

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Розробляється математична модель процесу технічного обслуговування й ремонту складного об'єкта РЕТ, що призначається для прогнозування показників надійності й вартості експлуатації об'єкта. Аналізуються можливості практичної реалізації моделі.

Ключові слова: математична модель, технічне обслуговування, надійність, прогнозування.

Разрабатывается математическая модель процесса технического обслуживания и ремонта сложного объекта РЭТ, предназначенная для прогнозирования показателей надежности и стоимости эксплуатации объекта. Анализируются возможности практической реализации модели.

Ключевые слова: математическая модель, техническое обслуживание, надежность, прогнозирование.

The mathematical model of process of technical service and repair of difficult object of RET, intended for prognostication of reliability and running of object cost indexes is developed. Possibilities of practical realization of model are analysed.

Keywords: mathematical model, technical service, reliability, prognostication.

Введение и анализ содержательного описания процесса обслуживания и ремонта сложного объекта радиоэлектронной техники (ТОиР). Под сложным объектом радиоэлектронной техники (РЭТ) понимается технический объект, состоящий из большого количества разнотипных комплектующих элементов (десятки, сотни тысяч), подавляющее большинство из которых являются радиоэлектронные элементы (80% и более). В состав объекта РЭТ, как правило, входит также некоторое количество механических, электромеханических, гидравлических и других типов элементов. Сложный объект РЭТ почти всегда имеет встроенную систему технического диагностирования (СТД).

В процессе эксплуатации объектов РЭТ для обеспечения требуемого уровня их надежности проводятся техническое обслуживание (ТО) и ремонт объектов. ТО проводится с целью поддержания требуемого уровня безотказности объекта и заключается в периодической проверке технического состояния объекта и замене отдельных его элементов, которые находятся в предотказовом состоянии. Из всех видов ремонтов будем рассматривать только текущий ремонт (ТР), предназначенный для восстановления работоспособного состояния объекта. ТР может проводиться как силами обслуживающего персонала (расчета) объекта РЭТ, так и с помощью специализированного ремонтного органа (РО). РО привлекается в тех случаях, когда расчет своими силами не в состоянии восстановить работоспособность объекта из-за ограниченных возможностей встроенной СТД объекта или из-за отсутствия необходимого для ремонта технологического оборудования.

Объект РЭТ в процессе эксплуатации значительную часть времени может находиться в состоянии ожидания, когда аппаратура выключена (обесточена), и включаться для работы только тогда, когда возникает необходимость выполнения задания в соответствии с предназначением объекта. Очевидно, что моменты времени включения объекта и продолжительность выполнения задания являются случайными.

ТО, как правило, производится периодически в запланированные моменты времени, когда, как предполагается, объект находится в состоянии ожидания. При ТО производится проверка технического состояния объекта и в случае необходимости выполняются

профилактические замены элементов. Условимся, что ТО всегда проводится с привлечением РО. В случае, если при проведении ТО обнаруживается, что объект неработоспособен, то вначале выполняется ТР (производится восстановление работоспособности объекта) и только после этого продолжается выполнение работ ТО.

При выполнении ТР и ТО используются запасные элементы, инструменты и принадлежности (ЗИП), которые имеются в комплекте объекта или РО. Условимся рассматривать три вида ЗИП: одиночный ЗИП, придаваемый к объекту РЭТ (ЗИП-О), ЗИП, имеющийся в РО (ЗИП-Р), и ЗИП центрального склада (ЗИП-С). ЗИП-С используется в тех случаях, когда ЗИП-О или ЗИП-Р оказываются недостаточными, а также для пополнения ЗИП-О и ЗИП-Р. Очевидно, что в ЗИП-О должны включаться запасные элементы и принадлежности, которые наиболее часто используются при ТР или ТО.

Итак, мы кратко рассмотрели содержание процесса ТО и ремонта (ТОиР), который осуществляется в процессе эксплуатации объекта РЭТ. Цель процесса ТОиР – обеспечить требуемый уровень надежности объектов РЭТ в течение длительного периода эксплуатации.

