР с привлечением сил и средств специализированных организаций, недостаточно полно учитывались возможности по более эффективному использованию исполнителей ТР с учётом уровней их квалификации и различные варианты территориального размещения ЗРК в группировках ЗРВ. В [4, 6, 7] и других работах не учитывались особенности организации проведения ТР при эксплуатации вооружения по техническому состоянию, что, в свою очередь, не позволяет разрабатывать рекомендации по обоснованию рациональных методов ТР ЗРК с учётом особенностей их перевода на эксплуатацию по техническому состоянию.

**Цель статьи.** разработка моделей процесса ТР РЭС парка ЗРК группировки ЗРВ при различных по организации выполнения методах ТР для оценки их эффективности и последующего выбора.

### Основная часть

Рассматриваются особенности восстановления РС РЭС парка из  $n$  однотипных ЗРК группировки ЗРВ либо одной бригадой ТР, либо различными бригадами ТР, отличающиеся уровнями сложности выполняемых работ. При разработке моделей процессов ТР РЭС парка ЗРК группировки ЗРВ рассматривается более глубокая (по сравнению с регламентированной стратегией эксплуатации) специализация бригад ТР по следующим уровням сложности выполняемых работ: ТР 1-го уровня сложности, выполняемый эксплуатационным персоналом ЗРК и не требующий высокой квалификации исполнителей ТР и использования специальных диагностических стендов и средств ТР; ТР 2-го уровня сложности, выполняемый бригадами ТР соединения (части) ЗРВ, требующий применения специализированных средств диагностики и соответствующей квалификации специалистов по ТР; ТР 3-го уровня сложности, выполняемый бригадами контрольно-восстановительных работ группировки ЗРВ (далее бригады КВР), требующий применения специальных диагностических стендов, средств ремонта, документации и высокой квалификации специалистов по проведению контролей предельного состояния и в зависимости от его результатов либо восстановительных работ, либо ТР отдельных составных частей ЗРК и технических обслуживаний большой периодичности [7]. Рассматриваются следующие уровни бригад ТР, соответствующие выделенным уровням сложности ТР: уровень  $v = 1$  –

методу ТР эксплуатационным персоналом; уровень  $v = 2$  – методу ТР выездными бригадами соединений (частей) ЗРВ; уровень  $v = 3$  – методу ТР выездными бригадами КВР. При этом в разрабатываемых моделях процесса ТР принято, что количество бригад ТР  $r_v, v = \overline{1,3}$  парка из  $n$  ЗРК группировки ЗРВ, которое может быть использовано при выполнении ТР, составляет:  $r_1 = n$  – при рассредоточенном размещении ЗРК в группировке ЗРВ и  $r_1 \leq n$  – при размещении ЗРК в парках;  $r_2 < n$ ;  $r_3 < r_2 < n$ .

Модели разработаны при следующих допущениях: наработки РЭС ЗРК между отказами и продолжительности восстановлений их РС характеризуются экспоненциальными законами распределения с соответствующими параметрами, характеризующими интенсивности возникновения отказов и восстановлений РС; в зависимости от уровня сложности выполнения ТР отказы РЭС ЗРК разбиты на три типа с соответствующими интенсивностями  $\lambda_s, s = \overline{1,3}$ ; продолжительности восстановления РС РЭС парка ЗРК бригадой  $v$ -го уровня при  $s$ -м типе отказа (с учётом времени её доставки к месту ремонта) характеризуются средними временами  $T_{vvs}, v = \overline{1,3}; s = \overline{1,3}$ .

Модели процесса ТР РЭС парка ЗРК группировки ЗРВ разрабатываются для следующих вариантов методов выполнения ТР, пронумерованных от 1 до 6 ( $m = \overline{1,6}$ ): первый вариант ( $m = 1$ ) – эксплуатационным персоналом, которым устраняются отказы всех типов; второй вариант ( $m = 2$ ) – выездными бригадами ТР соединений (частей) ЗРВ, которыми устраняются отказы всех типов; третий вариант ( $m = 3$ ) – эксплуатационным персоналом, которым устраняются отказы первого типа, и выездными бригадами ТР соединений (частей) ЗРВ, которыми устраняются отказы второго и третьего типов; четвёртый вариант ( $m = 4$ ) – эксплуатационным персоналом, которым устраняются отказы первого типа, и выездными бригадами КВР, которыми устраняются отказы второго и третьего типов; пятый вариант ( $m = 5$ ) – выездными бригадами ТР соединений (частей) ЗРВ, которыми устраняются отказы первого и второго типов, и выездными бригадами КВР, которыми устраняются отказы третьего типа; шестой вариант ( $m = 6$ ) – эксплуатационным персоналом, которым устраняются отказы первого типа, выездными бригадами ТР соединений (частей) ЗРВ, которыми устраняются отказы второго типа, и выездными бригадами КВР, которыми устраняются отказы третьего типа.

