

УДК 53.083 (430.1)

С.В. Дружинин, В.Г. Смоляр, С.А. Тышко, Ю.А. Бедухин

Военный институт телекоммуникаций и информатизации НТУУ «КПИ», Полтава

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТИПОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ

*В статье проведен анализ процесса эксплуатации типовых элементов перспективных телекоммуникационных комплексов. В модели учтены процедуры по организации процесса приема (передачи) информации и особенности построения перспективных телекоммуникационных комплексов. Предложены аналитические соотношения для независимых функций распределения времени ожидания переходов из состояния в состояние.*

**Ключевые слова:** телекоммуникационный комплекс, техническое обеспечение, модель эксплуатации, типовой элемент.

### Введение

Важнейшим фактором достижения войсками поставленных задач являются полноценное управление. Основным элементом управления войсками является система передачи информации. К системе передачи информации предъявляется ряд требований, одним из которых является обеспечение живучести. Анализ существующих и перспективных технических средств, входящих в состав системы передачи информации, показывает, что требуемый уро-

вень живучести, может быть достигнут за счет применения комплекса мер, повышающего возможности маневра средствами [1].

Основой синтеза перспективных телекоммуникационных комплексов (ТК) [2] является модульный принцип их построения. Основой данного принципа построения есть типовые элементы (ТЭ) ТК, которые представляют собой конструктивно законченный объект, предназначенные для выполнения одной или нескольких операций в процессе передачи (приема) информации.

Требуемый уровень готовности ТК к применению достигается путем проведения всестороннего и качественного технического обеспечения. Основными характеристиками технического обеспечения есть: периодичность и продолжительность проведения технического обслуживания (ТО); структура и количественный состав средств восстановления ТК.

Исходя из выше изложенного, является целесообразным формировать структуру системы технического обеспечения для ТЭ ТК.

**Анализ литературы.** Эксплуатация различных экземпляров ТК осуществляется в условиях, значительно различающихся в зависимости от специфики решаемых задач, интенсивности работ, квалификации персонала, климатических и других условий. Дифференциация условий эксплуатации и режимов работы ТЭ ТК приводит к значительному варьированию характеристик надежности отдельных экземпляров ТК.

Известные методики задания и корректировки эксплуатационных характеристик приведены в [3 – 5]. Их можно условно разделить на две группы: методики, основанные на достижении требуемого уровня вероятности безотказной работы и методики, основанные на достижении максимального уровня коэффициента готовности объекта. Аналитическое соотношение для определения коэффициента готовности объекта может быть получено с использованием математической модели эксплуатации.

Математические модели эксплуатации технических средств рассматриваются в [3 – 5]. Как показал анализ, известные математические модели не в полной мере учитывают специфику применения ТЭ ТК. К специфике эксплуатации ТЭ, по сравнению с другими техническими средствами, относится наличие таких состояний, как хранение, транспортирование и ожидание к повторному применению по назначению в развернутом состоянии.

**Цель статьи.** Предложить математическую модель эксплуатации, которая наиболее полно отображает специфику применения и построения перспективных средств передачи информации в современных условиях.

### Основная часть

В процессе эксплуатации ТЭ ТК могут находиться в одном из следующих состояний: S1 – хранение в исправном состоянии; S2 – транспортирование в исправном состоянии; S3 – прием (передача) информации в исправном состоянии; S4 – перевод из транспортного положения в рабочее положение, при этом проводится самоконтроль; S5 – периодическое техническое обслуживание в исправном состоянии; S6 – восстановление исправности (проведение ремонта); S7 – хранение со скрытым отказом; S8 – транспортирование со скрытым отказом; S9 – перевод из транспортного положения в рабочее положение и проведение самоконтроля средств при наличии скрытого отказа; S10 – периодическое тех-

ническое обслуживание при наличии скрытого отказа; S11 – прием (передача) информации при наличии скрытого отказа; S12 – ложный ремонт; S13 – ожидание повторного применения по назначению в развернутом положении в исправном состоянии; S14 – ожидание повторного применения по назначению в развернутом положении при наличии скрытого отказа. Размеченный граф процесса эксплуатации ТЭ ТК представлен на рис. 1.