Процесс ТОиР осуществляется системой ТОиР, под которой понимается совокупность взаимосвязанных средств, документации и исполнителей, необходимых для поддержания требуемого уровня надежности объектов РЭТ [1]. Элементами (подсистемами) системы ТОиР являются: система РО, система обеспечения ЗИП и система ТО. Элементы подсистем обеспечения ЗИП и ТО территориально распределены между объектами РЭТ и РО. Состав и структура системы ТОиР схематически изображены на рис. 1.

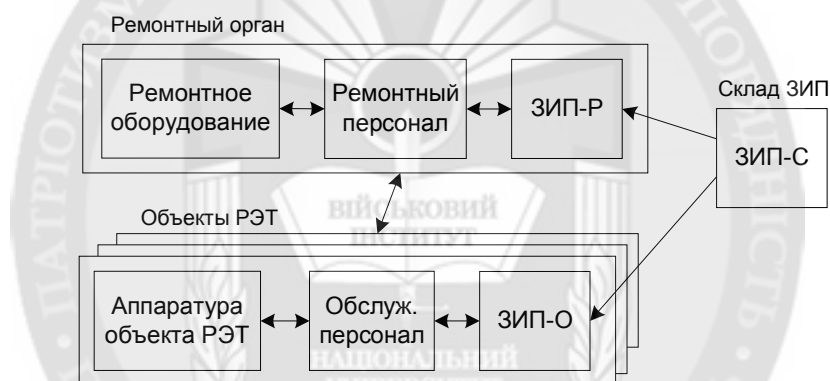


Рис. 1. Схема системы ТОиР сложных объектов РЭТ

Очевидно, что основные параметры системы ТОиР должны определяться на этапе проектирования объекта РЭТ, когда определяются конструкция объекта, характеристики встроенной СТД и системы ТО объекта. Оптимальные параметры системы ТОиР можно определить только в тесной увязке с характеристиками самого объекта РЭТ. В настоящей статье разрабатывается математическая модель, с помощью которой устанавливается зависимость показателей надежности объектов РЭТ от параметров системы ТОиР.

Формализованное описание процесса ТОиР. Конструктивную структуру будем представлять деревом, вид которого показан на рис. 2. Корень дерева представляет объект в целом, отдельные узлы соответствуют различным конструктивным элементам, ветви определяют вложенность одних элементов в другие. На нижнем конструктивном уровне расположены неразборные элементы (обозначены кружками), которые рассматриваются как одно целое и не подлежат разборке в процессе эксплуатации. Среди всех конструктивных элементов выделяется множество восстанавливаемых элементов E_b , которые предполагается заменять в процессе эксплуатации. В множество E_b включаются элементы, требующие минимальных затрат времени на их замену. Множество E_b разобьем на два подмножества: E_{b1} - элементы, которые могут заменяться силами расчета, E_{b2} - элементы,

для замены которых требуется участие РО ($E_B = E_{B1} \cup E_{B2}$). Условимся, что встроенная STD объекта может обнаруживать неисправности с точностью до восстанавливаемого элемента.

На основании рассмотренного выше содержания процесса ТОиР определим следующие его состояния:

- S_0 - объект применяется по назначению;
- S_1 - производится ТР силами и средствами расчета;
- S_2 - производится ТР силами и средствами РО;
- S_3 - производится ТО объекта;
- S_4 - объект находится в состоянии ожидания.

