2. Galitsky, B. Natural Language Question Answering System: Technique of Semantic Headers [Text] / B. Galitsky // International Series on Advanced Intelligence. – Australia: Advanced Knowledge International. – 2003. – Vol. 2. – P. 12-20.

3. Бисикало, О. В. Ассоциативный поиск для задач обучения на основе электронного тезауруса образов [Текст] / О. В. Бисикало // Управляющие системы и машины. – 2009. – № 2. – С. 28 – 33.

4. Бісікало, О. В. Формалізація понять мовного образу та образного сенсу природно-мовних конструкцій [Text] / О. В. Бісікало // Математичні машини і системи. – 2012. – № 2. – С. 70 – 73.

5. Крылов, С. А. Некоторые уточнения к определениям понятий словоформы и лексемы [Текст] / С. А. Крылов // Семиотика и информатика. – 1982. – Вып. 19. – С. 118 – 136.

6. Бісікало, О. В. Формальні методи образного аналізу та синтезу природно-мовних конструкцій [Текст]: монографія / О. В. Бісікало. – Вінниця: Вінниць. нац. техн. ун-т, 2013. – 316 с.

7. Бодянский, Е. Классификация текстовых документов с помощью нечеткой вероятностной нейронной сети / Е. Бодянский, Н. Рябова, О. Золотухин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – Т. 6, № 2(54). – С. 16 – 18. – Режим доступу: http://journals.uran.ua/eejet/article/view/1917

8. Соснин, П. И. Вопросно-ответное программирование человеко-компьютерной деятельности [Текст] / П. И. Соснин. – Ульяновск: Ульянов. техн. ун-т, 2010. – 240 с.

9. Чмир, І. О. Моделювання та синтез діалогових агентів в інтелектуальних системах [Текст] : автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.13.23 / І. О. Чмир. – Київ, 2008 . – 33 с.

10. Burger, J. Tasks and Program Structures to Roadmap Research in Question & Answering (Q & A) [Text] / J. Burger, C. Cardie, V. Chaudhri et al. – New York, 2001. – P. 1 – 35.

11. Grillet, P. A. Commutative Semigroups [Text] / P. A. Grillet // Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. – 440 p.

12. Горюшкин, А. П. Элементы абстрактной и компьютерной алгебры [Текст] : уч. пос. / А. П. Горюшкин, В. А. Горюшкин. – 2-е изд., испр. и доп. – Петропавловск-Камчатский : КамГУ им. Витуса Беринга, 2011. – 518 с.

13. Clifford, A. H., Preston, G. B. The Algebraic Theory of Semigroups [Text] / A. H. Clifford, G. B. Preston // American Mathematical Soc., 1967. – 352 p.

14. Grillet, P. A. Semigroups: An Introduction to the Structure Theory [Text] / P. A. Grillet. – CRC Press, 1995. – 408 p.

15. Rosenfeld, V. Using Semigroups in Modeling of Genomic Sequences [Text] / V. Rosenfeld // MATCH Communications in Mathematical and in Computer Chemistry. – 2006. – Vol. 56. – P. 281 – 290.

16. Столл, Р. Множества. Логика. Аксиоматические теории [Text] : пер с англ. – М.: Просвещение, 1968. – 231 с.

17. Bisikalo, O. Formalization of semantic network of image constructions in electronic content [Электронный ресурс] / O. Bisikalo, I. Kravchuk // Cornell University Library (Computer Science, Computation and Language), arXiv: 1201.1192v1. – January 2012. – 4 p. – Aviable at: http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1201/1201.1192.pdf. – 10.12.2013 г. – Загл. с экрана.

