

УДК 621.3 : 389.14(083) : 621.382.049.77 : 621.317.3

А.М. Крюков<sup>1</sup>, М.А. Крюков<sup>1</sup>, Ю.С. Немченко<sup>2</sup><sup>1</sup>Харьковский национальный университет радиоэлектроники<sup>2</sup>Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Молния»

## МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ АТТЕСТАЦИЯ ЭТАЛОНА НАПРЯЖЕННОСТЕЙ ИМПУЛЬСНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И МАГНИТНОГО ПОЛЕЙ

*В работе проведен анализ методических подходов к определению метрологических характеристик эталона единиц максимальных значений напряженностей импульсных электрического и магнитного полей. Предложены направления совершенствования научной и нормативной базы для проведения метрологической аттестации эталона.*

*импульсные электромагнитные поля, единство измерений, эталон, поверочная схема, метрологическая аттестация*

### Введение

**Постановка проблемы.** Использование импульсных напряжений, токов, электрических и магнитных полей лежит в основе функционирования различных технических средств, а также является неотъемлемой частью многих технологических процессов. Импульсные напряжения и токи сопровождают электромагнитные явления природного и техногенного происхождения, например молниевый разряд, аварийные режимы на высоковольтных линиях передачи электрической энергии, наносекундные эффекты при работе электрических реле. Поэтому измерение амплитудно-временных параметров импульсных электромагнитных сигналов является важной областью практической метрологии. В этой связи особую значимость приобретает проблема обеспечения единства измерений напряженностей импульсных электрического и магнитного полей в Украине [1].

Согласно межгосударственному стандарту [2] базовым элементом поверочной схемы для средств измерений максимальных значений напряженностей импульсных электрического и магнитного полей должен являться государственный специальный эталон единиц указанных физических величин. В период с 2002 по 2006 г. в Украине на базе научно-исследовательского и проектно-конструкторского института «Молния» был создан такой эталон, получивший название «эталон РЭМП». В настоящее время в рамках работ по присвоению эталону РЭМП статуса государственного решается важная задача разработки программы и методики метрологической аттестации (ПМА) эталона.

**Анализ литературы.** Общая информация о составе, устройстве, метрологических характеристиках (МХ) эталона РЭМП содержится в работах [1, 3]. Известна методика метрологической аттестации эталона РЭМП [4], которая предусматривает пере-

нос соответствующих единиц физических величин от Государственного эталона Российской Федерации (ГЭРФ) при помощи так называемых специальных измерительных преобразователей (СИП). Однако данная методика имеет ряд недостатков, основными из которых являются:

– отсутствие пунктов ПМА, в которых регламентируются методы и средства определения МХ СИП;

– некорректная формулировка алгоритма передачи единиц физических величин от ГЭРФ к эталону РЭМП;

– неточности в формулах для определения доверительных границ неисключенной систематической погрешности эталона РЭМП;

– отсутствие обоснования выбора количества и распределения контролируемых значений напряженности поля в заданных диапазонах.

**Целью статьи** является анализ адекватности ПМА, предложенной в [4], и разработка подходов к определению МХ эталона РЭМП, свободных от указанных недостатков.

### Изложение основных результатов

Определение МХ эталона РЭМП может быть осуществлено на основании двух принципиально различных концепций:

– с применением косвенных методов на основе использования моделей физических процессов, протекающих при воспроизведении импульсов напряженностей электрического и магнитного полей (например, возможна поэлементная аттестация эталона РЭМП);

– на основе процедуры переноса единиц физических величин от ГЭРФ с применением СИП (аттестуемых в РФ и занимающих более высокую ступень в поверочной схеме по отношению к эталону РЭМП).

В любом случае СИП, которые согласно [2 – 4] рассматриваются как составная часть эталона РЭМП, должны быть формально выведены из его состава и получить статус вторичных эталонов.

Предпочтительным является первая концепция, которая обеспечит полную самостоятельность государства в данной области измерений, позволит обеспечить статус эталона РЭМП как государственного первичного и не войдет в противоречие с требованиями к его МХ, определяемыми ГОСТ на поверочную схему. Реализация такой концепции потребует проведения дополнительных исследований по моделированию процесса воспроизведения физических величин эталоном РЭМП.

В то же время в случае необходимости скорейшего узаконивания статуса эталона РЭМП в качестве государственного может быть реализована вторая концепция (не исключая возможности реализации первой из них в перспективе). Однако в таком случае совокупность МХ эталона РФ и СИП должны обеспечивать выполнение требований к МХ эталона РЭМП, указанных в [1]. Таким образом, требуется проведение исследований, направленных на решение следующих задач:

- обеспечение статуса СИП, как вторичных эталонов (в том числе разработка методологических основ проведения их метрологической аттестации);
- оценка возможности занятия эталоном РЭМП наивысшей ступени в Государственной поверочной схеме [1] (на основе исследования и сравнительного анализа метрологических характеристик ГЭРФ, СИП и эталона РЭМП).

Следует отметить, что решение задачи позиционирования СИП, как вторичных эталонов, может войти в некоторое противоречие с логикой Государственной поверочной схемы (в зависимости от того, будут ли СИП применяться для текущего контроля неизменности размера единиц физических величин, воспроизводимых эталоном РЭМП, либо же для переноса единиц физических величин от ГЭРФ). Поэтому предметом отдельной дискуссии может явиться пересмотр содержания стандарта [1], с момента ввода в действие которого прошло 14 лет.

