

УДК 621.317.733:621.314

М.А. Крюков, А.В. Дегтярёв

*Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков*

## **УСТАНОВЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ОТМЕТОК ПРИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКОЙ СИГНАЛОВ**

*В данной статье предложен усовершенствованный принцип обоснования рационального количества и распределения контролируемых отметок в диапазонах измерений измерительных систем с цифровой обработкой сигналов на основе промышленных компьютеров, основывающийся на анализе закона изменения инструментальной погрешности.*

**Ключевые слова:** измерительная система, цифровая обработка сигналов, промышленный компьютер, контролируемые отметки, поверка.

### **Введение**

**Постановка проблемы.** В настоящее время в различных объектах вооружения и военной техники все более широкое распространение получают измерительные системы с цифровой обработкой сигналов на базе специализированных промышленных компьютеров (ИСЦПК) повышенной надежности и защищенности. В состав ИСЦПК входит совокупность измерительных каналов, модулей аналогово-цифрового преобразования (АЦП) и собственно промышленный компьютер, реализующий функцию вычислительного компонента.

Высокая надежность ИСЦПК, и, следовательно, боеготовность объектов вооружения и военной техники может быть обеспечена только при условии

обеспечения контроля метрологических характеристик ИСЦПК при периодической поверке (калибровке). При этом проблемным является вопрос количества и распределения контролируемых отметок в диапазоне измерения при выполнении периодической поверки, калибровки, метрологической аттестации.

Таким образом, задача нахождения рационального количества и контролируемых отметок и их распределения внутри диапазона измерения ИСЦПК является важной и актуальной.

**Анализ литературы.** В настоящее время установление количества контролируемых отметок в диапазоне измерения ИСЦПК регламентируется документом [1].

Анализируя изложенный в [1] подход к установлению количества и распределения контроли-

руемых отметок, можно отметить следующие его недостатки:

- необходимость наличия данных, полученных в результате опытной эксплуатации;
- равномерное распределение контролируемых отметок внутри диапазона, что может привести к недостаточной достоверности контроля в случае нелинейности функции погрешности.

Следовательно, можно сделать вывод, что приведенный в [1] подход применим только:

- в случае наличия данных, полученных в результате опытной эксплуатации;
- в случае, когда функция погрешности линейна, то есть, скорость изменения погрешности постоянна.

Очевидно, что на практике у владельца ИСЦПК может не быть возможности априорно оценить объем поверочных работ. Также на практике может оказаться, что функция погрешности нелинейная. Следовательно, можно сделать вывод, что данная методика нуждается в пересмотре и корректировке.

Следует отметить, что анализ литературы [2], послужившей первоисточником для методики, приведенной в [1], показывает, что подобный способ определения количества поверяемых отметок неприменим к ИСЦПК, так как разрабатывался для индикаторов часового типа.

Таким образом, можно сделать вывод, что на данный момент в литературе отсутствует решение задачи обоснования рационального количества и распределения контролируемых отметок в диапазонах измерений ИСЦПК, основывающееся на анализе индивидуального закона изменения погрешности. Решение данной задачи необходимо для уменьшения объема поверочных работ.

**Целью работы** является научное обоснование рационального количества и распределения контролируемых отметок в диапазонах измерений ИСЦПК, а также разработка практической методики задания контролируемых отметок.

### Изложение основных результатов работы

Систематическая погрешность может измениться в течение межповерочного интервала (МПИ) (между двумя очередными поверками ИСЦПК) за счёт смещения функции преобразования АЦП и за счёт изменения коэффициента усиления модуля АЦП (например, вследствие процесса старения дифференциальных усилителей, входящих в состав модуля АЦП).

Это приводит, соответственно, к смещению функции преобразования АЦП относительно оси ординат и к изменению угла наклона функции преобразования АЦП.