Поступила в редакцию 11.11.13

УДК.681.5

МОДЕЛЬ КОНТРОЛЯ СКРЫТЫХ ОТКАЗОВ ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЫ С ОТКЛЮЧЕНИЕМ КОМПОНЕНТОВ

Ю. Е. Обжерин, д-р техн. наук
Е. Г. Бойко, канд. техн. наук

Севастопольский национальный технический университет, Севастополь, Украина
e-mail: vmsevntu@mail.ru

Анотація. *На базі теорії напівмарківських процесів із загальним фазовим простором станів побудована математична модель контролю прихованих відмов двокомпонентної системи з послідовним з'єднанням компонентів. Застосовано метод наближеного обчислення характеристик системи, що грунтується на алгоритмах фазового укрупнення. Знайдені наближені та точні значення стаціонарних характеристик функціонування системи: коефіцієнта готовності, середнього питомого прибутку, середніх питомих витрат.*

Ключові слова: *напівмарківська модель, прихована відмова, стаціонарні характеристики, двокомпонентна система, коефіцієнт готовності.*

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 технических систем (ТС) [1]. Скрытым отказом называется отказ, не обнаруживаемый визуально или штатными методами, средствами контроля и диагностирования, но выявляемый при проведении технического обслуживания или специальными методами диагностики [2]. Следует отметить, что большое число параметрических отказов относится к категории скрытых.

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

Постановка проблемы

Многообразие контролируемых параметров и контрольно-измерительных процедур в современном машиностроении приводит к необходимости создания программы контроля многокомпонентных систем, в основе которой лежит математическое моделирование. Для построения моделей контроля восстанавливаемых ТС 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 [3 – 6]. 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 [6] и имеющий общую основу с алгоритмами асимптотического фазового укрупнения.

Анализ исследований и публикаций

В современных источниках [7 – 9] рассматриваются математические модели систем с учетом контроля скрытых отказов. Однако в них не учитывается структура контролируемых систем, а также стратегии контроля.

Формулировка целей статьи

Целью статьи является определение приближенных значений стационарных характеристик надежности и эффективности функционирования двухкомпонентной ТС с отключением компонентов на период проведения контроля скрытых отказов и оценка их точности, а также определение оптимальной периодичности контроля.

Определение приближенных и точных значений стационарных характеристик функционирования двухкомпонентной системы

Рассмотрим систему *S*, состоящую из двух последовательно соединенных компонентов K_1, K_2 (в надежностном смысле) и контролирующую их работоспособность. В начальный момент времени компоненты приступают к работе, контроль включен. Время безотказной работы (ВБР) компонентов – случайные величины (СВ) α_1, α_2 с функциями распределения (ФР) $F_1(t)=P\{\alpha_1\le t\}$, $F_2(t)=P\{\alpha_2\le t\}$ и плотностями распределения (ПР) $f_1(t)$, $f_2(t)$ соответственно. Контроль проводится через случайное время δ с ФР $R(t)=P\{\delta\le t\}$ и ПР $r(t)$. Контроль работоспособности компонентов происходит одновременно, их отказы обнаруживается только в результате проведения контроля. На время проведения контроля оба компонента отключаются. Длительность проведения контроля – СВ γ с ФР $\mathrm{V}(\mathrm{t})=\mathrm{P}\{\gamma\le \mathrm{t}\}$ и ПР $v(t)$. После обнаружения отказа компонента K_1 начинается его восстановление, компонент K_2 и контроль отключаются, время восстановления (ВВ) компонента K_1 – СВ β_1 с ФР $G_1(t)=P\{\beta_1\le t\}$ и ПР $g_1(t)$. После обнаружения отказа компонента K_2 начинается его восстановление, компонент K_1 и контроль отключаются, ВВ компонента K_2 – СВ β_2 с ФР $G_2(t)=P\{\beta_2\le t\}$ и ПР $g_2(t)$. В случае восстановления обоих компонентов система приступает к работе после восстановления последнего. После восстановления все свойства компонентов полностью обновляются.

СВ α_1, α_2, β_1,β_2,δ, γ считаются независимыми, имеющими конечные математические ожидания.

Далее описанная система будет называться исходной.

