

УДК 681.5.09

Ю.Е. Обжерин, профессор, д-р техн. наук,**А.Н. Никишенко, аспирант***Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская, 22, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua***МОДЕЛЬ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЫ СО СКРЫТЫМИ ОТКАЗАМИ И ПОКОМПОНЕНТНЫМ КОНТРОЛЕМ**

Построена полумарковская модель восстанавливаемой N компонентной системы с учетом проведения покомпонентного контроля с диагностикой. Определены ее основные характеристики надежности и эффективности с экспоненциальным распределением времени наработки на отказ, времени проведения контроля и восстановления, а также с экспоненциальным распределением времени между проведением контроля.

Ключевые слова: *скрытый отказ, контроль, диагностика, надежность, эффективность, полумарковская модель.*

Введение. Эффективность производственной системы (ПС) определяется тем, насколько рационально используются имеющиеся ресурсы. Среди основных показателей, ухудшающих показатели надежности и эффективности существующей ПС, выделяют: в обслуживании оборудования — количество и время незапланированных простоев оборудования, расход времени на пуск, переналадку, восстановление оборудования; в управлении качеством — количество выявленных дефектов, частоту возникновения дефектов по причине отказа оборудования, ошибок [1]. Использование покомпонентного контроля со специальной диагностикой ПС позволяет сократить убытки, вызванные вышеперечисленными показателями. Под контролем здесь понимается проведение штатного контроля (для обнаружения явных отказов) с дополнительной диагностикой, методами которой можно определить наличие скрытых отказов. Под скрытым отказом понимается отказ, не обнаруживаемый визуально или штатными методами и средствами контроля, но выявляемый при проведении технического обслуживания (ТО) или специальными методами диагностики.

Ввиду вышесказанного становится актуальным нахождение характеристик надежности и эффективности подобных систем. Математические модели систем, позволяющие давать оценку показателям надежности и эффективности ПС, которые излагаются в [2], сводятся, в основном, к рассмотрению одно- либо двухкомпонентных систем. Многокомпонентная система методом фазового укрупнения представляется в виде однокомпонентной с экспоненциальным законом распределения отказов, что справедливо для большого количества однотипных компонентов, выполненных в едином технологическом цикле. Однако существует ряд задач [3], в которых необходимо проводить покомпонентный контроль системы, состоящей из однотипных компонентов со скрытыми отказами. Это связано с резким ухудшением работы всей системы и увеличением износа компонентов после отказа одного из компонентов системы.

Цель работы — исследовать надежность и экономические характеристики технической N -компонентной системы с учетом проведения покомпонентного контроля.

Постановка задачи и построение математической модели. Рассмотрим N -компонентную систему. Компоненты системы являются сходными структурами, отличающимися лишь параметрами. В системе из N независимых компонентов выделяется $N \cdot M^N$ состояний (M соответствует числу возможных состояний i -го компонента системы).

Рассмотрим i -й компонент системы. Время наработки i -го компонента системы на отказ — случайная величина (СВ) α_i с плотностью распределения (ПР) $f_i(t) = \lambda_i e^{-\lambda_i t}$. Время восстановления компонента после обнаружения системы, время проведения контроля, время между двумя соседними контролями компонента случайные величины β_i , ψ_i и γ_i с ПР $g_i(t) = \mu_i e^{-\mu_i t}$, $v_i(t) = \phi_i e^{-\phi_i t}$ и $r_i(t) = \nu_i e^{-\nu_i t}$ соответственно.

Доход за единицу времени исправного функционирования, плата за единицу времени восстановления и плата за единицу времени неисправного функционирования i -го компонента соответственно равны c_+^i , c_-^i и c_β^i . Плата за единицу времени проведения контроля равна c_r^i .

