

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОВМЕСТНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ РЕМОНТА ТЭЗ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

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

Рассматривается модель совместного функционирования системы войскового ремонта (СВР) типовых элементов замены (ТЭЗ) и системы восстановления работоспособности (СВРС) радиоэлектронных систем (РЭС), позволяющая решать задачи обоснования параметров этих систем.

В [1] рассмотрено независимое функционирование СВР ТЭЗ и СВРС, что не позволяет корректно обосновывать параметры этих систем, функционирующих совместно. В данной статье для обоснования параметров СВР ТЭЗ и СВРС разработана математическая модель совместного функционирования исследуемых систем.

В состав СВРС входят: РЭС  $N$  комплексов, рассматриваемые как объекты текущего ремонта; средства восстановления работоспособности РЭС, исполнители и документация, объединенные в ремонтный орган (РО-1). В состав СВР входят: восстанавливаемые ТЭЗ, отказавшие в процессе функционирования и подлежащие восстановлению; средства доставки и ремонта этих ТЭЗ, исполнители и документация, объединенные в ремонтный орган (РО-2). Структурная схема СВР ТЭЗ и СВРС РЭС рассматриваемых комплексов представлена на рис. 1.

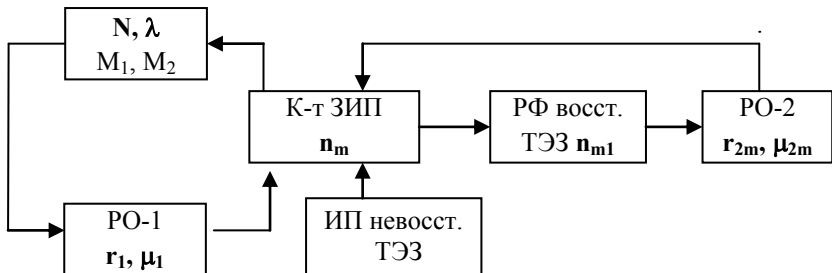


Рис.1. Структурная схема СВР ТЭЗ и СВРС РЭС

Предположим, что РЭС каждого комплекса состоит из  $M$  групп однотипных ТЭЗ и характеризуется интенсивностью отказов

$$\lambda = \sum_{m=1}^M k_m \cdot \lambda_m,$$

где  $\lambda_m$  - интенсивность отказов одного ТЭЗ  $m$  - й группы, а  $k_m$  – количество однотипных ТЭЗ в ней.

Все ТЭЗ разобьем на две группы: восстанавливаемые ТЭЗ, состоящие из  $M_1$  однотипных групп и невосстанавливаемые ТЭЗ, состоящие из  $M_2$  однотипных групп. Тогда  $M_1 + M_2 = M$ .

Работоспособность РЭС восстанавливает РО-1, который характеризуется канальностью  $r_1$  и производительностью  $\mu_1$ . Одиночный и (или) групповой комплект ЗИП к РЭС используется РО-1 для восстановления

ее работоспособности и состоит из  $\sum_{m=1}^M n_m$  однотипных восстанавливаемых и невосстанавливаемых ТЭЗ, где  $n_m$  - количество ТЭЗ  $m$  - й группы.

В процессе функционирования комплексов отказавшие восстанавливаемые ТЭЗ отправляются в РО2, образуя ремонтный фонд (РФ), а комплект ЗИП по номенклатуре невосстанавливаемых ТЭЗ пополняется из источника пополнения с определенной периодичностью.

Восстановление отказавших ТЭЗ производится в РО2, который характеризуется канальностью  $r_{2m}$  и производительностью  $\mu_{2m}$  по ТЭЗ  $m$ -й группы.

Для описания совместного функционирования СВР ТЭЗ и системы восстановления работоспособности РЭС определим состояния анализируемой системы вектором  $(\bar{i}; \bar{j})$ :

$$\bar{i} = \{i_1, i_2, \dots, i_l, \dots, i_M\}, \quad i_l = \overline{1, N}, \quad \sum_{l=1}^M i_l \leq N;$$

$$\bar{j} = \{j_1, j_2, \dots, j_l, \dots, j_M\}, \quad j_l = \overline{1, n_m},$$

где  $i_l$  - число неработоспособных комплексов, обусловленных отказом ТЭЗ  $l$  - й группы;  $j_l$  - число недостающих ТЭЗ  $l$  - й группы в комплекте ЗИП.

