

ОПТИМИЗАЦИЯ КОРРЕКТИРОВКИ МЕЖПОВЕРОЧНЫХ ИНТЕРВАЛОВ СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПО КОМПЛЕКСНЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ ЭФФЕКТИВНОСТИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА КОНТРОЛЬНЫХ ПРОВЕРОК

д.т.н., проф. В.Н. Чинков, А.Е. Мельниченко

В статье сформулированы задачи и приведены методики оптимальной корректировки межповерочных интервалов средств измерительной техники, основанные на методе контрольных проверок, по комплексным показателям эффективности их эксплуатации.

Постановка проблемы. К важнейшим эксплуатационным характеристикам средств измерительной техники (СИТ) относят межповерочный интервал (МПИ), который определяет периодичность обязательных проверок (или калибровок) СИТ в процессе их эксплуатации [1]. Поэтому проблему задания и корректировки МПИ СИТ относят к наиболее актуальным в области метрологического обслуживания СИТ [2, 3].

Анализ литературы. Методам и методикам задания и корректировки МПИ СИТ посвящено множество работ, в частности [4 – 5]. Однако, они не решают задачи корректировки МПИ СИТ по их текущему состоянию, с учетом изменяющихся в процессе эксплуатации характеристик надежности СИТ. Такой метод корректировки МПИ, основанный на проведении промежуточных (дополнительных) контрольных проверках СИТ в течение МПИ, предложен авторами в [6]. Дальнейшее развитие этот метод получил в [7], где были сформулированы типовые задачи и предложены методики корректировки МПИ СИТ по основным показателям надежности СИТ – вероятности безотказной работы и коэффициенту готовности [8, 9].

Цель статьи состоит в разработке методик оптимального задания и корректировки МПИ СИТ, с использованием метода их промежуточных контрольных проверок, по комплексным показателям эффективности эксплуатации СИТ.

Основная часть. Для определения оптимальных значений МПИ СИТ в процессе их эксплуатации введем комплексные показатели (коэффициенты) эффективности эксплуатации СИТ, учитывающие особенности (характеристики) метода промежуточных контрольных проверок СИТ:

$$K_{эф1} = K_r(T)/N^a; \quad (1)$$

$$k_{\text{эф2}} = k_r(T)P(t_0); \quad (2)$$

$$k_{\text{эф3}} = P(t_0)/N^\alpha, \quad (3)$$

где N – число промежуточных (дополнительных) контрольных проверок СИТ; α – показатель, зависящий от условий эксплуатации СИТ; t_0 – время, при котором вероятность безотказной работы $P(t)$ СИТ достигает своего минимально допустимого значения P_0 , т.е. $P(t_0) = P_0$.

Кроме того, в качестве исходных воспользуемся следующими выражениями из статьи [7]:

– для вероятности безотказной работы $P(t)$ СИТ

$$P(t) = \exp(-\lambda_0 t - \beta t^2), \quad (4)$$

где λ_0 – интенсивность отказов СИТ; β – численный параметр;

– для коэффициента готовности СИТ

$$k_r = T/(T + t_n), \quad (5)$$

где T – МПИ СИТ; t_n – время простоя СИТ, отводимое на их поверку и восстановление;

– для числа промежуточных контрольных проверок

$$N = A_1(T/t_0 - 1) + A_2(T/t_0 - 1)^2, \quad (6)$$

$$\text{где } A_1 = (1 + 0,5\delta), \quad A_2 = 0,5\delta(1 + 1,5\delta), \quad \delta = 1 - \gamma, \quad (7)$$

γ – численный коэффициент, изменяющийся в пределах $0 < \gamma \leq 1$.

– для времени первой контрольной проверки СИТ

$$t_0 = -\frac{\ln P_0}{\lambda_0} \left(1 + \frac{\beta \ln P_0}{\lambda_0^2} \right). \quad (8)$$

Рассмотрим три характерные задачи оптимизации МПИ СИТ в процессе их эксплуатации.

Задача 1. *Задано минимально допустимое значение вероятности безотказной работы P_0 СИТ. Необходимо выбрать МПИ T СИТ таким, чтобы обеспечивалось максимальное значение коэффициента эффективности $k_{\text{эф1}}$, согласно выражению (1).*

Методика решения. Подставляя соотношения (5) и (6) в формулу (1), после преобразований имеем

$$k_{\text{эф1}} = \frac{\tau + 1}{(\tau + 1 + m)(A_1\tau + A_2\tau^2)^\alpha} = \frac{\tau + 1}{\tau + 1 + m} (A_1\tau + A_2\tau^2)^{-\alpha}, \quad (9)$$

$$\text{где } \tau = T / t_0 - 1 \quad \text{и} \quad m = t_n / t_0. \quad (10)$$