В начальный момент времени i -й компонент системы находится в работоспособном состоянии. Через время α_i он переходит в отказовое состояние, приборы контроля периодически включаются через время ν_i , Контроль длится время ψ_i (компонент отключается на время проведения контроля). После обнаружения отказа происходит восстановление за время β_i , i -й компонент системы переходит в

работоспособное состояние. Временная диаграмма функционирования i -го компонента приведена на рисунке 1.

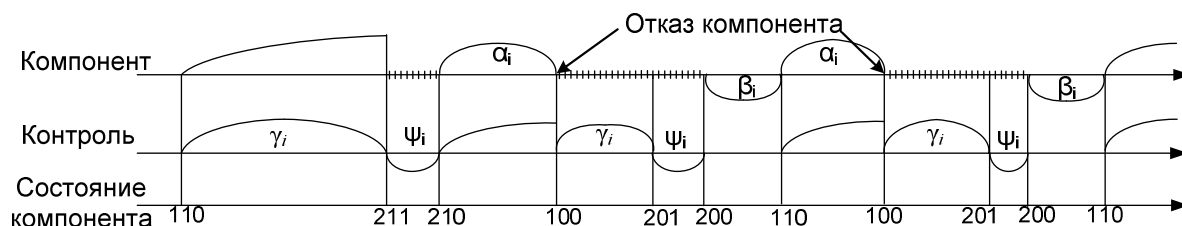


Рисунок 1 – Временная диаграмма функционирования i -го компонента системы

Для описания функционирования i -го компонента системы используем полумарковский процесс (ПМП) $\xi^{(i)}(t)$ с множеством полумарковских состояний компонента:

$$E^{(i)} = \{110, 210, 211, 201, 100, 200\}.$$

Здесь 110 — компонент восстановлен и начал работу, контроль отключен;
 211 — включается контроль, работа компонента системы приостановлена;
 210 — произведен контроль, компонент системы находится в работоспособном состоянии, его работа возобновляется;
 100 — компонент отказал, контроль отключен;
 201 — включается контроль, работа компонента с параметрическим отказом останавливается;
 200 — произведен контроль, обнаружен отказ компонента системы, начато восстановление компонента, контроль отключено.

Найдем средние значения времен пребывания в состояниях:

$$\begin{cases} M\theta_{110}^{(i)} = M\theta_{210}^{(i)} = M[\min\{\alpha_i, \gamma_i\}] = \frac{1}{\lambda_i + \nu_i}, \\ M\theta_{211}^{(i)} = M\theta_{201}^{(i)} = M[\psi_i] = \frac{1}{\phi_i}, \\ M\theta_{100}^{(i)} = M[\gamma_i] = \frac{1}{\nu_i}, \quad M\theta_{200}^{(i)} = M[\beta_i] = \frac{1}{\mu_i}. \end{cases} \quad (1)$$

Вероятности переходов вложенной цепи Маркова (ВЦМ) $\{\xi_n^{(i)}, n > 0\}$ следующие:

$$p_{110}^{211} = p_{210}^{211} = \frac{\nu_i}{\lambda_i + \nu_i}, \quad p_{110}^{100} = p_{210}^{100} = \frac{\lambda_i}{\lambda_i + \nu_i}, \quad p_{100}^{201} = p_{200}^{110} = p_{201}^{200} = p_{210}^{110} = 1.$$

Обозначим через ρ_d стационарное распределение компонента в состоянии $d \in E^{(i)}$. Составим систему уравнений для стационарного распределения ВЦМ:

$$\begin{cases} \rho_{110}^{(i)} = \rho, \quad \rho_{200}^{(i)} = \rho, \quad \rho_{210}^{(i)} = \rho, \quad \rho_{100}^{(i)} = \rho, \\ \rho_{100}^{(i)} = (\rho_{110}^{(i)} + \rho_{210}^{(i)}) \cdot \frac{\lambda_i}{\lambda_i + \nu_i}, \\ \rho_{211}^{(i)} = (\rho_{110}^{(i)} + \rho_{210}^{(i)}) \cdot \frac{\nu_i}{\lambda_i + \nu_i}, \\ \sum_{d \in E^{(i)}} \rho_d^{(i)} = 1. \end{cases} \quad (2)$$

