

УДК 389.14: 621.317.32

Ю.Л. Анохин, В.В. Вендичанский, В.В. Копшин

*Государственное предприятие Всеукраинский государственный научно-производственный центр стандартизации, метрологии, сертификации и защиты прав потребителей (ГП «Укрметртестстандарт»), Киев, Украина*

## ОЦЕНИВАНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ КАЛИБРОВКЕ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

*Статья посвящена калибровке измерителей высокого напряжения постоянного тока, которые используются для контроля напряжения при испытании изоляции электротехнического оборудования. Приведена процедура калибровки измерителя высокого напряжения постоянного тока на государственном эталоне единицы электрического напряжения постоянного тока в диапазоне от 1 до 180 кВ ДЕТУ 08-04-99. Показаны источники неопределенности измерений. Выполнена оценка неопределенности измерений при калибровке.*

**Ключевые слова:** масштабный коэффициент, поправка напряжения, измеритель высокого напряжения, среднее квадратическое отклонение, неисключённая систематическая погрешность, неопределенность измерений.

### Введение

Изоляцию кабельных линий и другого электротехнического оборудования в эксплуатации периодически подвергают испытаниям высоким напряжением постоянного тока в соответствии с нормами [1].

Для контроля высокого напряжения постоянного тока используют рабочие измерители высокого напряжения постоянного тока (далее – ИН).

Определение или контроль метрологических характеристики рабочих ИН проводится путем калибровки с использованием рабочих эталонов ИН. Высокоточные рабочие ИН и рабочие эталоны ИН калибруются по национальному эталону.

Калибровочные и измерительные возможности национального метрологического института (НМИ) характеризуют качество метрологических услуг, представляемых потребителям на постоянной основе.

Для признания результатов калибровки НМИ

должен привести размер единицы, хранимый рабочим ИН, к размеру единицы, воспроизводимой национальным эталоном, т.е. должен показать прослеживаемость измерений к национальным эталонам.

**Цель статьи.** Оценка точности калибровки ИН, гарантируемой НМИ потребителям её метрологических услуг, выраженной в виде значения расширенной неопределенности измерений, проведенных НМИ.

### Основной материал

ИН представляют собой масштабные преобразователи напряжения, как правило, резистивные, на выходе которых включен вольтметр.

Высокое напряжение постоянного тока,  $U_{i,ИН}$ , которое измеряет ИН при  $i$ -ом наблюдении вычисляют по формуле, в вольтах:

$$U_{i,ИН} = K \cdot U_{i,V,ИН}, \quad (1)$$

где  $K$  – масштабный коэффициент ИН;  $U_{i,V,ин}$  – значение напряжения, измеренное вольтметром ИН при  $i$ -ом наблюдении в вольтах.

В статье рассмотрена калибровка ИН с помощью государственного эталона единицы электрического напряжения постоянного тока в диапазоне от 1 кВ до 180 кВ ДЕТУ 08-04-99 (далее – ГЭ) [2].

Метрологическое обеспечение производства и эксплуатации указанных средств измерительной техники в Украине реализуется согласно требованиям ДСТУ 3863 [3].

Калибровку ИН проводят прямыми измерениями напряжения воспроизводимого ГЭ.

Высокое напряжение постоянного тока,  $U_{i,ГЭ}$ , которое воспроизводится ГЭ при  $i$ -ом наблюдении определяют по формул в вольтах:

$$U_{i,ГЭ} = M + U_{i,V,ГЭ}, \quad (2)$$

где  $M$  – постоянная ГЭ в вольтах;  $U_{i,V,ГЭ}$  – значение напряжения, измеренное вольтметром ГЭ при  $i$ -ом наблюдении в вольтах.

При калибровке определяют поправку напряжения к ИН,  $\Pi_i$  при  $i$ -том наблюдении по формуле, в вольтах:

$$\Pi_i = U_{i,ГЭ} - U_{i,ин}. \quad (3)$$

Формула (3) с учетом формул (1) и (2) примет вид:

$$\Pi_i = M + U_{i,V,ГЭ} - K \cdot U_{i,V,ин}. \quad (4)$$

Калибровку ИН проводят в 5 точках динамического диапазона напряжения:

$$\begin{aligned} &U_{нач}; \\ &0,2 \cdot (U_{кон} - U_{нач}); \\ &0,5 \cdot (U_{кон} - U_{нач}); \\ &0,8 \cdot (U_{кон} - U_{нач}); \\ &U_{кон}, \end{aligned}$$

где  $U_{нач}$  – начальное значение диапазона измерений ИН;  $U_{кон}$  – конечное значение диапазона измерений ИН.

