

Библиографический список использованной литературы

1. Харченко В.С. Безопасность критических инфраструктур: математические и инженерные методы анализа и обеспечения / Под ред. Харченко В.С., Министерство образования и науки Украины, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2011. — 641 с.
2. Скатков А.В. Информационные технологии для критических инфраструктур: моногр. / Под ред. А.В. Скаткова — Севастополь: СевНТУ, 2012. — 306 с.
3. Воронин Д.Ю., Скатков А.В., Харченко В.С. Технологии Web, Grid, Cloud для гарантоспособных ИТ-инфраструктур / Технологии Web, Grid, Cloud для гарантоспособных ИТ-инфраструктур: Монография/ Под ред. В.С. Харченко, А.В. Горбенко. — Харьков: Изд-во ХАИ, 2013. — 868 с.
4. Бушуев С.Д. Современные подходы к развитию методологий управления проектами / С.Д. Бушуев, Н.С. Бушуева // Управління проектами та розвиток виробництва: Зб.наук.пр. — Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2005 - №1(13). — С. 5 — 19.

Voronin D.Y. Information-analytical technology of critical infrastructure computing resources allocation in the problem of network projects analysis

The problem of managerial decision-making at critical infrastructure interaction is considered. Information-analytical technologies of resource allocation in of critical infrastructures are proposed. The realized complex of optimization program models, formulated in terms of network analysis projects, is described. As an example to illustrate the elements of the proposed concept, we consider the implemented model of direct and inverse inhomogeneous resources allocation, that takes into account the possibility of using alternative sets of composite resource components. The scenario of managerial decision-making at critical infrastructure interaction is proposed.

Key words: critical infrastructure cooperation, decision support, projects network analysis, information and analytical technologies, efficient management.

УДК.681.5.

Ю.Е. Обжерин, профессор, д-р техн. наук

Е.Г. Бойко, доцент, канд. техн. наук

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская 33, г. Севастополь, Россия, 299053

e-mail: vmsevntu@mail.ru

МОДЕЛЬ КОНТРОЛЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЫ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ КОМПОНЕНТОВ¹²

На базе теории полумарковских процессов с общим фазовым пространством состояний построена математическая модель контроля скрытых отказов двухкомпонентной производственной системы с параллельным соединением компонентов. Применен метод приближенного вычисления характеристик системы, основанный на алгоритмах фазового укрупнения. Найдены приближенные стационарные характеристики надежности функционирования системы.

Ключевые слова: полумарковская модель, скрытый отказ, стационарные характеристики.

Введение. Важнейшей частью систем управления качеством продукции на машиностроительных предприятиях является технический контроль. Высокий уровень контрольно-измерительной аппаратуры и ее разнообразие не решают проблему своевременного выявления скрытых отказов производственных систем (ПС) [1], поэтому она остается **актуальной проблемой** и в настоящее время. Следует отметить, что большое число параметрических отказов относится к категории скрытых.

В данной работе под скрытым отказом понимается отказ, который может быть обнаружен только в результате проведения контроля.

Для построения моделей контроля восстанавливаемых ПС наиболее перспективным является метод, основанный на применении полумарковских процессов (ПМП) с общим фазовым пространством состояний, изложенный в работах В.С. Королюка, А.Ф. Турбина и их учеников [2, 3]. Он дает возможность находить характеристики функционирования системы, которые могут быть использованы для инженерных приложений.

Главная трудность, которая при этом возникает, состоит в размерности моделей. Эффективным средством приближенного нахождения стационарных характеристик системы в случае большой размерности моделей является метод, предложенный в [2], и имеющий общую основу с алгоритмами асимптотического фазового укрупнения [3].

¹² Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-41-01541).

Предположим, что ВВ компонентов и время проведения контроля значительно меньше ВБР компонентов. Тогда опорной системой $S^{(0)}$ будет система, имеющая мгновенное восстановление и контроль. Временная диаграмма функционирования опорной системы $S^{(0)}$ приведена на рисунке 2, в скобках указаны мгновенные состояния системы $S^{(0)}$. Найдем вероятности переходов ВЦМ $\{\xi_n^{(0)}; n \geq 0\}$ опорной системы $S^{(0)}$ с учетом, что переходы из состояний в скобках происходят с вероятностью единица.

