УДК 681.5.09.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ КОНТРОЛЯ НА НАДЕЖНОСТЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Обжерин Ю.Е., проф., д-р техн. наук, Бойко Е.Г., аспирант
Севастопольский национальный технический университет

Построена математическая модель восстанавливаемой системы с учетом проведения контроля, определены ее стационарные характеристики надежности.

The mathematical model of the restored system has been made, taking into account its control, its stationary characteristics being determined.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Одной из важнейших задач теории надежности является своевременный контроль функционирования автоматизированной технической системы, обеспечивающий безотказность ее работы.

Однако, современная литература [1,2], освящающая проблемы контроля, в основном, рассматривает математические модели задач с экспоненциальным распределением наработки на отказ и равномерным или экспоненциальным распределением времени включения приборов контроля. При этом в большинстве случаев рассматриваются однокомпонентные системы.

Задача исследования влияния различных режимов контроля и различных функций распределения на надежность технической системы нашла свое отражение в данной работе.

В статье рассматривается процесс контроля-восстановления с функциями распределения общего вида времени наработки системы на отказ и интервалами времени между включением приборов контроля. Полумарковским процессом с общим пространством состояний описан процесс функционирования системы, которая после обнаружения отказа полностью восстанавливается и вновь начинает работу.

Изложение материала и результаты. Рассмотрим систему, которая в начальный момент времени находится в работоспособном состоянии. Время наработки системы на отказ – случайная величина (СВ) α с функцией распределения (ФР) $F(t) = P\{\alpha \le t\}$ и плотностью распределения (ПР) $f(t)$, время восстановления системы после обнаружения отказа – СВ β с ФР $G(t) = P\{\beta \le t\}$ и ПР $g(t)$, интервал времени между включением приборов контроля – СВ γ с ФР $R(t) = P\{\gamma \le t\}$ и ПР $r(t)$.

Через время α система переходит в отказовое состояние, приборы контроля включаются через время γ. После обнаружения отказа начинается восстановление, и через время β система переходит в работоспособное состояние.

Для описания функционирования системы используем полумарковский процесс (ПМП) $\xi(t)$ с состояниями:

100 – состояние после восстановления работоспособности системы;

$201x$ – система находится в работоспособном состоянии, произведен контроль, время до отказа – величина x;

$110x$ – в системе произошел отказ, до момента контроля осталось время x;

211 – произведен контроль, обнаружен отказ в системе;

120 – началось восстановление работоспособности системы, приборы контроля отключены.

Множество полумарковских состояний системы имеет вид: $E = \{100, 201x, 110x, 211, 120\}$.

Найдем средние значения времен пребывания в состояниях системы:

$$M\theta_{100} = M[\min\{\alpha,\gamma\}] = \int_0^\infty \overline{F}(t)\,\overline{R}(t)dt,\quad M\theta_{201x} = M[\min\{\gamma, x\}] = \int_0^x \overline{R}(t)dt,$$

$$M\theta_{110x} = x,\ M\theta_{211} = 0,\ M\theta_{120} = M\beta.$$

Вероятности и плотности вероятностей переходов вложенной цепи Маркова (ВЦМ) $\{\xi_n;\ n \quad 0\}$ имеют вид:

$$p_{100}^{201x} = \int_0^\infty f(x+t)r(t)dt,\quad p_{100}^{110x} = \int_0^\infty r(x+t)f(t)dt,\quad p_{201x}^{201dy} = r(x-y)dy,$$

$$p_{201x}^{110dy} = r(x+y)dy,\ P_{110x}^{211} = P_{211}^{120} = P_{120}^{100} = 1.$$

Обозначим через $\rho(201x)$, $\rho(110x)$ плотности стационарного распределения ВЦМ $\{\xi_n;\ n \quad 0\}$ на состояниях $201x$, $110x$.

