

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ КАЛИБРОВКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Ю. В. КУЧЕРЕНКО

ФБУ «Пензенский ЦСМ», Пенза, Россия, e-mail: Kucherenko.J.V@yandex.ru

Представлен способ повышения точности калибровки измерительных каналов измерительных систем, заключающийся в учете нестабильностей рабочего эталона и самих каналов.

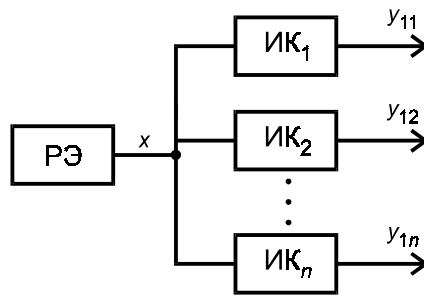
Ключевые слова: временная нестабильность, измерительные каналы и системы.

The method of measuring systems measuring channels calibration accuracy increase consisting in accounting of the working standard instability and of the channels themselves is presented.

Key words: time instability, measuring channels and systems.

В [1] показано, что при калибровке измерительных каналов (ИК) измерительных систем нельзя не считаться с нестабильностью рабочего эталона (РЭ), с помощью которого проводится калибровка ИК. Рассмотрим способ повышения точности калибровки ИК измерительных систем, состоящий из двух этапов: на первом оценивается нестабильность РЭ, а на втором – вводится поправка в результаты РЭ передачи единиц величин ИК.

Первый этап основан на использовании данных, полученных в [2]. Если оценку нестабильности РЭ обычно осуществляют с помощью эталона более высокого разряда, то в данном случае применяется оценка математического ожидания нестабильности, полученная после статистической обработки результатов измерений с многократными наблюдениями партии n экземпляров средств измерений (СИ). При этом проводят две серии измерений величины, воспроизводимой РЭ, через некоторый интервал времени. Как показано в [2], для оценки нестабильности РЭ, достаточно не менее восьми экземпляров СИ. Известно, что измерительные системы состоят из множества однотипных ИК, обладающих соизмеримыми границами стабильности, поэтому для повышения точности их калибровки можно использовать результаты, полученные в [2].



Поверочная схема передачи единицы величины рабочим эталоном ИК измерительной системы в момент времени t_1

Таким образом, первый этап заключается в следующем. Допустим, что длительность передачи единиц величин ИК мала, поэтому одним РЭ единица величины передается одновременно всем однотипным ИК. Рассмотрим первый момент времени t_1 , в который осуществляется такая передача единицы величины n однотипным ИК (рисунок). При этом связь между результатом измерений y_{1i} i -го ИК и измеряемой величиной x в момент времени t_1 описывается уравнением вида

$$y_{1i} = f_{\text{ном}}(x) + \varepsilon_{1i},$$

где $f_{\text{ном}}(\cdot)$ – номинальная функция преобразования ИК ИС, аргументом которой является x ; ε_{1i} – абсолютная погрешность результата измерения i -го ИК, которая содержит систематические и случайные составляющие.

После выполнения измерения с многократными наблюдениями величины x случайные составляющие погрешности могут быть уменьшены до пренебрежимо малых значений. При этом среднее арифметическое значение абсолютной погрешности результата измерения, полученного в момент времени t_1 , будет

$$\bar{\varepsilon}_{1i} \approx \varepsilon_{1\text{ИК}} + \varepsilon_{1\text{РЭ}}, \quad (1)$$

где $\varepsilon_{1\text{ИК}}$, $\varepsilon_{1\text{РЭ}}$ – систематические составляющие абсолютной погрешности результата измерения, полученного в момент времени t_1 , связанные с несовершенством i -го ИК и непостоянством единицы, передаваемой РЭ ему величины, соответственно.

Выполнив те же процедуры через некоторый интервал времени в предположении, что измерения проведены в условиях воспроизводимости (т. е. в одной лаборатории при одинаковых условиях, когда независимые результаты измерений получены одним и тем же методом, с применением одного и того же РЭ, одним и тем же оператором), получим среднее арифметическое значение абсолютной погрешности результата измерения, полученного в момент времени t_2 :

$$\bar{\varepsilon}_{2i} \approx \varepsilon_{2\text{ИК}} + \varepsilon_{2\text{РЭ}}, \quad (2)$$

где $\varepsilon_{2\text{ИК}}$, $\varepsilon_{2\text{РЭ}}$ – систематические составляющие абсолютной погрешности результата измерения, полученного в момент времени t_2 .