Для оценки эффективности выполнения ТР РЭС парка ЗРК группировки ЗРВ различными методами введём показатель: «стационарный коэффициент готовности парка из  $n$  ЗРК группировки ЗРВ

$K_{\text{гп}}^{(m)}$  при  $m$ -м варианте метода выполнения ТР».

Под показателем  $K_{\text{гп}}^{(m)}$  понимается отношение математического ожидания числа РС ЗРК  $M(n_{\text{pc}})$  для установившегося процесса эксплуатации к общему количеству парка ЗРК группировки ЗРВ, т. е.  $K_{\text{гп}}^{(m)} = M(n_{\text{pc}}) / n$ .

Ниже разрабатываются математические модели процесса ТР РЭС парка ЗРК группировки ЗРВ бригадами ТР одного уровня ( $m=1,2$ ), двух уровней ( $m=3,4,5$ ) и трёх уровней ( $m=6$ ).

**Модели процесса текущего ремонта бригадами одного уровня.** Рассматриваются процессы ТР РЭС парка из  $n$  ЗРК группировки ЗРВ при первом либо втором варианте методов их выполнения. Под состоянием системы из  $n$  ЗРК понимается число НРС ЗРК в группировке ЗРВ. Обозначим: состояние системы индексом  $i$ , где  $i = \overline{1, n}$ ; вероятности нахождения системы в произвольный момент времени в состоянии  $i$  при  $m$ -м варианте метода ТР –  $P_i^{(m)}$ ,  $m=1,2$ ;  $i = \overline{1, n}$ .

Тогда процесс ТР РЭС парка ЗРК эксплуатационным персоналом или выездными бригадами соединения (части) ЗРВ можно представить одномерным графом возможных состояний и переходов (рис. 1).

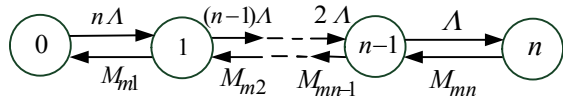


Рис. 1. Граф возможных состояний и переходов системы из  $n$  ЗРК группировки ЗРВ при их текущем ремонте бригадами одного уровня

Интенсивности переходов системы из состояния  $i$  в состояние  $i+1$  определяются интенсивностями отказов РЭС ЗРК и числом РС ЗРК группировки ЗРВ в состоянии  $i$  по соотношению

$$\Lambda_i^{(m)} = (n-i)\Lambda, \quad (1)$$

где  $\Lambda = \sum_{s=1}^3 \lambda_s$ .

Интенсивности переходов системы из состояния  $i$  в состояние  $i-1$  определяются интенсивностями восстановлений РС РЭС ЗРК по соотношению

$$M_{mi} = b_{ir_v}^{(m)} \mu_m, \quad m=1,2; \quad i = \overline{1, n}; \quad v=1,2, \quad (2)$$

где  $b_{ir_v}^{(m)}$  – количество одновременно восстанавливаемых ЗРК бригадами ТР  $v$ -го уровня при  $m$ -м варианте метода ТР,  $\mu_m$  – интенсивность восстановления РС ЗРК при  $m$ -м варианте метода ТР.