Фрагмент размеченного графа системы при  $N = M = 2$  и  $n_1 = n_2 = 1$  изображен на рис.2. При этом вектор состояний системы имеет вид  $(i_1, i_2; j_1, j_2)$ .

Аналитическое описание процесса функционирования такой системы при больших  $M$  (для сложных РЭС и комплектов ЗИП к ним) трудно. При составлении системы дифференциальных уравнений по тако-

му графу состояний возможны ошибки. Поэтому предложена менее сложная модель функционирования системы, которая вытекает из следующих предположений:

- поток отказов радиоэлектронных систем ординарный;
- вероятность наличия в одном комплексе нескольких отказов ТЭЭ различных типоминималов есть пренебрежимо малая величина.

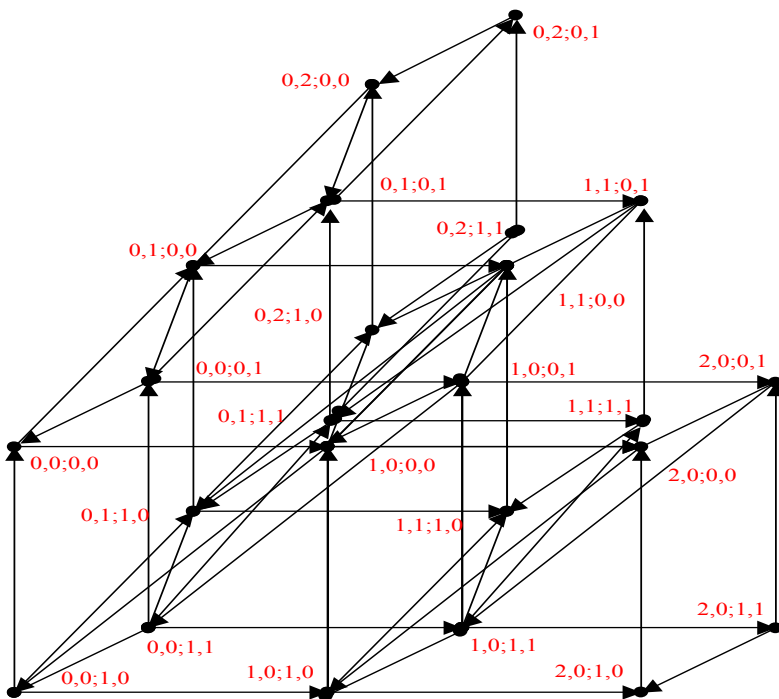


Рис. 2. Фрагмент размеченного графа системы при  $N = M = 2$  и  $n_1 = n_2 = 1$

Тогда модель совместного функционирования СВР ТЭЭ и СВРС РЭС по всем типоминималам ТЭЭ сводится к совокупности математических моделей совместного функционирования СВР ТЭЭ и СВРС РЭС по каждому типоминималу ТЭЭ и последующей свертке результатов моделирования.

Пусть по результатам моделирования совместного функционирования СВР ТЭЭ и СВРС РЭС по отдельному  $m$ -му типоминималу ТЭЭ получена вероятность  $P_m(l \geq l^*)$  того, что среди всех рассматриваемых комплексов число  $l$  работоспособных не менее требуемой величины  $l^*$ . Тогда искомая свертка показателя эффективности функционирования системы по всей номенклатуре ТЭЭ имеет вид

$$P(l \geq l^*) = \sum_{m=1}^{m=M_1} q_m \times P_m(l \geq l^*) + \sum_{m=M_1+1}^{m=M} q_m \times P_m(l \geq l^*), \quad l = \overline{1, N}, \quad (1)$$

где  $q_m = \frac{\lambda_m}{\lambda}$  – вероятность отказа ТЭЗ  $m$ -го типа в  $N$  комплексе, а

$$\sum_{m=1}^{m=M} q_m = 1.$$

Рассмотрим математическую модель совместного функционирования СВР ТЭЗ и СВРС РЭС по одному  $m$ -му типоминералу. Тогда введенный ранее вектор состояний системы примет вид  $(i_m, j_m)$ , а граф системы (рис.2) примет вид, изображенный на рис.3, где  $a_i = \min(i_m, r_1)$ ;  $b_{jm} = \min(j_m, r_2)$ .

