

УДК 621.317.733:621.314

М.А. Крюков

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина

МЕТОДИКА ЗАДАНИЯ И КОРРЕКТИРОВКИ МЕЖПОВЕРОЧНЫХ ИНТЕРВАЛОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКОЙ СИГНАЛОВ

В статье предложены методики задания и корректировки межповерочных интервалов измерительных систем с цифровой обработкой сигналов на основе промышленных компьютеров. Методика задания первичного межповерочного интервала подразумевает, что при эксплуатации измерительной системы с цифровой обработкой сигналов на основе промышленного компьютера необходимо задавать такой межповерочный интервал, при котором достигается максимум функции зависимости коэффициента готовности измерительной системы от значения межповерочного интервала. Методика корректировки межповерочного интервала основана на прогнозировании изменения значения инструментальной погрешности во времени.

Ключевые слова: *измерительная система, цифровая обработка сигналов, промышленный компьютер, поверка, межповерочный интервал.*

Постановка проблемы. В настоящее время в различных сферах человеческой деятельности широко применяются измерительные системы с циф-

ровой обработкой сигналов на основе промышленных компьютеров (ИСЦПК). В состав ИСЦПК входит совокупность измерительных каналов, модулей

аналогово-цифрового преобразования (АЦП) и собственно промышленный компьютер, реализующий функцию вычислительного компонента.

Измерительная система с цифровой обработкой сигналов на основе промышленного компьютера будет надежной, а ее эксплуатация эффективной только при условии обеспечения контроля ее метрологических характеристик при периодической проверке (калибровке). При этом проблемным является вопрос установления межповерочного интервала (МПИ), обеспечивающего, с одной стороны, требуемый уровень надежности ИСЦПК, а с другой стороны – эффективное использование средств метрологического контроля.

Таким образом, задача разработки научно обоснованной методики установления и корректировки межповерочного интервала ИСЦПК является актуальной.

Анализ литературы. В настоящее время установление продолжительности МПИ ИСЦПК регламентируется документами [1, 2].

Анализируя подходы к установлению МПИ, предложенные в [1], можно сделать вывод, что по данной методике на практике невозможно определить МПИ, особенно первоначальный, опираясь только на свойства конкретной системы и не имея при этом информации, полученной в ходе опытной эксплуатации. Выделить достаточно большой промежуток времени для проведения опытной эксплуатации ни производитель, ни заказчик, в большинстве случаев, не имеют возможности. Опираясь на данные, полученные в результате эксплуатации аналогичного СИТ также нет возможности по причине того, что у большей части ИСЦПК отсутствуют аналоги в силу их уникальности.

В [2], в отличие от [1], приведена методика оценки первичного МПИ, которая опирается на характеристики конкретной ИС. Однако практическое применение данной методики ограничено, поскольку:

- некоторые термины не гармонизированы с [3], например, «норма точности», «коэффициент готовности», вследствие этого может возникнуть ошибка при расчете МПИ;

- не учтена степень влияния различных параметров системы и условий ее эксплуатации на значение МПИ;

- не приведены формулы для вычисления коэффициента готовности;

- не учтен класс точности рабочего эталона и таких событий как необнаруженный и ложный отказ.

Таким образом, можно сделать вывод, что методики установления МПИ СИТ, которые приводятся в имеющихся на данный момент нормативных документах, практически невозможно применить на практике из-за отсутствия исходных данных, возможности неправильных вычислений из-за разно-

чтений в терминах по причине отхода от стандартизованных терминов и т.д.

Целью работы является разработка методик задания и корректировки МПИ ИСЦПК, позволяющих учитывать параметры, индивидуальные для каждой измерительной системы, и условия ее эксплуатации.

Изложение основных результатов работы

В работе предлагается осуществлять задание МПИ на основании использования критерия обеспечения максимума коэффициента готовности (КГ) ИСЦПК. Иначе, используя выражение для коэффициента готовности ИСЦПК, необходимо отыскать максимум КГ в диапазоне варьирования МПИ.

Такая задача может быть решена несколькими способами.

Один из известных способов заключается в дифференцировании функции коэффициента готовности по переменной, представляющей МПИ, и поиске корня получившегося выражения. Однако, как правило, выражение для КГ является достаточно громоздким, поэтому на практике дифференцирование этого выражения и нахождение корня уравнения – весьма ресурсоемкая и в некоторых случаях не имеющая аналитического решения задача. Поэтому для решения указанной задачи целесообразно воспользоваться прямыми методами поиска, например, методом Фибоначчи.