Решение системы (2) имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \rho_{110}^{(i)} = \rho, \quad \rho_{200}^{(i)} = \rho, \quad \rho_{210}^{(i)} = \rho, \quad \rho_{100}^{(i)} = \rho, \\ \rho_{210}^{(i)} = \rho_{211}^{(i)} = \rho \frac{\nu_i}{\lambda_i}. \end{cases} \quad (3)$$

Постоянная ρ находится из условия нормировки: $\rho = \frac{\lambda_i}{4\lambda_i + 2\nu_i}$.

Стационарные характеристики для i -го компонента найдем по формулам [4]:

$$T^+ = \frac{\sum_{k \in E_+} M\theta_k \cdot \rho_k}{\sum_{k \in E_+} P(k, E_-) \cdot \rho_k}, \quad T^- = \frac{\sum_{k \in E_-} M\theta_k \cdot \rho_k}{\sum_{k \in E_+} P(k, E_-) \cdot \rho_k}, \quad (4)$$

$$K_r = \frac{\sum_{k \in E_+} M\theta_k \cdot \rho_k}{\sum_{k \in E} M\theta_k \cdot \rho_k}, \quad K_o = \frac{\sum_{k \in E_-} M\theta_k \cdot \rho_k}{\sum_{k \in E} M\theta_k \cdot \rho_k}. \quad (5)$$

В (5) $E_+ = \{110, 210\}$ – работоспособные состояния компонента, $E_- = \{211, 201, 100, 200\}$ – неработоспособные состояния компонента.

Подставляя (1), (3) в формулы (4), (5), получаем значение средних времен пребывания компонента системы в рабочем и отказовом состояниях:

$$T^+ (i) = \frac{\lambda_i + v_i}{2\lambda_i^2}, \quad T^- (i) = \frac{(\lambda_i + v_i)(v_i^2\mu_i + \lambda_i v_i \mu_i + \lambda_i \phi_i \mu_i + \lambda_i \phi_i v_i)}{2\lambda_i^2 \phi_i v_i \mu_i},$$

а также значение коэффициента готовности и отказа компонента:

$$\begin{cases} K_r^{(i)} = \frac{\phi_i v_i \mu_i}{v_i^2 \mu_i + \lambda_i v_i \mu_i + \lambda_i \phi_i \mu_i + \lambda_i \phi_i v_i + \phi_i v_i \mu_i}, \\ K_o^{(i)} = \frac{v_i^2 \mu_i + \lambda_i v_i \mu_i + \lambda_i \phi_i \mu_i + \lambda_i \phi_i v_i}{v_i^2 \mu_i + \lambda_i v_i \mu_i + \lambda_i \phi_i \mu_i + \lambda_i \phi_i v_i + \phi_i v_i \mu_i}. \end{cases}$$

Для нахождения среднего удельного дохода $S^{(i)}$ за единицу календарного времени и средних удельных затрат $C^{(i)}$, приходящихся на единицу времени исправного функционирования компонента, используем формулы [2]:

$$S^{(i)} = \frac{\sum_{k \in E} M\theta_k^i \cdot f_s^{(i)} \cdot \rho_k^i}{\sum_{k \in E} M\theta_k^i \cdot \rho_k^i}, \quad C^{(i)} = \frac{\sum_{k \in E} M\theta_k^i \cdot f_c^{(i)} \cdot \rho_k^i}{\sum_{k \in E} M\theta_k^i \cdot \rho_k^i}. \quad (6)$$

Здесь f_s и f_c – функции, соответственно определяющие доход и затраты в каждом состоянии:

$$f_s^{(i)} = \begin{cases} c_+^i, & k \in \{110, 210\}, \\ -c_-^i, & k \in \{100\}, \\ -c_\beta^i, & k \in \{200\}, \\ -c_r^i, & k \in \{211, 201\} \end{cases} \quad f_c^{(i)} = \begin{cases} 0, & k \in \{110, 210\}, \\ c_-^i, & k \in \{100\}, \\ c_\beta^i, & k \in \{200\}, \\ c_r^i, & k \in \{211, 201\} \end{cases} \quad (7)$$