Значения  $b_{ir_v}^{(m)}$  и  $\mu_m$  для вариантов методов ТР

$m=1,2$  определяются по соотношениям:

$$b_{ir_1}^{(1)} = \min\{i, r_1\}; \quad \mu_1 = \sum_{s=1}^3 \left[ \frac{\lambda_{is}}{\Lambda} T_{\hat{a}1s} \right]^{-1};$$

$$b_{ir_2}^{(2)} = \min\{i, r_2\}; \quad \mu_2 = \sum_{s=1}^3 \left[ \frac{\lambda_{is}}{\Lambda} T_{\hat{a}2s} \right]^{-1}.$$

По размеченному графу рис. 1 можно составить систему линейных алгебраических уравнений, описывающих процесс ТР в стационарном режиме, решением которой являются расчётные соотношения для вероятностей  $P_i^{(m)}$ . Тогда  $K_{\text{гп}}^{(m)}$  при  $m=1,2$  можно рассчитать по соотношению

$$K_{\text{гп}}^{(m)} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (n-i) P_i^{(m)}, \quad m=1,2. \quad (3)$$

**Модели процесса ТР бригадами двух уровней.** Рассматриваются процессы выполнения ТР бригадами двух уровней при  $m=3,4,5$ . Обозначим: возможные состояния системы двойкой индексов  $(i, j)$ , значения которых означают: при 3-м и 4-м вариантах методов ТР для индекса  $i$  – количество НРС ЗРК с отказами первого типа, для индекса  $j$  – количество НРС ЗРК, с отказами второго и третьего типов; при 5-м варианте метода ТР для индекса  $i$  – количество НРС ЗРК с отказами первого и второго типов, для индекса  $j$  – количество НРС ЗРК с отказами третьего типа; вероятности нахождения системы в состоянии  $(i, j)$  при  $m$ -м варианте метода ТР –  $P_{ij}^{(m)}$ . Тогда процесс ТР РЭС парка ЗРК группировки ЗРВ при 3, 4 и 5 вариантах методов его выполнения можно представить двумерным графом возможных состояний и переходов (рис. 2).

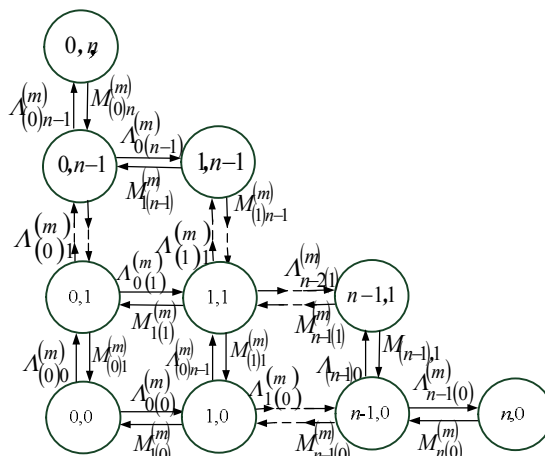


Рис. 2. Граф возможных состояний и переходов системы из  $n$  ЗРК группировки ЗРВ при их текущем ремонте бригадами двух уровней

Интенсивности переходов системы  $\Lambda_{(i,j)}^{(m)}$  из состояния  $(i, j)$  в состояние  $(i+1, j)$  и  $\Lambda_{(i,j)}^{(m)}$  из со-

стояния  $(i, j)$  в состояние  $(i, j+1)$  зависят от используемого варианта метода ТР, интенсивностей отказов РЭС ЗРК и количества РС ЗРК в состоянии  $(i, j)$  и определяются по формулам:

$$\Lambda_{i(j)}^{(m)} = [n - (i + j)]\lambda_1, m = 3, 4; i = \overline{1, n}; \quad (4)$$

$$\Lambda_{i(j)}^{(m)} = [n - (i + j)](\lambda_1 + \lambda_2), m = 5; i = \overline{1, n}; \quad (5)$$

$$\Lambda_{(i)j}^{(m)} = [n - (i + j)](\lambda_1 + \lambda_2), m = 3, 4; j = \overline{1, n}; \quad (6)$$

$$\Lambda_{(i)j}^{(m)} = [n - (i + j)]\lambda_3, m = 5; j = \overline{1, n}. \quad (7)$$

