

УДК 006.91

Ю. Хорский

Чешский метрологический институт, Брно, Чехия

## ОЦЕНИВАНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ АККРЕДИТАЦИИ КАЛИБРОВОЧНЫХ И ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ

Описывается история и опыт аккредитации калибровочных и испытательных лабораторий в Чешской республике, главным образом, с позиции технического аудитора в области электрических измерений. Рассмотрены следующие проблемные вопросы: краткое описание документов по неопределенности; терминология, организация сличения и неопределенности измерений; составление таблиц наилучших калибровочных возможностей ВМС (Best Measurement Capability) на уровне аккредитованных лабораторий и калибровочных возможностей метрологических институтов СМС.

**Ключевые слова:** аккредитация, сличение, терминология, неопределенность.

### История аккредитации и внедрения неопределенности измерений в Чешской республике

С 1993 года Чехия могла участвовать в работе групп по специализации Европейской аккредитации. В это время началась аккредитация в Чешской республике по Европейскому стандарту EN 45001. Этот стандарт соответствовал ISO Guide 25. Впоследствии аккредитация осуществлялась по новому в то время стандарту ISO/IEC 17025 [1]. При аккредитации сначала необходимо было обязательно применять неопределенность измерения для каждого измеренного результата калибровки. Выражение качества измерений с помощью погрешностей разрешено не было. В испытательных лабораториях применение неопределенности было необходимым в тех случаях, когда было возможно (по характеру испытаний) ее вычислить.

Автор доклада работал в группе измерений электрических величин постоянного тока и переменного тока низкой частоты Европейской аккредитации (EA). В EA одна специальная группа работала над документом по выражению неопределенности измерений в калибровочных лабораториях (ревизия WECC-19 [2] в EAL-R2, который потом был назван EA-4/02 [3]). Позже делались приложения, в которых были изложены примеры вычисления неопределенности в различных видах измерений при калибровках. На первом этапе каждая аккредитованная лаборатория в обязательном порядке готовила один пример расчета неопределенности измерений, на втором этапе – необходимо было сделать эти примеры для каждой методики измерений.

Калибровочные, испытательные лаборатории и метрологические институты в Чехии работают по стандарту ISO/IEC 17025, который хорошо освоен в республике. Старые стандарты качества, которые применялись на практике, не касались неопределен-

ности измерений, но новый стандарт EN ISO 10012 [4] (Системы управления измерений. Требования для процесса измерений и измерительного оборудования) уже работает с неопределенностью измерений. EN 60359:2002 [5] (Электрические оборудование, выражение свойств) применяет выражение свойств средства измерений уже не с помощью погрешности, а только с помощью неопределенности.

### Документы по неопределенности

После опубликования в 1993 году GUM [6] (Руководство по выражению неопределенности измерения), оно не было переведено сразу на чешский язык. Только в последнее время осуществился перевод GUM в качестве предварительного Европейского стандарта ENV 13005 [7].

Первым этапом введения неопределенностей было создание национальных документов на основе GUM, которые были проще и короче GUM. В Чехии мы не работали со старым документом Западно-Европейской аккредитации WECC Doc. 19 [2] (редакция 1990).

В Чешской республике в начале были применены национальные нормативные документы TPM 0050-92 [8] и TPM 0051-93 [9], которые были созданы на основе GUM, но были проще на практике. Аналогичные документы были изданы в Великобритании (NIS 3003 [10]) и США (RP-12 NCSL [11]).

Очень скоро оказалось, что нет необходимости применять документы иного типа, чем в Западной Европе, так как в последствии системы измерений были бы не совместимы, и возникла бы проблема признания другими странами результатов измерений и аккредитации. Поэтому все документы создавались только на основе совместимости с системой Европейской аккредитации, в большей мере – простым переводом. Для неопределенности измерений есть только один обязательно применяемый документ – EA-4/02 [3].

**EA-4/02.** Этот документ был создан после ревизии документа [2] с учетом опыта применения документа M3003 NAMAS (теперь UKAS) [12]. Он был принят под названием EAL-R2 и в последствии был переименован в EA-4/02. Был принят принцип применения стандартной методики расчета неопределенности и применения бюджета неопределенности при расчете, как в M 3003. Было дано обязательное выражение для уровня доверия  $p = 95\%$ . К тексту EA-4/02 были даны приложения о наилучших калибровочных возможностях (Best Measurement Capability – BMC), и два набора примеров расчета. В первом есть стандартные ситуации для различных типовых измерений, во втором приведены примеры, когда распределение вероятности не является нормальным. Другого международного или регионального документа такого типа нет.

