

УДК 006.91

О.Е. Малецкая, М.В. Москаленко, А.Е. Олейник, А.В. Прокопов

Национальный научный центр «Институт метрологии», Харьков, Украина

## РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ ОЦЕНИВАНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ КАЛИБРОВКЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

В статье рассматриваются вопросы, связанные с разработкой нормативных документов по метрологии, определяющих методики оценки неопределенности измерений при калибровке средств измерительной техники. Проанализированы имеющиеся требования к оценке неопределенности в законодательстве Украины и действующих нормативных документах. Предложена процедура формирования номенклатуры документов по оценке неопределенности при калибровке, а также рассмотрены методические основы ее оценки при использовании различных методов калибровки. Приведена информация о разработанных в ННЦ «Институт метрологии» основополагающих методических документов по оценке неопределенности при калибровке средств измерительной техники.

**Ключевые слова:** калибровка средств измерительной техники, неопределенность измерений, нормативные документы.

### Постановка проблемы

В связи с вступлением Украины в Всемирную торговую организацию, что предусматривает расширение международного сотрудничества, задача представления результатов калибровки в соответствии с требованиями международных документов становится особенно актуальной задачей. Такими международными документами в первую очередь является GUM [1], в котором установлены основные принципы и правила оценки неопределенности измерений, а также международный стандарт ISO/IEC 17025 [2], в котором определены основные требования к представлению результатов калибровки с указанием неопределенности. Для согласования требований заказчика и поставщика продукции при указании точности результата измерений должна быть учтена неопределенность измерений при калибровке применяемых средств измерительной техники (далее - СИТ). При этом необходимо, чтобы алгоритмы обработки данных при оценке неопределенности были согласованы между заказчиком и поставщиком продукции. Эту задачу реализуют разработкой нормативных документов, устанавливающих единые методы оценивания неопределенности измерений, в том числе и при калибровке СИТ.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Задача, рассматриваемая в этой статье, направлена на обеспечение единства измерений на основе разработки методических документов, регламентирующих процедуры и методы оценки неопределенности измерений при передаче размера единицы измерений во время проведения калибровки СИТ.

Вопросы, связанные с разработкой методов и методик оценки неопределенности измерений при калибровке, рассматривались, в частности, в таких публикациях, как [3 – 8].

**Формулирование цели статьи.** Проанализировать необходимость разработки методических основ оценки неопределенности измерений при калибровке,

разработать методические документы, согласованных с требованиями международных документов, и методические подходы к ее оценке при использовании различных методов калибровки.

### Изложение основного материала

Нормативные документы по метрологии представлены значительной номенклатурой, но документы, регламентирующие требования к оценке неопределенности измерений при калибровке СИТ, практически отсутствуют. Это связано с тем, что только с 2005 г. в законодательстве Украины [9] появилось положение о возможности нормирования точности измерений с помощью оценки неопределенности измерений. В 2002 г. в ННЦ «Институт метрологии» было переведено GUM [1] на украинский язык [10]. В 2001 г. в Украине был введен в действие национальный стандарт, гармонизированный с ISO/IEC 17025 [2] версии 1999 г. С этого же времени начата работа по гармонизации международных стандартов, регламентирующих оценку неопределенности измерений.

Нормативная база государственной метрологической системы состоит из документов различных уровней: межгосударственных документов, национальных стандартов, в т.ч. гармонизированных с международными стандартами, и методических документов [6].

Уровень нормативной базы государственной метрологической системы зависит от таких факторов, как:

- разработка необходимой и достаточной для обеспечения единства измерений в Украине номенклатуры нормативных документов по метрологии;
- своевременная актуализация нормативных документов с требованиями законодательных и других нормативно-правовых актов;
- гармонизация требований нормативных документов с требованиями международных документов в зависимости от потребностей экономики Украины.

Эти же факторы распространяются и на документы, регламентирующие методики оценки неопределенности измерений при калибровке СИТ. Целью разработки таких нормативных документов является получение, на основе проведенной калибровки СИТ, достоверных результатов измерений характеристик и параметров продукции, не вызывающих спорных вопросов при поставке продукции. Эта задача состоит из нескольких подзадач, из которых в этой статье рассматривается три направления:

- 1) формирование номенклатуры необходимых нормативных документов;
- 2) установления содержания этих документов исходя из уровня, который они занимают в системе документов по оценке неопределенности измерений;
- 3) разработка методов оценки неопределенности измерений при калибровке СИТ.

