

УДК 621.391

Л.Д. Чумаков

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРАТЕГИИ КОНТРОЛЯ ИСПРАВНОСТИ СИСТЕМЫ С РЕЗЕРВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Аннотация. Обсуждаются вопросы нахождения оптимального числа проверок исправного состояния технической системы, включающей резервные элементы.

Исследовано влияние характеристик безотказности элементов, длительности контроля на эффективность использования технической системы.

Ключевые слова: техническая система, контроль исправности, оптимальное число проверок.

Введение

Как правило, современная элементная база технических систем не дает возможности обеспечить требуемую эффективность их использования в течение всего назначенного срока эксплуатации без выявления возможных отказов и восстановления работоспособного состояния системы.

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

Анализ публикаций по теме исследования

Вопросам решения задач оптимизации стратегий технического обслуживания посвящено значительное число публикаций, в том числе таких авторов как Е.Ю. Барзилович, В.Ф. Воскобоев, М.В. Савенков, В.А. Каштанов, В.Д. Кудрицкий, В.Г. Курасов, Л.Д. Чумаков и др.

Вместе с тем, это направление не теряет актуальности, и исследования продолжают.

Цель статьи

Цель статьи – показать решение задачи выбора оптимального числа проверок исправности системы, содержащей резервные элементы.

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 скрытого отказа по некоторому множеству параметров, определяющих работоспособность системы. Для его устранения проводятся проверки исправности технической системы. Различные группы параметров могут контролироваться непрерывно, периодически или не контролироваться в течение всего срока эксплуатации. Задачи оценки эффективности эксплуатации технической системы при агрегатном методе ремонта рассмотрены в работах [1-5].

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

Пусть эффективность эксплуатации технической системы определяется коэффициентом готовности

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

где R – область, определяющая совокупность допустимых стратегий контроля.

В данном случае рассматривается система с резервными элементами, при проверке контролируется работоспособность всех резервных элементов.

Посмотрим, как влияет на стратегию контроля дублирование элементов.

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

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. Для системы без резерва оптимальной стратегией контроля является равномерное расположение проверок [1, 6, 7].

Для системы с резервом время безотказной работы системы уже не распределено по экспоненциальному закону, и, строго говоря, равномерное расположение проверок не является оптимальным. Однако, в работе [1] показано, что равенство межпроверочных интервалов незначительно снижает эффективность системы и удобно при ее практической эксплуатации. Поэтому в дальнейшем будем рассматривать стратегии контроля с равномерным расположением проверок на интервале $[0, T]$.

В случае проведения n проверок исправности коэффициент готовности определяется по формуле:

$$K_G(\theta) = \frac{1}{T} \left\{ \int_0^{\theta} P(t) dt + n \left[e^{-\lambda(\theta+\tau)} \int_0^{\theta} P(t) dt + (1 - e^{-\lambda(\theta+\tau)}) \int_z^{\theta} P(t) dt \right] \right\},$$

где z – длительность восстановления исправного состояния системы.

Выражение для коэффициента готовности системы с дублированием, приняв, что время замены пренебрежимо мало, запишем следующим образом:

$$K_G(\theta) = \frac{1}{\lambda T} \left\{ (n+1) \left[2(1 - e^{-\lambda\theta}) - \frac{1}{2}(1 - e^{-2\lambda\theta}) \right] \right\}, \quad (1)$$

Интенсивность отказов системы

$$\Lambda(\theta) = \frac{2\lambda(1 - e^{-\lambda\theta})}{2 - e^{-\lambda\theta}}, \quad (2)$$

где λ – интенсивность отказов элементов;

θ – величина межпроверочного интервала.

Оптимальное число проверок можно искать либо непосредственным расчетом, перебирая значения n , либо приближенно.

Для $T=10$ лет, $\lambda = 0,001$ 1/г.; $0,01$ 1/г. и $0,1$ 1/г.; длительность проверки $\tau = 0,01$ г. на рис. 1 приведены зависимости коэффициента готовности от числа проверок. При $\lambda = 0,001$ 1/г. оптимальной стратегией является отсутствие проверок в течение всего срока эксплуатации. При $\lambda = 0,01$ 1/г. оптимальной стратегией является проведение одной проверки исправности. При $\lambda = 0,1$ 1/г. оптимальное число проверок равно семи.

Из рисунка видно, что для третьего случая можно уменьшить число проверок, при этом величина коэффициента готовности снизится незначительно.

