

УДК 006.91

О.Е. Малецкая¹, М.В. Москаленко²

¹ *Национальный научный центр "Институт метрологии", Харьков*

² *Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков*

КАЛИБРОВКА СИТ: ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ И НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

В статье анализируются проблемы проведения калибровки средств измерительной техники в соответствии с международными требованиями. Рассматриваются возможные направления решения этих проблем и приведены рекомендации по реализации оценки погрешности СИТ и неопределенности измерений при калибровке.

Ключевые слова: *калибровка, калибровочная лаборатория, метрологические характеристики, , неопределенность измерений, погрешность, средство измерительной техники.*

Введение

Постановка проблемы. В связи с появлением в 2011-2012 г.г. нескольких различных редакций проекта Закона Украины «О метрологии и метрологиче-

ской деятельности» метрологи стали уделять особое внимание к процедуре проведения калибровки средств измерительной техники (СИТ) в соответствии с международными требованиями. Это особое внимание также связано с тем, что испытательные

лаборатории с 2013 г. должны по требованию Национального агентства по аккредитации Украины (НААУ) иметь свидетельства о калибровке, а не о поверке СИТ. Это активизировало действия территориальных органов Минэкономразвития Украины и некоторых предприятий по подготовке к аккредитации калибровочных лабораторий в НААУ в соответствии с требованиями ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 [1]. С 1998 г. в соответствии с действующим Законом Украины «О метрологии и метрологической деятельности» [2] калибровка проводится в виде установления в определенных условиях или контроля метрологических характеристик СИТ, применяемых вне сферы распространения государственного метрологического надзора. В соответствии с международными требованиями на основании международного словаря по метрологии (VIM) [3] калибровка СИТ (calibration) рассматривается как "операция, с помощью которой при заданных условиях, на первом этапе, устанавливаются соотношения между значениями величины с неопределенностями измерения, которые обеспечивают эталоны, и соответствующими показаниями со связанными с ними неопределенностями измерения, а на втором этапе, используют эту информацию для установления зависимости наблюдаемого результата измерения от показания».

Внедрение международного определения понятия «калибровка СИТ» в отечественную метрологическую практику повлекло за собой необходимость разработки новых нормативных документов, регламентирующих правила, нормы и требования к проведению экспериментальных исследований и их обработке при проведении этой метрологической работы. На сегодняшний день отсутствие таких документов вызывает много вопросов на практике. В феврале 2013 г. НААУ утвердило документ «Особливості застосування окремих вимог ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 під час акредитації калібрувальних лабораторій» [4]. Однако, этот документ только повторяет некоторые положения стандарта [1], не вносит никаких конкретных требований и, таким образом, совершенно не влияет на решение возникшей проблемы проведения калибровки СИТ в соответствии с международными требованиями.

Анализ последних достижений и публикаций. Проблема, рассматриваемая в этой статье, является достаточно актуальной. Калибровка СИТ непосредственно связана с доверием к результатам проводимых измерений и испытаний продукции, что особенно требуется при подтверждении соответствия продукции и обеспечении ее конкурентоспособности. Для обеспечения доверия к результатам калибровки необходимо соблюдать требования методик калибровки к проведению экспериментальных исследований и представлению этих результатов. Т.к. проблема актуальна, то имеется достаточно публикаций, направленных на решение этой проблемы, а также разработаны международные доку-

менты, которые охватывают некоторые вопросы, относящиеся к данной проблеме.

Формулирование цели статьи. Цель данной статьи – обратить внимание метрологов на необходимость разработки, прежде всего, основополагающих методик калибровки для разных групп СИТ, которые должны стать основой для разработки методик калибровки на конкретные типы СИТ. При разработке основополагающих (типовых) методик калибровки должны быть установлены методы экспериментального определения погрешности СИТ, определены уравнения измерений, дана основа для разработки бюджета неопределенности измерений при калибровке аналогичных СИТ и обеспечено правильное оформление результатов калибровки.

