

которых проводится идентификация источника информации, используются тип, заводской номер и место установки ПИП. В целях проверки легитимности применяемых СИ в базу данных системы вводятся даты очередной поверки теплосчетчика и его измерительных компонентов, а также начала и окончания допуска узла учета к эксплуатации. Для использования в качестве критериев достоверности результатов измерений в базе данных системы хранятся допустимые значения верхних и нижних границ диапазонов измерения давления, расхода и температуры, а также разницы расходов и температур для каждого типа измерительного компонента и каждого трубопровода, на котором этот компонент установлен. В целом в системе используется 52 различных параметра, в том числе для достоверизации результатов измерения количества теплоты и параметров теплоносителя.

Реализация методов контроля, основанных на проверке функций достоверизации, адаптивности и защищенности, заложенных в методику поверки, позволили сократить время поверки системы, включающей на настоящий момент около 7000 измерительных каналов, с нескольких месяцев до нескольких дней с соответствующим снижением стоимости поверки.

Подходы к достоверизации, адаптивности и защищенности информационной части больших систем учета энерго-

ресурсов, рассмотренные выше, предложены в виде требований к метрологическому обеспечению АИИС КУТЭ аналогичного назначения и включены в качестве приложения в утвержденный для добровольного применения национальный стандарт [4], разработанный в ФБУ «Томский ЦСМ» (дата введения: 1 марта 2013 г.)

Л и т е р а т у р а

1. **МИ 3000—2006.** ГСИ. Системы автоматизированные информационно-измерительные коммерческого учета электрической энергии. Типовая методика поверки.
2. **МИ 2999—2011.** Рекомендация. Системы автоматизированные информационно-измерительные коммерческого учета электрической энергии. Рекомендации по составлению описания типа.
3. **ГОСТ Р 8.596—2002.** ГСИ. Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения.
4. **ГОСТ Р 8.778—2011.** ГСИ. Средства измерений тепловой энергии для водяных систем теплоснабжения. Метрологическое обеспечение.

Дата принятия 30.08.2012 г.

621.317

Калибровка измерительных каналов измерительных систем после их градуировки

А. А. ДАНИЛОВ, Ю. В. КУЧЕРЕНКО

ФБУ «Пензенский ЦСМ», Пенза, Россия, e-mail: aa-dan@mail.ru

Рассмотрены вопросы определения параметров функции преобразования измерительных каналов измерительных систем, введения корректирующих поправок и последующего оценивания их метрологических характеристик.

Ключевые слова: измерительные системы и каналы, метрологические характеристики, функция преобразования.

The problems of determination of the transformation function parameters of measuring channels in measuring systems, of inserting corrections and subsequent evaluation of their metrological characteristics are considered.

Key words: measuring systems and channels, metrological characteristics, transformation function.

При проведении периодической проверки состояния метрологического обеспечения (МО) эксплуатируемых средств измерений (СИ) с целью повышения их точности выполняется градуировка функции преобразования СИ с последующим введением корректирующих поправок. В тех случаях, когда градуировка СИ (рис. 1) является одним из этапов их калибровки (или поверки, которая, по сути, та же калибровка, но с принятием заключения о соответствии метрологических характеристик (МХ) установленным нормам), приходится считаться с некоторыми особенностями МО СИ. На

рис. 1 темным фоном выделена цепь последовательно выполняемых при этом процедур, которые будут рассмотрены ниже.

Известно [1], что градуировку и калибровку СИ целесообразно проводить с использованием различных (не менее двух) экземпляров рабочих эталонов (РЭ). В качестве примера относительно немногих СИ, для которых реализована подобная процедура, можно привести электронные весы, в комплект поставки которых включена градуировочная гиря. При этом МХ весов определяют при помощи гирь из другого набора.

Учитывая, что наряду с применением различных экземпляров эталона могут быть рекомендованы несколько вариантов использования одного и того же экземпляра РЭ как для градуировки, так и для калибровки СИ [1]. К сожалению, на практике такой метод перекрестной проверки обычно не применяется, что снижает достоверность калибровки и поверки СИ. Дело в том, что один и тот же экземпляр РЭ, служащий как для градуировки, так и для калибровки, может дать слишком оптимистичный результат для МХ калибруемого СИ, если использовать точечную, а не интервальную оценку погрешности. Именно поэтому нельзя забывать, что к МХ СИ, для которых осуществляется градуировка, следует отнести оценки:

неисключенной систематической погрешности (НСП);
среднего квадратического отклонения случайной погрешности;
вариации.

При этом в оценку НСП СИ, разумеется, должна войти и одноименная погрешность РЭ (о чем иногда забывают).