Метод Фибоначчи [4] является методом линейной оптимизации квазивыпуклых функций. Данный метод реализуется несколькими итерациями. На первом этапе метод требует вычисления двух значений функции КГ, максимум которой ищут, а на всех последующих – только одного ее значения. Значение интервала поиска экстремума при этом уменьшается от итерации к итерации. В основе метода лежит процедура определения последовательности Фибоначчи $\{F_v\}$, которая рассчитывается следующим образом:

$$F_{v+1} = F_{v-1} + F_v,$$

где $v = 1, 2, 3, \dots$, $F_0 = F_1 = 1$.

Таким образом, последовательность Фибоначчи имеет вид 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13...

На основе метода Фибоначчи в работе предложена методика определения МПИ ИСЦПК, которая представляется следующим образом.

1. Формирование совокупности исходных данных, к которым относятся: $T_{НМХ}$ – среднее время, в течение которого метрологические характеристики модуля АЦП находятся в пределах допустимых значений, $T_{БОР}$ – среднее время безотказной работы модуля АЦП (данную информацию следует брать из технического описания), $\tau_{ОР}$ – среднее время ожи-

дания ремонта модуля АЦП, τ_{Π} – среднее время, затрачиваемое на поверку ИСЦПК, τ_{ρ} – среднее время, затрачиваемое на ремонт модуля АЦП, T_{Π} – межповерочный интервал, $\alpha_{\text{ЛО}}$ – вероятность ложного отказа модуля АЦП, $\alpha_{\text{НО}}$ – вероятность необнаруженного отказа модуля АЦП, $T_{\text{БПК}}$ – среднее время безотказной работы промышленного компьютера, $\tau_{\text{ОРПК}}$ – среднее время ожидания ремонта промышленного компьютера, $\tau_{\text{РПК}}$ – среднее время ремонта модуля ПРК, $T_{\text{ТО}}$ – среднее значение интервала времени между техническими обслуживаниями ПРК, $\tau_{\text{ТО}}$ – средняя продолжительность технического обслуживания ПРК.

2. Установление интервала поиска максимума коэффициента готовности K_{Γ} путем установления максимального и минимального значений МПИ. Для первой итерации в качестве минимального значения МПИ целесообразно использовать нулевое значение, а в качестве максимального – $T_{\text{НМХ}}$.

3. Определение длины интервала неопределенности l – отрезка времени, с точностью до которого следует устанавливать МПИ. Целесообразно выбирать l равным периодичности технического обслуживания ИСЦПК или периодичности технического обслуживания объекта измерения, имеющего минимальную периодичность. Определение константы различимости ε .

4. Выбрать количества итераций так чтобы:

$$F_n > \frac{b_1 - a_1}{l}.$$

где b_1, a_1 – границы начального интервала неопределенности; F_n – n -й член последовательности Фибоначчи.

Положить, что:

$$\eta_1 = a_1 + \frac{F_{n-2}}{F_n}(b_1 - a_1);$$

$$\theta_1 = a_1 + \frac{F_{n-1}}{F_n}(b_1 - a_1).$$

5. Вычислить $K_{\Gamma}(\eta_k)$ и $K_{\Gamma}(\theta_k)$. Если $K_{\Gamma}(\eta_k) \geq K_{\Gamma}(\theta_k)$, перейти к шагу 6, в противном случае, перейти к шагу 7.

6. Положить $a_{k+1} = \eta_k$, $b_{k+1} = b_k$. Затем положить $\eta_{k+1} = \theta_k$, $\theta_{k+1} = a_{k+1} + \frac{F_{n-k-1}}{F_{n-k+1}}(b_{k+1} - a_{k+1})$. Если $k = n - 2$, перейти к шагу 9, в противном случае вычислить $K_{\Gamma}(\theta_{k+1})$ и перейти к шагу 8.

7. Положить $a_{k+1} = a_k$, $b_{k+1} = \theta_k$, $\theta_{k+1} = \eta_k$, $\eta_{k+1} = a_{k+1} + \frac{F_{n-k-2}}{F_{n-k}}(b_{k+1} - a_{k+1})$. Если $k = n - 2$,

перейти к шагу 9, в противном случае вычислить $K_{\Gamma}(\eta_{k+1})$ и перейти к шагу 8.