Функционирование исходной системы опишем ПМП $\xi(t)$ с дискретно-непрерывным фазовым пространством состояний. Введем следующее множество E полумарковских состояний системы:

$$E = \{3111, 3\hat{1}\hat{1}0x_1x_2, 3111x_1x_2, 1011xz, 2101xz, 3\hat{0}\hat{1}0x, 3\hat{1}\hat{0}0x, 32\hat{1}2x,$$
$$3\hat{1}22x, 1111x, 2111x, 1001z, 2001z, 3\hat{0}\hat{0}0, 3222, 1\hat{1}22x, 22\hat{1}2x\}.$$

Диаграмма функционирования исходной системы представлена на рис. 1.

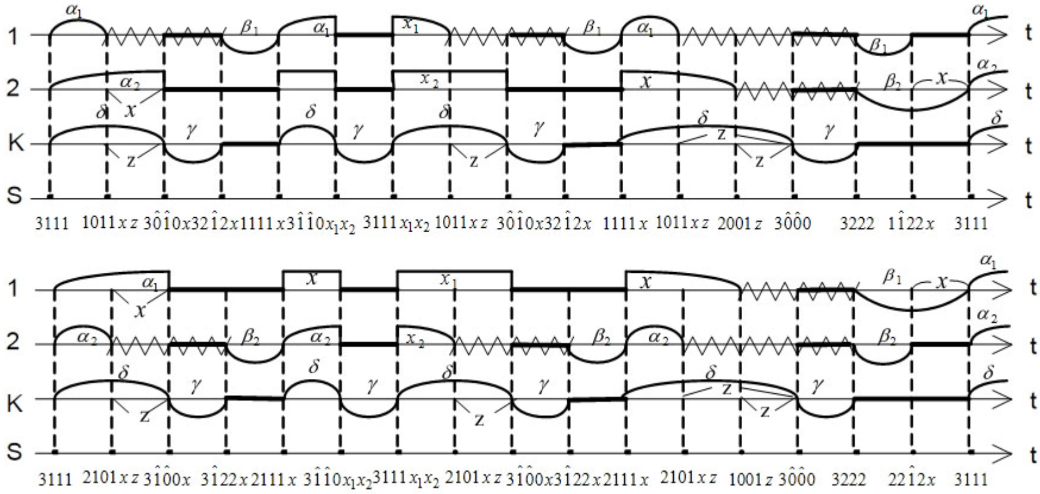

Рис. 1. Временная диаграмма функционирования исходной системы

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 рис. 2, в скобках указаны мгновенные состояния системы $S^{(0)}$.

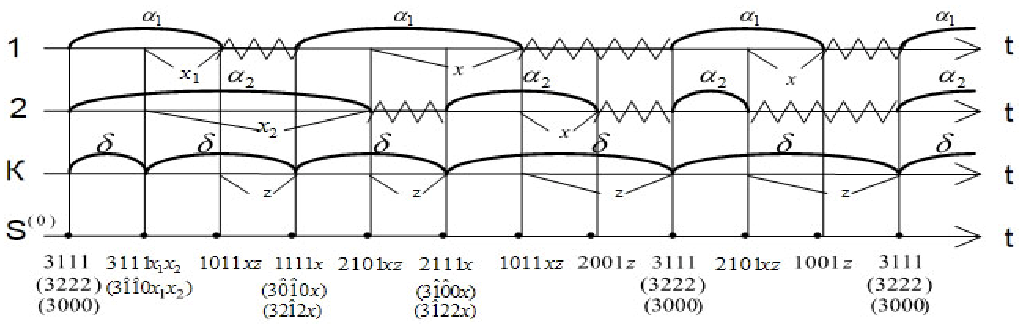

Рис. 2. Временная диаграмма функционирования опорной системы

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

$$E^{(0)} = \{3111, 3\hat{1}\hat{1}0x_1x_2, 3111x_1x_2, 1011xz, 2101xz, 3\hat{0}\hat{1}0x, 3\hat{1}\hat{0}0x, 32\hat{1}2x,$$
$$3\hat{1}22x, 1111x, 2111x, 1001z, 2001z, 3\hat{0}\hat{0}0, 3222\}.$$

Состояния $1\hat{1}22x$, $22\hat{1}2x$, являются невозвратными для ВЦМ опорной системы.