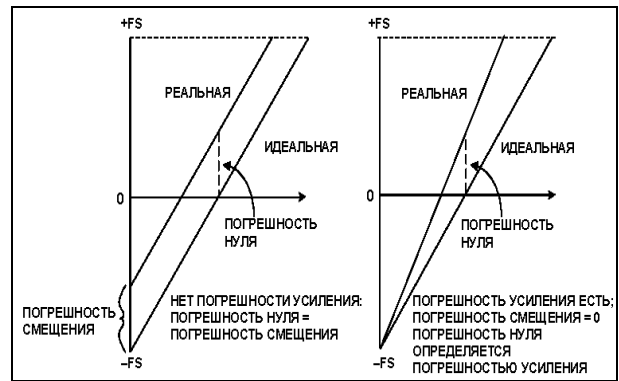


Рис. 1. Изменение функции преобразования АЦП, приводящее к возникновению погрешности

Пусть известна функция  $Y(x)$ , описывающая закон изменения погрешности в диапазоне измерения. Границы допустимых значений погрешности можно графически представить прямыми  $y = k_1x + b_1$  и  $y = k_2x + b_2$  (рис. 2).

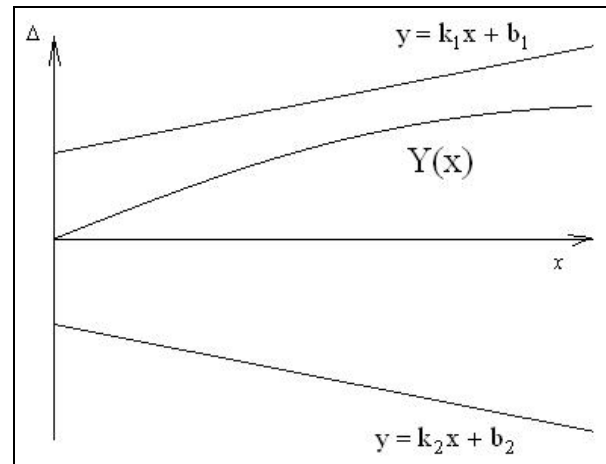


Рис. 2. Графическое представление функции погрешности и границ допустимой погрешности

Наличие погрешности смещения и погрешности усиления могут привести к возникновению аддитивной и мультипликативной составляющих суммарной погрешности ИСЦПК. То есть, характеристика погрешности ИСЦПК при этом может:

- сдвигаться вверх или вниз относительно оси ординат;
- деформироваться относительно оси ординат за счёт наличия мультипликативной составляющей.

Рассмотрим эти два случая подробнее.

1. Имеется только погрешность смещения функции преобразования АЦП.

В этом случае график погрешности смещается вдоль оси ординат, не меняя своей формы. Очевидно, что выход погрешности за границу её допустимого значения наиболее вероятен в точке, для которой расстояние между графиками функции  $Y(x)$  и функции, определяющей допустимые границы по-

грешности, минимально. На рис. 3 показано расположение такой точки  $X_1$ .

Таким образом, для нахождения координаты точки  $X_1$  необходимо определить, для какой абсциссы расстояние между функциями  $Y(x)$  и  $y = k_1x + b_1$  будет минимальным. Для этого задается функция разности  $Y_{\text{диф}} = k_1x + b_1 - Y(x)$  и находится её экстремум.

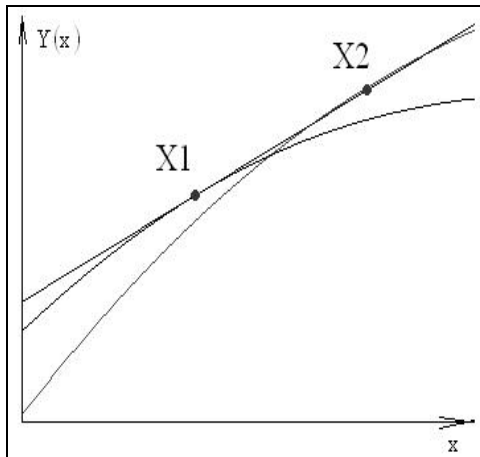


Рис. 3. Графическое представление выхода погрешности за границу её допустимого значения

2. Имеется только погрешность усиления дифференциального усилителя модуля АЦП.

