

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРАТЕГИИ КОНТРОЛЯ ИСПРАВНОСТИ СИСТЕМЫ С ДУБЛИРОВАНИЕМ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ

Аннотация. Обсуждаются вопросы нахождения оптимальных длительностей межпроверочных интервалов при проверке исправного состояния технической системы с дублированием на функционирование.

Исследовано влияние характеристик безотказности элементов, расхода ресурса при контроле на эффективность использования технической системы.

Введение

При эксплуатации технической системы возможно наступление отказов по некоторому множеству параметров, определяющих ее работоспособность. Для их устранения проводятся проверки исправности технической системы. Различные группы параметров могут контролироваться непрерывно, периодически или не контролироваться в течение всего срока эксплуатации.

В процессе разработки системы необходимо выбрать такую стратегию контроля ее исправного состояния, которая обеспечивает заданную эффективность ее использования по назначению.

С целью повышения уровня безотказности технических систем используют различные виды резервирования подсистем, узлов, элементов. Одним из наиболее распространенных является резервирование по схеме "1 из 2-х" или дублирование.

При разработке технической системы возникает задача определения оптимальных характеристик ее обслуживания, в частности, вида проверки, числа проверок при периодическом контроле и моментов их проведения.

Будем условно считать, что техническая система состоит из двух элементов и использована схема нагруженного резерва.

Анализ публикаций по теме исследования

Задачи оценки эффективности эксплуатации технической системы при агрегатном методе ремонта рассмотрены в работах [1-3].

В работе [5] исследовано влияние характеристик безотказности элементарнодублированной системы, длительности контроля исправности каждого элемента на эффективность использования технической системы.

Получена формула для приближенной оценки оптимальной длительности межпроверочного интервала в случае проверки исправности основного и резервного элемента.

Цель статьи

Цель статьи – показать решение задачи выбора оптимальных длительностей межпроверочных интервалов для системы с дублированием при проверке на функционирование, когда неизвестно, сохраняется дублирование или нет.

Основная часть

Рассматривается техническая система, находящаяся в состоянии готовности выполнить поставленную перед ней задачу на интервале $[0, T]$, где T – назначенный срок эксплуатации.

В случайный момент времени, равномерно распределенный на интервале $[0, T]$, может поступить команда на применение технической системы. При этом возможно существование скрытых отказов элементов системы. Для их устранения проводятся проверки исправности технической системы.

В данном случае рассматривается периодический контроль исправности. Будем считать, что стратегия контроля определяется вектором интервалов между проверками $\vec{\theta}$.

При проверке на функционирование отказ одного элемента не будет замечен, и система будет считаться исправной. Однако ее эффективность окажется сниженной.

Пусть эффективность эксплуатации технической системы определяется коэффициентом готовности

$$K_T(\vec{\theta}^*) = \sup_{\vec{\theta} \in R} K_T(\vec{\theta}),$$

где R – область, определяющая совокупность допустимых стратегий контроля.

Посмотрим, как влияет на стратегию контроля дублирование элементов.

Дублирование является частным случаем схемы резервирования "m из N", когда $m = 1$, а $N = 2$.

Рассмотрим идеальный контроль, когда ошибки диагностирования технического состояния системы отсутствуют.

При идеальном периодическом контроле система может находиться в следующих состояниях: E_1 – оба элемента исправны, E_2 – один элемент отказал, E_3 – оба элемента отказали.

Вероятность безотказной работы системы $P(t) = 2p(t) - p^2(t)$, где $p(t)$ – вероятность безотказной работы элемента.

Пусть время безотказной работы элемента распределено по экспоненциальному закону с параметром λ .

В этом случае процесс изменения состояний системы можно описать марковским случайным процессом.

Проверки исправности системы начинаются в моменты $t'_{\varphi-1}$, заканчиваются в моменты $t_{\varphi} = t'_{\varphi} + \tau$, где τ – расход ресурса при проверке.

Вероятности состояний системы в произвольный момент времени t , $t_{\varphi} \leq t \leq t'_{\varphi}$ находится следующим образом:

$$R(t) = R_0(t) \prod_{j=1}^{\varphi-1} A(\theta_j) B A(t - t_{j-1}) \quad (1)$$

где $R(t)$, $R_0(t)$ – матрицы вероятностей состояний системы в моменты t и t_0 , A и B – матрицы вероятностей переходов в межпроверочный период и при проверке [1].

Для системы без резерва оптимальной стратегией контроля исправности является равномерное расположение проверок [4].

Элементы матрицы A вычисляются по формулам: $a_{11} = e^{-2\lambda\theta_j}$, $a_{12} = 2e^{-\lambda\theta_j}(1 - e^{-\lambda\theta_j})$, $a_{13} = (1 - e^{-\lambda\theta_j})^2$, $a_{21} = 0$, $a_{22} = e^{-\lambda\theta_j}$, $a_{23} = 1 - e^{-\lambda\theta_j}$, $a_{31} = 0$, $a_{32} = 0$, $a_{33} = 1$.