В случае реализации второй концепции (что наиболее вероятно на современном этапе) целесообразно детальнее рассмотреть методику передачи единиц физических величин от ГЭРФ к эталону РЭМП. В [4] предложена такая методика, которая предусматривает:

- размещение в рабочей зоне ГЭРФ двух СИП с последующим воспроизведением импульсов напряженности поля амплитудой  $E_{\text{Э}}$ , измерением амплитуд  $N_1$  и  $N_2$  импульсных напряжений на выходах СИП и расчетом их отношения

$$K_{\text{Э}} = N_1 / N_2 ;$$

- установку указанных СИП (с сохранением конфигурации) в рабочую зону эталона РЭМП и воспроизведение импульсов напряженности поля, обеспечивающих такое значение отношения

$$K_{\text{Р}} = N_1 / N_2 ,$$

которое отличается от  $K_{\text{Э}}$  не более чем на 5 %;

- вычисление амплитуды импульса напряженности поля, воспроизводимого РЭМП, по формуле

$$E_{\text{Р}} = E_{\text{Э}} K_{\text{Э}} / K_{\text{Р}} ;$$

- расчет коэффициента пропорциональности между амплитудой напряженности поля и напряжением на выходе СИП по формулам

$$d_1 = E_{\text{Р}} / N_1 , d_2 = E_{\text{Р}} / N_2 .$$

Такой подход, с одной стороны, порождает сомнения в целесообразности определения коэффициентов пропорциональности  $d_1, d_2$ , поскольку эти значения уже были установлены в процессе метрологической аттестации СИП, а с другой стороны, не позволяет осуществить градуировку органа установки значения амплитуды импульса напряженности поля во всем диапазоне воспроизводимых значений.

На наш взгляд целесообразно исключить пункт, связанный с определением коэффициентов  $d_1, d_2$ . Кроме того, необходимо скорректировать алгоритм передачи единиц напряженности электрического и магнитного полей таким образом, чтобы обеспечить воспроизведение в рабочей зоне ГЭРФ не одного, а  $M$  значений импульсов напряженности поля, распределенных внутри диапазона, с последующим их «переносом» на эталон РЭМП. Это позволит осуществить градуировку органа установки значения амплитуды импульса напряженности поля.

Задание количества точек, в которых необходимо градуировать эталон РЭМП, можно осуществить, руководствуясь данными о форме кривой характеристики органа установки значения амплитуды импульса напряженности поля, а также на основе статистического анализа распределения частоты возникновения отказов по диапазону воспроизводимых значений [5], либо на основе определения (аппроксимации) функции распределения погрешности в диапазоне воспроизводимых значений [6, 7].

Отдельного внимания заслуживает и раздел ПМА [4], регламентирующий порядок расчета неисключенного остатка систематической погрешности (НСП) воспроизведения амплитуды импульса напряженности поля. Так, спорным является учет некоторых составляющих НСП (например, погрешности определения межэлектродного зазора в рабочих зонах эталонов и др.). В то же время в выражениях для расчета НСП не учтены некоторые составляющие погрешности. Указанные неточности не позволяют сделать вывод о достоверной оценке МХ эталона РЭМП, полученной в ходе проведения его метрологической аттестации (МА) в соответствии с [4].

## Выводы

В данной работе проведен анализ известных методологических подходов к определению МХ эталона РЭМП, предложены направления совершенствования научной и нормативной базы для проведения его МА. Показано, что в рамках работ по присвоению эталону РЭМП статуса государственного необходимыми действиями являются пересмотр положения СИП в поверочной схеме, а также совершенствование методики передачи единиц физических величин и уточнение выражений для оценки МХ эталона РЭМП.

## Список литературы

1. Исходный эталон Украины импульсных электрических и магнитных полей – цель создания эталона и требования к его метрологическим и конструктивным характеристикам / В.И. Кравченко, Ю.С. Демченко и др. // Труды 2-го международного радиоэлектронного форума «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития». МРФ-2005. – Х. – 2005. – Т. 6. – С. 82-83.

2. ГОСТ 8.540 – 93 Государственная поверочная схема для средств измерений максимальных значений напряженностей импульсных электрического и магнитного полей.

3. Исходный эталон Украины импульсных электрических и магнитных полей. Измерительный комплекс / В.И. Кравченко, Ю.С. Немченко и др // Вестник НТУ «ХПИ». «Техника и электрофизика высоких напряжений». – Х., 2006. – № 37. – С.34-38.

4. Исходный эталон Украины импульсных электрических и магнитных полей. Программа и методика метрологической аттестации. – М.: ВНИИОФИ, 2004. – 37 с.

5. Лабунец В.С. Исследование распределения метрологических отказов в разных диапазонах измерения приборов // Метрология. – 1980. – № 2. – С. 4-7.

6. Данилевич С.Б. Построение рациональных методик поверки средств измерения с помощью метода имитационного моделирования // Метрология. – 1980. – № 5. – С. 12-14.

7. Большакова Л.П. Оптимизация методик поверки средств измерений параметров ИС // Электронная промышленность. – 1985. – Вып. 3. – С. 10- 12.

Поступила в редколлегию 19.12.2006

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. И.В. Руженцев, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.