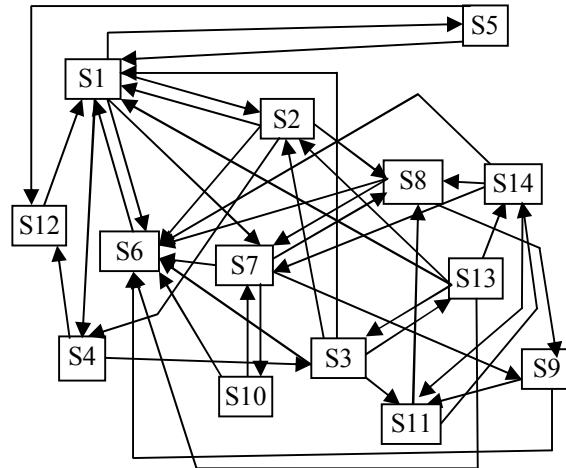


Рис. 1. Граф процесса эксплуатации ТЭ ТК

Анализ процесса эксплуатации ТЭ ТК проведем в последовательности, предложенной в [6]. Введем следующие допущения [4, 5]: комплексы имеют в своем составе средства самоконтроля; отказы в процессе проведения работ по разворачиванию ТК в рабочее состояние и при проведении периодического ТО не возникают; поток явных отказов подчинен экспоненциальному закону распределения; поток скрытых отказов ТЭ подчинен экспоненциальному закону распределения; продолжительность восстановления исправного состояния подчинена закону распределения Эрланга первого порядка со средней продолжительностью выполнения работ  $T_{в}$ ; продолжительность проведения ложного ремонта подчинена закону распределения Эрланга первого порядка со средней продолжительностью выполнения работ  $T_{в,л}$ ; потоки событий, связанные с переходами в состояния S1, S2, S3, S13, S7, S8, S11, S14, подчинены экспоненциальному закону распределения.

С учетом вышеизложенных допущений для графа, описывающего процесс эксплуатации ТЭ ТК, независимые функции распределения  $Q_{i,j}(t)$  времени ожидания переходов, будут иметь вид:

Для состояния S1:

$$Q_{1,6}(t) = 1 - \exp(-\omega_x t); \quad Q_{1,7}(t) = 1 - \exp(-\Omega_{xp} t);$$

$$Q_{1,2}(t) = 1 - \exp(-\kappa_{xp} \lambda_{xp} t); \quad \kappa_{xp} = \frac{n_{xp}}{N_x}; \quad \lambda_{xp} = \frac{1}{\tau_{xp}};$$

$$Q_{1,4}(t) = 1 - \exp[-(1 - \kappa_{xp}) \lambda_{xp} t];$$

$$Q_{1.5}(t) = \begin{cases} 0, & t < \tau_{кп} \\ 1, & t \geq \tau_{кп} \end{cases},$$

где  $n_{хт}$  – предполагаемое количество переходов ТЭ ТК в состояние S2 из S1;  $N_x$  – общее количество переходов ТЭ ТК из состояния S1 в состояния S2 и S4;  $\omega_{xp}$  – интенсивность возникновения явных отказов в режиме хранения;  $\Omega_{xp}$  – интенсивность возникновения скрытых отказов в режиме хранения;  $\tau_{кп}$  – периодичность проведения ТО;  $\tau_{xp}$  – среднее время нахождения в состоянии хранения.