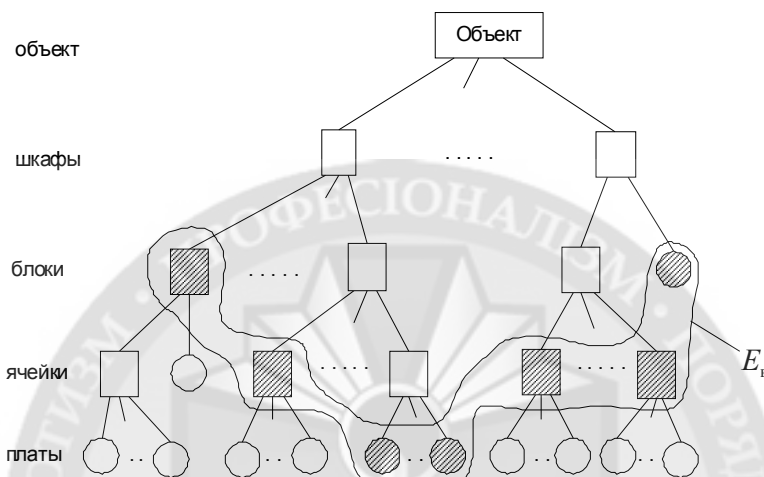


Рис. 2. Дерево конструктивной структуры объекта

На рис. 3 изображен граф состояний и переходов процесса ТОиР. Переходы между состояниями происходят в случайные или детерминированные моменты времени с интенсивностями, обозначенными на графе. Рассмотрим каждую из этих интенсивностей.

λ_{40} и λ_{04} - интенсивности включений и выключений аппаратуры, которые определяются внешними факторами, не связанными с параметрами системы ТОиР. Для простоты будем полагать, что поток заявок на применение объектов является простейшим, а продолжительность выполнения заданий подчиняется экспоненциальному закону распределения. В этом случае интенсивности λ_{40} и λ_{04} определяются выражениями [2]:

$$\lambda_{40} = 1/T_{ож}; \quad \lambda_{04} = 1/T_{зад}, \quad (1)$$

где $T_{ож}$ и $T_{зад}$ - средняя продолжительность пребывания объекта в состоянии ожидания и в состоянии выполнения задания соответственно.

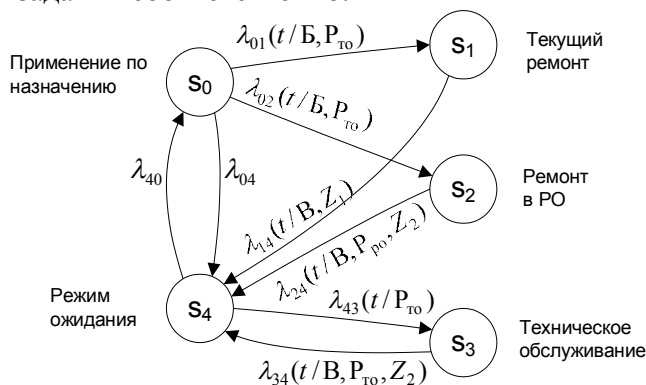


Рис. 3. Граф состояний и переходов процесса ТОиР

$\lambda_{01}(t/B, P_{\text{то}})$ и $\lambda_{02}(t/B, P_{\text{то}})$ - интенсивности отказов объекта, которые восстанавливаются силами расчета и РО соответственно, зависящие от параметров B и $P_{\text{то}}$:

B - обобщенный параметр, характеризующий свойство безотказности объекта. Параметр B будем представлять следующими данными:

$$B = \left\langle S, z_0, \left\langle \mu_i, \nu_i \right\rangle, i = \overline{1, |E_B|} \right\rangle, \quad (2)$$

где S - параметр, определяющий надежность структуру объекта (схему надежностного соединения элементов); z_0 - признак, определяющий закон распределения наработки до отказа восстанавливаемых элементов; $\langle \mu_i, \nu_i \rangle$ - параметры масштаба и формы закона распределения наработки до отказа: μ_i - средняя наработка до отказа; ν_i - коэффициент вариации наработки до отказа i -го элемента;

$P_{\text{то}}$ - обобщенный параметр, характеризующий систему ТО объекта. Содержание параметра $P_{\text{то}}$ может быть различным в зависимости от выбранной стратегии ТО. В случае регламентированной стратегии ТО параметр может определяться следующим образом:

$$P_{\text{то}} = \left\langle \left\langle E_{\text{то}i}, T_{\text{то}i} \right\rangle, i = \overline{1, N_{\text{то}}} \right\rangle, \quad (3)$$

где $E_{\text{то}i}$ - подмножество элементов, которые обслуживаются при ТО i -го вида; $T_{\text{то}i}$ - периодичность проведения ТО i -го вида; $N_{\text{то}}$ - число видов ТО.