После подстановки функций (7) в (6) получаем:

$$S^{(i)} = -\frac{v_i^2 \mu_i c_r^i + \lambda_i v_i \mu_i c_r^i + \lambda_i \phi_i \mu_i c_-^i + \lambda_i \phi_i v_i c_\beta^i - \phi_i v_i \mu_i c_+^i}{v_i^2 \mu_i + \lambda_i v_i \mu_i + \lambda_i \phi_i \mu_i + \lambda_i \phi_i v_i + \phi_i v_i \mu_i},$$

$$C^{(i)} = \frac{v_i^2 \mu_i c_r^i + \lambda_i v_i \mu_i c_r^i + \lambda_i \phi_i \mu_i c_-^i + \lambda_i \phi_i v_i c_\beta^i}{\phi_i v_i \mu_i}.$$

Введем следующие определения: $M[v_{Ki}]$, $M[v_{Si}]$ и $M[v_{Ci}]$ — оптимальное время между соседними контролями, при котором максимален коэффициент готовности, максимальный доход и минимальный убыток соответственно. Определение данных времен для i -го компонента сводится к поиску экстремумов функций $K_r^{(i)}(M[v_i])$, $S^{(i)}(M[v_i])$ и $C^{(i)}(M[v_i])$.

Найдем значение $M[v_{Ki}]$, при котором будет максимальным коэффициент готовности:

$$K_r^{(i)} = \frac{M[\lambda_i] M[v_i]}{M[\lambda_i] M[\phi_i] + M[\phi_i] M[v_i] + M[\mu_i] M[v_i] + M[\lambda_i] M[v_i] + M[v_i]^2}.$$

Точки экстремума данной функции удовлетворяют уравнению:

$$M^2[v_i] - M[\lambda_i]M[\varphi_i] = 0.$$

Учитывая, что $M[v_i] > 0$, находим решение данного уравнения:

$$\begin{cases} M[v_{Ki}] = \sqrt{M[\lambda_i]M[\varphi_i]}, \\ v_{Ki} = \sqrt{\lambda_i \varphi_i}. \end{cases}$$

Максимальный коэффициент готовности i -го компонента равен:

$$K_{г\max}^{(i)} = M[\lambda_i] \sqrt{M[\lambda_i]M[\varphi_i]} / \left(2M[\lambda_i]M[\varphi_i] + M[\varphi_i] \sqrt{M[\lambda_i]M[\varphi_i]} + M[\mu_i] \sqrt{M[\lambda_i]M[\varphi_i]} + M[\lambda_i] \sqrt{M[\lambda_i]M[\varphi_i]} \right).$$

Точки экстремума функции $C^{(i)}(M[v_i])$ следующие:

$$\begin{cases} M[v_{Ci}] = \sqrt{M[\lambda_i]M[\varphi_i] \frac{c_r^i}{c_{\min}^i}}, \\ v_{Ci} = \sqrt{\lambda_i \varphi_i \frac{c_{\min}^i}{c_r^i}}. \end{cases}$$

Точки $M[v_{Si}]$, при которых удельный доход за единицу календарного времени будет максимальным, являются решением следующего уравнения:

$$\begin{aligned} M^2[v_{Si}] \cdot (M[\varphi_i] \cdot (c_r^i - c_-^i) - M[\lambda_i] \cdot (c_-^i + c_+^i) + M[\mu_i] \cdot (c_\beta^i - c_-^i)) + \\ + 2M[v_{Si}]M[\lambda_i]M[\varphi_i] \cdot (c_r^i - c_-^i) = M[\lambda_i]M[\varphi_i] \cdot (M[\mu_i] \cdot (c_\beta^i - c_r^i) - M[\lambda_i] \cdot (c_r^i + c_+^i)). \end{aligned}$$

Нахождение стационарных характеристик системы. Компоненты системы являются независимыми, поэтому процесс марковского восстановления (ПМВ) системы может быть описан как суперпозиция N независимых ПМВ ее компонентов $\{\xi_n^{(i)}, \theta_n^{(i)}, n \geq 0\}$ [4].