Используя вероятности и плотности вероятностей переходов ВЦМ $\{\xi_n; n \geq 0\}$ опорной системы $S^{(0)}$, в [9] составлена и решена система интегральных уравнений для нахождения стационарного распределения ВЦМ $\{\xi_n; n \geq 0\}$ опорной системы $S^{(0)}$.

Разобьем фазовое пространство состояний E исходной системы S на следующие два подмножества:

$E_+ = \{3111,\, 3111x_1x_2,\, 1111x,\, 2111x\}$ – система работоспособна;

$E_- = \{3\hat{1}\hat{1}0x_1x_2,\ 1011xz,\ 2101xz,\ 3\hat{0}\hat{1}0x,\ 3\hat{1}\hat{0}0x,\ 32\hat{1}2x,\ 3\hat{1}22x,$

$1001z,\ 2001z,\ 3\hat{0}\hat{0}0,\ 3222,\ 1\hat{1}22x,\ 22\hat{1}2x\}$ – система находится в отказе.

Стационарный коэффициент готовности определим по формуле

$$K_г = \frac{T_+}{T_+ + T_-},\quad T_- \approx \frac{\int\limits_{E_-} m(e)\rho(de)}{\int\limits_{E_+} P(e,E_-)\rho(de)},\quad T_+ \approx \frac{\int\limits_{E_+} m(e)\rho(de)}{\int\limits_{E_+} P(e,E_-)\rho(de)},$$

где T_+ – средняя стационарная наработка на отказ; T_- – среднее стационарное время восстановления; $\rho(de)$ – стационарное распределение опорной ВЦМ $\{\xi_n^{(0)}; n \ge 0\}$; $m(e)$ – средние времена пребывания в состоянии $e \in E$ исходной системы; $P(e,E_-)$ – вероятности переходов ВЦМ $\{\xi_n; n \ge 0\}$ исходной системы.

Выполнив необходимые преобразования [10], получим приближенную формулу для стационарного коэффициента готовности

$$K_г \approx \left(M(\alpha_1 \wedge \alpha_2) + \int_0^\infty \bar{F}_2(t)\bar{\Phi}_1(t)dt + \int_0^\infty \bar{F}_1(t)\bar{\Phi}_2(t)dt \right) \Big/ \Bigg((M\delta + M\gamma)\times$$

$$\times \left(\int_0^\infty \bar{F}_1(y)\bar{F}_2(y)d\hat{H}_r(y) + \int_0^\infty \bar{\Phi}_1(y)\bar{F}_2(y)d\hat{H}_r(y) + \int_0^\infty \bar{\Phi}_2(y)\bar{F}_1(y)d\hat{H}_r(y) \right) +$$

$$+ M(\beta_1 \wedge \beta_2) + M\beta_1\bar{\Phi}_2(0) + M\beta_2\bar{\Phi}_1(0) \Bigg).$$

Здесь,

$$\bar{\Phi}_i(t) = \int_0^\infty \bar{F}_i(t+y)h_{\bar{i}}(y)dy + \int_0^\infty \bar{\Gamma}_i(t,y)dy \int_0^\infty f_i(y+z)h_i(z)dz +$$

$$+ \int_0^\infty \bar{\Pi}_i(t,y)dy \int_0^\infty f_i(y+z)h_{\bar{i}}(z)dz + \int_0^\infty \bar{\Pi}_i(t,y)dy \int_0^\infty \gamma_i(y,z)dz \int_0^\infty f_{\bar{i}}(z+s)h_i(s)ds,$$

где $\bar{i} = \begin{cases} 1, \text{ если } i = 2, \\ 2, \text{ если } i = 1, \end{cases}$ если $\bar{\Gamma}_i(t,y) = \int\limits_t^\infty \gamma_i(x,y)dx$, $\bar{\Pi}_i(t,y) = \int\limits_t^\infty \pi_i(x,y)dx$;