В этом случае будет иметь место составляющая погрешности, линейно увеличивающаяся внутри диапазона измерения.

То есть, закон изменения погрешности в диапазоне измерения принимает вид  $Y(x) + \alpha x$ , где  $\alpha$  — коэффициент, и, таким образом, графическое изображение функции погрешности претерпевает разворот относительно оси ординат с деформацией. Очевидно, что при некотором значении  $\alpha$  вероятен выход погрешности за пределы допустимых значений.

Следовательно, задача сводится к нахождению значения коэффициента  $\alpha$ , а также абсциссы точки  $X_2$ , в которой наиболее вероятен выход погрешности за пределы ее допустимых значений.

Анализируя эти два случая, можно сделать следующий вывод. Необходимо контролировать две точки в районе каждого из экстремумов функции погрешности, а именно:

– точку, в которой наиболее вероятен выход погрешности за границу допуска в случае наличия только погрешности смещения функции преобразования АЦП;

– точку наиболее вероятного выхода погрешности за границу допуска в случае наличия только погрешности усиления дифференциального усилителя АЦП.

Очевидно, в случае, когда расстояние по оси абсцисс между этими двумя точками мало (меньше 5% диапазона измерения), целесообразно контролировать только одну отметку.

Таким образом, анализ характера изменения погрешности в диапазоне измерения может быть положен в основу методики установления контролируемых отметок.

Такая методика реализуется в несколько этапов.

1). Определение аналитического вида функции погрешности в виде полинома  $n$ -й степени:

$$y_0 = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_0. \quad (1)$$

2). Формализованное описание поля допуска уравнениями прямых, его ограничивающих:

$$y_{\bar{A}} = k_1 x + b_1; \quad (2)$$

$$y_{\underline{A}} = k_2 x + b_2. \quad (3)$$

3). Определение разностей между прямыми, ограничивающими поле допуска, и функцией погрешности

$$y' = k_1 x + b_1 - a_n x^n - a_{n-1} x^{n-1} - \dots - a_0; \quad (4)$$

$$y'' = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_0 - k_2 x - b_2; \quad (5)$$

4). Нахождение минимумов каждой из этих функций. Включение точек, которым соответствуют минимумы функций  $y'$  и  $y''$ , в перечень контролируемых отметок.

Таким образом, в простейшем случае (функция погрешности — полином первой степени) контролируемые отметками будет конечная точка диапазона измерения (если начальная точка ненулевая, то тогда начальная и конечная), а в случае, когда функция погрешности представлена полиномом более высокой степени, кроме крайних точек диапазона в перечень контролируемых отметок включаются также точки, соответствующие минимумам функций  $y'$  и  $y''$ .

В случае, когда превалирует случайная составляющая погрешности ИСЦПК, что зачастую имеет место при интеграции модуля АЦП в системный блок промышленного компьютера (при этом она подвергается существенному воздействию электромагнитных помех, источниками которых являются импульсный блок питания, шины процессора и памяти и т.д.), погрешность в точке  $X_1$  на рис. 3 не будет коррелирована с погрешностью в любой другой точке  $X_2$ .

Таким образом, если в результате поверки установлено, что погрешность поверяемой ИСЦПК в точках  $X_1$  и  $X_2$  находится в пределах допустимых значений, то это не обеспечивает пребывания погрешности в пределах допуска как в интервале

$[X_1, X_2]$ , так и за его пределами. Следовательно, сколько бы ни увеличивалось количество контролируемых точек в диапазоне измерения, вероятность того, что погрешность в неохваченных контролем точках выйдет за пределы допустимых значений, не будет уменьшаться. Поэтому, вне зависимости от характера изменения среднеквадратического отклонения (СКО) погрешности внутри диапазона измерения (СКО постоянно либо изменяется по линейному закону), имеет смысл контролировать одну отметку – в конце диапазона. В случае, если начальная отметка ненулевая, то тогда нужно контролировать две отметки – начальную и конечную.