Значение t_0 , входящее в формулу (9) через величины τ и m , вычислим по заданным значениям P_0 и λ_0 из выражения (8). Теперь коэффициент эффективности (9) можно рассматривать, как функцию одной переменной T . Ее максимум можно найти из решения уравнения $k_{\text{эф1}}(\tau)/d\tau = 0$, получим

$$\frac{(A_1\tau + A_2\tau)^{-\alpha}}{\tau + 1 + m} \left[\frac{m}{\tau + 1 + m} - \frac{\alpha(\tau + 1)(A_1 + 2A_2\tau)}{A_1\tau + A_2\tau^2} \right] = 0. \quad (11)$$

Можно показать, что уравнение (11) имеет положительные корни, если выполняется хотя бы одно из двух ограничений:

$$\alpha_1 < \frac{mA_1}{A_1(2 + m) + 2A_2(1 + m)}; \quad \alpha_2 < \frac{mA_2}{A_1 + 2A_2(2 + m)}.$$

Из выражений (7) видно, что $A_1 \gg A_2$, поэтому второе ограничение является менее жестким, чем первое ограничение. Именно его следует использовать при назначении показателя α , т.е. $\alpha = \alpha_2$.

Определив τ из решения уравнения (11), из выражений (10) для τ , (6) и (9) последовательно находим значения межповерочного интервала T , числа промежуточных проверок N СИТ и коэффициента эффективности $k_{эф1}$ эксплуатации СИТ.

Задача 2. Известно число промежуточных проверок N СИТ. Необходимо выбрать МПИ T СИТ таким, чтобы обеспечивалось максимальное значение коэффициента эффективности $k_{эф2}$ эксплуатации СИТ, заданного выражением (2).

Методика решения. Воспользовавшись соотношением (6), найдем

$$t_0 = \frac{T}{(N + 1)[1 - 0,5N\delta]} = Tf, \quad (12)$$

где $f = 1 / ((N + 1) [1 - 0,5N\delta])$.

С учетом равенства (12) выражение (4) запишем в виде

$$P(t_0) = \exp(-\lambda_0 f T - \beta f^2 T^2). \quad (13)$$

Это значение $P(t_0)$ подставим в формулу (2), получим

$$k_{эф2}(T) = T / (T + t_n) \exp(-\lambda_0 f T - \beta f^2 T^2).$$

Из условия $dk_{эф}(T) / dT = 0$ имеем

$$2\beta f^2 T^3 + (\lambda_0 f + 2\beta f^2 t_n) T^2 + \lambda_0 f t_n T - t_n = 0. \quad (14)$$

Используя теорему Бюдана-Фурье, можно показать, что это уравнение имеет один положительный корень.

Определив оптимальное значение МПИ T СИТ из решения уравнения (14), по формулам (12), (13) и (2) находим неизвестные параметры эксплуатации СИТ: время t_0 первой контрольной проверки СИТ; вероятность $P(t_0)$ безотказной работы СИТ; коэффициент $k_{эф2}$ эффективности эксплуатации.

Задача 3. Задан коэффициент готовности k_r , который необходимо обеспечить при эксплуатации СИТ. Определить МПИ и другие параметры эксплуатации СИТ, которые обеспечивают максимальное значение коэффициента эффективности $k_{эф3}$ согласно соотношению (3).

Методика решения. Зная коэффициент готовности k_r , можно найти

МПИ Т СИТ из формулы (5).

Далее, учитывая выражения (6) и (7), запишем

$$N = A_1\tau + A_2\tau^2. \quad (15)$$

Из выражения (10) для τ имеем

$$t_0 = T/(\tau + 1).$$

Подставляя это равенство в выражение (4), для вероятности безотказной работы СИТ имеем

$$P(t_0) = \exp[-\lambda_0 T / (\tau + 1) - \beta((T / (\tau + 1))^2)]. \quad (16)$$

С учетом равенств (15), (16) формулу (3) представим в виде

$$k_{\text{эфз}}(\tau) = \frac{\exp\left[-\frac{\lambda_0\tau}{\tau+1} - \beta\left(\frac{\tau}{\tau+1}\right)^2\right]}{(A_1\tau + A_2\tau^2)^\alpha}. \quad (17)$$

Определим, при каком значении параметра τ коэффициент эффективности СИТ достигает своего максимального значения. Для этого приравняем нулю производную $k_{\text{эфз}}(\tau)/d\tau$, имеем

$$\frac{\exp\left[-\frac{\lambda_0 T}{\tau+1} - \beta\left(\frac{T}{\tau+1}\right)^2\right]}{(A_1\tau + A_2\tau^2)^{\alpha+1}} \left\{ \left[\frac{\lambda_0 T}{(\tau+1)^2} + \frac{2\beta T^2}{(\tau+1)^3} \right] (A_1\tau + A_2\tau^2) - \alpha(A_1\tau + A_2\tau) \right\} = 0. \quad (18)$$

Первый сомножитель (перед фигурными скобками) имеет корни $\tau_1 = -1$ и $\tau_2 = \infty$, первый из которых не имеет физического смысла, а второй корень обеспечивает минимальное значение коэффициента эффективности $k_{\text{эфз}}$.