Для состояния S2 :

$$Q_{2.6}(t) = 1 - \exp(-\omega_{tp}t); \quad Q_{2.8}(t) = 1 - \exp(-\Omega_{tp}t);$$

$$Q_{2.1}(t) = \begin{cases} 0, & t < \tau_{tp} \\ \kappa_{tp}, & t \geq \tau_{tp} \end{cases}; \quad \kappa_{tp} = \frac{n_{tx}}{N_{tp}}; \quad \lambda_{tp} = \frac{1}{\tau_{tp}};$$

$$Q_{2.4}(t) = \begin{cases} 0, & t < \tau_{tp} \\ 1 - \kappa_{tp}, & t \geq \tau_{tp} \end{cases},$$

где  $n_{tx}$  – предполагаемое количество переходов в состояние хранения после транспортирования;  $N_m$  – общее количество переходов из состояния S2 в состояние S1 либо в состояние S4;  $\omega_{mp}$  – интенсивность возникновения явных отказов в режиме транспортирования;  $\Omega_{mp}$  – интенсивность возникновения скрытых отказов в режиме транспортирования;  $\tau_{mp}$  – среднее время транспортирования ТК.

Для состояния S3

$$Q_{3.6}(t) = 1 - \exp(-\omega_{np}t); \quad Q_{3.11}(t) = 1 - \exp(-\Omega_{np}t);$$

$$Q_{3.1}(t) = \begin{cases} 0, & t < \tau_{np} \\ \kappa'_{np}, & t \geq \tau_{np} \end{cases}; \quad \kappa'_{np} = \frac{n_{nx}}{N_{np}}; \quad \lambda_{np} = \frac{1}{\tau_{np}};$$

$$Q_{3.2}(t) = \begin{cases} 0, & t < \tau_{np} \\ \kappa'_{np}, & t \geq \tau_{np} \end{cases}; \quad \kappa'_{np} = \frac{n_{nm}}{N_{np}};$$

$$Q_{3.13}(t) = \begin{cases} 0, & t < \tau_{np} \\ 1 - \kappa_{np} - \kappa'_{np}, & t \geq \tau_{np} \end{cases},$$

где  $n_{нт}$  – предполагаемое количество переходов ТК в режим транспортирования из режима передачи (приема) информации;  $n_{nx}$  – предполагаемое количество переходов средства в режим хранения из режима приема (передачи) информации;  $N_n$  – общее количество переходов ТЭ ТК из состояния S3 в одно из состояний S1, S2 или S13;  $\omega_{np}$  – интенсивность возникновения явных отказов в режиме передачи (приема) информации;  $\Omega_{np}$  – интенсивность возникновения скрытых отказов в режиме передачи (приема) информации.

Для состояния S4 .

$$Q_{4.3}(t) = \begin{cases} 0, & t < T_{кф} \\ (1 - \alpha_{кф}), & t \geq T_{кф} \end{cases}; \quad Q_{4.12}(t) = \begin{cases} 0, & t < T_{кф} \\ \alpha_{кф}, & t \geq T_{кф} \end{cases},$$

где  $\alpha_{кф}$  – условная вероятность признания исправного ТЭ ТК неисправным при проведении самоконтроля;  $T_{кф}$  – продолжительность контроля функционирования средства.

Для состояния S5

$$Q_{5.1}(t) = \begin{cases} 0, & t < T_{кп} \\ (1 - \alpha_{кп}), & t \geq T_{кп} \end{cases}; \quad Q_{5.12}(t) = \begin{cases} 0, & t < T_{кп} \\ \alpha_{кп}, & t \geq T_{кп} \end{cases},$$

где  $T_{кп}$  – среднее значение продолжительности проведения ТО;  $\alpha_{кп}$  – условная вероятность признания исправного ТЭ ТК неисправным при проведении ТО.

Для состояния S6

$$Q_{6.1}(t) = 1 - \left(1 + \frac{2t}{T_B}\right) \exp\left(-\frac{2t}{T_B}\right);$$

Для состояния S7

$$Q_{7.6}(t) = 1 - \exp(-\omega_x t);$$

$$Q_{7.8}(t) = 1 - \exp(-\kappa_{xp} \lambda_{xp} t);$$

$$Q_{7.9}(t) = 1 - \exp\left[-(1 - \kappa_{xp}) \lambda_{xp} t\right];$$

$$Q_{7.10}(t) = \begin{cases} 0, & t < \tau_{кп} - \mu_{1.7} \\ 1, & t \geq \tau_{кп} - \mu_{1.7} \end{cases},$$

где  $\mu_{1.7}$  – среднее время нахождения ТЭ ТК в состоянии S1 до перехода в состояние S7 .