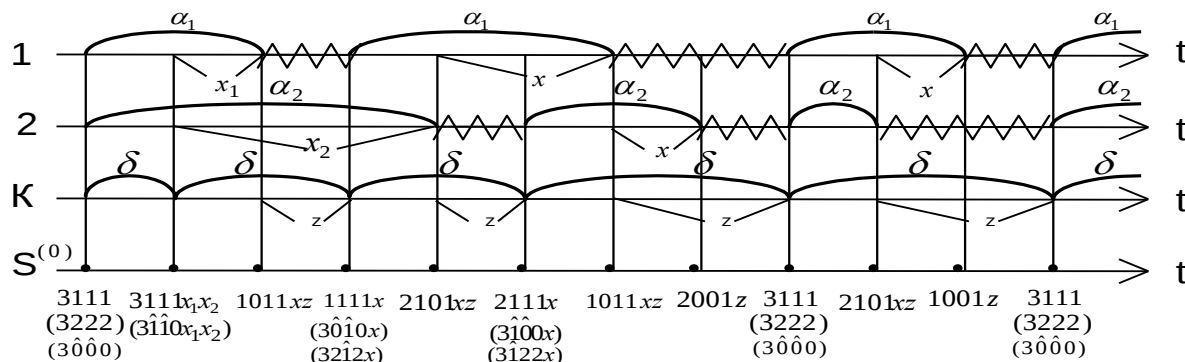


Рисунок 2 – Временная диаграмма функционирования опорной системы

Класс эргодических состояний $E^{(0)}$ ВЦМ $\{\xi_n^{(0)}; n \geq 0\}$ опорной системы имеет вид:

$$E^{(0)} = \{3111, 3110x_1x_2, 3111x_1x_2, 1011xz, 2101xz, 3010x, 3100x, 3212x, 3122x, 1111x, 2111x, 1001z, 2001z, 3000, 3222\}.$$

Состояния $1122x$, $2212x$ являются невозвратными для ВЦМ опорной системы.

Используя вероятности и плотности вероятностей переходов ВЦМ $\{\xi_n; n \geq 0\}$ опорной системы $S^{(0)}$, составим и решим систему интегральных уравнений для нахождения стационарного распределения ВЦМ $\{\xi_n; n \geq 0\}$ опорной системы $S^{(0)}$ [2].

Определим вероятности переходов ВЦМ $\{\xi_n; n \geq 0\}$ исходной системы и средние времена пребывания в состояниях исходной системы, которые будут использоваться в дальнейшем [4].

Среднюю стационарную наработку на отказ T_+ и среднее стационарное время восстановления T_- найдем приближенно по формулам [2]:

$$T_+ \approx \frac{\int_{E_+} m(e) \rho(de)}{\int_{E_+} P(e, E_-) \rho(de)}, \quad T_- \approx \frac{\int_{E_-} m(e) \rho(de)}{\int_{E_+} P(e, E_-) \rho(de)}, \quad (1)$$

где $\rho(de)$ – стационарное распределение опорной ВЦМ $\{\xi_n^{(0)}; n \geq 0\}$; $m(e)$ – средние времена пребывания в состоянии $e \in E$ исходной системы; $P(e, E_-)$ – вероятности переходов ВЦМ $\{\xi_n; n \geq 0\}$ исходной системы.

Стационарный коэффициент готовности найдем из соотношения:

$$K_g \approx \frac{T_+}{T_+ + T_-}.$$

Найдем выражения, входящие в (1).

$$\begin{aligned} \int_{E_+} m(e) \rho(de) &= m(3111) \rho(3111) + \int_0^\infty m(1111x) \rho(1111x) dx + \\ &+ \int_0^\infty m(2111x) \rho(2111x) dx + \int_0^\infty dx_1 \int_0^\infty m(3111x_1x_2) \rho(3111x_1x_2) dx_2 + \\ &+ \int_0^\infty dx \int_0^\infty m(1011x) \rho(1011xz) dz + \int_0^\infty dx \int_0^\infty m(2101xz) \rho(2101xz) dz = \end{aligned} \quad (2)$$

$$= \rho_0 \left(M(\alpha_1 \wedge \alpha_2) + \int_0^\infty \bar{F}_2(t) \bar{\Phi}_1(t) dt + \int_0^\infty \bar{F}_1(t) \bar{\Phi}_2(t) dt + \right. \\ \left. + \int_0^\infty f_1(y) dy \int_0^\infty \bar{F}_2(x+y) \bar{V}_r(y, x) dx + \int_0^\infty f_2(y) dy \int_0^\infty \bar{F}_1(x+y) \bar{V}_r(y, x) dx + \right. \\ \left. + \int_0^\infty \psi_1(y) dy \int_0^\infty \bar{F}_2(x+y) \bar{V}_r(y, x) dx + \int_0^\infty f_2(y) dy \int_0^\infty \bar{\Phi}_1(x+y) \bar{V}_r(y, x) dx + \right. \\ \left. + \int_0^\infty f_1(y) dy \int_0^\infty \bar{\Phi}_2(x+y) \bar{V}_r(y, x) dx + \int_0^\infty \psi_2(y) dy \int_0^\infty \bar{F}_1(x+y) \bar{V}_r(y, x) dx \right).$$