Изложение основного материала

Основной ошибкой поспешного внедрения в Украине проведения калибровки с оценкой действительного значения погрешности СИТ и оценки неопределенности измерений, с которой калибровочная лаборатория определила действительное значение погрешности, стало отсутствие выработанной концепции. А значит не была установлена методология внедрения процесса калибровки, а значит не были установлены соответствующие принципы, методы и методики. Эта концепцию не поздно разработать и сейчас, используя накопленный опыт метрологов теоретиков и практиков, и действующие нормативные документы по метрологии, которые на практике подтвердили целесообразность содержащихся положений, правил и требований. На сегодняшний день отсутствие такой концепции приводит к тому, что технические эксперты, участвующие в аккредитации калибровочных лабораторий, не имеют однозначных требований к проведению проверки лаборатории. При этом несогласованные и часто ничем не обоснованные требования могут привести к нарушению единства измерений в Украине, что скажется на качестве выпускаемой продукции и ее конкурентоспособности.

Рассмотрим первую часть определения калибровки в соответствии с VIM – установление соотношения между значениями величины, которые обеспечивают эталоны, и соответствующими показаниями калибруемого СИТ.

Установление соотношения необходимо рассматривать как определение погрешности калибруемого СИТ. Погрешность СИТ в международной и отечественной метрологической практике рассматривается как разность между показаниями СИТ и действительным значением измеряемой величины (которое обеспечивается с помощью эталона). По VIM и ДСТУ ГОСТ 8.009:2008 [5] определения понятий «максимальная допускаемая погрешность» и «предел допускаемой погрешности» практически совпадают. Эти понятия обозначают предельное значение погрешности измерения, разрешенное спе-

цификацией или нормативными документами для данного СИТ. Расчет этого значения осуществляется по ДСТУ ГОСТ 8.009:2008 [5] на основе проведенных экспериментальных исследований. При этом эталонные средства для калибровки СИТ необходимо выбирать на основании соответствующей государственной поверочной схемы. Таким образом, при проведении калибровки должно быть:

- выбрано эталонное средство;

- определено количество исследуемых (контролируемых) точек по диапазону измерения (если заказчик не установил конкретные требования). В качестве исследуемых точек обычно выбираются такие, которые равномерно размещены в диапазоне измерения, не менее 5 - 6, включая 0 и 100 % измеряемой величины;

- исследованы контрольные точки. Для СИТ обычно исследуются точки 0, 25, 50, 75, 100 % рабочего диапазона измерения. Количество наблюдений в исследуемых точках для получения достоверных данных о погрешностях должно быть не менее 10 независимых наблюдений при изменении входного сигнала со стороны меньших (больших) значений до расчетного значения в исследуемой точке. При этом можно принять другое решение по количеству наблюдений в исследуемых точках, если это технически обосновано, например, случайная составляющая погрешности является пренебрежительно мала по сравнению с систематической, отсутствует (пренебрежимо мала) вариация показаний или проведение многократных наблюдений при измерениях технически невозможно или экономически необоснованно. Однако, в этом случае должно быть принято решение по определению неопределенности по типу А;

- определено значение абсолютной погрешности СИТ в контролируемых точках.

В настоящее время среди метрологов ведется дискуссия о необходимости оценки погрешности СИТ и ее указании в документах, выдаваемых по результатам калибровки. Некоторые метрологи свое мнение об отсутствии необходимости определять погрешность СИТ основывают на имеющихся примерах сертификатов калибровки, выданных зарубежными фирмами. Но имеется много примеров, когда сертификаты калибровки на импортные СИТ не соответствуют международным требованиям. На наш взгляд, для СИТ обязательно должна быть определена именно погрешность, значение которой можно сравнить с максимально допустимой погрешностью, установленной изготовителем данного средства. Это соответствует требованиям ДСТУ ISO 10012:2005 [6], что калибровка имеет непосредственное отношение к метрологическому подтверждению (*metrological confirmation*) - совокупности операций, необходимых для гарантирования соответствия измерительного оборудования требованиям к его использованию по назначению.