Составим для них систему интегральных уравнений:

$$\rho(201x) = \rho_0\int_0^\infty f(x+t)r(t)dt + \int_x^\infty \rho(201y)r(y-x)dy,$$

$$\rho(110x) = \rho_0 \int_0^\infty r(x+t) f(t)dt + \int_0^\infty \rho(201y) r(y+x) dy$$

$$\rho_0 = \rho(211) = \int_0^\infty \rho(110x)dx \qquad (1)$$

$$\rho(120) = \rho_0, \rho(100) = \rho_0$$

$$3\rho_0 + \int_0^\infty \rho(110x)dx + \int_0^\infty \rho(201x)dx = 1$$

Можно показать [3], что решение системы (1) имеет следующий вид:

$$\rho(201x) = \rho_0 \int_0^\infty h(t) f(x+t)dt,$$

$$\rho_{\ldots} \ldots = \rho_0 \left[\int_0^\infty \ldots + \ldots + \int_0^\infty \ldots + \ldots \int_0^\infty \ldots(\,)\ldots(\,+\,)\ldots \right],$$

где $h(t) = \sum_{n=1}^{\infty} r^{*(n)}(t)$, $r^{*(n)}(t)$ - n-кратная свертка функции $r(t)$.

Значение ρ_0 находится из условия нормировки.

Стационарный коэффициент готовности найдем по формуле [2]:

$$K_\Gamma = \frac{\int_{E+} m(x)\rho(x)dx}{\int_E m(x)\rho(x)dx}, \qquad (2)$$

где $E_+ = \{100, 201x\}$, $m(x)$ – среднее время пребывания ПМП $\xi(t)$ в состоянии $x \in E$.

$$\int_{E+} m(x)\rho(x)dx = \rho_0 \left[\int_0^\infty [\int_0^x \overline{R}(t)dt \int_0^\infty h(z) f(x+z)dz]dx + \int_0^\infty \overline{F}(t)\,\overline{R}(t)dt \right].$$

Интегрируя по частям и меняя порядок интегрирования, можно показать [3], что

$$\int_{E+} m(x)\rho(x)dx = \rho_0\, M\alpha\,. \qquad (3)$$

$$\int\limits_E m(x)\rho(x)dx = \rho_0\left[\int\limits_0^\infty [\int\limits_0^x \overline{R}(t)dt \int\limits_0^\infty h(t)f(x+t)dt]dx + \int\limits_0^\infty \overline{F}(t)\overline{R}(t)dt +\right.$$

$$\left.+\int\limits_0^\infty x\left[\int\limits_0^\infty r(x+t)f(t)dt + \int\limits_0^\infty r(y+x)dy\int\limits_0^\infty h(t)f(x+t)dt\right]dx + M\beta\right] \quad (4)$$

Интегрируя по частям и меняя порядок интегрирования, с учетом выражения (3), можно показать [3], что

$$\int\limits_E m(x)\rho(x)dx = \rho_0\left[M\alpha + M\beta + \int\limits_0^\infty \overline{R}(x)F(x)dx + \int\limits_0^\infty x\overline{R}(x)dx\int\limits_0^\infty h(t)f(x+t)dt\right]. \quad (5)$$

С учетом выражения (3) и (5) формула (2) примет вид:

$$K_\Gamma = \frac{M\alpha}{M\alpha + M\beta + \int\limits_0^\infty \overline{R}(x)F(x)dx + \int\limits_0^\infty x\overline{R}(x)dx\int\limits_0^\infty h(t)f(x+t)dt}.$$

В математическом пакете Maple для различных функций распределения времени наработки на отказ и интервалами времени между включением приборов контроля был вычислен стационарный коэффициент готовности. Анализ полученных результатов показал, что изменение функций распределения несущественно влияет на надежностные характеристики системы.

Выводы и направления дальнейших исследований. Полученные результаты могут быть полезны при определении оптимального периода контроля для различных законов распределения параметров системы.

Дальнейшие исследование в данном направлении предусматривают построение модели многокомпонентных технических систем с учетом проведения контроля.

Список источников.

1. Мозгалевский А.В. Вопросы проектирования систем диагностирования/ А.В. Мозгалевский, А.Н.Койда. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 110 с.
2. Каштанов В.А. Теория надежности сложных систем (теория и практика)/ В.А. Каштанов, А.И. Медведев. – М.: «Европейский центр по качеству», 2002. – 470 с.
3. Обжерин Ю.Е. Полумаркосвкая модель процесса восстановления с переключателем/ Ю.Е. Обжерин, А.И.Песчанский, А.В.Скатков // Динамические системы: Республик. Межведомств. науч. сб. – 1992. – № 10. – С. 63 - 68.