Здесь,

$$\bar{\Phi}_i(t) = \int_0^\infty \bar{F}_i(t+y) h_i(y) dy + \int_0^\infty \bar{\Gamma}_i(t, y) dy \int_0^\infty f_i(y+z) h_i(z) dz + \\ + \int_0^\infty \bar{\Pi}_i(t, y) dy \int_0^\infty f_i(y+z) h_i(z) dz + \int_0^\infty \bar{\Pi}_i(t, y) dy \int_0^\infty \gamma_i(y, z) dz \int_0^\infty f_i(z+s) h_i(s) ds, \\ \text{где } \bar{\Gamma}_i(t, y) = \int_t^\infty \gamma_i(x, y) dx, \quad \bar{\Pi}_i(t, y) = \int_t^\infty \pi_i(x, y) dx, \quad \bar{i} = \begin{cases} 1, & \text{если } i = 2, \\ 2, & \text{если } i = 1. \end{cases}$$

$h_r(t) = \sum_{n=1}^\infty r^{*(n)}(t)$ – плотность функции восстановления $H_r(t)$ процесса восстановления, порожденного СВ

δ ; $v_r(z, x) = r(z+x) + \int_0^z r(z+x-s) h_r(s) ds$ – плотность распределения прямого остаточного времени для

процесса восстановления, порожденного СВ δ ; $h_i(t) = \sum_{n=1}^\infty \tilde{\gamma}_i^{*(n)}(t)$, $i = 1, 2$ – плотности функций

восстановления процессов восстановления, порожденных СВ с плотностями $\tilde{\gamma}_i(t) = \int_0^t f_i(t) v_r(y, t-y) dy$;

$$\gamma_i(x, t) = \int_0^\infty f_i(x+z+t) v_r(t, z) dz + \int_0^\infty h_i(y) dy \int_0^\infty f_i(x+z+y+t) v_r(t, z) dz, \quad i = 1, 2;$$

$$\pi_i(x, y) = \sum_{n=1}^\infty k_i^{*(n)}(x, y), \quad i = 1, 2,$$

где $k_i^{(1)}(x, y) = k_i(x, y) = \int_0^\infty \gamma_i(x, t) \gamma_i(t, y) dt$, $k_i^{(n)}(x, y) = \int_0^\infty k_i(x, t) k_i^{(n-1)}(t, y) dt$;

$$\bar{\Phi}_i(0) = \int_0^\infty \bar{F}_i(y) h_i(y) dy + \int_0^\infty \bar{\Gamma}_i(0, y) dy \int_0^\infty f_i(y+z) h_i(z) dz + \\ + \int_0^\infty \bar{\Pi}_i(0, y) dy \int_0^\infty f_i(y+z) h_i(z) dz + \int_0^\infty \bar{\Pi}_i(0, y) dy \int_0^\infty \gamma_i(y, z) dz \int_0^\infty f_i(z+s) h_i(s) ds,$$

где $\bar{\Gamma}_i(0, y) = \int_0^\infty \gamma_i(x, y) dx$, $\bar{\Pi}_i(0, y) = \int_0^\infty \pi_i(x, y) dx$, $i = 1, 2$;

$\hat{H}_r(t)$ – функция, определяемая формулой: $\hat{H}_r(t) = \begin{cases} 1 + H_r(t), & t > 0, \\ 0, & t = 0. \end{cases}$

Далее,

$$\int_{E_-} m(e) \rho(de) = \int_0^\infty dx_1 \int_0^\infty m(3\hat{1}\hat{1}0x_1x_2) \rho(3\hat{1}\hat{1}0x_1x_2) dx_2 + \\ + \int_0^\infty m(3\hat{0}\hat{1}0x) \rho(3\hat{0}\hat{1}0x) dx + \int_0^\infty m(3\hat{1}\hat{0}0x) \rho(3\hat{1}\hat{0}0x) dx + \int_0^\infty m(3\hat{2}\hat{1}2x) \rho(3\hat{2}\hat{1}2x) dx + \\ + \int_0^\infty m(3\hat{1}\hat{2}2x) \rho(3\hat{1}\hat{2}2x) dx + \int_0^\infty m(1001z) \rho(1001z) dz + \int_0^\infty m(2001z) \rho(2001z) dz + \\ + m(3\hat{0}\hat{0}0) \rho(3\hat{0}\hat{0}0) + m(3\hat{2}\hat{2}2) \rho(3\hat{2}\hat{2}2) = \\ = \rho_0 \left((M\gamma + M\delta) \left(\int_0^\infty \bar{F}_1(y) \bar{F}_2(y) d\hat{H}_r(y) + \int_0^\infty \bar{\Phi}_1(y) \bar{F}_2(y) d\hat{H}_r(y) + \right. \right. \\ \left. \left. + \int_0^\infty \bar{\Phi}_2(y) \bar{F}_1(y) d\hat{H}_r(y) \right) + M\beta_1 \bar{\Phi}_2(0) + M\beta_2 \bar{\Phi}_1(0) + M(\beta_1 \wedge \beta_2) - \right.$$

