

В.В. Копшин, В.Н. Кикало, Ю.П. Дарменко, Р.В. Вендичанский

НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ЭТАЛОНОВ ЕДИНИЦЫ НАПРЯЖЕНИЯ

Укрметртестстандарт создал и эксплуатирует три государственных эталона единицы напряжения: единиц электрического напряжения переменного тока в диапазоне от 1 до $1,2 \cdot 330 / \sqrt{3}$ кВ и коэффициента масштабного преобразования электрического напряжения на частоте 50 Гц (ДЕТУ 08-05-99); единицы электрического напряжения постоянного тока в диапазоне от 1 до 180 кВ (ДЕТУ 08-04-99); единицы электрического напряжения переменного тока от 0,1 до 1000 В в диапазоне частот от 10 Гц до 1 МГц (ДЕТУ 08-07-02). Основой взаимного признания на международном уровне результатов измерений является эквивалентность государственных эталонов национальным эталонам других государств. Подтверждением эквивалентности эталонов могут быть результаты международных сличений с определением расширенной неопределенности.

измерение, неопределенность, погрешность, эталон, сличения, эквивалентность, калибровка

Постановка проблемы. В соответствии с основополагающими национальными документами в области метрологии [1, 2] точностные характеристики государственных эталонов и характеристики точности измерений представлены в виде погрешностей: неисключенной систематической погрешности и среднего квадратичного отклонения (СКО) случайной погрешности. В международной практике для оценки точности измерений и эталонов пользуются понятием неопределенности (измерений).

Анализ литературы. В нормативном документе [3] изложены основные положения и рекомендации по практическому применению параметров неопределенности, а также показано соответствие между двумя формами представления результатов измерений.

Цель статьи. Для признания результатов измерений, полученных с помощью государственных эталонов на международном уровне, необходимо привести метрологические характеристики государственных эталонов к международным требованиям.

Эталон ДЕТУ 08-05-99. Расширенную неопределенность масштабного коэффициента U_f при калибровке трансформаторов напряжения (ТН) определяют по формуле:

$$U_f = k_p \cdot \sqrt{S_f^2 + S_{3f}^2 + \Theta_{3f}^2 / 3 + S_{pf}^2}, \quad (1)$$

где k_p – коэффициент охвата, $k_p = 2$ для нормального распределения при вероятности $P = 0,95$; S_f – СКО результата измерения масштабного коэффициента; S_{3f} – СКО случайной погрешности эталона при воспроизведении масштабного коэффициента; Θ_{3f} – неисключенная систематическая погрешность эталона при воспроизведении масштабного коэффициента; S_{pf} – СКО передачи размера масштабного коэффициента.

Расширенную неопределенность фазового сдвига U_δ при калибровке ТН определяют по формуле:

$$U_\delta = k_p \cdot \sqrt{S_\delta^2 + S_{3\delta}^2 + \Theta_{3\delta}^2 / 3 + S_{p\delta}^2}, \quad (2)$$

где S_δ – СКО результата измерения фазового сдвига; $S_{3\delta}$ – СКО случайной погрешности эталона при воспроизведении фазового сдвига; $\Theta_{3\delta}$ – неисключенная систематическая погрешность эталона при воспроизведении фазового сдвига; $S_{p\delta}$ – СКО передачи размера фазового сдвига.

Получены количественные характеристики расширенной неопределенности эталона:

$$U_f = 3 \cdot 10^{-4}; \quad U_\delta = 0,6'.$$

Результат калибровки ТН по эталону представляют в следующем виде:

– по масштабному коэффициенту:

$$K_T = N \cdot [1 - (f_T \pm U_f)]; \quad P = 0,95; \quad (3)$$

– по фазовому сдвигу:

$$\delta_T \pm U_\delta; \quad P = 0,95, \quad (4)$$

где N – постоянная для калибруемого ТН (номинальный коэффициент трансформации); f_T – относительное отклонение масштабного коэффициента K_T от постоянной N ; δ_T – фазовый сдвиг вторичного напряжения ТН относительно вторичного напряжения эталона.

Эталон ДЕТУ 08-04-99. Расширенная неопределенность поправки напряжения U_u при калибровке измерителей напряжения (ИН) определяется как

$$U_u = k_p \cdot \sqrt{S_u^2 + S_{3u}^2 + \Theta_{3u}^2 / 3 + S_{pu}^2}, \quad (5)$$

где S_u – СКО результата измерения поправки напряжения; S_{3u} – СКО случайной погрешности эталона при воспроизведении напряжения; Θ_{3u} – неисключенная систематическая погрешность эталона при воспроизведении напряжения; S_{pu} – СКО передачи размера напряжения.

Получены количественные характеристики расширенной неопределенности эталона: $U_u = 1,8 \cdot 10^{-4}$.

Результат калибровки ИН по эталону представляют в следующем виде:

$$(M \cdot U_v + \Pi) \cdot (1 \pm U_u); P = 0,95, \quad (6)$$

где M – постоянная калибруемого ИН; U_v – напряжение, измеренное вольтметром ИН; Π – поправка напряжения.

Эталон ДЕТУ 08-07-02. При калибровке измерительных преобразователей напряжения термоэлектрических (ПНТЭ) измеряемой величиной является относительная погрешность γ перехода от напряжения переменного тока к эквивалентному ему постоянному напряжению. Значения этой величины в рабочем диапазоне частот являются метрологической характеристикой калибруемого ПНТЭ.