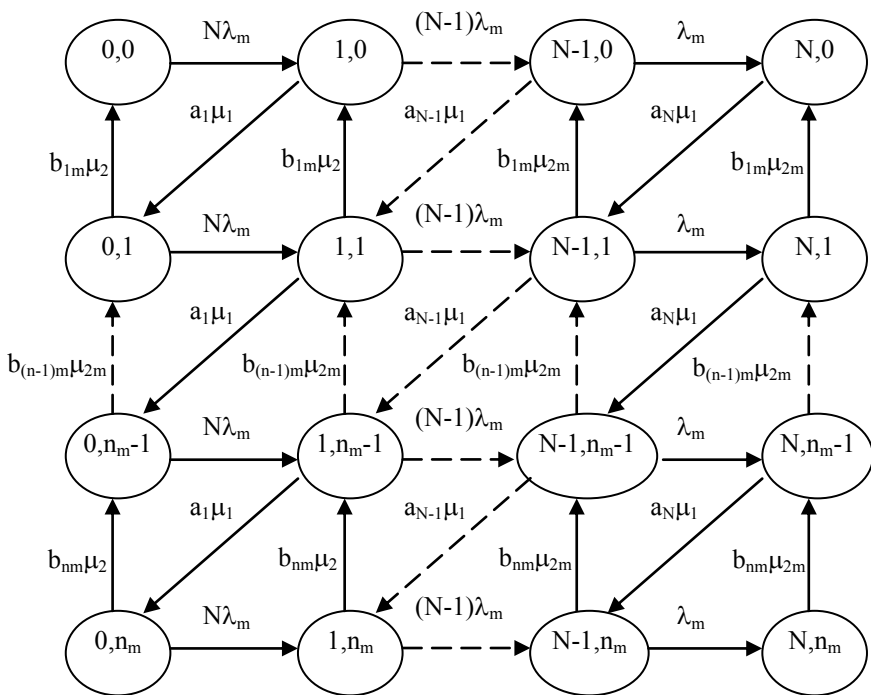


Рис. 3. Граф переходов СВР ТЭЗ и СВРС РЭС

Рассмотрим функционирование такой системы на длительном интервале времени. В этом случае процесс функционирования для установившихся режимов работы (больших  $T$ ), характеризуется системой линейных алгебраических уравнений, которая из-за ограниченного объема

статьи здесь не приводится. Решением такой системы уравнений для конкретного типоминнала ТЭЗ является двумерная матрица вероятностей  $\|P_m(i_m, j_m)\|$  нахождения системы в состояниях  $(i_m, j_m)$ . В результате решения таких систем по каждому типоминналу восстанавливаемых ТЭЗ получим трехмерную матрицу вероятностей  $\|P(i_m, j_m)\|$ . Для расчета вероятностей  $\|P_m(i_m, j_m)\|$  по номенклатуре невосстанавливаемых ТЭЗ используем методики, изложенные в [1]. Тогда показатель эффективности совместного функционирования СВР ТЭЗ и СВРС РЭС можно найти по соотношению

$$P(l \geq l^*) = \sum_{m=1}^{m=M_1} q_m \times \sum_{i=0}^{N-l} \sum_{j=0}^{n_m} P_m(i_m, j_m) + \sum_{m=M_1+1}^{m=M} q_m \times \sum_{i=0}^{N-l} \sum_{j=0}^{n_m} P_m(i_m, j_m). \quad (2)$$

Результаты моделирования процессов совместного функционирования СВР ТЭЗ и СВРС РЭС по исходной модели (рис.2) и по приближенной модели функционирования (рис.3), а также соотношение (2) показывают на приемлемую точность расчета величины показателя  $P(l \geq l^*)$ .

Разработанную методику расчета показателя эффективности совместного функционирования СВР ТЭЗ и СВРС РЭС предлагается использовать для обоснования параметров этих систем. При этом, изменяя параметры  $r_1, r_{2m}, \mu_1, \mu_{2m}, n_m$ , можно анализировать процессы совместного функционирования исследуемых систем, моделируя различные методы текущего ремонта РЭС, канальность и производительность ремонтных органов, а также полноту комплектации ЗИП восстанавливаемыми ТЭЗ.

Таким образом, в статье разработана математическая модель, которая, в отличие от известных, описывает совместное функционирование СВР ТЭЗ и СВРС, что позволяет с приемлемой погрешностью оценивать показатели эффективности системы и корректно решать задачи обоснования параметров системы войскового ремонта типовых элементов замены.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Головин И.Н., Чуварыгин Б.В., Шура-Бура А.Э. Расчет и оптимизация комплектов запасных элементов радиоэлектронных систем. – М.: Радио и связь, 1987. – 176 с.

*Поступила в редакцию 27.08.2001*