**M 3003 EDITION 2, JANUARY 2007.** M 3003 [12] является документом для выражения неопределенности измерений Организации по Аккредитации Великобритании UKAS. Этот документ, по мнению автора этой статьи лучше, чем EA-4/02. Проблема только в том, что это документ национальный, а не международный. По моему мнению, он может применяться не только для практического расчета, но и в качестве учебного пособия. В нем не слишком много теории и он сделан для практики, поэтому имеет много практических замечаний. В этом документе приведены основные данные для расчета, примеры расчета, описание BMC, замечания к расчету неопределенности в испытательных лабораториях. Описано также, как осуществлять выполнение спецификаций, как рассчитывать неопределенность в случаях аномального распределения вероятности. Также даны комментарии к вопросам применения вычислительной техники при расчете неопределенности. Для калибровочных лабораторий электрических величин дан очень полезный пример расчета неопределенности для одного целого диапазона измерений прибора (например, для вольтметра от 1 до 10 В). В этом примере показано, как считать неопределенности относительного и абсолютного типа, так как это имеет место в спецификациях электронных многодиапазонных приборов.

**VDI GUIDELINE: VDI/VDE/DGQ/DKD 2622 BLATT 2 [13].** Это документ по аккредитации в Германии сделанный специально для неаккредитованных калибровочных лабораторий электрических величин (по своему статусу он ниже чем EA-4/02). Он короче, чем M3003, и в нем больше теории.

### Вопросы терминологии

Электрические измерения имели большое влияние на определения единиц измерения, на терминологию и также на практическое проведение измерений для многих других величин, так как все большее

число измерений осуществляется с помощью электрических измерительных приборов. Погрешность классических аналоговых электрических измерительных приборов выражалась в виде приведенной к длине шкалы погрешности. Новые электронные приборы работают на другом принципе. После преобразования входной величины в электрический сигнал следует обработка сигнала датчика, а потом выдается результат в различной форме, например в числовой. Потому новые стандарты, как EN 60359:2002 (Электрические оборудование, выражение свойств) выражают свойства средств измерений не погрешностью, а неопределенностью средства измерения, и применяют новый термин – калибровочная диаграмма.

Международный словарь по метрологии VIM-2 1993 года редакции был переработан. Редакция 2004 года содержала два словаря – один с неопределенностью, и второй, в приложении, – с погрешностями. Эта редакция была переработана, и на ее основе был создан ISO/IEC Guide 99, эквивалент VIM-3, в котором не решилась проблема приоритета погрешности и неопределенности и оба понятия присутствуют в стандарте на равных. В нем говорится, что надо учитывать и другие стандарты по терминологии, как, например, международный электротехнический словарь IEV [14].

В настоящее время возникла ситуация, когда основного термина в практике калибровочных лабораторий, каким является разность между значением эталона и значением, измеренным калибруемым прибором, который был назван как отклонение (deviation) в VIM-2, теперь нет в VIM-3, это название применяется только в IEV. Международный словарь по метрологии VIM применяет и погрешности и неопределенности измерений. В Европейском стандарте EN 60359 (Электрические и электронные приборы, Выражение свойств) уже применяется только неопределенность измерений.

### Сличения и неопределенность измерения

Сличения организованы многоуровнево. Международное сличение организуется от ключевых, через региональные, международные, национальные и двухсторонние. Для аккредитованных лабораторий в Европе это были сличения, организованные Европейской аккредитацией, EA. Для электрических величин было сделано приблизительно 30 сличений, и было сделано заключение, что основные параметры были в Европе сличены, и сличения могут организоваться дальше главным образом на национальной основе. Правила аккредитации требуют, чтобы лаборатории подтвердили свои неопределенности изменениями при сличениях. Сличения осуществляются в соответствии с несколькими документами, по ISO/IEC Guide 43 и в будущем это будет по стандарту ISO/IEC 17043 [15].

В калибровочных лабораториях результаты сличения вычисляются обычно по коэффициенту  $E_n$

$$E_n = \frac{x_{\text{lab}} - x_{\text{ref}}}{\sqrt{U_{\text{lab}}^2 + U_{\text{ref}}^2}},$$

где  $U_{\text{lab}}$  – неопределенность для  $x_{\text{lab}}$ ;  $U_{\text{ref}}$  – неопределенность для  $x_{\text{ref}}$ .