Интенсивности восстановления РС РЭС одного ЗРК  $\mu_{mv}$ ,  $m = \overline{3, 5}$ ,  $v = \overline{1, 3}$  при  $m$ -м варианте метода ТР бригадой  $v$ -го уровня определяются продолжительностями восстановления РС РЭС ЗРК  $T_{Bvs}$  и условными вероятностями нахождения ЗРК в НРС с отказами  $s$ -го типа по формулам:

$$\mu_{31} = [T_{B11}]^{-1}; \mu_{32} = \left[ \frac{\lambda_{o2}}{\Lambda} T_{B22} + \frac{\lambda_{o3}}{\Lambda} T_{B23} \right]^{-1};$$

$$\mu_{41} = [T_{B11}]^{-1}; \mu_{43} = \left[ \frac{\lambda_{o2}}{\Lambda} T_{B32} + \frac{\lambda_{o3}}{\Lambda} T_{B33} \right]^{-1};$$

$$\mu_{52} = \left[ \frac{\lambda_{o1}}{\Lambda} T_{B21} + \frac{\lambda_{o2}}{\Lambda} T_{B22} \right]^{-1}; \mu_{53} = [T_{B33}]^{-1}.$$

Интенсивности переходов системы из состояния  $(i, j)$  в состояния  $(i-1, j)$  и  $(i, j-1)$  определяются по формулам

$$M_{i(j)}^{(m)} = b_{i(j)r_v}^{(m)} \cdot \mu_{mv}, m = \overline{3, 5}, i = \overline{1, n}; \quad (8)$$

$$M_{(i)j}^{(m)} = b_{(i)j r_v}^{(m)} \cdot \mu_{mv}, m = \overline{3, 5}, j = \overline{1, n}, \quad (9)$$

где  $b_{i(j)r_v}^{(m)}$  и  $b_{(i)j r_v}^{(m)}$  – количество одновременно восстанавливаемых ЗРК при  $m$ -м варианте метода ТР бригадами  $v$ -го уровня, значения которых определяются по соотношениям:

$$b_{i(j)r_1}^{(3)} = b_{i(j)r_1}^{(4)} = \min\{i, r_1\}; b_{i(j)r_2}^{(5)} = \min\{i, r_2\};$$

$$b_{j r_2}^{(3)} = \min\{j, r_2\}; b_{j r_3}^{(4)} = b_{j r_3}^{(5)} = \min\{j, r_3\}.$$

Процесс ТР в системе из  $n$  ЗРК в стационарном режиме можно описать системой алгебраических уравнений, составленных по графу рис. 2, решением которой являются вероятности  $P_{ij}^{(m)}$ ,  $i = \overline{0, n}$ ,  $j = \overline{0, n}$ .

Тогда  $K_{rп}^{(m)}$  при  $m$ -м варианте ТР рассчитывается по соотношению

$$K_{rп}^{(m)} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-i} [n - (i + j)] P_{ij}^{(m)}, m = \overline{3, 5}. \quad (10)$$

**Модель процесса текущего ремонта бригадами трёх уровней.** Рассматриваются процессы ТР РЭС парка из  $n$  ЗРК группировки ЗРВ при их ТР бригадами трёх уровней ( $m = 6$ ). Обозначим: возможные состояния системы тройкой индексов  $(i, j, k)$ , где:  $i$  – количество НРС ЗРК с отказами первого типа,  $j$  – количество НРС ЗРК с отказами второго типа,  $k$  – количество НРС ЗРК с отказами третьего типа; вероятности нахождения системы в состоянии  $(i, j, k)$  при рассматриваемом варианте метода ТР –  $P_{ijk}^{(6)}$ . Тогда процесс ТР ЗРК группировки можно представить трёхмерным графом возможных состояний и переходов системы (рис. 3).