Для некоторых СИТ, например, мер, достаточно при калибровке установить действительное значение

на момент калибровки, при этом разница между действительным значением и номинальным по сути будет характеризовать погрешность данной меры. Для некоторых СИТ при калибровке может быть установлена поправка, которая в соответствии с VIM «определяется как компенсация для оцененного систематического эффекта. Компенсация может иметь различные формы, такие как дополнительное слагаемое или коэффициент, или может находиться из таблицы».

Рассмотрим вторую часть определения калибровки – неопределенность измерения, которая является мерой качества проведенной калибровки. В международной практике при проведении калибровки учитывается ее иерархия. VIM определяется иерархию калибровки следующим образом: «иерархия калибровки - последовательность калибровок, начиная от ссылки и кончая измерительной системы, где результат каждой калибровки зависит от результата предыдущей калибровки. Примечание 1. Неопределенность измерения неизбежно возрастает вместе с последовательностью калибровок. Примечание 2. Элементами иерархии калибровки являются один или более эталонов и измерительные системы, функционирующие в соответствии с процедурами измерений».

В Украине функцию основополагающей иерархии калибровки для конкретного СИТ выполняет соответствующая государственная поверочная схема.

Для оценки неопределенности измерений при калибровке необходимо, но не достаточно знать общую теорию неопределенности измерений. Практика проведения калибровки СИТ показала, что при калибровке различных групп и типов СИТ появляются новые проблемы оценки неопределенности. При чем все они связаны с тем, как было составлено уравнение измерений и как была оценена погрешность калибруемого СИТ. Очевидно, что практически во всех случаях для входящих в уравнение измерений величин необходимо будет оценивать неопределенность по типу А или по типу В. При этом метод оценки этих неопределенностей будет зависеть от примененного при калибровке метода передачи размера единицы измерений. При передаче размера единицы измерений используются в соответствии с поверочными схемами, которые правомочны и для калибровки СИТ [7];, следующие методы:

1) прямые измерения СИ, которое калибруется, величины, которая воспроизводится эталонной мерой;

2) непосредственное сличение СИ, которое калибруется, и эталонного СИ;

3) косвенное измерение СИ, которое калибруется, значений физических величин, которые воспроизводятся эталонными мерами;

4) прямое измерение эталонным СИ величины, которая воспроизводится мерой, которая калибруется;

5) сличение воспроизводимых значений физической величины эталонной мерой и мерой, которая калибруется, с помощью компаратора;

б) косвенное измерение эталонным средством величин, которые воспроизводятся мерами.

Методы 1-3 применяются при калибровке СИ, а методы 4-6 - при калибровке мер. Методы 1 и 3 также могут использоваться при калибровке компараторов и вычислительных компонентов.

Неопределенность измерений при калибровке характеризует качество установления погрешности СИТ, т.е. неопределенностью измерения разницы между значением X_s , которое воспроизводится эталонной мерой или измеряется эталонным СИ, и значением X_c , которое измеряется или воспроизводится калибруемым СИТ:

$$\Delta = X_c - X_s.$$

При калибровке мер оценивается величина действительного значения этой меры и неопределенность установления этого действительного значения X_c методом измерения эталонным СИ или сравнением с эталонной мерой X_s . Поправка в этом случае определяет разницу между номинальным X_N и действительным X_c значениями мер:

$$\Delta = X_c - X_N.$$

Оценка неопределенности при калибровке мер заключается в оценке неопределенности установления номинального значения меры.

При составлении уравнений измерений для оценки неопределенности необходимо учитывать влияющие величины, действия которых не могут быть учтены на основе экспериментальных исследований, но они существенны для получения достоверных результатов калибровки. Например, влияющие величины, связанные с нестабильностью воспроизводимого значения, с отклонениями условий эксплуатации (параметры окружающей среды, напряжения питания, вибрация и др.), погрешностями квантования СИТ, взаимным влиянием эталонного и калибруемого средств. Включение в уравнение измерений влияющих величин должно быть обосновано на основании поставленной задачи калибровки и нормированной погрешности СИТ.