Если принять, что индикация отказов осуществляется мгновенно, и считать, что восстанавливаемые элементы соединены в смысле надежности последовательно, то для интенсивностей $\lambda_{01}(t/B, P_{\text{то}})$ и $\lambda_{02}(t/B, P_{\text{то}})$ можно записать следующие выражения:

$$\lambda_{01}(t/B, P_{\text{то}}) = \sum_{j \in E_{\text{в}1}} \lambda_j(t/B, P_{\text{то}}); \quad \lambda_{02}(t/B, P_{\text{то}}) = \sum_{j \in E_{\text{в}2}} \lambda_j(t/B, P_{\text{то}}), \quad (4)$$

где $\lambda_j(t/B, P_{\text{то}})$ - условная интенсивность отказов j -го элемента при условии, что на объекте проводится ТО с параметрами $P_{\text{то}}$.

Здесь следует подчеркнуть, что интенсивности $\lambda_j(t/B, P_{\text{то}})$ не являются интенсивностями отказов в классическом смысле (интенсивность отказов является показателем безотказности для невозстанавливаемых элементов, то есть элементов, работающих до первого отказа). Поэтому если говорить строго, то интенсивность $\lambda_j(t/B, P_{\text{то}})$ - это интенсивность переходов $s_0 \rightarrow s_1$ или $s_0 \rightarrow s_2$, порождаемых отказами j -го элемента, который в данном случае является восстанавливаемым. Влияние параметра $P_{\text{то}}$ проявляется только в последовательности случайных событий отказов одного и того же элемента. Это обстоятельство вызывает существенные трудности определения интенсивностей $\lambda_j(t/B, P_{\text{то}})$ и, следовательно, интенсивностей переходов $\lambda_{01}(t/B, P_{\text{то}})$ и $\lambda_{02}(t/B, P_{\text{то}})$.

$\lambda_{14}(t/B, Z_1)$ и $\lambda_{24}(t/B, P_{\text{ро}}, Z_2)$ - интенсивности восстановления работоспособности объекта после ТР, производимого силами и средствами расчета и РО соответственно, зависящие от обобщенных параметров B , $P_{\text{ро}}$, Z_1 и Z_2 :

B - обобщенный параметр, характеризующий свойство восстанавливаемости (ремонтпригодности) объекта. Параметр представим следующей парой:

$$B = \left\langle z_B, \left\langle \tau_B, \sigma_B \right\rangle \right\rangle, \quad (5)$$

где z_b - признак, определяющий вид закона распределения продолжительности восстановления элементов множества E_{b1} ;

$\langle \tau_b, \sigma_b \rangle$ - параметры закона распределения продолжительности восстановления элементов E_{b1} (математическое ожидание (м.о.) и среднеквадратическое отклонение (с.к.о)).

P_{po} - обобщенный параметр, характеризующий возможности РО. Параметр P_{po} определяется следующим образом:

$$P_{po} = \langle n_{po}, E_{vpo}, z_{po}, \langle \tau_{po}, \sigma_{po} \rangle \rangle, \quad (6)$$

где n_{po} - число каналов ремонта (число объектов, которое может одновременно обслуживаться данным РО);

E_{vpo} - подмножество элементов, отказы которых могут восстанавливаться в данном РО (имеются соответствующее оборудование и квалификация ремонтного персонала);

z_{po} - признак, определяющий вид закона распределения продолжительности ремонта;

$\langle \tau_{po}, \sigma_{po} \rangle$ - параметры закона распределения продолжительности ремонта в РО.

Z_1 и Z_2 - параметры, характеризующие состав ЗИП-О и ЗИП-Р соответственно, входят в состав обобщенного параметра системы обеспечения ЗИП:

$$P_{зип} = \langle Z_1, Z_2, Z_3 \rangle, \quad (7)$$

где Z_3 - параметр ЗИП-С.