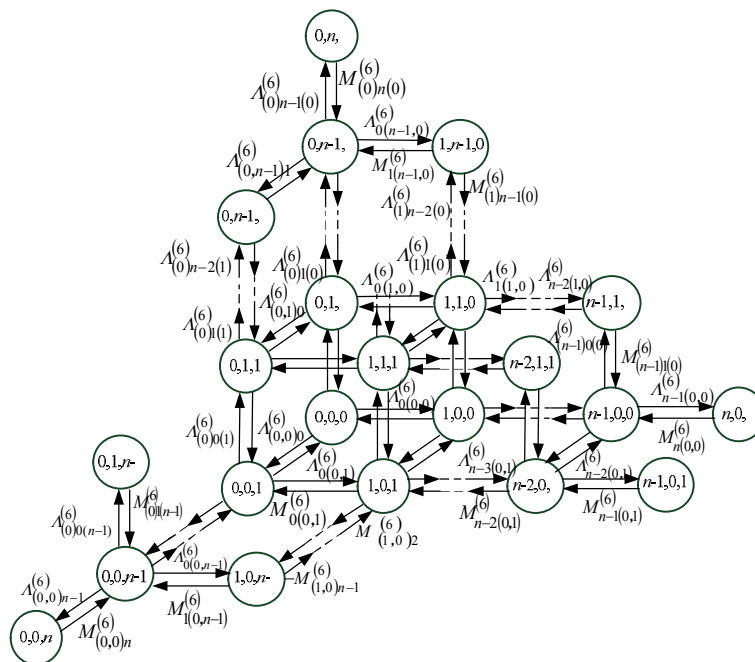


Рис. 3. Граф возможных состояний и переходов системы из  $n$  ЗРК группировки ЗРВ при их текущем ремонте бригадами трёх уровней

На графе рис. 3 переходы по горизонтальной оси соответствуют событиям возникновения и устранения отказов первого типа; переходы по вертикальной оси – событиям возникновения и устранения отказов второго типа; переходы по наклонной оси – событиям возникновения и устранения отказов третьего типа.

Интенсивности переходов системы из состояния  $(i, j, k)$  в состояния  $(i+1, j, k)$ ,  $(i, j+1, k)$  и  $(i, j, k+1)$  определяются числом РС ЗРК в состоянии  $(i, j, k)$  и интенсивностями отказов соответствующих типов  $\lambda_s, s = \overline{1, 3}$  по формулам:

$$\Lambda_{i(i,k)}^{(6)} = [n - (i + j + k)] \cdot \lambda_1, \quad i = \overline{0, n-1}; \quad (11)$$

$$\Lambda_{(i)j(k)}^{(6)} = [n - (i + j + k)] \cdot \lambda_2, \quad j = \overline{0, n-1}; \quad (12)$$

$$\Lambda_{(i,j)k}^{(6)} = [n - (i + j + k)] \cdot \lambda_3, \quad k = \overline{0, n-1}. \quad (13)$$

Интенсивности переходов системы  $M_{i(j,k)}^{(6)}, M_{(i)j(k)}^{(6)}$  и  $M_{(i,j)k}^{(6)}$  из состояния  $(i, j, k)$  в состояния  $(i-1, j, k)$ ,  $(i, j-1, k)$  и  $(i, j, k-1)$  соответственно зависят от продолжительности восстановления РС РЭС одного ЗРК  $T_{BvS}, v = \overline{1, 3}; s = \overline{1, 3}$  бригадой ТР  $v$ -го уровня при отказе  $s$ -го типа и числа восстанавливаемых ЗРК и определяются по формулам:

$$M_{i(j,k)}^{(6)} = (T_{B11})^{-1} b_{i1}^{(6)}; \quad (14)$$

$$M_{(i)j(k)}^{(6)} = (T_{B22})^{-1} b_{j2}^{(6)}; \quad (15)$$

$$M_{(i,j)k}^{(6)} = (T_{B33})^{-1} b_{k3}^{(6)}, \quad (16)$$

где  $b_{i1}^{(6)} = \min \{ i, r_1 \}; \quad b_{j2}^{(6)} = \min \{ j, r_2 \}, \quad$  и  $b_{k3}^{(6)} = \min \{ k, r_3 \}$  – количества одновременно восстанавливаемых ЗРК бригадами ТР соответствующего уровня.

Вероятности  $P_{ijk}^{(6)}, i = \overline{0, n}; j = \overline{0, n}; k = \overline{0, n}$  нахождения системы в состоянии  $(i, j, k)$  для рассматриваемого варианта метода ТР можно определить решением системы алгебраических уравнений, составленных для графа возможных состояний и переходов системы из  $n$  ЗРК (рис. 3). Тогда  $K_{\Gamma n}^{(m)}$  при  $m = 6$  можно рассчитать по соотношению

$$K_{\Gamma n}^{(6)} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-i} \sum_{k=0}^{n-i-j} [n - (i + j + k)] P_{ijk}^{(6)}. \quad (17)$$

Разработанные выше модели процесса выполнения ТР РЭС парка ЗРК группировки ЗРВ позволяют оценивать эффективность исследуемых вари-