Введем обозначение состояний системы: $i\bar{d}$ – последнее изменение системы произошло в i -м компоненте, новое состояние i -го компонента $d^{(i)} \in E^{(i)}$. Состояние компонентов содержится во множестве состояний $\bar{d} = \{d^1, \dots, d^i, \dots, d^N\}$. Состояния системы содержатся во множестве $E = i \times D$, $i = \overline{1, N}$, где $D = E^{(1)} \times \dots \times E^{(i)} \times \dots \times E^{(N)}$.

В нулевой момент времени все компоненты системы исправны, система находится в работоспособном состоянии ($d^i = \{110\}$, $i = \overline{1, N}$). Затем, через время $\theta_d^{(k)}$, k -й компонент ($k = \overline{1, N}$) переходит в состояние $d^{(k)}$. Система переходит в состояние $k\bar{d}$ ($\bar{d} = \{110, \dots, d^{(k)}, \dots, 110\}$). Через время $\theta_d^{(i)}$, i -й компонент системы ($i = \overline{1, N}$) переходит в одно из возможных состояний $d^{(i)}$, как следствие, система переходит в состояние $i\bar{d}'$. Диаграмма описанного перехода системы изображена на рисунке 2.

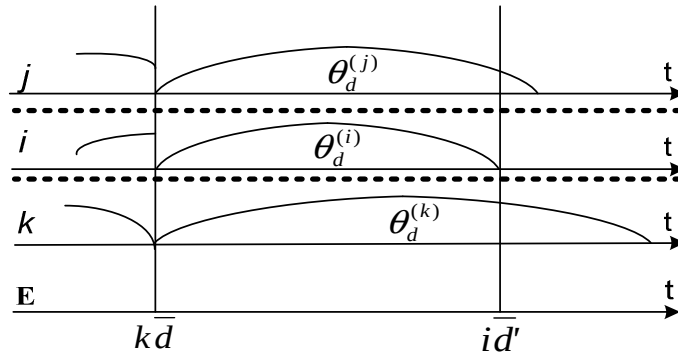


Рисунок 1 – Диаграмма перехода системы из состояния $k\bar{d}$ в $i\bar{d}'$

Стационарное распределение перехода и средние времена пребывания в состояниях для суперпозиции N независимых ПМВ $\{\xi_n^{(i)}, \theta_n^{(i)}, n \geq 0\}$, $i = \overline{1, N}$ можно выразить через характеристики ПМП $\{\xi_n^{(i)}, n \geq 0\}$ при помощи следующих формул [4]:

$$\rho(\bar{id}) = \rho_0 \cdot \prod_{l=1}^N \rho_{d_l}^{(l)} \cdot \prod_{j \neq i} M\theta_{d_j}^{(j)}, \quad d^k \in \bar{d}, \quad (8)$$

где ρ_0 – нормирующая константа,

$$M\theta_{\bar{id}} = M \left[\min \left\{ \theta_{d^k} / d^k \in \bar{d} \right\} \right] = \left[\sum_{n=1}^N \left(M\theta_{d^k}^{(n)} \right)^{-1} \right]^{-1}. \quad (9)$$