8. Заменить k на $k + 1$ и перейти к шагу 5.

9. Положить $\eta_n = \eta_{n-1}$ и $\theta_n = \lambda_n + \varepsilon$. Если $K_{\Gamma}(\eta_n) > K_{\Gamma}(\theta_n)$, то положить $a_n = \eta_n$ и $b_n = b_{n-1}$. В противном случае, т.е., если $K_{\Gamma}(\eta_n) \leq K_{\Gamma}(\theta_n)$, то положить $a_n = a_{n-1}$ и $b_n = \theta_n$.

Максимум находится в интервале $[a_n, b_n]$.

Целесообразно осуществлять установление значения МПИ путем округления полученного по данной методике значения до ближайшего меньшего числа из ряда, рекомендованного в [5], то есть: 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 4; 6; 9; 12; 6·K месяцев (K = 3, 4, 5, ...).

Предложенная методика позволяет осуществлять первичное, до начала эксплуатации конкретного образца задание МПИ с учетом такой особенности ИСЦПК, как модульный принцип построения.

На практике в ходе длительной эксплуатации ИСЦПК в различных условиях процесс ее метрологического старения (темпы изменения погрешностей) могут отклоняться как в большую, так и в меньшую сторону. При этом отклонения темпов метрологического старения проявляются либо в виде т.н. явления стабилизации характеристик ИСЦПК (при снижении темпов изменения погрешностей), либо, наоборот, в виде ускорения деградации ИСЦПК (при возрастании темпов изменения погрешностей).

Таким образом, для обеспечения требуемой метрологической надежности или для снижения затрат на метрологическое обеспечение правомерной является постановка задачи корректировки МПИ по истечении некоторого срока эксплуатации ИСЦПК.

Если по результатам первых 2 ... 3 проверок установлено, что погрешность ИСЦПК не превысила допустимого значения, то МПИ может быть откорректирован с целью оптимизации затрат (временных, финансовых) на проведение проверки.

Как известно [11], погрешность СИТ (как аналоговых, так и цифровых) в некоторой точке диапазона измерения изменяется по закону (рис. 1):

$$\gamma(t) = \Delta_0 + v_0 \tau (1 - e^{-t/\tau}), \quad (1)$$

где t – возраст СИТ с момента изготовления; τ – постоянная времени процесса метрологической стабилизации СИТ; Δ_0 – значение абсолютной погрешности СИТ в момент выпуска из производства; v_0 – начальная скорость возрастания приведенной погрешности СИТ.

В случае ИСЦПК, в процессе старения появляется и растет только одна систематическая составляющая погрешности $\Delta_{\text{СТ}}$.

Для осуществления корректировки МПИ необходимо располагать следующими исходными данными:

– значение Δ_0 абсолютной погрешности ИСЦПК (в какой-либо отметке) на момент выпуска из производства;

– значения погрешностей в момент окончания первого и второго МПИ (Δ_1 и Δ_2 соответственно, в этой же отметке);

Пользуясь выражениями, описывающими инструментальную погрешность ИСЦПК, можно определить значения составляющей погрешности старения $\Delta_{СТ1}$ и $\Delta_{СТ2}$ соответственно в момент окончания первого и второго МПИ:

$$\Delta_{СТ1} = \sqrt{3 \cdot \left(\frac{\Delta_1^2}{t_p^2} - \sigma_{\Sigma}^2 \right)} - \Delta_{\text{сист}}; \quad (2)$$

$$\Delta_{СТ2} = \sqrt{3 \cdot \left(\frac{\Delta_2^2}{t_p^2} - \sigma_{\Sigma}^2 \right)} - \Delta_{\text{сист}}, \quad (3)$$

где $\Delta_{\text{сист}}$ – систематическая составляющая инструментальной погрешности ИСЦПК.

При помощи (1) составляется система уравнений, решение которой дает аналитическую зависимость погрешности старения ИСЦПК от длительности ее эксплуатации:

$$\begin{cases} \Delta_{СТ1} = v_0 \tau \left(1 - e^{-\frac{t_1}{\tau}} \right); \\ \Delta_{СТ2} = v_0 \tau \left(1 - e^{-\frac{t_2}{\tau}} \right). \end{cases} \quad (4)$$

В данном случае переменную Δ_0 можно опустить, если предположить, что погрешность старения в момент начала эксплуатации ИСЦПК равна нулю. Полученная система уравнений содержит два неизвестных: v_0 и τ .