Для состояния S8

$$Q_{8.6}(t) = 1 - \exp(-\omega_{tp}t);$$

$$Q_{8.7}(t) = \begin{cases} 0, & t < \tau_{tp} - \mu_{2.7} \\ \kappa_{tp}, & t \geq \tau_{tp} - \mu_{2.7} \end{cases},$$

где  $\mu_{2.7}$  – среднее время нахождения ТЭ ТК в состоянии S2 до перехода в состояние S7 .

$$Q_{8.9}(t) = \begin{cases} 0, & t < \tau_{tp} - \mu_{2.7} \\ 1 - \kappa_{tp}, & t \geq \tau_{tp} - \mu_{2.7} \end{cases}.$$

Для состояния S9

$$Q_{9.6}(t) = \begin{cases} 0, & t < T_{кф} \\ (1 - \beta_{кф}), & t \geq T_{кф} \end{cases}; \quad Q_{9.11}(t) = \begin{cases} 0, & t < T_{кф} \\ \beta_{кф}, & t \geq T_{кф} \end{cases},$$

где  $\beta_{кф}$  – условная вероятность признания неисправного ТЭ ТК исправным при проведении контроля функционирования.

Для состояния S10

$$Q_{10.6}(t) = \begin{cases} 0, & t < T_{кп} \\ (1 - \beta_{кп}), & t \geq T_{кп} \end{cases};$$

$$Q_{10.7}(t) = \begin{cases} 0, & t < T_{кп} \\ \beta_{кп}, & t \geq T_{кп} \end{cases},$$

где  $\beta_{кп}$  – условная вероятность признания неисправного ТЭ ТК, исправным при проведении ТО.

Для состояния S11

$$Q_{11.6}(t) = 1 - \exp(-\omega_p t);$$

$$Q_{11.7}(t) = \begin{cases} 0, & t < \tau_{np} - \mu_{3.11} \\ k_{np}, & t \geq \tau_{np} - \mu_{3.11} \end{cases};$$

$$Q_{11.8}(t) = \begin{cases} 0, & t < \tau_{np} - \mu_{3.11} \\ k'_{np}, & t \geq \tau_{np} - \mu_{3.11} \end{cases};$$

$$Q_{11.14}(t) = \begin{cases} 0, & t < \tau_{np} - \mu_{3.11} \\ 1 - k_{np} - k'_{np}, & t \geq \tau_{np} - \mu_{3.11} \end{cases},$$

где  $\mu_{3.13}$  – среднее время нахождения ТЭ ТК в состоянии S3 до перехода в состояние S13.

Для состояния S12

$$Q_{12.1}(t) = 1 - \left(1 + \frac{2t}{T_{в.л}}\right) \exp\left(-\frac{2t}{T_{в.л}}\right).$$

Для состояния S13

$$Q_{13.6}(t) = 1 - \exp(-\omega_p t);$$

$$Q_{13.14}(t) = 1 - \exp(-\Omega_p t);$$

$$Q_{13.1}(t) = \begin{cases} 0, & t < \tau_p \\ k_p, & t \geq \tau_p \end{cases}; \quad k_p = \frac{n_{px}}{N_p}; \quad \lambda_p = \frac{1}{\tau_p};$$

$$Q_{13.2}(t) = \begin{cases} 0, & t < \tau_p \\ k'_p, & t \geq \tau_p \end{cases}; \quad k'_p = \frac{n_{pm}}{N_p};$$

$$Q_{13.3}(t) = \begin{cases} 0, & t < \tau_p \\ 1 - k_p - k'_p, & t \geq \tau_p \end{cases},$$

где  $n_{pr}$  – предполагаемое количество переходов ТЭ ТК в режим транспортирования из режима хранения;  $n_{px}$  – предполагаемое количество переходов ТЭ ТК в режим хранения из режима ожидания к повторному применению по назначению;  $N_p$  – общее количество переходов ТЭ ТК из состояния S13 в одно из состояний S1, S2 или S3;  $\omega_p$  – интенсивность возникновения явных отказов в режиме ожидания повторного применения по назначению в развернутом положении;  $\Omega_p$  – интенсивность возникновения скрытых отказов в режиме ожидания повторного применения по назначению в развернутом положении.

#### МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕКСПЛУАТАЦІЙ ТИПОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ

С.В. Дружинін, В.Г. Смоляр, С.О. Тишко, Ю.А. Бедухін

В статті проведений аналіз процесу експлуатації типових елементів перспективних телекомунікаційних комплексів. В моделі враховані процедури по організації процесу прийому (передачі) інформації та особливості будови перспективних телекомунікаційних комплексів. Запропоновані аналітичні співвідношень для незалежних функцій розподілу часу очікування переходів з стану в стан.

**Ключові слова:** телекомунікаційний комплекс, технічне забезпечення, модель експлуатації, типовий елемент.

#### MATHEMATICAL MODEL OF EXPLOITATION MODEL ELEMENTS OF TELEKOMUNIKACIONNYKH COMPLEXES

S.V. Dryginin, V.G. Smolyar, S.A. Tishko, Yu.A. Bedukhin

The analysis of process of exploitation of model elements of perspective telecommunication complexes is conducted in the article. In a model procedures are taken into account on organization of process of reception (transmissions) of information and feature of construction of perspective telecommunication complexes. Analytical correlations are offered for the independent functions of distributing of time of expectation of transitions from the state in the state.

**Keywords:** telecommunication complex, technical providing, model of exploitation, model element.

Для состояния S14

$$Q_{14.6}(t) = 1 - \exp(-\omega_p t);$$

$$Q_{14.7}(t) = \begin{cases} 0, & t < \tau_p - \mu_{13.14} \\ k_p, & t \geq \tau_p - \mu_{13.14} \end{cases};$$

$$Q_{14.8}(t) = \begin{cases} 0, & t < \tau_p - \mu_{13.14} \\ k'_p, & t \geq \tau_p - \mu_{13.14} \end{cases};$$

$$Q_{14.11}(t) = \begin{cases} 0, & t < \tau_p - \mu_{13.14} \\ 1 - k_p - k'_p, & t \geq \tau_p - \mu_{13.14} \end{cases},$$

где  $\mu_{13.14}$  – среднее время нахождения ТЭ ТК в состоянии S13 до перехода в состояние S14.

#### Выводы

Предложена математическая модель эксплуатации, в которой учтены процедуры по подготовке ТК к проведению работы, а также использование модульного метода их синтеза.

#### Список литературы

1. Рудик В.В. Актуальні проблеми розвитку системи зв'язку Збройних Сил України як складової частини системи управління військами (силами) / В.В. Рудик // Наука і оборона. – 2005. – №2. – С. 22-28.
2. HARRIS worldwide product catalog. Effective July 1, 204, FAL CON and all other Harris products named herein are trademarks or registered trademarks of the Harris Corporation. P. 275.
3. Бобков Ю.П. Основы теории надежности, технического обслуживания и ремонта вооружения и военной техники войск ПВО сухопутных войск / Ю.П. Бобков. – Х.: ХВУ, 1996. – 237 с.
4. Ковтуненко А.П. Основы теории построения и моделирования функционирования сложных систем вооружения / А.П. Ковтуненко, Н.А. Шершнев. – Х.: ВИРТА, 1992. – 210 с.
5. Сычев Е.И. Оценка влияния измерительного контроля на надежность технических систем / Е.И. Сычев // Надежность и контроль качества. – 1979. – №10. – С. 18-36.
6. Тихонов В.И. Марковские процессы / В.И. Тихонов, М.А. Миронов. – М.: Советское радио, 1977. – 488 с.

Поступила в редколлегию 26.01.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.М. Крюков, Академия внутренних войск МВД, Харьков.