Некоторые из влияющих величин, которые входят в уравнение измерений, могут зависеть от одних и тех же факторов, при этом, при расчете суммарной стандартной неопределенности учитываются коэффициенты корреляции.

На основе предложенного подхода к оценке неопределенности при калибровке СИТ в ННЦ «Институт метрологии» разработана методика РМУ 13-064-2008 [7]. В этой методике приведены методы расчета неопределенности в зависимости от того, какой метод передачи размера единицы измерений используется при калибровке СИТ, указаны алгоритмы и процедуры оценки стандартной, суммарной, расширенной неопределенности для указанных выше методов калибровки. А также разработана методика МІ 13.002-2003 [8], в которой даны рекомендации по составлению уравнений измерений.

При оценке неопределенности калибровки необходимо также использовать международные документы, например ЕА, которые регламентируют проведение калибровки отдельных групп СИТ, и руководство ISO/IEC Guide 98-3:2008, которое, как сказано в VIM, признано промышленностью.

Выводы

Таким образом, можно сделать вывод, что проведение калибровки СИТ с указанием неопределенности измерений требует серьезной научно-технической подготовки, которая должна включать разработку:

- процедуры оценки необходимости для предприятия проводить установление погрешности СИТ со значением неопределенности измерений или оценки пригодности СИТ к проведению измерений на предприятии на основании контроля погрешности СИТ;
- процедур калибровки для конкретных групп СИТ;
- методических документов, определяющих оценки неопределенности измерений, в том числе составление уравнения измерения при калибровке, бюджета неопределенности измерений, которые должны стать основой для разработки калибровочными лабораториями методик калибровки;
- национальных нормативных документов по метрологии на основе гармонизации с основополагающими международными документами.

Список литературы

1. ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025:2005, IDT). - К.: Держспоживстандарт України. - 18 с.
2. Закон Украины "О метрологии и метрологической деятельности" № 113/98-ВР от 11.02.1998 г. с изменениями от 15.06.2004 г.
3. ISO/IEC Guide 99:2007 International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM) (Международный словарь по метрологии – Основные и общие понятия и соответствующие термины (VIM))
4. Особливості застосування окремих вимог ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 під час акредитації калібрувальних лабораторій, документ утверджено наказом НААУ от 14.02.2013 г. № 165-Я (см. офіційний сайт НААУ).
5. ДСТУ ГОСТ 8.009:2008 ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.
6. ДСТУ ISO 10012:2005 Системи управління измерениями. Требования к процессам измерения и измерительному оборудованию (ISO 10012:2003, IDT).
7. РМУ 13-064-2008 Метрология. Методика расчета неопределенности измерений при проведении калибровки средств измерительной техники.
8. МІ 13.002-2003. Методика обґрунтування рівнянь вимірювань та оцінки методичної складової похибки (невизначеності) результатів вимірювань.

Поступила в редколлегию 21.02.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.П. Захаров, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

КАЛІБРУВАННЯ ЗВТ: ОЦІНКА ПОХИБКИ ТА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ

О.Є. Малецька, М.В. Москаленко

У статті аналізуються проблеми проведення калібрування засобів вимірювальної техніки відповідно до міжнародних вимог. Розглядаються можливі напрями вирішення цих проблем, наводяться рекомендації щодо оцінки похибки ЗВТ і невизначеності вимірювань при калібруванні.

Ключові слова: калібрування, калібрувальна лабораторія, метрологічні характеристики, невизначеність вимірювань, похибка, засіб вимірювальної техніки.

CALIBRATION OF MEASURING INSTRUMENTS: ERROR ESTIMATION AND MEASUREMENT UNCERTAINTY

O.E. Maletska, M.V. Moskalenko

In the article problems of the measuring instruments' calibration in accordance with international requirements are analyzed. Possible ways of solving these problems are examined, recommendations for measuring instruments' error estimation and measurement uncertainty during the calibration are provided.

Keywords: calibration, calibration laboratory, measuring instrument, metrology descriptions, measurement uncertainty.