Номенклатура нормативных документов должна определяться на основании требования ISO/IEC 17025 [2] об указании неопределенности измерений в сертификате калибровки СИТ и потребностей национальной экономики в неукоснительном исполнении данного требования. Учитывая то, что предприятия и организации Украины в данный момент практически не обращаются с заявками о калибровке СИТ в организации Госпотребстандарта, и то, что калибровка проводится на предприятиях как контроль метрологических характеристик СИТ, то разработка методик по оценке неопределенности измерений при калибровке СИТ является перспективной метрологической работой. Однако, на сегодняшний день для реализации требований международных стандартов, необходимо разрабатывать основополагающие документы в данной области, на основании которых будут разрабатываться методические документы по оценке неопределенности измерений при калибровке конкретных групп и типов СИТ.

На основе такого подхода в ННЦ «Институт метрологии» была поставлена задача разработать методологические основы оценки неопределенности измерений при калибровке СИТ. В результате были выбраны как приоритетные такие направления – разработка формы сертификата калибровки для национальных метрологических институтов КООМЕТ и свидетельства о калибровке СИТ, соответствующие требованиям [2], и разработка методики расчета неопределенности измерений при проведении калибровки СИТ.

Были проанализированы методы, которые применяются при проведении калибровки. В результате было установлено, что применяемый метод калибровки определяет уравнение измерений, которое используется для оценки неопределенности. При этом оценка проводится по соответствующему алгоритму, а уравнение учитывает вид измерений, установленную изготовителем точность СИТ и требование заказчика к калибровке СИТ. Была разработана методика [11], помогающая обосновать эту уравнение.

В зависимости от подчиненности СИТ при проведении калибровки СИТ делятся на эталонные и СИТ, которые калибруются. В качестве эталонных

СИТ могут использоваться государственные первичные эталоны, вторичные и рабочие эталоны. СИТ, которые прошли калибровку, в свою очередь, используются как эталонные средства для менее точных СИТ в соответствии с поверочными схемами.

Как пример, рассмотрим два основных метода получения значений измеряемых величин: непосредственной оценки и сравнения с мерой.

Метод непосредственной оценки – метод измерения, при котором значение величины определяют непосредственно по отсчетному устройству СИТ.

Метод сравнения с мерой – метод измерения, при котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой.

Соответственно все СИТ, которые принимают участие в калибровке можно разделить на две группы: меры и средства измерений (СИ).

Мера – измерительное устройство, которое реализует воспроизведение и/или хранение физической величины заданного значения [12].

Средство измерений (СИ) – СИТ, которое реализует процедуру измерения [12].

Конкретная процедура оценивания неопределенности измерений зависит от метода измерений, используемого при калибровке.

При передаче размера единицы измерений используются в соответствии с поверочными схемами, которые правомочны и для калибровки СИТ [13]: 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;
- 6) 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.

В процессе калибровки оценивается величина, характеризующая точность СИ. Качество установления этой точности СИ характеризуется неопределенностью измерений при калибровке, т.е. неопределенностью измерения разницы между значением  $X$ , которое воспроизводится эталонной мерой или измеряется эталонным СИ, и значением  $X_c$ , которое измеряется или воспроизводится СИ, которое калибруется:

$$\Delta = X_c - X_s .$$

Точность СИ нормируется изготовителем для каждого типа СИТ или конкретного экземпляра СИТ, и может называться по-разному, в зависимости от

используемых международных или национальных документов: погрешность, поправка, ошибка или точность. Эта разница может использоваться для внесения поправки в результат измерения при применении конкретного СИТ. При этом значение неопределенности измерений при калибровке показывает уровень качества проведения калибровки в конкретной калибровочной лаборатории.

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 СИ, 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 основании предложенного подхода к оценке неопределенности при калибровке СИТ в ННЦ «Институт метрологии» разработана методика [14], в которой приведены методы расчета неопределенности в зависимости от того, какие методы измерений используются во время калибровки СИТ, алгоритмы и процедуры оценки суммарной стандартной расширенной неопределенности для всех указанных выше шести методах калибровки.

При этом неопределенность измерений при калибровке определяется на основании положений GUM и учитывает требования действующих международных стандартов, распространяющихся на оценку неопределенности измерений определенных групп СИТ. В том числе к оформлению результатов калибровки с указанием неопределенности измерений. Для этого была внесена в ДСТУ 3989-2000 [15] форма свидетельства о калибровке, соответствующая требованиям [2].

## Выводы

Разработанные методические основы используются для разработки нормативных документов по метрологии, регламентирующих основополагающие методики оценки неопределенности измерений при калибровке. Эти методики могут быть использованы для разработки методик калибровки конкретных групп и типов СИТ, в которых устанавливается процедура оценки неопределенности измерений.