Целесообразно решать данное уравнение, выполняя замены переменных ($v_0 \tau$ на a и $e^{-t_1/\tau}$ на b). Заметим, что продолжительности первых двух МПИ одинаковы, поэтому $t_2 = 2 \cdot t_1$, откуда $e^{-\frac{t_2}{\tau}} = e^{-\frac{2t_1}{\tau}} = b^2$. С учетом введенных замен, представим систему (2) следующим образом:

$$\begin{cases} \Delta_{СТ1} = a(1-b); \\ \Delta_{СТ2} = a(1-b^2). \end{cases} \quad (5)$$

Опуская промежуточные преобразования, получим

$$b = \frac{\Delta_{СТ2} - \Delta_{СТ1}}{\Delta_{СТ1}}. \quad (6)$$

Вместо b в левой части запишем его значение:

$$e^{-\frac{t_1}{\tau}} = \frac{\Delta_{СТ2} - \Delta_{СТ1}}{\Delta_{СТ1}}, \quad (7)$$

откуда получим выражения для τ :

$$\tau = -t_1 / \ln \frac{\Delta_{СТ2} - \Delta_{СТ1}}{\Delta_{СТ1}}, \quad (8)$$

и для a :

$$a = \frac{\Delta_{СТ1}}{1-b}. \quad (9)$$

Выполнив подстановку b из (6), получаем

$$a = \frac{\Delta_{СТ1}^2}{2\Delta_{СТ1} - \Delta_{СТ2}}. \quad (10)$$

Поскольку $v_0 = a / \tau$, получаем выражение для v_0 :

$$v_0 = -\frac{\Delta_{СТ1}^2 \cdot \ln \frac{\Delta_{СТ2} - \Delta_{СТ1}}{\Delta_{СТ1}}}{t_1 \cdot (2\Delta_{СТ1} - \Delta_{СТ2})}. \quad (11)$$

Таким образом, воспользовавшись вышеприведенными формулами, можно определить аналитический вид функции изменения погрешности от времени эксплуатации ИСЦПК. Определив точку пересечения данной функции с прямой $\Delta = \Delta_{\text{доп}}$ (рис. 1), можно осуществить корректировку МПИ (в большую или меньшую сторону). Координаты точки пересечения можно определить по формуле:

$$t = -\tau \cdot \ln \left(\frac{\sqrt{3 \left(\frac{\Delta_{\text{доп}}}{t_p} \right)^2 - 3\sigma_{\Sigma}^2} - \Delta_{\text{сист}}}{v_0 \tau} - 1 \right).$$

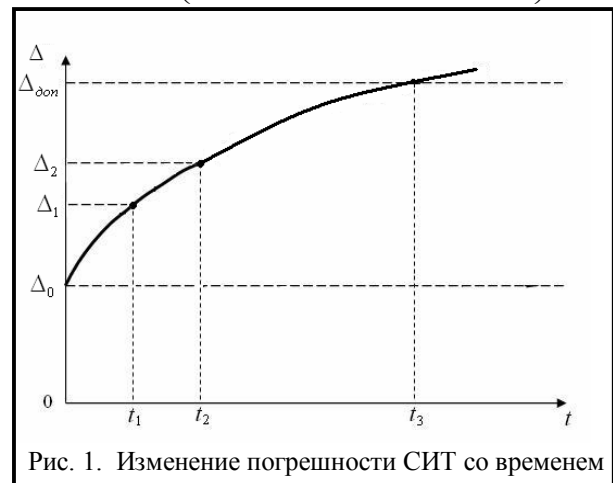


Рис. 1. Изменение погрешности СИТ со временем

Методика корректировки МПИ содержит несколько этапов.

1. Подготовка исходных данных: значение МПИ $T_{\text{П}}$, значение Δ_0 погрешности ИСЦПК на момент выпуска из производства, значения Δ_1 и Δ_2

погрешности в момент окончания первого и второго МПИ, а также рассчитанные по формулам (2) и (3) составляющие погрешности, обусловленные старением элементов ИСЦПК.