Если градуировку и калибровку измерительных каналов (ИК) измерительных систем предполагается осуществлять комплектно, то, скорее всего, их будут выполнять в рабочих условиях эксплуатации, сложившихся на момент проведения эксперимента. Следует отметить, что вопрос проведения комплектной калибровки ИК методически не проработан. Остается вопрос, как распространить оценки МХ, полученные для сложившихся условий эксплуатации ИК, на произвольные условия? Кроме того, при комплектной калибровке целесообразно использовать многофункциональные калибраторы [2], которые должны быть малогабаритными, легкими, мобильными, с малыми затратами времени на подготовку к работе, сохраняющими свои МХ в широком диапазоне рабочих условий эксплуатации. Зачастую именно последнее требование к эталонам является определяющим, не позволяющим применять калибраторы в рабочих условиях эксплуатации ИК измерительных систем.

В связи с этим комплектную калибровку приходится заменять поэлементной: отключают первичный измерительный преобразователь (ПИП) и калибруют оставшуюся часть ИК, которая обычно представляет комплексный компонент (КК) вместе с линией связи.

При поэлементной калибровке ИК существенное внимание следует уделить размещению РЭ. С одной стороны, его расположение в месте эксплуатации ПИП (рис. 2, а) не позволяет снизить требования к РЭ в части сохранения МХ в рабочих условиях эксплуатации ПИП, а в некоторых случаях — решить вопросы искробезопасности и взрывозащиты. С другой стороны, нахождение РЭ в месте эксплуатации КК (рис. 2, б) приводит к нарушению симметричности линии связи (которая была при подключенном ПИП), а следовательно, к увеличению составляющей погрешности от воздействия продольной и поперечной помех на линию связи [3]. Возможен и третий вариант (рис. 2, в), заключающийся в поэлементной проверке ПИП, КК и линии связи с помощью средств проверки линий связи (СПЛС).

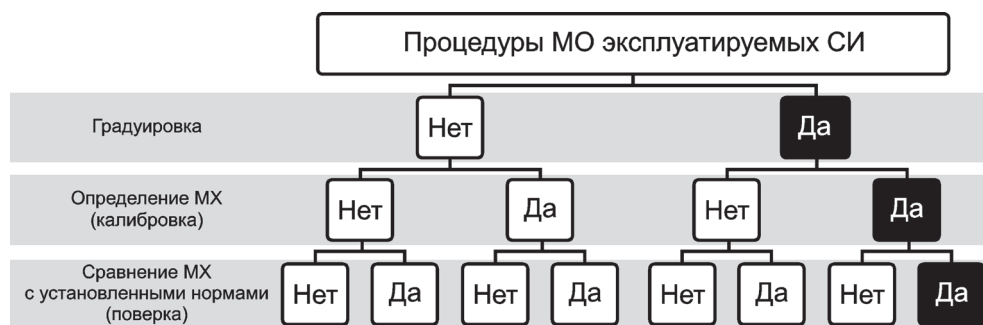


Рис. 1. Процедуры МО эксплуатируемых СИ

Следует отметить, что вопрос проведения калибровки ИК после градуировки его компонентов также методически не проработан. Здесь возможны три варианта:

комплектные градуировка и калибровка;
градуировка и калибровка каждого компонента ИК, а затем расчет их МХ;

имитация комплектных градуировки и калибровки. Первый вариант редко реализуется на практике, поэтому рассмотрим второй и третий варианты и начнем с градуировки. Градуировку каждого компонента ИК (второй вариант) рассмотрим в предположении, что простой ИК состоит из последовательно соединенных ПИП и КК, которые обладают номинальными линейными функциями преобразования (ФП):

$$y_{\text{ном}} = a_{0\text{ном}} + a_{1\text{ном}} x; \quad z_{\text{ном}} = b_{0\text{ном}} + b_{1\text{ном}} y,$$

где $y_{\text{ном}}$, $z_{\text{ном}}$, x , y , $a_{i\text{ном}}$, $b_{i\text{ном}}$ — номинальные значения выходных величин и значения входных величин, а также коэф-

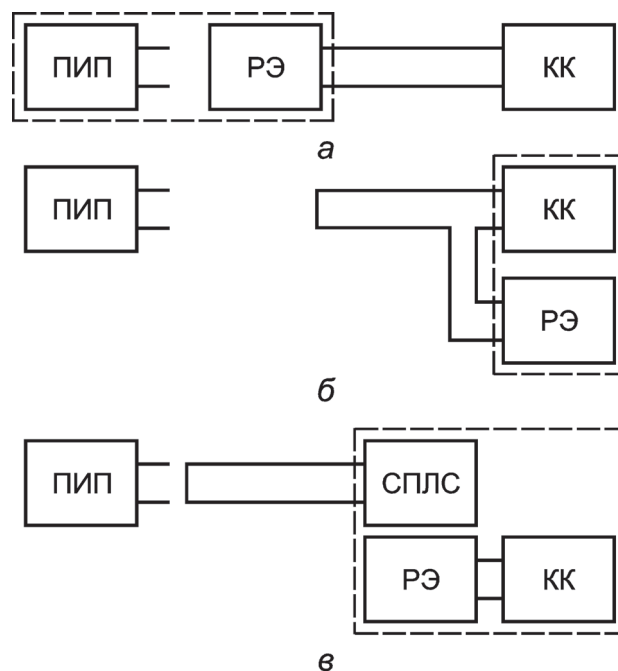


Рис. 2. Способы экспериментальной проверки комплексных компонентов (КК) и линии связи при поэлементной калибровке ИК измерительных систем: ПИП — первичный измерительный преобразователь; РЭ — рабочий эталон; СПЛС — средства проверки линий связи

коэффициенты номинальной линейной ФП соответственно ПИП и КК.