$h_r(t) = \sum\limits_{n=1}^\infty r^{*(n)}(t)$ – плотность функции восстановления $H_r(t)$ процесса восстановления, порожденного СВ δ [10];

$\nu_r(z,x) = r(z+x) + \int\limits_0^z r(z+x-s)h_r(s)ds$ – плотность распределения прямого остаточного времени для процесса восстановления, порожденного СВ δ;

$h_i(t) = \sum\limits_{n=1}^\infty \tilde{\gamma}_i^{*(n)}(t)$, $i = 1, 2$ – плотности функций восстановления процессов восстановления, порожденных СВ с плотностями $\tilde{\gamma}_i(t) = \int\limits_0^t f_i(t)\nu_r(y, t-y)dy$;

$$\gamma_i(x,t) = \int_0^\infty f_i(x+z+t)\nu_r(t,z)dz + \int_0^\infty h_{\bar{i}}(y)dy \int_0^\infty f_i(x+z+y+t)\nu_r(t,z)dz,\ i = 1, 2;$$

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

где $k_i^{(1)}(x,y)=k_i(x,y)=\int\limits_0^\infty \gamma_i(x,t)\gamma_{\bar i}(t,y)dt$, $k_i^{(n)}(x,y)=\int\limits_0^\infty k_i(x,t)k_i^{(n-1)}(t,y)dt$;

$$\bar\Phi_i(0)=\int\limits_0^\infty \bar F_i(y)h_{\bar i}(y)dy+\int\limits_0^\infty \bar\Gamma_i(0,y)dy\int\limits_0^\infty f_{\bar i}(y+z)h_i(z)dz+$$

$$+\int\limits_0^\infty \bar\Pi_i(0,y)dy\int\limits_0^\infty f_i(y+z)h_{\bar i}(z)dz+\int\limits_0^\infty \bar\Pi_i(0,y)dy\int\limits_0^\infty \gamma_i(y,z)dz\int\limits_0^\infty f_{\bar i}(z+s)h_i(s)ds,$$

где $\bar\Gamma_i(0,y)=\int\limits_0^\infty \gamma_i(x,y)dx$, $\bar\Pi_i(0,y)=\int\limits_0^\infty \pi_i(x,y)dx$, $i=1,2$;

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

Найдем приближенные значения характеристик эффективности исходной системы: средней удельной прибыли S в единицу календарного времени и средних удельных затрат C в единицу времени исправного функционирования системы. Для этого используем формулы [6]

$$S\approx\frac{\int\limits_E m(x)f_s(x)\rho^{(0)}(dx)}{\int\limits_E m(x)\rho^{(0)}(dx)},\qquad C\approx\frac{\int\limits_E m(x)f_c(x)\rho^{(0)}(dx)}{\int\limits_{E_+} m(x)\rho^{(0)}(dx)},$$

где $\rho^{(0)}(dx)-$ стационарное распределение ВЦМ $\{\xi_n^{(0)}; n\ge 0\}$ опорной системы; $m(x)-$ средние времена пребывания в состояниях исходной системы; $f_s(x)$ и $f_c(x)$ – функции, определяющие соответственно доход и затраты в каждом состоянии исходной системы.

Пусть c_1 – прибыль, получаемая в единицу времени функционирования компонентов исходной системы; c_2 – затраты в единицу времени на контроль; c_3 – затраты в единицу времени восстановления компонентов в исходной системе; c_4 – потери в единицу времени от скрытого отказа. В [11] определены функции $f_s(e)$, $f_c(e)$ для исходной системы и получены приближенные формулы для определения средней удельной прибыли и средних удельных затрат.