Приравняв нулю второй сомножитель (в фигурных скобках) после преобразований получим алгебраическое уравнение четвертой степени

$$2\alpha A_2\tau^4 + (\alpha A_1 + 6\alpha A_2 - \lambda_0 T A_2)\tau^3 + (3\alpha A_1 + 6\alpha A_2 - \lambda_0 T A_1 - \lambda_0 T A_2 - 2\beta T^2 A_2)\tau^2 + (3\alpha A_1 + 2\alpha A_2 - \lambda_0 T A_1 - 2\beta T^2 A_1)\tau + \alpha A_1 = 0. \quad (19)$$

Коэффициент при τ^4 и свободный член этого уравнения положительны. Уравнение имеет положительные корни, если хотя бы один из коэффициентов при τ^3 , τ^2 , τ является отрицательным. Проанализируем соответствующие выражения для указанных коэффициентов.

Для коэффициента при τ^3 должно выполняться неравенство

$$\alpha A_1 + 6\alpha A_2 - \lambda_0 T A_2 < 0. \quad (20)$$

Этим коэффициентом можно управлять только при помощи параметра α .

Решая неравенство (20) относительно α , получим

$$\alpha < \lambda_0 T A_2 / (A_1 + 6A_2). \quad (21)$$

Для коэффициента при τ^2 в уравнении (19) имеем

$$3\alpha A_1 + 6\alpha A_2 - \lambda_0 T A_1 - \lambda_0 T A_2 - 2\beta T^2 A_2 < 0,$$

откуда находим

$$\alpha < (\lambda_0 T A_1 + \lambda_0 T A_2 + 2\beta T^2 A_2) / (3A_1 + 6A_2). \quad (22)$$

Коэффициент при τ в уравнении (19) анализируем аналогично

$$\begin{aligned} 3\alpha A_1 + 2\alpha A_2 - \lambda_0 T A_1 - 2\beta T^2 A_1 &< 0, \\ \alpha &< (\lambda_0 T A_1 + 2\beta T^2 A_2) / (3A_1 + 2A_2). \end{aligned} \quad (23)$$

Неравенства (21) – (23) необходимо учитывать при задании коэффициента эффективности по формуле (3).

Определив положительные корни уравнения (19), по формулам (15) – (17) находим интересующие нас параметры эксплуатации СИТ: число N промежуточных проверок СИТ, вероятность $P(t_0)$ безотказной работы СИТ и коэффициент эффективности $\kappa_{эф3}$ эксплуатации СИТ.

Вывод. Предложенные методики позволяют оптимизировать корректировку межповерочных интервалов по комплексным показателям эффективности эксплуатации СИТ, учитывающих их текущее состояние.

Дальнейшие исследования планируются направить на разработку практических рекомендаций по применению метода промежуточных контрольных проверок СИТ для повышения показателей эффективности их эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. ДСТУ 2682-94. Державна система забезпечення єдності вимірювань. Метрологічне забезпечення. Основні положення. – К.: Держстандарт України, 1994. – 16 с.
2. Крежук В.В. Метрологическое обеспечение эксплуатации сложных изделий. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 200 с.
3. Фридман А.Э. Теория метрологической надежности средств измерений // Измерительная техника. – 1991. – № 11. – С. 3 – 10.
4. Блинов А.П. и др. Коррекция МПИ в процессе эксплуатации образцовых средств измерений. // Измерительная техника. – 1990. – № 4. – С. 8 – 10.
5. Белоцерковский В.И., Беляев Б.М., Новиков В.В. Методика определения и корректировки МПИ // Измерительная техника. – 1990. – № 7. – С. 10 – 12.
6. Чинков В.Н., Мельниченко А.Е. Метод корректировки межповерочного интервала средств измерительной техники // Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Автоматика та приладобудування. – Х.: НТУ “ХПІ”. – 2003. – № 7. Т. 3. – С. 181 – 186.
7. Чинков В.Н., Мельниченко А.Е. Корректировка межповерочных интервалов средств измерительной техники по показателям их надежности на основе метода контрольных проверок // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ. – 2004. – Вып. 2. – С. 168 – 171.
8. Чинков В.Н., Мельниченко А.Е. Методика оптимизации межповерочных интервалов средств измерительной техники при ограниченной информации об их метрологических отказах // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ, 2003. – Вып. 6. – С. 107 – 110.
9. Чинков В.Н., Мельниченко А.Е. Метод повышения метрологической надежности средств измерительной техники // Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Автоматика та приладобудування. – Х.: НТУ “ХПІ”, 2003. – № 21. 2003. – С. 175 – 178.

Поступила 27.02.2004

ЧИНКОВ Виктор Николаевич, доктор технических наук, профессор, профессор

Харьковского военного университета. В 1962 году окончил ХПИ. Область научных интересов – метрологическое обеспечение вооружения и военной техники.

МЕЛЬНИЧЕНКО Александр Евгеньевич, адъюнкт ХВУ. В 1998 году окончил ХВУ. Область научных интересов – метрологическое обеспечение вооружения и военной техники.