Также предположим, что с целью получения поправок проведены независимые экспериментальные исследования ПИП и КК в нескольких точках диапазона измерений, а затем ФП каждого из них аппроксимирована, например, полиномом второй степени

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2; \quad (1)$$

$$z = b_0 + b_1y + b_2y^2, \quad (2)$$

где a_i, b_i — коэффициенты полиномов.

Предположим, что градуировку выполнили, и выражение для z после подстановки в него выражения для y приобретает вид

$$z = b_0 + b_1(a_0 + a_1x + a_2x^2) + b_2(a_0 + a_1x + a_2x^2)^2.$$

В итоге после преобразований получим

$$z = c_0 + c_1x + c_2x^2 + c_3x^3 + c_4x^4,$$

где $c_0 = b_0 + b_1a_0 + b_2a_0^2$; $c_1 = b_1a_1 + 2b_2a_0a_1$; $c_2 = a_2 + 2b_2a_0a_2 + b_2a_1^2$; $c_3 = 2b_2a_1a_2$; $c_4 = b_2a_2^2$.

Пусть номинальная ФП ИК имеет вид

$$z_{\text{ном}} = c_{0\text{ном}} + c_{1\text{ном}}x,$$

тогда выражение для расчета поправки должно быть

$$\nabla = z - z_{\text{ном}}$$

или

$$\nabla = c_0 - c_{0\text{ном}} + (c_1 - c_{1\text{ном}})x + c_2x^2 + c_3x^4 + c_4x^4, \quad (3)$$

где $c_{0\text{ном}}, c_{1\text{ном}}$ — параметры номинальной ФП.

Полученное значение поправки может быть использовано для корректировки результатов измерений в КК. При этом достоверность коэффициентов в (3) невысока. Поэтому поправку в ФП ПИП можно определять на основе (1) и вводить в ПИП, а поправку в ФП КК — на основе (2) и вводить в КК, хотя это и потребует некоторой структурной избыточности.

При имитации комплектной градуировки ИК измерительных систем (третий вариант) сначала проводят градуировку ПИП в нескольких точках диапазона измерений ИК, а полученные экспериментальные значения выходного сигнала ПИП служат для формирования входного сигнала следующего компонента ИК (например, на рис. 2 с помощью эталона на входе КК). Таким образом, на выходе КК получают по-

казания, соответствующие каждой из проверяемых точек ИК, которые используют при градуировке. Разумеется, полной имитации комплектной градуировки ИК не получается, так как экспериментальные исследования ПИП обычно выполняют в нормальных условиях эксплуатации, которые могут существенно отличаться от фактических условий, что снижает достоверность градуировки.

Предположим, что осуществлена градуировка ИК. Далее возможны четыре варианта оценивания их МХ: по результатам градуировки или проведенной затем калибровки — комплектной, поэлементной или имитированной комплектной.

Разумеется, первый вариант, несмотря на его широкое распространение, обладает меньшей достоверностью, поскольку при оценивании МХ ИК измерительных систем, необходимо учитывать НСП эталона дважды — при определении как доверительных границ результатов измерений, так и поправки. Как отмечено выше, вариант комплектной калибровки с участием второго экземпляра эталона редко применим на практике, хотя и обладает большей достоверностью по сравнению с первым вариантом. Поэтому приходится использовать поэлементную калибровку или имитацию комплектной калибровки. Какой из этих двух вариантов выбрать, необходимо решать в каждом конкретном случае. Это и обуславливает целесообразность разработки методических рекомендаций, в которых для оценки прослеживаемости результатов калибровки могут быть использованы данные, представленные в [4].

Выводы. При градуировке и калибровке СИ целесообразно применять различные экземпляры РЭ. Требуется методическая проработка вопросов распространения оценок МХ ИК измерительных систем, полученных для сложившихся условий их эксплуатации, на произвольные условия эксплуатации, а также проведения калибровки ИК после градуировки его компонентов.

Литература

1. Померанцев А. Л. Калибровка (градуировка). 2008 [Электрон. версия] <http://chemometrics.ru/materials/textbooks/calibration.htm#Ch1.3> (дата обращения: 01.06.2012 г.).
2. Яковлев Ю. Н. Калибровка измерительных каналов систем многофункциональными калибраторами // Главный метролог. 2011. № 6. С. 13—26.
3. Левшина Е. С., Новицкий П. В. Электрические измерений физических величин. Л.: Энергоатомиздат, 1983. С. 62—65.
4. 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.

Дата принятия 30.08.2012 г.