Параметры Z_1 и Z_2 определим следующим образом:

$$Z_1 = \langle z_{зип}, \langle \tau_{зип-о}, \sigma_{зип-о} \rangle, K_{гзип}(\vec{X}_1) \rangle \text{ и } Z_2 = \langle z_{зип}, \langle \tau_{зип-р}, \sigma_{зип-р} \rangle, K_{гзип}(\vec{X}_2) \rangle, \quad (8)$$

где $z_{зип}$ - признак, определяющий вид закона распределения времени доставки элемента из ЗИП;

$\langle \tau_{зип-о}, \sigma_{зип-о} \rangle$ и $\langle \tau_{зип-р}, \sigma_{зип-р} \rangle$ - параметры распределения времени доставки элементов из ЗИП-О и ЗИП-Р соответственно;

$K_{гзип}(\vec{X}_1)$ и $K_{гзип}(\vec{X}_2)$ - коэффициенты готовности ЗИП-О и ЗИП-Р соответственно [3], где $\vec{X}_1 = \{x_i; i = 1, |E_{b1}|\}$ и $\vec{X}_2 = \{x_i; i = 1, |E_{b2}|\}$ - векторы, определяющие состав ЗИП, в которых x_i - количество элементов i -го типонамала, имеющиеся в ЗИП (здесь понятие типонамала мы отождествляем с типом восстанавливаемого элемента).

Параметр Z_3 определяет характеристики ЗИП-С:

$$Z_3 = \langle z_{зип}, \langle \tau_{зип-с}, \sigma_{зип-с} \rangle \rangle. \quad (9)$$

ЗИП-С будем считать неограниченным. Стратегия пополнения ЗИП-О и ЗИП-Р в рамках рассматриваемой модели не уточняется. Предполагается, что состав ЗИП-О и ЗИП-Р поддерживается постоянным в течение заданного периода эксплуатации объекта.

Вернемся к рассмотрению интенсивностей $\lambda_{14}(t/V, Z_1)$ и $\lambda_{24}(t/V, P_{po}, Z_2)$. Интенсивность $\lambda_{14}(t/V, Z_1)$ является характеристикой случайного времени пребывания процесса в состоянии s_1 . Обозначим это время ξ_1 , а его плотность распределения - $f_1(t/V, Z_1)$ (зависимость от параметров V и Z_1 , естественно, остается). Интенсивность $\lambda_{14}(t/V, Z_1)$ через плотность $f_1(t/V, Z_1)$ однозначно определяется следующим известным выражением [2]:

$$\lambda_{14}(t/B, Z_1) = \frac{f_1(t/B, Z_1)}{1 - F_1(t/B, Z_1)}, \quad (10)$$

где

$$F_1(t/B, Z_1) = \int_0^t f_1(x/B, Z_1) dx.$$

Случайная величина ξ_1 является суммой двух случайных величин:

$$\xi_1 = \mathcal{G}_1 + \theta_1,$$

где \mathcal{G}_1 - случайная продолжительность замены произвольного элемента из множества E_{B1} (продолжительностью поиска неисправности мы здесь пренебрегаем, полагая, что встроенная СТД обеспечивает мгновенную индикацию отказа); θ_1 - случайная продолжительность доставки исправного элемента из ЗИП-О.

Случайные величины \mathcal{G}_1 и θ_1 являются независимыми, поэтому математическое ожидание величины ξ_1 можно определить как сумму:

$$\tau_1 = \tau_{\text{зип-о}} + K_{\text{гзип}}(\bar{X}_1)\tau_{\text{зип-о}} + [1 - K_{\text{гзип}}(\bar{X}_1)]\tau_{\text{зип-с}}, \quad (11)$$

где $\tau_{\text{зип-о}}$ и $\tau_{\text{зип-с}}$ - средние значения продолжительности доставки из ЗИП-О и ЗИП-С соответственно.

Дисперсию случайной величины ξ_1 определяется следующим образом:

$$\sigma_1^2 = \sigma_{\text{зип-о}}^2 + K_{\text{гзип}}(\bar{X}_1)\sigma_{\text{зип-о}}^2 + [1 - K_{\text{гзип}}(\bar{X}_1)]\sigma_{\text{зип-с}}^2. \quad (12)$$

Таким образом, мы определили параметры τ_1 и σ_1 плотности вероятности $f_1(t/\tau_1, \sigma_1)$ времени пребывания процесса в состоянии s_1 , зависящие от параметров B и Z_1 :

$$\tau_1 = \tau_1(B, Z_1) \text{ и } \sigma_1 = \sigma_1(B, Z_1). \quad (13)$$

Плотность $f_1(t/\tau_1, \sigma_1)$, по сути, является математической моделью процесса ТР, осуществляемого силами расчета и ее знание является необходимым условием получения интенсивности $\lambda_{14}(t/\tau_1, \sigma_1)$.