Количество измерений  $N$  необходимо выбрать согласно [1] по формуле:

$$N = \frac{2}{1 - P_A}, \quad (6)$$

где  $P_A$  – заданная доверительная вероятность.

Заметим, что в случае, когда превалирует случайная составляющая погрешности, необходимо предусматривать в алгоритмах работы ИСЦПК процедуры, обеспечивающие уменьшение влияния случайной погрешности на результат измерения, например, где это возможно – путём усреднения результатов многократных измерений.

В случае, когда систематическая и случайная погрешности сопоставимы, целесообразно применить подход, являющийся комбинацией двух рассмотренных выше. Необходимо определить точки, в которых наиболее вероятен выход систематической составляющей за границу допуска (по методике, изложенной выше), и в этих отметках реализовывать многократные измерения.

В качестве вывода можно отметить, что подход, предложенный в данной работе, позволяет значительно снизить объём поверочных работ, за счёт

уменьшения количества контролируемых отметок для каждого канала.

Для сравнения: [1] предписывает контролировать 5 – 6 отметок, в то время как согласно разработанному подходу необходимо контролировать не более 1 – 2-х точек.

Также объём поверочных работ может быть снижен в случае наличия в составе ИСЦПК однотипных измерительных каналов – тогда достаточно контролировать только один канал на один модуль АЦП.

## Выводы

В статье предложен усовершенствованный принцип установления количества и распределения контролируемых отметок при проведении измерительного контроля ИСПЦК. Получены выражения, позволяющие установить оптимальное количество контролируемых отметок, а также установить их координаты в диапазоне измерения ИСЦПК. Полученные выражения позволяют учитывать индивидуальные особенности ИСЦПК, такие как закон изменения погрешности. Предложенный принцип может быть применён на практике при составлении методик поверки ИСЦПК.

## Список литературы

1. МИ 2002-89 Системы информационно-измерительные. Организация и порядок проведения метрологической аттестации.
2. Карташёва А.Н. Достоверность измерения и критерий качества испытаний приборов / А.Н. Карташёва. – М.: Издательство комитета стандартов, 1967. – 160 с.

Поступила в редколлегию 12.05.2011

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

## ВСТАНОВЛЕННЯ КІЛЬКОСТІ І РОЗПОДІЛУ КОНТРОЛЬОВАНИХ ПОЗНАЧОК ПРИ МЕТРОЛОГІЧНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ З ЦИФРОВОЮ ОБРОБКОЮ СИГНАЛІВ

М.О. Крюков, О.В. Дегтярьов

*У даній статті запропоновано вдосконалений принцип обґрунтування раціональної кількості та розподілу контрольованих позначок у діапазонах вимірювань вимірювальних систем з цифровою обробкою сигналів на основі промислових комп'ютерів, що ґрунтується на аналізі закону зміни інструментальної похибки.*

**Ключові слова:** вимірювальна система, цифрова обробка сигналів, промисловий комп'ютер, контрольовані позначки, перевірка.

## DETERMINATION OF THE AMOUNT AND DISTRIBUTION OF CONTROL GRADES FOR MEASURING ASSURANCE OF MEASURING SYSTEMS WITH DIGITAL SIGNAL PROCESSING

M.A. Kryukov, A.V. Degtyarev

*This article proposes an improved principle of determining the rational number and distribution of control grades within the range of measuring systems with digital signal processing based on industrial PC, which is based on an analysis of the variation of the instrumental error.*

**Keywords:** measuring system, digital signal processing, industrial computer, control grades, verification.