Авторы благодарят Захарова Игоря Петровича за плодотворное участие в разработке методических основ оценки неопределенности при калибровке СИТ.

## Список литературы

1. *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement: First Edition.* – ISO, Switzerland, 1993. – 101 p.
2. ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025:2005, IDT). – К.: Держспоживстандарт України. – 18 с.
3. Чуновкина А.Г. К вопросу внедрения неопределенности измерения в методиках калибровки (поверки) средств измерений / А.Г. Чуновкина // Измерительная техника. – 2008. – № 3. – С. 70-72.
4. Захаров И.П. Оценка неопределенности измерений при проведении калибровок / И.П. Захаров // Метрология и приборы. – 2007. – № 1. – С. 31-42.
5. Захаров И.П. Методы, модели и алгоритмы оценивания неопределенности измерений при проведении калибровок / И.П. Захаров, С.В. Водотыка, Е.Н. Сачева // Тезисы между. НТС «Математическая, статистическая и компьютерная поддержка качества измерений».
6. Малецька О.Є. Державна метрологічна система. Розвиток нормативної бази / О.Є. Малецька // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2008. – № 2. – С. 29-31.
7. Малецька О.Є. Шляхи реалізації вимог до компетентності випробувальних і калібрувальних лабораторій на підставі положень державної метрологічної системи / О.Є. Малецька // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2005. – № 5. – С. 38-40.
8. Малецька О.Є. Формирование системы нормативных документов по оценке неопределенности измерений / О.Є. Малецька // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. – Х.: Х УПС, 2007. – Вип. 6 (64). – С. 63-64.
9. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 11.02.1998 р. № 113/98-ВР із змінами, внесеними згідно із Законом України від 15.06.2004 р. № 1765-IV.
10. Керівництво з вираження невизначеності у вимірюваннях / Переклад на українську мову М.В. Москаленко. – GUM:1993, First edition, 1993, ISO: Geneva, 1995.
11. МІ 13.002-2003. Методика обґрунтування рівнянь вимірювань та оцінки методичної складової похибки (невизначеності) результатів вимірювань. – Х.: ХДНДІМ, 2003 – 11 с.
12. ДСТУ 2681-94 Метрологія. Термины и определения.
13. ГОСТ 8.061-80 ГСИ. Поверочные схемы. Содержание и построение.
14. РМУ 13-064-2008 Метрология. Методика расчета неопределенности измерений при проведении калибровки средств измерительной техники.
15. ДСТУ 3989-2000 Метрология. Калибровка средств измерительной техники. Основные положения, организация, порядок проведения и оформления результатов.

Поступила в редколлегию 20.07.2009

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

**РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДОЛОГІЧНИХ ОСНОВ ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ПІД ЧАС КАЛІБРУВАННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ**

О.Є. Малецька, М.В. Москаленко, А.Є. Олійник, О.В. Прокопов

*В статті розглядаються питання розроблення нормативних документів з метрології, які визначають методики оцінки невизначеності вимірювань під час калібрування засобів вимірювальної техніки. Проаналізовані вимоги, які є до оцінювання невизначеності у законодавстві України та чинних нормативних документах. Запропонована процедура формування номенклатури документів по оцінці невизначеності під час калібрування, а також розглянуті методичні основи її оцінки при використанні різних методів калібрування. Наведена інформація щодо розроблених у ННЦ «Інститут метрології» основоположних методичних документах по оцінюванню невизначеності під час калібрування засобів вимірювальної техніки.*

**Ключові слова:** калібрування засобів вимірювальної техніки, невизначеність вимірювань, нормативні документи.

**THE DEVELOPMENT OF METHODOLOGICAL FUNDAMENTALS OF MEASUREMENT UNCERTAINTY EVALUATION DURING THE CALIBRATION OF MEASURING INSTRUMENTS**

O.E. Maletska, M.V. Moskalenko, A.E. Oliinyk, A.V. Prokopov

*In article the questions connected with working out of standard documents on metrology, defining methodical bases of an estimation of uncertainty of measurements are considered at calibration of measuring instruments. Available requirements to an uncertainty estimation in the legislation of Ukraine and operating standard documents are analysed. Procedure of formation of documents is offered according to uncertainty at calibration, and also methodical approaches to its estimation at use of various methods of calibration. The information about developed in NSC «Institute of metrology» basic methodical documents is resulted according to uncertainty at calibration of measuring instruments.*

**Keywords:** calibration of measuring instrument uncertainty in measurement, standard documents.