$$\begin{aligned}
& - \int_0^\infty f_2(y) dy \int_0^\infty \bar{V}_r(y, z) \bar{F}_1(z+y) dz - \int_0^\infty f_1(y) dy \int_0^\infty \bar{V}_r(y, z) \bar{F}_2(z+y) dz - \\
& - \int_0^\infty \psi_1(y) dy \int_0^\infty \bar{V}_r(y, z) \bar{F}_2(z+y) dz - \int_0^\infty f_2(y) dy \int_0^\infty \bar{V}_r(y, z) \bar{\Phi}_1(z+y) dz - \\
& - \int_0^\infty \psi_2(y) dy \int_0^\infty \bar{V}_r(y, z) \bar{F}_1(z+y) dz - \int_0^\infty f_1(y) dy \int_0^\infty \bar{V}_r(y, z) \bar{\Phi}_2(z+y) dz - \\
& - M(\alpha_1 \wedge \alpha_2) - \int_0^\infty \bar{\Phi}_1(y) \bar{F}_2(y) dy - \int_0^\infty \bar{\Phi}_2(y) \bar{F}_1(y) dy \Bigg).
\end{aligned} \tag{3}$$

Тогда,

$$\begin{aligned}
\int_E m(e) \rho(de) = \rho_0 \Bigg(& (M\gamma + M\delta) \left(\int_0^\infty \bar{F}_1(y) \bar{F}_2(y) d\hat{H}_r(y) + \int_0^\infty \bar{\Phi}_1(y) \bar{F}_2(y) d\hat{H}_r(y) + \right. \\
& \left. + \int_0^\infty \bar{\Phi}_2(y) \bar{F}_1(y) d\hat{H}_r(y) \right) + M\beta_1 \bar{\Phi}_2(0) + M\beta_2 \bar{\Phi}_1(0) + M(\beta_1 \wedge \beta_2) \Bigg).
\end{aligned} \tag{4}$$

С учетом (2) – (4), получаем следующее приближенное соотношение для стационарного коэффициента готовности:

$$\begin{aligned}
K_z \approx & \left(M(\alpha_1 \wedge \alpha_2) + \int_0^\infty \bar{F}_2(t) \bar{\Phi}_1(t) dt + \int_0^\infty \bar{F}_1(t) \bar{\Phi}_2(t) dt + \right. \\
& + \int_0^\infty f_1(y) dy \int_0^\infty \bar{F}_2(x+y) \bar{V}_r(y, x) dx + \int_0^\infty f_2(y) dy \int_0^\infty \bar{F}_1(x+y) \bar{V}_r(y, x) dx + \\
& + \int_0^\infty \psi_1(y) dy \int_0^\infty \bar{F}_2(x+y) \bar{V}_r(y, x) dx + \int_0^\infty f_2(y) dy \int_0^\infty \bar{\Phi}_1(x+y) \bar{V}_r(y, x) dx + \\
& \left. + \int_0^\infty f_1(y) dy \int_0^\infty \bar{\Phi}_2(x+y) \bar{V}_r(y, x) dx + \int_0^\infty \psi_2(y) dy \int_0^\infty \bar{F}_1(x+y) \bar{V}_r(y, x) dx \right) / \\
& \left(M(\beta_1 \wedge \beta_2) + M\beta_1 \bar{\Phi}_2(0) + M\beta_2 \bar{\Phi}_1(0) + \right. \\
& \left. + (M\delta + M\gamma) \left(\int_0^\infty \bar{F}_1(y) \bar{F}_2(y) d\hat{H}_r(y) + \int_0^\infty \bar{\Phi}_1(y) \bar{F}_2(y) d\hat{H}_r(y) + \int_0^\infty \bar{\Phi}_2(y) \bar{F}_1(y) d\hat{H}_r(y) \right) \right).
\end{aligned} \tag{5}$$