Если  $|E_n| \leq 1$ , считается, что результат удовлетворительный, если  $|E_n| > 1$  – результат неудовлетворительный.

Этим способом можно осуществлять сличения лабораторий с любым отношением неопределенности измерений. Было бы хорошо сделать, пока существует возможность, чтобы сличение имело более результатов измерений, чтобы определить, есть ли систематика в  $E_n$ . По результатам сличения необходимо обсудить также соотношение неопределенности измерения эталонной и проверяемой лаборатории, так как эталонное измерение имеет незначительное влияние на результат только для соотношения неопределенностей TUR (Test Uncertainty Ratio), превышающее 4. Удовлетворительным является результат  $E_n < 1$ . Но если  $E_n$  близко к 1, то у лаборатории нет резерва в параметрах ВМС, и наоборот, если  $E_n$  мало, ниже  $E_n < 0,1$ , то ВМС была сделана с большим резервом.

### Проблематика практики

В практике аккредитации встречаемся с некоторыми проблемами в области неопределенности измерений. В области электрических величин, когда измерение осуществляется измерительной системой, обычно нет проблем, так как ожидается, что каждый метод был валидован. При ручном измерении мало точных цифровых инструментов, обычно неопределенность дана в виде разрешающей способностью калиброванного инструмента, и неопределенность в сертификате не дает более информации.

Проще был старый принцип предоставления только соотношения неопределенностей TUR (Test Uncertainty Ratio), который очень простой и хороший для применения.

Каждая аккредитованная лаборатория имеет таблицу наилучших измерительных способностей. У лабораторий электрических величин эти таблицы часто отличаются для измерения (например вольтметр) и для генерирования (например, стандарт сопротивления) величины. Эти таблицы для калибровочных лабораторий имеют большое число (десятки или сотни) данных. В стандарте IOSO/IEC 17025 нет информации о том, как надо эти таблицы оформлять и в каком документе лаборатории они должны быть представлены.

Каждый сертификат калибровки заключается выражением неопределенности измерений. Оно представляется в соответствии с EA-4/02 для коэффициента охвата  $k = 2$ . Но в приложениях EA-4/02 есть еще 6 формулировок этого заключения, и лаборатории иногда забывают, что основным параметром является уровень вероятности 95 %, а не  $k = 2$ .

### ВМС и СМС

Самостоятельной проблемой оказалась проблема составления таблиц наилучших калибровочных возможностей ВМС (Best Measurement Capability [7]) на уровне аккредитованных лабораторий и калибровочных возможностей метрологических институтов СМС (Calibration Measurement Capability [9]).

СМС появились позже, чем ВМС. Они представляют заявленные возможности метрологических институтов для калибровки, которые они предлагают заказчику. Они созданы по номенклатуре измеряемых величин. На первом шаге институты сдали свои предложения. Потом эти предложения обсуждались комиссиями в рамках региональных организаций (EUROMET), после этого проходило обсуждение на международном уровне и, наконец, они публиковались на страницах международного бюро мер и весов BIPM. Необходимо, чтобы эти неопределенности были подтверждены международными сличениями.

Очень много работы и проблем имели лаборатории при подготовке к аккредитации с построением таблиц наилучших возможностей измерения ВМС. Эти таблицы главным образом показывают заказчику калибровочные возможности лаборатории. Они могут быть составлены по величинам (температура), но также можно их составить по типам калибруемого оборудования (термометры стеклянные). В EA-4/02 о ВМС написано, что это есть наилучшая возможность измерения лаборатории при (более или менее) нормальной работе для идеального (если существует) калибровочного оборудования. Аккредитуемая лаборатория не может в рамках аккредитации проводить измерения с неопределенностями ниже ВМС.

У ВМС есть проблемы представления возможностей лаборатории в таком виде, чтобы они имели простое и однозначное понимание (константы, несоответствия), а также, чтобы были описаны все условия, при которых эти ВМС достигаются. Рекомендуются применять относительную форму выражения неопределенности в большинстве случаев константой и только для диапазонов от нуля надо добавлять к относительной форме еще и абсолютную форму.

В последнее время идут новые работы по сближению и соединению ВМС и СМС.

## Выводы

Все калибровки в Чешском метрологическом институте и в аккредитованных лабораториях обязательно должны иметь в сертификате калибровки во всех точках измерений неопределенности измерений, рассчитанные по документу EA-4/02. Только для международных и ключевых сличений применяется подробный расчет неопределенности измерений.