Аналогичным образом можно определить и плотности распределения случайной продолжительности пребывания процесса в состояниях s_2 и s_3 .

Для плотности вероятности времени пребывания в состоянии s_2 (времени ремонта силами и средствами РО) можно получить плотность $f_2(t/\tau_2, \sigma_2)$, где τ_2 и σ_2 - параметры (м.о. и с.к.о.), зависящие от B , $P_{\text{ро}}$ и Z_2 :

$$\tau_2 = \tau_2(B, P_{\text{ро}}, Z_2) \text{ и } \sigma_2 = \sigma_2(B, P_{\text{ро}}, Z_2). \quad (14)$$

Для плотности вероятности времени пребывания в состоянии s_3 (продолжительности проведения ТО) можно получить плотность $f_3(t/\tau_3, \sigma_3)$, где τ_3 и σ_3 - параметры (м.о. и с.к.о.), зависящие от B , $P_{\text{то}}$ и Z_2 :

$$\tau_3 = \tau_3(B, P_{\text{то}}, Z_2) \text{ и } \sigma_3 = \sigma_3(B, P_{\text{то}}, Z_2). \quad (15)$$

Плотности $f_2(t/\tau_2, \sigma_2)$ и $f_3(t/\tau_3, \sigma_3)$ являются математическими моделями, описывающими поведение процесса в состояниях s_2 и s_3 . Зная эти плотности, можно найти соответствующие интенсивности $\lambda_{24}(t/\tau_2, \sigma_2)$ и $\lambda_{34}(t/\tau_3, \sigma_3)$.

Относительно вида закона распределения продолжительности пребывания в состояниях s_1 , s_2 и s_3 предварительно можно только сделать предположение, что это

неэкспоненциальное, унимодальное и асимметричное распределение. Например, подходящей моделью могло бы быть логарифмически нормальное распределение.

Интенсивность $\lambda_{43}(t/P_{то})$ в случае детерминированной стратегии ТО можно определить через дельта-функцию следующим образом:

$$\lambda_{43}(t/P_{то}) = \delta(t - kT_{то}), \quad (k=1,2,\dots)$$

где $T_{то}$ - периодичность проведения ТО;

$\delta(x)$ - дельта-функция, которая определяется следующими условиями:

$$\delta(x) = \begin{cases} +\infty, & x = 0, \\ 0, & x \neq 0; \end{cases} \quad \int_{-\infty}^{+\infty} \delta(x) dx = 1.$$

Итак, мы ввели математическое описание для всех интенсивностей переходов процесса, представленного графом на рис. 3. Теперь необходимо построить математическую модель, описывающую процесс ТОиР в целом.

Математическая модель процесса ТОиР. Анализ модели. Математическая модель процесса ТОиР должна позволять устанавливать зависимость показателей качества процесса от его параметров. Основными параметрами системы ТОиР мы выше определили следующие обобщенные характеристики: $P_{то}$ - параметры системы ТО; $P_{ро}$ - параметры системы РО; $P_{зип}$ - параметры системы обеспечения ЗИП. Параметры Б и В, определяющие свойства безотказности и ремонтпригодности объекта РЭГ, хотя и не относятся непосредственно к параметрам ТОиР, однако тесно связаны с ними. Поэтому параметры Б и В являются неотъемлемой частью параметров модели процесса ТОиР.

Качество процесса ТОиР принято оценивать такими показателями:

T_0 - средняя наработка на отказ объекта;

K_r - коэффициент готовности;

$K_{ти}$ - коэффициент технического использования.

Таким образом, искомая математическая модель процесса ТОиР должна позволять получать зависимости:

$$T_0(B, V, P_{то}, P_{ро}, P_{зип}), K_r(B, V, P_{то}, P_{ро}, P_{зип}), K_{ти}(B, V, P_{то}, P_{ро}, P_{зип}). \quad (16)$$

Рассмотренная выше формализация процесса ТОиР, по сути, представляет его как полумарковский случайный процесс с дискретными состояниями и непрерывным временем. Характерными особенностями такого процесса являются:

а) вероятности переходов между состояниями зависят только от текущего состояния и не зависят от предыстории процесса (свойство марковости), и

б) случайное время пребывания процесса в отдельных состояниях подчиняется произвольному неэкспоненциальному закону распределения [4]. Введенная формализация процесса полностью соответствует данным особенностям. Однако, математический аппарат полумарковских процессов, к сожалению, не позволяет на его основе строить адекватные модели для реальных сложных процессов, таких как процесс ТОиР.