Элементы матрицы B определяются следующим образом: $b_{11} = e^{-2\lambda\tau}$, $b_{12} = 2e^{-\lambda\tau}(1 - e^{-\lambda\tau})$, $b_{13} = (1 - e^{-\lambda\tau})^2$, $b_{21} = 0$, $b_{22} = e^{-\lambda\tau}$, $b_{23} = 1 - e^{-\lambda\tau}$, $b_{31} = e^{-2\lambda\tau}$, $b_{32} = 1 - e^{-\lambda\tau}$, $b_{33} = (1 - e^{-\lambda\tau})^2$.

Для системы с резервом время безотказной работы системы уже не распределено по экспоненциальному закону, и, строго говоря, равномерное расположение проверок не является оптимальным.

Рассмотрим, как изменяются длины межпроверочных интервалов в нашем случае. Для простоты предположим, что на интервале $[0, T]$ проводится одна проверка. Тогда из выражения (1) следует:

$$K_T = \{2/\lambda (1 - e^{-\lambda\theta_1}) - 1/2\lambda(1 - e^{-2\lambda\theta_1}) + [1 - 2e^{-\lambda(\theta_1+\tau)} + 2e^{-2\lambda(\theta_1+\tau)}][2/\lambda (1 - e^{-\lambda\theta_2}) - 1/2\lambda(1 - e^{-2\lambda\theta_2})] + [2e^{-\lambda(\theta_2+\tau)} + 2e^{-2\lambda(\theta_2+\tau)}][1/\lambda (1 - e^{-\lambda\theta_2})]\}/T, \quad (2)$$

где θ_j – длительность j -го межпроверочного интервала.

Пример. Пусть бортовая вычислительная машина состоит из двух каналов, включенных по схеме нагруженного резерва, интенсивность отказов одного канала $\lambda = 0,21$ 1/год, $\tau = 0,002$ года, $T=1$ год. Тогда оптимальные величины интервалов $\theta_1 = 0,653$ года, $\theta_2 = 0,347$ года и $K_T = 0,9933$. Если интенсивность отказов при проверке на два порядка выше, чем в режиме ожидания, то $\theta_1 = 0,666$ года, $\theta_2 = 0,334$ года и $K_T = 0,9927$.

Если принять стратегию проверок, при которой межпроверочные интервалы равны, то $K_T = 0,9926$, а во втором случае $K_T = 0,9911$.

Таким образом, на практике можно использовать стратегию проверок с равными межпроверочными интервалами.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Проведены исследования способов определения оптимальной стратегии проверок исправности технической системы, элементы которой дублированы, а при проверке контролируется только процесс функционирования.

Проведена оптимизация длин межпроверочных интервалов. Показано, что при проверке системы с дублированием на функционирование, оптимальной стратегией является такая, при которой длины последующих интервалов сокращаются. Однако применение стратегии проверок с одинаковой длиной межпроверочных интервалов незначительно снижает эффективность эксплуатации технической системы.

В перспективе предполагается распространить полученные результаты на другие, широко используемые виды резервирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Переверзев Е.С. Параметрические модели отказов и методі оценки надежности технических систем [Текст] / Е.С. Переверзев, Л.Д. Чумаков ; [отв. ред. В.С. Будник] ; АН УССР. Институт технической механики. – К. : Наук. думка, 1989. – 184 с. : ил. – Библиогр.: с. 179-182. – ISBN 5-12-000536-5.
2. Курасов В.Г. Надежность системы при комбинированном контроле и экспоненциальном распределении времени до отказа и времени восстановления [Текст] / В.Г. Курасов, Л.Д. Чумаков / Сб. "Надежность и прочность технических систем". – К. : Наукова думка, 1976 – С. 73-83.
3. Чумаков Л.Д. Надежность, стоимость эксплуатации технического устройства при комбинированном контроле исправности и возможности ошибок контролирующей аппаратуры [Текст] / Л.Д. Чумаков / Сб. "Прочность и долговечность конструкций". – К. : Наукова думка, 1980 – С. 174-183.
4. Чумаков Л.Д. Оптимизация стратегии контроля исправности хранящейся системы [Текст] / Л.Д. Чумаков / Сб. " Надежность сложных технических систем". – К. : Наукова думка, 1974 – С. 36-43.
5. Чумаков Л.Д. Оптимизация стратегии контроля исправности системы с резервными элементами [Текст] / Л.Д. Чумаков // Системные технологии. Регион. межвуз. сб. научн. работ. – Днепропетровск, 2011.– Вып. 2 (73). – С. 50–55.