Перейдем к характеристикам надежности системы в целом. Подставляя (8) – (9) в формулы (5), находим коэффициент готовности и коэффициент отказа системы, состоящей из N компонентов:

$$\left\{ \begin{array}{l} K_r = \frac{\sum_{\substack{\bar{id} \in E^+ \\ d^k \in \bar{d}}} \left[\sum_{j=1}^N \left(M\theta_{d^k}^{(j)} \right)^{-1} \right]^{-1} \cdot \prod_{m=1}^N \rho_{d_m}^{(m)} \cdot \prod_{j \neq i} M\theta_{d_j}^{(j)}}{\sum_{\substack{\bar{id} \in E \\ d^k \in \bar{d}}} \left[\sum_{j=1}^N \left(M\theta_{d^k}^{(j)} \right)^{-1} \right]^{-1} \cdot \prod_{m=1}^N \rho_{d_m}^{(m)} \cdot \prod_{j \neq i} M\theta_{d_j}^{(j)}}, \\ K_o = \frac{\sum_{\substack{\bar{id} \in E^- \\ d^k \in \bar{d}}} \left[\sum_{j=1}^N \left(M\theta_{d^k}^{(j)} \right)^{-1} \right]^{-1} \cdot \prod_{m=1}^N \rho_{d_m}^{(m)} \cdot \prod_{j \neq i} M\theta_{d_j}^{(j)}}{\sum_{\substack{\bar{id} \in E \\ d^k \in \bar{d}}} \left[\sum_{j=1}^N \left(M\theta_{d^k}^{(j)} \right)^{-1} \right]^{-1} \cdot \prod_{m=1}^N \rho_{d_m}^{(m)} \cdot \prod_{j \neq i} M\theta_{d_j}^{(j)}}. \end{array} \right. \quad (10)$$

Произведя суммирование по аналогичным состояниям $\bar{d}$, получим:

$$\left\{ \begin{array}{l} K_r = \frac{\sum_{\substack{\bar{d} \in D_+ \\ d_k \in \bar{d}}} \prod_{m=1}^N \rho_{d_m}^{(m)} \cdot M\theta_{d_k}^{(m)}}{\sum_{\substack{\bar{d} \in D \\ d_k \in \bar{d}}} \prod_{m=1}^N \rho_{d_m}^{(m)} \cdot M\theta_{d_k}^{(m)}} = \frac{\sum_{d_k \in \bar{d}} \prod_{m=1}^N \rho_{d_m}^{(m)} \cdot M\theta_{d_k}^{(m)}}{\prod_{m=1}^N \sum_{d_i^m} \rho_{d_i^m}^{(m)} \cdot M\theta_{d_i^m}^{(m)}}, \\ K_o = \frac{\sum_{\substack{\bar{d} \in D_- \\ d_k \in \bar{d}}} \prod_{m=1}^N \rho_{d_m}^{(m)} \cdot M\theta_{d_k}^{(m)}}{\sum_{\substack{\bar{d} \in D \\ d_k \in \bar{d}}} \prod_{m=1}^N \rho_{d_m}^{(m)} \cdot M\theta_{d_k}^{(m)}} = \frac{\sum_{d_k \in \bar{d}} \prod_{m=1}^N \rho_{d_m}^{(m)} \cdot M\theta_{d_k}^{(m)}}{\prod_{m=1}^N \sum_{d_i^m} \rho_{d_i^m}^{(m)} \cdot M\theta_{d_i^m}^{(m)}}. \end{array} \right.$$

В случае параллельного и последовательного соединения компонентов, формулы (10) могут быть преобразованы к следующему виду:

$$\left\{ \begin{array}{l} K_{\Gamma nap} = \frac{\prod_{m=1}^N \sum_{d_k^m \in E^+} \rho_{d_k^m}^{(m)} \cdot M\theta_{d_k^m}^{(m)}}{\prod_{m=1}^N \sum_{d_i^m} \rho_{d_i^m}^{(m)} \cdot M\theta_{d_i^m}^{(m)}} = \prod_{m=1}^N \frac{\sum_{d_k^m \in E^+} \rho_{d_k^m}^{(m)} \cdot M\theta_{d_k^m}^{(m)}}{\sum_{d_k^m \in E^+} \rho_{d_k^m}^{(m)} \cdot M\theta_{d_k^m}^{(m)}} = \prod_{m=1}^N K_{\Gamma}^{(m)}, \\ K_{Onap} = 1 - K_{\Gamma nap}. \end{array} \right. \quad (11)$$