При вычитании (1) из (2) имеем

$$\bar{\varepsilon}_{2i} - \bar{\varepsilon}_{1i} \approx (\varepsilon_{2\text{ИК}} - \varepsilon_{1\text{ИК}}) + (\varepsilon_{2\text{РЭ}} - \varepsilon_{1\text{РЭ}}). \quad (3)$$

Скорее всего, разность (3) будет отлична от нуля, что обусловлено нестабильностями ИК и РЭ.

Введем обозначения

$$v_{\text{ИК}}(t_2 - t_1) = \varepsilon_{2\text{ИК}} - \varepsilon_{1\text{ИК}};$$

$$v_{\text{РЭ}}(t_2 - t_1) = \varepsilon_{2\text{РЭ}} - \varepsilon_{1\text{РЭ}},$$

где $v_{\text{ИК}}(\cdot)$, $v_{\text{РЭ}}(\cdot)$ – соответственно функции, отражающие зависимость изменения систематических составляющих абсолютных погрешностей i -го ИК и РЭ от интервала времени.

Тогда разность (3) можно представить в виде

$$\bar{\varepsilon}_{2i} - \bar{\varepsilon}_{1i} \approx v_{\text{ИК}}(t_2 - t_1) + v_{\text{РЭ}}(t_2 - t_1).$$

Учтем, что при принятых допущениях разность средних арифметических значений систематических составляющих погрешности результатов измерений равна разности средних арифметических значений результатов измерений и получим

$$\bar{y}_{2i} - \bar{y}_{1i} \approx v_{\text{ИК}}(t_2 - t_1) + v_{\text{РЭ}}(t_2 - t_1),$$

откуда

$$v_{\text{РЭ}}(t_2 - t_1) \approx (\bar{y}_{2i} - \bar{y}_{1i}) - v_{\text{ИК}}(t_2 - t_1). \quad (4)$$

Если (4) усреднить по i , то можно получить оценку нестабильности РЭ на интервале времени $(t_2 - t_1)$ в виде

$$\tilde{v}_{\text{РЭ}}(t_2 - t_1) \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\bar{y}_{2i} - \bar{y}_{1i}) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_{\text{ИК}}(t_2 - t_1). \quad (5)$$

В предположении, что нестабильность i -го ИК случайная величина случайная, с увеличением n «вес» последнего слагаемого выражения (5) будет уменьшаться и, как показано в [2], при $n \geq 8$ за оценку

нестабильности РЭ на интервале времени $(t_2 - t_1)$ можно принять примерное равенство

$$\tilde{v}_{\text{РЭ}}(t_2 - t_1) \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\bar{y}_{2i} - \bar{y}_{1i}).$$

Второй этап состоит в оценке нестабильности РЭ на интервале $(t_2 - t_0)$, где t_0 – момент времени, в который проведена калибровка РЭ (т. е. передача ему единицы величины эталоном более высокого разряда). При этом оценка нестабильности РЭ на интервале $(t_2 - t_0)$ проводится в предположении линейной модели изменения во времени единицы величины, воспроизводимой РЭ. Тогда оценка действительного значения единицы величины, воспроизводимой РЭ в момент времени t_2 , имеет вид

$$\tilde{x}(t_2) \approx \tilde{x}(t_0) + \tilde{v}_{\text{РЭ}}(t_2 - t_1) \left[(t_2 - t_0) / (t_2 - t_1) \right],$$

где $\tilde{x}(t_0)$ – оценка действительного значения единицы величины, воспроизводимой РЭ в момент времени t_0 , известная из результатов его калибровки.

В случае выполнения трех и более калибровок ИК в течение времени между калибровками РЭ можно применять не только линейные, но и другие модели, рассмотренные [3], построенные на основе оценок нестабильности РЭ на интервалах времени $(t_2 - t_1)$, $(t_3 - t_2)$, $(t_4 - t_3)$ и т. д.

Таким образом, рассмотренный способ позволяет повысить точность калибровки ИК измерительных систем благодаря введению поправки на нестабильность рабочего эталона, при помощи которого осуществляется калибровка.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Данилов А. А., Кучеренко Ю. В., Федосеева Т. А. О калибровке измерительных каналов измерительных систем // Измерительная техника. 2011. № 5. С. 61 – 63; Danilov A. A., Kucherenko Yu. V., Fedoseeva T. A. Calibration of the measurement channels of measuring instruments // Measurement Techniques. 2011. V. 54. N 5. P. 570 – 574.
2. Бержинская М. В. Об оценивании нестабильности средства сличения // Коммерческий учет энергоносителей: Тез. докл. XXIX Междунар. науч.-практ. конф. С.-Пб., 2009. С. 204 – 213.
3. Новицкий П. В., Зограф И. А., Лабунец В. С. Динамика погрешностей средств измерений. Л.: Энергоатомиздат, 1990.

Дата принятия 27.06.2012 г.