Неопределенностью эталона u_A служит СКО результатов измерений S_γ при получении величины γ :

$$u_A = S_\gamma. \quad (7)$$

На эталонный термоэлектрический компаратор Fluke 792A (далее – Fluke 792A) имеется периодически обновляемый сертификат калибровки, в котором приведена таблица со значениями расширенной неопределенности $U_{f,j}$, соответствующими дискретным значениям рабочего напряжения и частоты. Указано также, что значения $U_{f,j}$ получены с коэффициентом охвата $k_p = 2$ и доверительной вероятностью $P = 0,95$. Следовательно, их можно выразить формулой:

$$U_{f,j} = 2 \cdot S_{F792}, \quad (8)$$

где S_{F792} – суммарное СКО соответствующего результата калибровки Fluke 792A.

Для эталона ДЕТУ 08-07-02 соответствующие значения S_{F792} являются компонентами его неисключенной систематической погрешности $\Theta_{тк}$, вносимой термоэлектрическим компаратором. На основании (8) ее получают из данных сертификата как

$$\Theta_{тк} = S_{F792} = 1/2 \cdot U_{f,j}. \quad (9)$$

В случае калибровки ПНТЭ систематическая погрешность Θ_Σ , вносимая в общем случае остальными средствами измерений, исключается методически ввиду специфики измерений, поэтому для калибровки ПНТЭ допустимо принимать, что $\Theta_\Sigma \approx 0$. Поэтому неопределенность типа В равна:

$$u_B = \Theta_{тк} = 1/2 \cdot U_{f,j}. \quad (10)$$

Расширенную неопределенность результатов γ калибровки ПНТЭ определяют по формуле:

$$U_p = k_p \cdot \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = k_p \cdot \sqrt{S_\gamma^2 + 1/4 \cdot U_{f,j}^2}. \quad (11)$$

Получены количественные характеристики расширенной неопределенности эталона, которые в зависимости от рабочего напряжения и частоты находятся в интервале:

$$U_p = (4 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 10^{-4}).$$

Результаты калибровки ПНТЭ представляют в виде ряда значений:

$$\gamma_f \pm U_{p,f}, \quad (12)$$

где индекс f указывает точку частотного диапазона.

Сличение эталонов. В соответствии с темами КООМЕТ проведены сличения государственных эта-

лонов с аналогичными национальными эталонами других стран: РТВ, (Германия) – эталон ДЕТУ 08-05-99, сличение проходило в Киеве с использованием эталона сравнения РТВ; ВНИИМС, (Россия) – эталон ДЕТУ 08-04-99, сличение проходило в Киеве с использованием эталона сравнения ВНИИМС; ВНИИМ, (Россия) – эталон ДЕТУ 08-07-02, сличение проходило в Санкт-Петербурге с использованием эталона сравнения Укрметрестстандарта, атестованого в РТВ.

Эквивалентность эталонов E_{y-i} определяют по алгоритму:

$$E_{y-i} = |(X_y - X_i)| / X_i \sqrt{U_y^2 + U_i^2}, \quad (13)$$

где X_y – результат измерения на государственном эталоне Украины; X_i – результат измерения на национальном эталоне другой страны; U_y – неопределенность государственного эталона Украины; U_i – неопределенность национального эталона другой страны.

Решающее правило эквивалентности эталонов имеет вид:

$$E_{y-i} \leq 1. \quad (14)$$

Эталоны эквивалентны при выполнении требований (14).

Результаты сличений подтвердили эквивалентность государственных эталонов.

Методики калибровки. В связи с намерением Украины вступить в мировую организации торговли и улучшить конкурентоспособность отечественной продукции на мировом рынке назрела необходимость в адаптации результатов измерений с использованием государственных эталонов к требованиям международных стандартов.

Способность национальными метрологическими институтами проводить калибровку в заданных диапазонах измерений с определением расширенной неопределенности измерений находит свое отображение в СМС таблицах. Для подтверждения СМС таблиц и представление их на интернет-сайте ВІРМ региональная метрологическая организация КООМЕТ проводит экспертизу документации.

В порядке внедрения системы управления качеством в практику воспроизведения единиц измерений на государственных эталонах и их передача подчиненным вторичным и рабочим эталонам выполнена разработка согласно требований [4] методик калибровки на государственных эталонах с определением неопределенности измерений. В частности разработаны:

– методика калибровки трансформаторов напряжения измерительных на государственном эталоне ДЕТУ 08-05-99;

– методика калибровки измерителей высокого напряжения постоянного тока на государственном эталоне ДЕТУ 08-04-99;

– измерительные преобразователи напряжения (методика калибровки на государственном эталоне

Украины ДЕТУ 08-07-02).

Для проверки легитимности результатов калибровки на государственных эталонах и подтверждения их метрологических характеристик, которые приведены в СМС таблицах, в декабре 2005 года был проведен международный аудит.

В частности экспертом в области электрических измерений выступал доктор М. Клонц из РТВ, (Германия). Результаты аудита – положительные. KOOMET выдал свидетельство от 20.12.2005 №QSF-R07 о признании системы менеджмента качества соответствующей стандарту ИСО/МЭК 17025.

Выводы. Полученные характеристики неопределенности государственных эталонов единицы напряжения подтверждены результатами международных сличений и признаны соответствующими системе менеджмента качества по ИСО/МЭК 17025.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 8.381–80. Эталоны. Способы выражения погрешностей. – Введен с 01.01.81.
2. МИ 1317–86. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров. – Введен с 01.01.87.
3. РМГ 43–2001. Применение "Руководства по выражению неопределенности измерений".
4. ДСТУ ISO/IEC 17025–2001. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій. (ISO/IEC 17025: 1999, IDT). – Введен с 01.03.2002.

Поступила 23.03.2006

Рецензент: канд. техн. наук, доц. А.Б. Егоров, Харьковский национальный университет радиоэлектроники.