Для случайного процесса, представленного графом состояний и переходов на рис. 3, можно составить следующую систему дифференциальных уравнений Колмогорова для вероятностей состояний $p_i(t)$ [5]:

$$dp_0(t)/dt = (\lambda_{40} - \lambda_{04})p_4(t) - \lambda_{01}(t/B, P_{то})p_1(t) - \lambda_{02}(t/B, P_{то})p_2(t);$$

$$dp_1(t)/dt = \lambda_{01}(t/B, P_{то})p_0(t) - \lambda_{14}(t/B, Z_1)p_2(t);$$

$$dp_2(t)/dt = \lambda_{02}(t/B, P_{то})p_0(t) - \lambda_{24}(t/B, P_{ро}, Z_2)p_4(t);$$

$$dp_3(t)/dt = [\lambda_{43}(t/P_{то}) - \lambda_{34}(t/B, P_{то}, Z_2)]p_4(t);$$

$$dp_4(t)/dt = (\lambda_{04} - \lambda_{40})p_0(t) + \lambda_{14}(t/B, Z_1)p_1(t) + \lambda_{24}(t/B, P_{ро}, Z_2)p_2(t) +$$

$$+ [\lambda_{34}(t/B, P_{\text{то}}, Z_2) - \lambda_{43}(t/P_{\text{то}})] p_3(t). \quad (17)$$

Вероятность $p_i(t)$ – это вероятность того, что в момент времени t процесс находится в состоянии $s_i(t) \in S = \{s_0, s_1, s_2, s_3, s_4\}$. Очевидно, что вероятности $p_i(t)$ должны удовлетворять условию $\sum_{i=0}^4 p_i(t) = 1$.

Если решить данную систему уравнений, то по полученным вероятностям $p_i(t)$ можно определить показатели (16).

Система уравнений (17) является адекватной математической моделью процесса ТОиР, однако ее практическое применение, к сожалению, связано с большими трудностями. Главная трудность состоит в том, что для интенсивностей переходов неизвестны аналитические выражения. Оказывается, что для получения функций интенсивностей переходов требуется построение отдельных математических моделей, которые по сложности сопоставимы с моделью процесса ТОиР.

Выводы:

1. Процесс ТОиР сложного объекта РЭТ является случайным процессом, зависящим от большого числа параметров (конструктивных и надежностных свойств объекта РЭТ, параметров подсистем РО, ТО и обеспечения ЗИП). Попытки построения адекватной аналитической модели процесса (в виде полумарковского процесса или системы дифференциальных уравнений Колмогорова) приводят к значительным трудностям.

Трудности связаны с необходимостью задания аналитических выражений для интенсивностей переходов процесса. Все это заставляет искать другие пути для построения модели процесса ТОиР.

2. Выходом из создавшегося положения может быть применение для построения модели процесса ТОиР метода имитационного статистического моделирования [6]. Разработанное в данной статье формальное описание процесса ТОиР может быть положено в основу при разработке имитационной статистической модели процесса. Применение метода имитационного статистического моделирования позволит значительно расширить возможности модели, в частности, позволит включить в нее параметры и показатели стоимости. В рамках аналитической модели сделать это было бы довольно трудно.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ 18322-78. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. Введ. с 01.01.1980.
2. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных систем. М.: Энергия, 1977. – 536 с.
3. Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов. Учебное пособие. – СПб.: Питер, 2005. – 479 с.
4. Королюк В.С., Турбин А.Ф. Полумарковские процессы и их приложения. – Киев: Наукова думка, 1976.
5. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории вероятностей. – М.: Радио и связь, 1983. – 416 с.
6. Ермаков С.М., Михайлов Г.А. Статистическое моделирование. – М.: Наука, 1982. – 296 с.

Без рецензії.