Найдем выражения для характеристик системы, когда времена безотказной работы компонентов имеют экспоненциальное распределение и постоянное время периодичности контроля $\tau>0$, тогда $F_i(t)=1-e^{-\lambda_i t}$, $i=1,\ 2$, $R(t)=1(t-\tau)$, $M\delta=\tau$, ч. Для стационарного коэффициента готовности, средней удельной прибыли и средних удельных затрат получаем следующие приближенные формулы:

$$K_г\approx\left(\left(1-e^{-(\lambda_1+\lambda_2)\tau}\right)\Big/(\lambda_1+\lambda_2)\right)\Bigg/\Big(M\gamma+\tau+M\beta_1e^{-\lambda_2\tau}(1-e^{-\lambda_1\tau})+$$

$$+M\beta_2e^{-\lambda_1\tau}(1-e^{-\lambda_2\tau})+M(\beta_1\wedge\beta_2)(1-e^{-\lambda_1\tau})(1-e^{-\lambda_2\tau})\Big)$$

$$S\approx\Bigg((c_1+c_4)\frac{1-e^{-(\lambda_1+\lambda_2)\tau}}{(\lambda_1+\lambda_2)}-(c_3M\gamma+c_4\tau)-c_2(M\beta_1e^{-\lambda_2\tau}\left(1-e^{-\lambda_1\tau}\right)+$$

$$+M\beta_2e^{-\lambda_1\tau}(1-e^{-\lambda_2\tau})+M(\beta_1\wedge\beta_2)(1-e^{-\lambda_1\tau})(1-e^{-\lambda_2\tau})\Bigg)\Bigg/\Big(M\gamma+\tau+$$

$$+M\beta_1e^{-\lambda_2\tau}(1-e^{-\lambda_1\tau})+M\beta_2e^{-\lambda_1\tau}(1-e^{-\lambda_2\tau})+M(\beta_1\wedge\beta_2)(1-e^{-\lambda_1\tau})(1-e^{-\lambda_2\tau})\Big)$$

$$C\approx(c_3M\gamma+c_4\tau)\frac{(\lambda_1+\lambda_2)}{(1-e^{-(\lambda_1+\lambda_2)\tau})}+c_2\frac{(\lambda_1+\lambda_2)}{(1-e^{-(\lambda_1+\lambda_2)\tau})}\Big(M\beta_1e^{-\lambda_2\tau}\left(1-e^{-\lambda_1\tau}\right)+$$

$$+M\beta_2e^{-\lambda_1\tau}(1-e^{-\lambda_2\tau})+M(\beta_1\wedge\beta_2)(1-e^{-\lambda_1\tau})(1-e^{-\lambda_2\tau})\Big)-c_4$$

Для исходной системы в случае, когда времена безотказной работы компонентов имеют экспоненциальное распределение и постоянное время периодичности контроля $\tau > 0$, получены формулы для вычисления точных значений стационарных характеристик функционирования системы [10].

Например, для стационарного коэффициента готовности справедливо равенство

$$K_г = \frac{M\alpha_1 M\alpha_2}{M\alpha_1 + M\alpha_2}\left(1 - e^{-(\lambda_1+\lambda_2)\tau}\right) \Big/ \Big(M\gamma + M\delta + M\beta_1\left(1 - e^{-\lambda_1\tau}\right) +$$

$$+ M\beta_2\left(1 - e^{-\lambda_2\tau}\right) - M(\beta_1 \wedge \beta_2)\left(1 - e^{-\lambda_1\tau}\right)\left(1 - e^{-\lambda_2\tau}\right)\Big).$$

Исходные данные и результаты вычислений точных значений стационарных характеристик функционирования системы сведены в табл. 1, а приближенных – в табл. 2, средние ВВ $M\beta_1 = 0{,}100$ *ч*, $M\beta_2 = 0{,}066$ *ч*, длительность контроля $M\gamma = 0{,}125$ *ч*, $c_1 = 5$ *у.е.*, $c_2 = 4$ *у.е.*, $c_3 = 3$ *у.е.*, $c_4 = 2$ *у.е.*

Таблица 1. Значения $K_г$, $S(\tau)$, $C(\tau)$ при $\tau = 5$ *ч*

Исходные данные		Результаты вычислений		
$M\alpha_1$, ч	$M\alpha_2$, ч	$K_г(\tau)$	$S(\tau)$, у.е./ч	$C(\tau)$, у.е./ч
90	70	0,915	4,352	0,242
90	50	0,902	4,262	0,274
90	10	0,746	3,164	0,756

