

А.М. Науменко, Т.В. Чебыкина, В.Н. Чепела

**НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ КАЛИБРОВОК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ**

*Рассмотрены оценки частных неопределенностей, возникающих в типовых измерительных каналах (ИК). Выделены оценки неопределенностей преобразователей, имитаторов сигналов и измерительно-преобразовательной части ИК и получены алгоритмы расчета стандартной неопределенности ИК.*

**измерительный канал, стандартная неопределенность, статическая характеристика преобразования, погрешность, калибровка**

Задача определения точности измерений существенно усложнилась в связи с применением в практике измерений автоматизированных измерительных систем, имеющих разветвленную структуру с преобразовательно-вычислительной частью, что требует разработки методик оценивания неопределенности получаемых результатов [1].

Интеллектуализация измерений открывает широкие возможности повышения точности результатов измерений, в частности, путем индивидуальной калибровки используемых средств измерительной техники (СИТ) непосредственно в процессе выполнения измерения. Преимущества индивидуальной калибровки существенно заметны для процессорных СИТ, типичным представителем которых является измерительный канал (ИК), включающий последовательно соединенные первичный измерительный преобразователь (ПИП), измерительную схему (ИС), нормирующий измерительный преобразователь (НИП), блок аналого-цифрового преобразования (АЦП) и блок обработки, вычисления и индикации результатов измерений (БОВИ) (рис. 1).

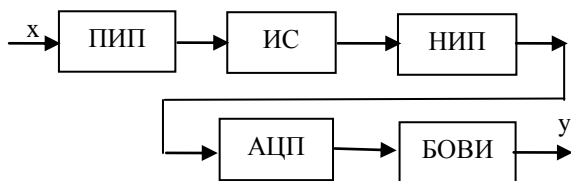


Рис. 1. Функциональная схема ИК

Оценки результата измерений величины  $x$  и его точности получают на основе номинальных значений характеристик всех блоков ИК, полученных после аттестации или поверки ИК. При этом используется как экспериментально-расчетный (поэлементный), так и экспериментальный (комплектный) методы определения метрологических характеристик ИК. Поэлементный метод позволяет получить значение метрологических характеристик ИК, пользуясь расчетной моделью взаимодействия всех блоков ИК и метрологическими характеристиками от-

дельных блоков для согласованных условий и режимов их функционирования. Возникают существенные методические трудности при расчете характеристик точности результата измерения из-за приближенности метрологических моделей каждого блока и ограничений при учете функциональных связей между блоками ИК, например, преобразовательно-вычислительной компоненты ИК. Однако, анализ метрологических характеристик отдельных блоков позволяет наметить, какими характеристиками неопределенности следует воспользоваться для оценивания точности результата измерения, выявить детерминированные и случайные составляющие погрешности, оценить функции влияния и возможные законы распределения результатов наблюдений.

Предпочтительным является комплектный метод, позволяющий определять метрологические характеристики всего ИК как при нормальных условиях, так и при специальных и критических условиях или режимах функционирования ИК. Универсальность структуры ИК, при которой для измерения разнородных физических величин изменяется только тип ПИП, а остальные блоки ИК остаются неизменными, позволяет использовать при калибровке ИК имитаторы выходных сигналов ПИП и отдельно калибровать ПИП, что существенно повышает точность калибровки. В качестве имитаторов выходных сигналов ПИП применяются калибраторы тока, напряжения, сопротивления, емкости, частоты и другие рабочие эталоны, вводимые непосредственно в структуру ИК и подключаемые в режиме «калибровка» на измерительный вход ИК при отсоединенном ПИП.

Исходной метрологической характеристикой, оцениваемой при калибровке ИК, является статическая характеристика преобразования (СХП) [2], определяемая путем многократного задания эталонного сигнала на входе ИК в контролируемых  $i$ -х точках диапазона измерения и считывания  $j$ -го результата  $u_{ij}$  в установившемся режиме функционирования ИК, представляемая в табличной форме:

Таблица 1

Исходные данные						
№ измерения	Эталонный сигнал					
	$x_1$	$x_2$	...	$x_i$	...	$x_m$
1	$y_{11}$	$y_{21}$	...	$y_{i1}$	...	$y_{m1}$
2	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
j	...	...	...	$y_{ij}$	...	...

