

## 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;  $\alpha$  – 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  $\lambda_0$  – интенсивность отказов СИТ;  $\beta$  – 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

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

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

$\gamma$  – 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  $\tau$  и  $m$ , вычислим по заданным значениям  $P_0$  и  $\lambda_0$  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  $\alpha$ , т.е.  $\alpha = \alpha_2$ .

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

**Задача 2.** Известно число промежуточных проверок  $N$  СИТ. Необходимо выбрать МПИ  $T$  СИТ таким, чтобы обеспечивалось максимальное значение коэффициента эффективности  $k_{\text{эф2}}$  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

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

Из условия  $dk_{\text{эф}}(T) / dT = 0$  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  $k_{\text{эф2}}$  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  $k_{\text{эф3}}$  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  $\tau$  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  $\tau$  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  $\tau^4$  и свободный член этого уравнения положительны. Уравнение имеет положительные корни, если хотя бы один из коэффициентов при  $\tau^3$ ,  $\tau^2$ ,  $\tau$  является отрицательным. Проанализируем соответствующие выражения для указанных коэффициентов.

Для коэффициента при  $\tau^3$  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  $\alpha$ .

Решая неравенство (20) относительно  $\alpha$ , получим

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

Для коэффициента при  $\tau^2$  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  $\tau$  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  $k_{эф3}$  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 “ХПИ”. – 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 “ХПИ”, 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.

---