При вычислении неопределенности применяется форма, указанная в документе EA-4/02. Описывается проблема, записывают уравнение измерений для неопределенности типа В, строится бюджет неопределенности по примеру, приведенном в документе EA-4/02 и делается расчет, в результате которого оценивается расширенная неопределенность для уровня доверия 95 %.

Основной проблемой практики является создание условий, при которых калибровка на практике не была дорогой для заказчика. Потому на практике рутинных калибровок необходимо, чтобы неопределенность была вычислена не дорого, достаточно быстро.

Для сличений и при валидации методик экономия расчета не так важна. Применение неопределенности измерений в практике калибровочных лабораторий и национального метрологического института в Чешской республике освоено. Все сертификаты о калибровках представляют результаты, включающие неопределенности, рассчитанные по документу Европейской аккредитации EA-4/02. Еще очень много работы остается у заказчиков калибровок с понятием и применением неопределенности измерений для практического пользования измерительного оборудования и, главным образом, при работе с результатами калибровок и неопределенностями, представленными в сертификатах.

Документ EA-4/02 достаточен для практики калибровок, но уже долгое время не было его ревизия.

Документ M3003 более современный, но не международный.

## Список литературы

1. ISO/IEC 17025:1999 General requirements for the competence of testing and testing laboratories.
2. WECC Doc. 19-1990. Guidelines for the Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibrations. – Western European Calibration Cooperation, 1990.
3. EA-04/02:1999 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration.
4. ISO 10012:2003 Measurement management systems - Requirements for measurement processes and measuring equipment.
5. IEC 60359:2001 Electrical and electronic measurement equipment - Expression of performance.
6. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM-1993). First edition, 1993. (Руководство по выражению неопределенности измерения) Перевод с англ. под науч. ред. проф. Слава В.А., ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, С.-Петербург, 1999. – 134 с
7. ENV 13005:1999 Guide to the expression of uncertainty in measurement.
8. TPM 0050-92 Technický předpis metrologický, Etalony, Vyjadrovanie chyb a nejistot UNMZ CR.
9. TPM 0051-93 Technický předpis metrologický, Stanovenie nejistot pri meranijach UNMZ CR.
10. NIS 3003. "The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement". Pub.NAMAS, 1995
11. NCSL RP-12 - Determining & Reporting Measurement Uncertainties (4/95)
12. The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement. M3003 Edition 2, UKAS 2007 <http://www.ukas.com/Library/downloads/publications/M3003.pdf>
13. VDI guideline: VDI/VDE/DGQ/DKD 2622 Blatt 2. Kalibrieren von Messmitteln für elektrische Größen - Methoden zur Ermittlung der Messunsicherheit. English title: Calibration of measuring means for electrical quantities - Methods for the determination of the measurement uncertainty.
14. IEC 60050 International Electrotechnical Vocabulary (смотри <http://www.electropedia.org/>).
15. ISO/IEC CD 17043 CASCO/WG 28 Conformity assessment — General requirements for proficiency testing.

Поступила в редколлегию 11.04.2008

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

## ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ПРИ АКРЕДИТАЦІЇ КАЛІБРУВАЛЬНИХ ТА ВИПРОБУВАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРІЙ

Хорський Ю.

Зображено історію та досвід акредитації калібрувальних та вимірювальних лабораторій в Чеській республіці, здебільшого, з позиції технічного аудитора в галузі електричних вимірювань. Розглянуті наступні проблемні питання: короткий опис документів по невизначеності; термінологія, організація звірення пі невизначеності вимірювань; складання таблиць якнайкращих калібрувальних можливостей ВМС (Best Measurement Capability) на рівні акредитованих лабораторій і калібрувальних можливостей метрологічних інститутів СМС.

**Ключові слова:** акредитація, звірення, термінологія, невизначеність.

## THE UNCERTAINTIES EVALUATION WHEN ACCREDITATIONS THE CALIBRATION AND EXPERIMENTAL LABORATORIES

Horsky J.

History and experience at accreditation the calibration and experimental laboratories in Czech Republic from technical auditor's in the electric measurements area position. The followings questions of problems are considered: short description of documents on a vagueness; terminology, organization of collation of nu of vagueness of measurings; tabulation the best calibrate possibilities of BMC (Best Measurement Capability) at the level of the accredited laboratories and calibrate possibilities of metrological institutes SMC.

**Keywords:** accreditation, collation, terminology, uncertainty.