$$\left\{ \begin{aligned} K_{o_{\text{носл}}} &= \frac{\prod_{m=1}^N \sum_{d_k^m \in E_-^{(m)}} \rho_{d_k^m}^{(m)} \cdot M\theta_{d_k^m}^{(m)}}{\prod_{m=1}^N \sum_{d_i^m \in E_+^{(m)}} \rho_{d_i^m}^{(m)} \cdot M\theta_{d_i^m}^{(m)}} = \prod_{m=1}^N \frac{\sum_{d_k^m \in E_-^{(m)}} \rho_{d_k^m}^{(m)} \cdot M\theta_{d_k^m}^{(m)}}{\sum_{d_k^m \in E_-^{(m)}} \rho_{d_k^m}^{(m)} \cdot M\theta_{d_k^m}^{(m)}} = \prod_{m=1}^N K_o^{(m)}, \\ K_{\Gamma_{\text{носл}}} &= 1 - K_{o_{\text{носл}}}. \end{aligned} \right. \quad (12)$$

Оптимизация параметров контроля для двухкомпонентной системы. Рассмотрим случай, когда система состоит из двух компонентов. Множество полумарковских состояний системы следующее:

$$E = i \times E^{(1)} \times E^{(2)}, \text{ где } i = \overline{1, 2}.$$

Система может находиться в 72 состояниях. Возможно либо последовательное соединение компонентов ($E_+ = i \times E_+^{(1)} \times E_+^{(2)}$), либо параллельное ($E_- = i \times E_-^{(1)} \times E_-^{(2)}$).

Далее, с учетом (11) – (12), приведены коэффициенты готовности и отказа системы при последовательном (6) и при параллельном (7) соединении компонентов:

$$\left\{ \begin{aligned} K_{\Gamma} &= \prod_{i=1}^2 \frac{\Phi_i v_i \mu_i}{v_i^2 \mu_i + \lambda_i v_i \mu_i + \lambda_i \Phi_i \mu_i + \lambda_i \Phi_i v_i + \Phi_i v_i \mu_i}, \\ K_o &= 1 - K_{\Gamma}, \end{aligned} \right. \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{aligned} K_o &= \prod_{i=1}^2 \frac{v_i^2 \mu_i + \lambda_i v_i \mu_i + \lambda_i \Phi_i \mu_i + \lambda_i \Phi_i v_i}{v_i^2 \mu_i + \lambda_i v_i \mu_i + \lambda_i \Phi_i \mu_i + \lambda_i \Phi_i v_i + \Phi_i v_i \mu_i}, \\ K_{\Gamma} &= 1 - K_o. \end{aligned} \right. \quad (7)$$

Определение оптимальных параметров $v_i, i = \overline{1, 2}$ системы сводится к поиску экстремумов функций $K_{\Gamma}(v_1, v_2), K_o(v_1, v_2)$. Так как данные функции представляются в виде произведения двух независимых функций ($K_{\Gamma}(v_1, v_2) = \prod_{i=1}^2 K_{\Gamma}^{(i)}(v_i)$) в случае последовательного соединения,

$K_o(v_1, v_2) = \prod_{i=1}^2 K_o^{(i)}(v_i)$ – в случае параллельного), точки их экстремумов удовлетворяют системе уравнений $v_i^{Kg \max} = v_i^{K \min} = \sqrt{\lambda_i \Phi_i}, i \in \overline{1, N}$.