В каждой точке диапазона измерения ИН проводят 10 наблюдений и определяют среднее значение поправки напряжения к ИН,  $\bar{\Pi}$ , по формуле:

$$\bar{\Pi} = \sum_{i=1}^n \frac{\Pi_i}{n}. \quad (5)$$

где  $n$  – количество наблюдений.

Калибровку проводят в начальный момент времени самонагрева ИН и в конечный момент времени самонагрева ИН.

Изменение поправки,  $\Delta_t$ , в абсолютной форме, обусловленное самонагревом ИН, определяют по формуле, в вольтах:

$$\Delta_t = \left| \bar{\Pi} - \bar{\Pi}_k \right|, \quad (6)$$

где  $\bar{\Pi}$  – поправка напряжения в начальный момент времени самонагрева ИН;  $\bar{\Pi}_k$  – поправка напряжения в конечный момент времени самонагрева ИН, которая определяется по формуле:

$$\bar{\Pi}_k = \sum_{i=1}^n \frac{\Pi_{i,k}}{n}, \quad (7)$$

где  $\Pi_{i,k}$  – поправка напряжения к ИН в конечный момент времени самонагрева ИН при  $i$ -ом наблюдении, которую находят по формуле:

$$\Pi_{i,k} = M + U_{i,k,V,ГЭ} - K \cdot U_{i,k,V,ин}, \quad (8)$$

где  $U_{i,k,V,ин}$  – значение напряжения, измеренное вольтметром ИН при  $i$ -ом наблюдении в конечный момент времени самонагрева ИН, в вольтах;  $U_{i,k,V,ГЭ}$  – значение напряжения, измеренное вольтметром ГЭ при  $i$ -ом наблюдении в конечный момент времени самонагрева ИН, в вольтах.

Среднее квадратическое отклонение (далее СКО) случайной погрешности ИН в относительной форме,  $S_{ин,о,(Δ)}$ , определяют по формуле:

$$S_{ин,о,(Δ)} = \frac{1}{\bar{\Pi}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Pi_i - \bar{\Pi})^2}{n(n-1)}}. \quad (9)$$

Источники неопределенности при калибровке ИН приведены в табл. 1.

Таблица 1  
Источники неопределенности

Обозначение	Принятое распределение
$S_{ГЭ,о,(Δ)}$	–
$\Theta_{ГЭ,о}$	Равномерное
$S_{ε,Σ,о}$	–
$S_{ин,о,(Δ)}$	–
$\Delta_t$	Равномерное

Расшифровка обозначений, приведенных в табл. 1:

$S_{ГЭ,о,(Δ)}$  – СКО случайной погрешности ГЭ

при воспроизведении напряжения в относительной форме (значение приведено в ДСТУ 3863 [3]);

$\Theta_{ГЭ,о}$  – неисключенная систематическая погрешность (далее – НСП) ГЭ при воспроизведении напряжения в относительной форме (значение приведено в ДСТУ 3863 [3]);

$S_{ε,Σ,о}$  – СКО измерения при передаче размера единицы напряжения от ГЭ к ИН в относительной форме (значение приведено в ДСТУ 3863 [3]).

Оценку стандартной неопределенности типа А,  $u_A$ , измерения поправки к ИН находят по формуле, в относительных единицах:

$$u_B = \sqrt{S_{\text{ИН},0,(\Delta)}^2 + S_{\text{ГЭ},0,(\Delta)}^2}. \quad (10)$$

Оценку стандартной неопределенности типа В,  $u_B$ , измерения поправки находят по формуле, в относительных единицах:

$$u_B = \sqrt{S_{t,0}^2 + S_{\Theta,0}^2 + S_{\varepsilon,\Sigma,0}^2}, \quad (11)$$