2. Расчет постоянной времени τ процесса метрологической стабилизации ИСЦПК:

$$\tau = -t_1 / \ln \frac{\Delta_{СТ2} - \Delta_{СТ1}}{\Delta_{СТ1}}. \quad (12)$$

3. Расчет начальной скорости v_0 возрастания абсолютной погрешности ИСЦПК:

$$v_0 = - \frac{\Delta_{СТ1}^2 \cdot \ln \frac{\Delta_{СТ2} - \Delta_{СТ1}}{\Delta_{СТ1}}}{t_1 \cdot (2\Delta_{СТ1} - \Delta_{СТ2})}. \quad (13)$$

4. Определение точки ожидаемого выхода погрешности ИСЦПК за предел допустимого значения:

$$t_3 = -\tau \cdot \ln \left(- \frac{\sqrt{3 \left(\frac{\Delta_{доп}}{t_p} \right)^2 - 3\sigma_{\Sigma}^2 - \Delta_{сист}}}{v_0 \tau} - 1 \right). \quad (14)$$

5. Выбор значения МПИ путем округления t_3 до ближайшего меньшего значения из ряда, рекомендованного в [10], то есть: 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 4; 6; 9; 12; 6·К месяцев (К = 3, 4, 5, ...).

Выводы

В данной статье предложены методики задания и корректировки МПИ ИСЦПК. Разработанная методика задания первичного МПИ дает возможность

осуществить задание и МПИ без использования статистической информации об эксплуатации ИСЦПК, а опираясь только на технические характеристики конкретной измерительной системы. Также в данной работе предложена методика корректировки МПИ, основывающаяся на прогнозировании изменения инструментальной погрешности ИСЦПК во времени, данная методика позволяет осуществлять коррекцию МПИ при наличии информации о значении инструментальной погрешности ИСЦПК в моменты окончания первого и второго МПИ.

Список литературы

1. МИ 2002-89 Системы информационно-измерительные. Организация и порядок проведения метрологической аттестации.
2. РМУ 018-2004 Вимірвальні інформаційні системи. Методика встановлення міжповірочних інтервалів.
3. ДСТУ 2681-94. Метрологія. Терміни та визначення.
4. Зайченко Ю.П. Исследование операций / Ю.П. Зайченко, С.А. Шумилова. – К.: Вища школа, 1990. – 239 с.
5. РД 50-330-82 Методические указания. Определение межповерочных интервалов рабочих средств измерений.
6. Крюков О.М. Основи метрологічного забезпечення: навчальний посібник / О.М. Крюков, О.П. Флорін. – Х.: ХНАДУ, 2010. – 208 с.

Поступила в редколлегию 25.08.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Н.Д. Кошевой, Харьковский аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского, Харьков, Украина.

МЕТОДИКА ЗАВДАННЯ ТА КОРИГУВАННЯ МІЖПОВІРОЧНИХ ІНТЕРВАЛІВ ВІМІРВАЛЬНИХ СИСТЕМ З ЦИФРОВОЮ ОБРОБКОЮ СИГНАЛІВ

М.О. Крюков

У статті запропоновано методики завдання та коригування міжповірочних інтервалів вимірвальних систем з цифровою обробкою сигналів на основі промислових комп'ютерів. Методика завдання первинного міжповірочного інтервалу узаві, що при експлуатації виміральної системи з цифровою обробкою сигналів на основі промислового комп'ютера необхідно задавати такий міжповірочний інтервал, при якому досягається максимум функції залежності коефіцієнта готовності виміральної системи від значення міжповірочного інтервалу. Методика коригування міжповірочного інтервалу заснована на прогнозуванні зміни значення інструментальної похибки в часі.

Ключові слова: вимірвальна система, цифрова обробка сигналів, промисловий комп'ютер, перевірка, міжповірочний інтервал.

THE METHOD OF ASSIGNMENT AND ADJUSTMENT OF CALIBRATION INTERVAL OF MEASURING SYSTEMS WITH DIGITAL SIGNAL PROCESSING

M.A. Kriukov

The method of assignment and adjustment of the verification interval of the measuring systems with digital signal processing based on industrial computers is offered. The method of the primary verification interval assignment implies that the operation of the measuring system with digital signal processing based on industrial computer, that the calibration interval must be set according to the maximum of the dependence of the availability factor on the value of the verification interval. The verification interval adjustment method is based on the prediction of changes in the values of the instrumental error in time.

Keywords: measurement system, digital signal processing, industrial computer, checking, verification interval.