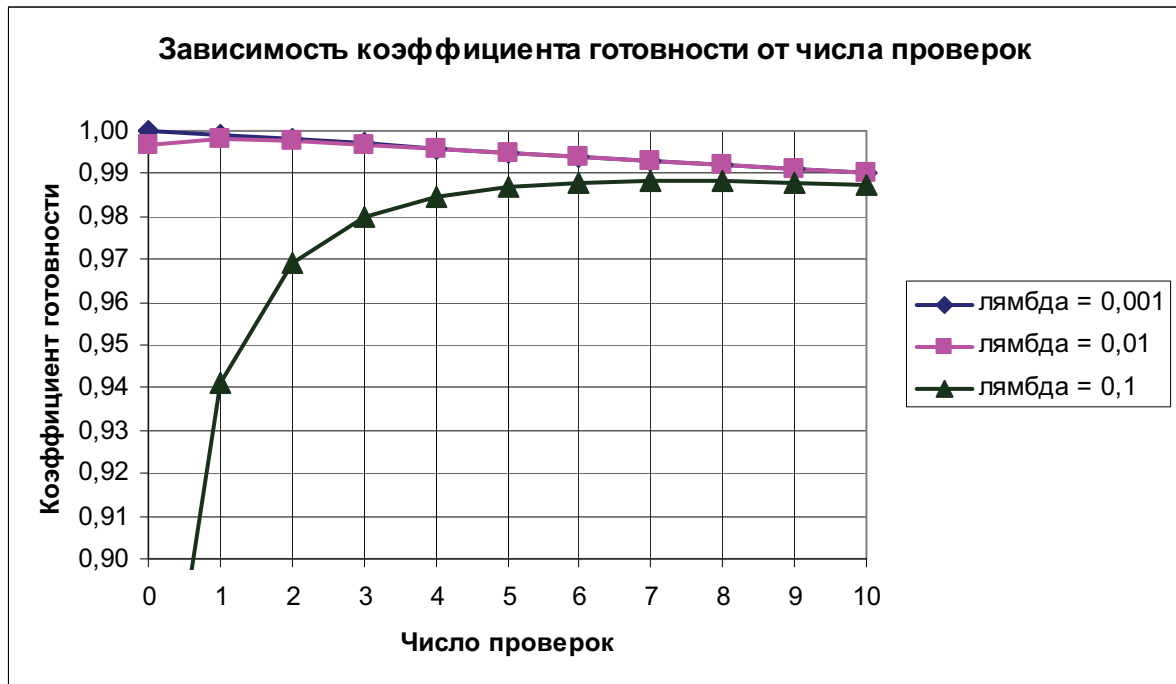


Рис. 1. Зависимость коэффициента готовности от числа проверок исправности технической системы

Сделаем попытку получить приближенную формулу для определения оптимального числа проверок, используя среднее значение интенсивности отказов на межпроверочном интервале.

Среднее значение интенсивности отказов на межпроверочном интервале определяется из выражения:

$$\Lambda_{\theta} = \frac{1}{\theta} \int_0^{\theta} \Lambda(t) dt = \frac{1}{\theta} \int_0^{\theta} \frac{2\lambda(1 - e^{-\lambda t})}{2 - e^{-\lambda t}} dt, \quad (3)$$

Осуществляя деление числителя на знаменатель в подынтегральном выражении, которое обозначим через y , получим:

$$\begin{aligned} y &= \lambda \left(1 - \frac{1}{2} e^{-\lambda t} - \frac{1}{4} e^{-2\lambda t} - \frac{1}{8} e^{-3\lambda t} - \dots \right) = \\ &= \lambda \left(1 - \sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{2^i} e^{-i\lambda t} \right). \end{aligned} \quad (4)$$

В работах [6, 7] получена оценка оптимальной длительности межпроверочного интервала в случае $\Lambda = const$:

$$\theta^* = \sqrt{\frac{2\tau}{\Lambda}}. \quad (5)$$

Произведя интегрирование в выражении (4), разлагая функции $e^{-i\lambda\theta}$ в ряд и используя для оценки оптимальной длительности межпроверочного интервала выражение (5), получим:

$$\theta^* = \sqrt[3]{\frac{\tau}{\lambda^2}}. \quad (6)$$

Для примера, приведенного выше, использование выражения (6) дает близкие к точным результаты (см. таблицу).

Таблица

λ	$n_{\text{точн.}}^*$	$n_{\text{прибл.}}^*$
0,001	0	0
0,01	1	1
0,1	7	8

В работе [1] получено выражение для оценки оптимальной длительности межпроверочного интервала в случае, когда нужно учесть время восстановления исправного состояния технической системы.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Проведены исследования способов определения оптимального числа проверок исправности технической системы, элементы которой дублированы, а при проверке контролируется каждый элемент.

Оптимизация осуществлялась по критерию эффективности технической системы. В качестве критерия использован коэффициент готовности.

В результате проведенных исследований получены выражения для точного и приближенного определения оптимального числа проверок исправности технической системы при ее эксплуатации.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
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. Коэффициент готовности, стоимость эксплуатации технического устройства при комбинированном контроле и различной интенсивности восстановления его работоспособности [Текст] / Л.Д. Чумаков / Сб. "Прочность и надежность технических устройств". – К. : Наукова думка, 1981 – С. 162-171.

5. Переверзев Е.С. Параметрические модели отказов и методы 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.

6. Барзилович Е.Ю. Оптимизация периодичности контроля систем, недоступных непрерывным проверкам [Текст] / Е.Ю. Барзилович. – Автоматика и телемеханика, 1969, №8.

7. Чумаков Л.Д. Оценка периодичности проверок ракетного комплекса, находящегося на боевом дежурстве, при проектировании [Текст] / Л.Д. Чумаков / Тр. СВВКУ. – Саратов : СВВКУ, 1969 – С. 31-32.