где  $S_{t,0}$  – СКО, обусловленное самонагревом ИН, в относительной форме, которое определяют по формуле, в относительных единицах:

$$S_{t,0} = \frac{\Delta_t}{\sqrt{3} \cdot \bar{U}}; \quad (12)$$

$S_{\Theta,0}$  – СКО НСП ГЭ при воспроизведении единицы напряжения в относительной форме, которое находят по формуле:

$$S_{\Theta,0} = \frac{I_{\text{ГЭ},0}}{\sqrt{3}}. \quad (13)$$

Оценку суммарной стандартной неопределенности,  $u_{\Sigma}$ , измерения поправки к ИН находят по формуле, в относительных единицах:

$$u_{\Sigma} = \sqrt{u_B^2 + u_{\varepsilon}^2}. \quad (14)$$

Расширенная неопределенность измерений,  $U_P$ , поправки для коэффициента охвата  $k = 2$  при уровне доверия 95% определяют по формуле, в относительных единицах:

$$U_C = 2u_{\Sigma}. \quad (15)$$

Результат калибровки ИН записывают в виде

$$N \cdot \bar{U}_{V,\text{ИН}} + \bar{\Pi}; \pm U_P \cdot 100 \%, \quad (16)$$

где  $\bar{U}_{V,\text{ИН}}$  – среднее значение напряжения, измеренное вольтметром ИН, которое определяется по формуле:

$$\bar{U}_{V,\text{ИН}} = \sum_{i=1}^n \frac{U_{i,V,\text{ИН}}}{n}. \quad (17)$$

## Выводы

Приведена процедура калибровки ИН. Предложена оценка неопределенности измерений при калибровке ИН.

Показана прослеживаемость результатов измерений при калибровке ИН к государственному эталону.

Метрологические характеристики ГЭ подтверждены международными сличениями с национальными эталонами других стран [4].

Метрологические возможности ГП «Укрметр-тестстандарт» в части ГЭ электрического напряжения постоянного тока в диапазоне от 1 кВ до 180 кВ ДЕТУ 08-04-99 признаны международным сообществом и включены в Международную базу данных калибровочных и измерительных возможностей стран и находятся на веб-сайте Международного Бюро Мер и Весов.

## Список литературы

1. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. – Х.: Індустрія, 2007. – 272 с.
2. Державний еталон одиниці електричної напруги постійного струму в діапазоні від 1 кВ до 180 кВ / В.В. Копшин, В.М. Кікало та інші. // Український метрологічний журнал. – 1999. – Вип. 3. – С. 19-22.
3. ДСТУ 3863-99 Метрологія. Государственная поверочная схема для средств измерений электрического напряжения постоянного тока в диапазоне от 1 кВ до 800 кВ.
4. The international comparisons of DC high voltage and voltage ratio standards between VNNIMS and UkrCSM / V.V. Kopshyn, V.N. Kikalo and the others // Digest of 2002 Conference on Precision Electromagnetic Measurement. – Ottawa, Ontario, Canada, 2008. – P. 68-69.

Поступила в редколлегию 20.12.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, доц. О.М. Величко, ДП «Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації і захисту прав споживачів», Київ.

## ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ПРИ КАЛІБРУВАННІ ВИМІРЮВАЧІВ ВИСОКОЇ НАПРУГИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Ю.Л. Анохін, В.В. Вендичанський, В.В. Копшин

Стаття присвячена калібруванню вимірювачів високої напруги постійного струму, які використовуються для контролю напруги при випробуванні ізоляції електротехнічного обладнання. Наведено процедуру калібрування вимірювача високої напруги постійного струму на державному еталоні одиниці електричної напруги постійного струму в діапазоні від 1 до 180 кВ ДЕТУ 08-04-99. Показано джерела невизначеності вимірювань. Виконано оцінку невизначеності вимірювань при калібруванні.

**Ключові слова:** масштабний коефіцієнт, поправка напруги, вимірювач високої напруги, середнє квадратичне відхилення, невиключена систематична похибка, невизначеність вимірювань.

## THE EVALUATION OF MEASUREMENT UNCERTAINTY UNDER CALIBRATION OF DC HIGH VOLTAGE MEASURING INSTRUMENTS

Y.L. Anohin, V.V. Vendichanskiy, V.V. Kopshyn

The article is dedicated to calibration of DC high voltage measuring instruments which are used for control of voltage under insulation test of electrical equipment. Procedure of calibration of DC high voltage measuring instrument on National standard unit of DC voltage within range 1 kV to 180 kV DETU 08-04-99 is given. The sources of measurement uncertainty are shown. The evaluation of measurement uncertainty under calibration is performed.

**Keywords:** scale coefficient, voltage correction, high voltage measuring instrument, standard deviation, residual systematic error, measurement uncertainty.