Обработка полученных прямых многократных результатов измерений проводится по стандартной методике [3], в результате чего определяются средние значения  $\bar{y}_i$  выходного сигнала и соответствующие оценки экспериментальной стандартной по типу А неопределенности  $S_i$  для каждой контролируемой  $i$ -й точки диапазона. Длительные наблюдения за точностными характеристиками измерительного канала, получаемые при аттестации и поверках ИК, подтверждают гипотезу о соответствии распределения измеренных значений нормальному распределению, что позволяет выбрать расширенную неопределенность в качестве оценки точности результатов измерений. Проверка гипотезы о соответствии нормальному распределению проводится для совокупности отклонений измеренных значений  $y_{ij}$  от соответствующих средних значений  $\bar{y}_i$  в каждой точке СХП, в результате чего образуется репрезентативная выборка исходных данных и получают устойчивые оценки. Применяя метод наименьших квадратов, определяют коэффициенты аппроксимирующей функции  $y_H = kx + y_0$  и принимают эту функцию в качестве номинальной СХП измерительного канала, пользуясь которой оценивают измеряемую величину. Отклонения  $\Delta_{нпi} = y_{нi} - \bar{y}_i$  измеренных  $y_{нi}$  по номинальной СХП значений относительно средних экспериментальных  $\bar{y}_i$  значений статической характеристики преобразования будут характеризовать нелинейность измерительного канала и используются для оценки класса точности измерительного канала.

Особым является вопрос оценивания влияния погрешности рабочего эталона, используемого в качестве имитатора сигналов первичного измерительного преобразователя.

Для рабочих эталонов оценками точности являются границы неисключенной систематической составляющей погрешности  $\theta_3$  и стандартное отклонение  $S_3$ , что позволяет оценить суммарную стандартную неопределенность имитатора.

$$S_{им} = \sqrt{\left(\frac{\theta_3^2}{3} + S_3^2\right)}$$

Стандартная неопределенность имитатора  $S_{им}$  принимается существенной, если [2]

$$S_{им} \geq 0,2 S_{ПИП}$$

Учитывая разнообразие первичных измерительных преобразователей (температуры, силы, давления, влажности, ускорения, тока и т.п.) и условия их применения, калибровка их в процессе измерения весьма трудоемка и не всегда реализуема, так как ПИП размещаются на объекте измерения и доступ к ним ограничен. Поэтому для оценивания точности преобразования приходится пользоваться номинальными паспортными характеристиками ПИП, предварительно проверив их в случае необходимости. Как правило, номинальными точностными характеристиками ПИП выбираются границы наибольшей допустимой абсолютной, относительной или приведенной погрешности. Такие нормируемые оценки погрешностей ПИП позволяют предположить равномерный закон распределения суммарной погрешности и вычислить оценку  $S_{ПИП}$  стандартной неопределенности значения выходного сигнала ПИП по известному для равномерного распределения соотношению:

$$S_{ПИП} = \frac{\Delta_{max}}{\sqrt{3}}$$

где  $\Delta_{max}$  – предел допускаемой погрешности.

Оперативная периодическая калибровка измерительного канала с использованием имитаторов сигнала первичного измерительного преобразователя существенно повышает точность измерений, так как автоматически учитываются изменения метрологических характеристик ИК в процессе функционирования в реальных условиях эксплуатации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Чубатенко В.Я. Особливості оцінювання невизначеності вимірювань, реалізованих вимірювальними каналами // Труды IV МНТК «Метрологія-2004». – Х.: ННЦ «Інститут метрології», 2004. – С. 130 – 137.
2. ГОСТ 8.508 Метрологические характеристики средств измерений и точностные характеристики средств автоматизации ГСП. Общие методы оценки и контроля. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 53 с.
3. Захаров И.П., Кукуш В.Д. Теория неопределенности в измерениях. – Х.: Консум, 2002. – 255 с.

Поступила 13.04.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.В. Руженцев, Харьковский национальный университет радиоэлектроники.