антов методов ТР бригадами различных уровней по введённому показателю – стационарному коэффициенту готовности РЭС парка ЗРК группировки ЗРВ и другим показателям, которые основаны на известных вероятностях  $P_{\Sigma 1}^{(m)}$  нахождения парка ЗРК в состоянии 1, где  $l = \overline{0, n}$  – количество НРС ЗРК в группировке. Особенностями разработанных моделей является возможность оперативной оценки влияния уровня безотказности и ремонтпригодности РЭС парка ЗРК группировки ЗРВ, количества используемых для восстановления РС РЭС ЗРК бригад ТР и уровней их квалификации на эффективность функционирования системы ТР парка ЗРК группировки ЗРВ при различных вариантах методов ТР, что, в свою очередь, позволяет обосновывать выбор наиболее эффективных методов ТР и использовать их при обосновании системы ТР РЭС парка ЗРК группировки ЗРВ.

Модели разработаны с допущениями об однотипности и равнонадёжности РЭС парка ЗРК группировки ЗРВ, об экспоненциальности законов распределения наработки РЭС ЗРК между отказами и экспоненциальности законов распределения продолжительностей восстановления РС РЭС ЗРК, упрощённо представленных в виде суммы продолжительности выполнения ТР и продолжительности доставки бригад ТР к местам выполнения ТР, при упрощённом представлении территориального размещения ЗРК в группировке ЗРВ и др. В связи с этим получаемым по разработанным математическим моделям оценкам показателей эффективности функционирования системы ТР ЗРК группировки ЗРВ присущи определённые погрешности, что в определённых ситуациях может привести к некорректному выбору параметров метода ТР. Так, погрешности оценивания показателя эффективности функционирования системы ТР РЭС ЗРК группировки ЗРВ ( $K_{\Gamma n}^{(m)}$ ) при рассмотренных вариантах методов ТР составляют: эксплуатационным персоналом или выездными бригадами ТР соединения (части) ЗРВ – не более 5 %; бригадами двух уровней 10 – 15 %; бригадами трёх уровней – до 23 %. Поэтому разработанные математические модели целесообразно использовать при обосновании системы ТР РЭС парка ЗРК группировки ЗРВ на этапах проектирования ЗРК на основе результатов прогнозирования ожидаемой эффективности её функционирования.

Для уточнения параметров системы ТР РЭС парка ЗРК группировки ЗРВ на этапах предварительных и государственных испытаний опытного образца ЗРК целесообразно использовать имитационные модели процесса ТР РЭС ЗРК типовой группировки ЗРВ. При этом возможно более адекватное описание процессов ТР с учётом законов распределения продолжительностей доставки бригад ТР к

местам выполнения ТР для типового территориального размещения ЗРК в группировке ЗРВ и продолжительностей восстановления РС бригадами ТР различных уровней и др. факторов.

Имитационные модели процесса ТР РЭС ЗРК группировок ЗРВ целесообразно использовать также для определения погрешностей оценок эффективности функционирования системы ТР, получаемым с использованием разработанных математических моделей. С учётом оценок известных погрешностей показателей эффективности системы ТР по разработанным математическим моделям возможно их использование для получения оперативных оценок эффективности функционирования системы ТР РЭС парка ЗРК типовой группировки ЗРВ на других этапах стадий жизненного цикла ЗРК.

### Выводы

Разработанные модели процесса ТР РЭС парка ЗРК группировки ЗРВ позволяют получать оценки эффективности системы ТР при различных по организации выполнения вариантах методов ТР по значениям коэффициента готовности парка ЗРК группировок ЗРВ и другим показателям. Они могут быть использованы для предварительного обоснования организационных методов ТР РЭС ЗРК на этапах проектирования ЗРК, а так же с учётом их погрешностей оценки эффективности системы ТР при разработке и уточнении параметров организационных методов ТР на других этапах стадий жизненного цикла ЗРК. Уточнение параметров организационных методов ТР РЭС парка ЗРК группировки ЗРВ на этапах предварительных и государственных испытаний целесообразно проводить с использованием имитационных моделей.

### РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСУ ПОТОЧНОГО РЕМОНТУ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ ПАРКУ ЗЕНІТНИХ РАКЕТНИХ КОМПЛЕКСІВ УГРУПУВАННЯ ЗЕНІТНИХ РАКЕТНИХ ВІЙСЬК

Б.М. Ланецький, В.В. Лук'янчук, В.С. Жуков, І.М. Теребуха

Розробляються моделі процесу поточного ремонту радіоелектронних засобів парку ЗРК угруповання ЗРВ при різних по організації виконання методах поточного ремонту, які залежно від рівня складності поточного ремонту радіоелектронних засобів ЗРК проводяться експлуатаційним персоналом, або бригадами поточного ремонту з'єднань (частин) ЗРВ, або змішаними методами, що представляють собою різні комбінації методів поточного ремонту експлуатаційним персоналом, бригадами поточного ремонту з'єднань (частин) ЗРВ і бригадами поточного ремонту спеціалізованих організацій більш високого ієрархічного рівня. Розроблені моделі передбачається використовувати для обґрунтування організаційних методів поточного ремонту радіоелектронних засобів парку ЗРК угруповання ЗРВ.

**Ключові слова:** парк зенітних ракетних комплексів угруповання ЗРВ, методи поточного ремонту, математична модель, коефіцієнт готовності парку зенітних ракетних комплексів.

### PROCESS OF RADIO ELECTRONIC FACILITIES MAINTENANCE OF AIR DEFENCE COMPLEXES GROUPMENT FLEET MODELS DEVELOPMENT

B.N. Laneckiy, W.W. Lukyanchuk W.S. Zhukow, I.M. Terebuha

Models of the process of radio electronic facilities maintenance for the inventory of surface-to-air missile (SAM) complexes in a SAM troops formation is developed given different maintenance methods, which, depending on the level of radio electronic facilities maintenance complexity, is performed whether by operating personnel, or by maintenance crew of air defence formations (units), or by mixed methods, being different combinations of maintenance methods provided by operating personnel, maintenance crew of air defence formations (units) and maintenance crew of the higher level specialized organizations. Developed models are intended to be used when reasoning organizational maintenance methods for the radio electronic means of air defence complexes in a SAM troops formation.

**Keywords:** air defence complexes fleet, maintenance methods, mathematical model, availability ratio.

### Список литературы

1. Порядок експлуатації за технічним станом озброєння та військової техніки зенітних ракетних та радіотехнічних військ, за якими не здійснюється авторський нагляд. Затверджен наказом Міністра оборони України від 05. 02. 2010 р. № 53.

2. Ланецкий, Б.Н. Модель для оценки эффективности функционирования системы технического обслуживания и ремонта группировки комплексов зенитных ракетных войск / Б.Н. Ланецкий, А.В. Нерушев // Сборник докладов XVI НТК «Актуальные вопросы развития зенитного ракетного вооружения и его боевого применения». – Тверь: в/ч 03444, 1990.

3. Ковтуненко А.П. Обоснование выбора рациональных организационных методов технического обслуживания и ремонта территориально распределённых радиоэлектронных средств / А.П. Ковтуненко, Б.Н. Ланецкий, А.В. Нерушев // Сборник докл. Всесоюзной НТК «Контроль, измерение, диагностика, ремонт и техническое обслуживание радиоэлектронных средств». – М.: ЦКБ «Меридиан», 1991. – С. 32 – 35.

4. Барзилович, Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем: Учеб. пособие / Е.Ю. Барзилович. – М.: Высш. школа, 1982. – 231 с.

5. Надёжность и эффективность в технике: Справочник. В 10 т./Ред. совет: В. С. Авдеевский (пред.) и др. Т 8: Эксплуатация и ремонт / Под ред. В. И. Кузнецова и Е. Ю. Барзиловича. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.

6. Северцев Н.А. Основные вопросы теории и практики надежности / Н.А. Северцев. – М.: Сов. радио, 1980.

7. Ланецкий Б.Н. Разработка методики обоснования рациональных методов технического обслуживания и ремонта территориально распределённых РЭС / Б.Н. Ланецкий, А.В. Нерушев. // Сборник докладов 1-й Межг. НТК «Надёжность, живучесть и безопасность технических систем». С. – Петербург: Ассоциация специалистов по надёжности и безопасности, 1992. – С. 192 – 197.

Поступила в редколлегию 2.12.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. Б.А. Демидов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.