Для примера рассчитаны оптимальные времена $M[v_1]$ и $M[v_2]$ для двухкомпонентной системы с параметрами, сведенными в таблицу 1. Результаты расчета приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Исходные данные в примере

№	$\lambda_1, \text{ч}^{-1}$	$\mu_1, \text{ч}^{-1}$	$\Phi_1, \text{ч}^{-1}$	$M[\alpha_1], \text{ч}$	$M[\beta_1], \text{ч}$	$M[\gamma_1], \text{ч}$	$\lambda_2, \text{ч}^{-1}$	$\mu_2, \text{ч}^{-1}$	$\Phi_2, \text{ч}^{-1}$	$M[\alpha_2], \text{ч}$	$M[\beta_2], \text{ч}$	$M[\gamma_2], \text{ч}$
1	1E-3	0,1	0,05	1000	10	20	5E-4	0,05	0,02	2000	20	50
2	4E-4	0,2	0,04	2500	5	25	1E-3	0,5	0,2	1000	2	5
3	5E-4	0,05	0,02	2000	20	50	8E-4	0,2	0,04	1250	5	25

Таблица 2 – Результаты расчетов оптимальных параметров надежности системы

№	1-й компонент			2-й компонент			Параллельное соединение		Последовательное соединение	
	$M[v1], ч$	$K_{г\max}^{(1)}$	$K_{о\min}^{(1)}$	$M[v2], ч$	$K_{г\max}^{(2)}$	$K_{о\min}^{(2)}$	$K_{г\max}$	$K_{о\min}$	$K_{г\max}$	$K_{о\min}$
1	141	0,764	0,236	316	0,738	0,262	0,564	0,436	0,938	0,062
2	250	0,828	0,172	71	0,877	0,123	0,726	0,274	0,979	0,021
3	316	0,738	0,262	177	0,766	0,234	0,565	0,435	0,939	0,061

Полученные результаты могут быть полезны при определении стационарных характеристик технических систем со скрытыми отказами с покомпонентным контролем [3].

Дальнейшее исследование в данном направлении предусматривают построение модели многокомпонентных технических систем с учетом проведения контроля в случае общих законов распределения времени отказа компонентов, времени проведения восстановления и контроля, а также и с постоянным временем между соседними контролями.

Бібліографічний список використаної літератури

1. Кононова В.Ю. Модернизация производственных систем на российских предприятиях/ В.Ю. Кононова // Модернизация экономики и общественное развитие [в 3 кн.] / Гос. Ун-т Высшая школа экономики. — М.: Изд. дом ГУ ВШЭ, 2007. — С. 556–567.
2. Байхельт Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход / Ф. Байхельт, П. Франклен. — М.: Радио и связь, 1988. — 392 с.
3. Кученко Ю. Аккумуляторные батареи ИБП как критичная статья эксплуатационных расходов ЦОД / Ю. Кученко // Компьютерное обозрение. — 2009. — № 20. — С. 55.
4. Королук В.С. Процессы марковского восстановления в задачах надежности систем / В.С. Королук, А.Ф. Турбин — К.: Наук. думка, 1982. — 236 с.

Поступила в редакцию 31.03.2011 г.

Обжерін Ю.Є., Нікішенко О.М. Модель багатокомпонентної системи з прихованими відмовами та покомпонентним контролем

Побудована напівмарківська модель відновлюваної N-компонентної системи з урахуванням здійсненого покомпонентного контролю з діагностикою. Визначено її основні характеристики надійності та ефективності з експоненціальним розподілом часу напрацювання на відмову, часу проведення контролю та відновлення, а також з експоненціальним часом між здійсненнями контролю.

Ключові слова: прихована відмова, контроль, діагностика, надійність, ефективність, напівмарківська модель.

Obzherin Yu.E., Nikishenko A.N. Model of a Multicomponent Systems with Latent Failures and Component-wise Diagnostics

A semi-Markov model of the reconstructed N-component system is developed considering component-wise diagnostics. The main characteristics of reliability and efficiency of this system are determined considering exponential distribution of time between failures, timing of control, timing of recovery, and time between the controls.

Keywords: latent failure, control, diagnosis, reliability, efficiency, semi-Markov model.