Таблица 2. Приближенные значения $K_г$, $S(\tau)$, $C(\tau)$ при $\tau = 5$ *ч*

Исходные данные		Результаты вычислений		
$M\alpha_1$, ч	$M\alpha_2$, ч	$K_г$	$S(\tau)$, у.е./ч	$C(\tau)$, у.е./ч
90	70	0,915	4,352	0,242
90	50	0,902	4,262	0,274
90	10	0,746	3,165	0,756

По данным табл. 1 и 2 можно оценить точность расчетов при использовании приближенных формул для стационарных характеристик системы. Сравнение результатов расчетов приведено в табл. 3.

Таблица 3. Сравнительные результаты расчетов при использовании приближенных формул для стационарных характеристик системы

Исходные данные	$K_г$, вычисленный по формуле (2)	$K_г$, вычисленный по формуле (1)	Погрешность
$M\alpha_1 = 90$ *ч*; $M\alpha_2 = 70$ *ч* $M\alpha_1 = 90$ *ч*, $M\alpha_2 = 70$ *ч*	0,91474	0,91476	0,002 %
$M\alpha_1 = 90$ *ч*; $M\alpha_2 = 50$ *ч* $M\alpha_1 = 90$ *ч*, $M\alpha_2 = 70$ *ч*	0,90188	0,90191	0,003 %
$M\alpha_1 = 90$ *ч*; $M\alpha_2 = 10$ *ч* $M\alpha_1 = 90$ *ч*, $M\alpha_2 = 70$ *ч*	0,74550	0,74559	0,009 %

Выводы

Сравнительный анализ точных и приближенных значений полученных результатов показывает высокую точность приближенного метода. Следовательно, полученные результаты могут быть применены при определении стационарных характеристик надежности и эффективности функционирования многокомпонентных систем.

Литература

1. Чупырина, В. Н. Технический контроль в машиностроении [Текст] : справочник проектировщика / под ред. В. Н. Чупырина, А. Д. Никифорова, 1987. – 512 с.

2. ГОСТ 27.002 – 89 Надежность в технике [Текст] . – Введ. 1990 – 07 – 01. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 15 с.

3. Королюк, В. С. Стохастические модели систем [Текст] / В. С. Королюк. – К.:Либідь, 1993. – 136 с.

4. Королюк, В. С. Процессы марковского восстановления в задачах надежности систем [Текст] / В. С. Королюк, А. Ф. Турбин. – К.: Наук. думка, 1982. – 236 с.

5. Королюк В. С. Полумарковские процессы и их приложения [Текст] / В. С. Королюк, А. Ф. Турбин. – К.: Наук. думка, 1976. – 181 с.

6. Корлат, А. Н. Полумарковские модели восстанавливаемых систем и систем массового обслуживания [Текст] / А. Н. Корлат, В. Н. Кузнецов, А.Ф. Турбин. – Кишинёв: Штиинца, 1991. – 209 с.

7. Черкесов Г. Н. Надежность аппаратно-программных комплексов [Текст] / Г. Н. Черкесов. – СПб.: Питер, 2005. – 479 с.

8. Каштанов, В. А. Теория надёжности сложных систем (теория и практика) [Текст] / В. А. Каштанов, А.И. Медведев. – М.: Европ. центр по качеству, 2002. – 470 с.

9. Маевский, Д. Технология оценивания надежности динамичных информационных систем / Д. Маевский // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Т. 5, N 2(59). - С. 45-48. – Режим доступа : URL :http://journals.uran.ua/eejet/article/view/4145

10. Бойко, Е. Г. Автоматизация процесса принятия решений при управлении периодичностью контроля скрытых отказов производственных систем [Текст] : дис. … канд. техн. наук: 05.13.07 / Бойко Елена Георгиевна. – Севастополь, 2012. – 250 с.

11. Байхельт, Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход [Текст] / Ф. Байхельт, П. Франклен. – М.: Радио и связь, 1988. – 392 с.

Поступила в редакцию 21.11.13