Найдем приближенные выражения для стационарного коэффициента готовности, когда времена безотказной работы компонентов имеют экспоненциальное распределение и постоянное время периодичности контроля $\tau > 0$, тогда $F_i(t) = 1 - e^{-\lambda_i t}$, $i = 1, 2$, $R(t) = 1(t - \tau)$, $M\delta = \tau$. Формула (5) примет вид:

$$\begin{aligned}
K_z \approx & \left(\lambda_1^2 (1 - e^{-\lambda_2 \tau}) + \lambda_2^2 (1 - e^{-\lambda_1 \tau}) + \lambda_1 \lambda_2 (1 - e^{-\lambda_1 \tau})(1 - e^{-\lambda_2 \tau}) \right) / \left(\lambda_1 \lambda_2 (\lambda_1 + \lambda_2) \left(M\gamma + \tau + \right. \right. \\
& \left. \left. + M\beta_1 e^{-\lambda_2 \tau} (1 - e^{-\lambda_1 \tau}) + M\beta_2 e^{-\lambda_1 \tau} (1 - e^{-\lambda_2 \tau}) + M(\beta_1 \wedge \beta_2) (1 - e^{-\lambda_1 \tau})(1 - e^{-\lambda_2 \tau}) \right) \right).
\end{aligned}$$

В работе [4] для случая, когда времена безотказной работы компонентов имеют экспоненциальное распределение и постоянное время периодичности контроля $\tau > 0$, были получены формулы для вычисления точного значения стационарного коэффициента готовности.

Исходные данные и результаты вычислений точных и приближенных значений стационарного коэффициента готовности, сведены в таблицу 1, средние ВВ: $M\beta_1 = 0,100$ ч, $M\beta_2 = 0,066$ ч, длительность контроля $M\gamma = 0,125$ ч.

Таблиця 1 – Значення $K_e(\tau)$ при $\tau = 5ч$

Исходные данные		Результаты вычислений	
		Точное значение	Приближенное значение
$M\alpha_1, ч$	$M\alpha_2, ч$	$K_e(\tau)$	$K_e(\tau)$
90	70	0,97236	0,97281
90	50	0,97204	0,97206
90	10	0,96312	0,96458

По данным таблицы 1 можно оценить точность расчетов при использовании приближенных формул для определения стационарных характеристик системы.

Сравнительный анализ точных и приближенных значений полученных результатов позволяет сделать **вывод** о высокой точности приближенного метода. Абсолютная погрешность не превышает 0,15 %.

Полученные результаты позволяют применить рассмотренную методику при определении стационарных характеристик надежности и эффективности функционирования многокомпонентных производственных систем для различных стратегий контроля скрытых отказов.

Задачи дальнейших исследований заключаются в определении стационарных характеристик эффективности функционирования данной системы, оптимального периода контроля скрытых отказов, а также автоматизации контроля скрытых отказов многокомпонентных производственных систем на основе полученных результатов.

Библиографический список использованной литературы

1. Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов / Г.Н. Черкесов. – СПб.: Питер, 2005. – 479 с.
2. Корлат А.Н. Полумарковские модели восстанавливаемых систем и систем массового обслуживания / А.Н. Корлат, В.Н. Кузнецов, А.Ф. Турбин. – Кишинёв: Штиинца, 1991. – 209 с.
3. Королук В.С. Процессы марковского восстановления в задачах надежности систем / В.С. Королук, А.Ф. Турбин. – К.: Наук. Думка, 1982. – 236 с.
4. Бойко Е.Г. Автоматизация процесса принятия решений при управлении периодичностью контроля скрытых отказов производственных систем: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.07: защищена 06.04.12 : утв. 26.09.12 / Бойко Елена Георгиевна. – Севастополь, 2012. – 250 с.

Обжерін Ю. Є., Бойко О.Г. Модель контролю працездатності двокомпонентної системи з паралельним з'єднанням компонентів

На базі теорії напівмарківських процесів із загальним фазовим простором станів побудована математична модель контролю прихованих відмов двокомпонентної системи з паралельним з'єднанням компонентів. Знайдені наближені значення стаціонарних надійнісних характеристик функціонування системи.

Ключові слова: напівмарківська модель, прихована відмова, стаціонарні характеристики.

Obzherin Y.E., Boyko H.G. Model checking of a two-component system with parallel connection of components

On the base of semi-markov process with overall space two-component system with parallel connection of components mathematical the model of control hidden failures were constructed. Reliable functioning characteristics were found.

Keywords: Semi-Markov model, hidden failures, functioning characteristics.