

СЕКЦИЯ 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

УДК 681

СОЗДАНИЕ НАЦИОНАЛЬНОГО ЭТАЛОНА ЕДИНИЦЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Коломиец Т.А., Казакова Е.А., Лухверчик И.Н., Филипчик И.В.

Белорусский государственный институт метрологии

Минск, Республика Беларусь

Одними из приоритетных направлений деятельности Белорусского государственного института метрологии является создание национальной эталонной базы, сличение национальных эталонов с эталонами других стран и внесение СМС-строк в международную базу данных ключевых сличений (КСДВ). Национальные эталоны – это гордость не только нашего института, но и страны в целом, СМС-строки в различных видах измерений – признание наших измерительных возможностей в области метрологии НМИ ведущих стран мира.

Эталон единицы электрического сопротивления на квантовом эффекте Холла и единицы напряжения на эффекте Джозефсона являются основополагающими в области электрофизических измерений и обладают наивысшей точностью среди эталонов данного вида измерений (не считая эталона единицы времени и частоты), так как их создание базируется на использовании квантовых явлений и фундаментальных физических констант. Именно эталоны, основанные на данных эффектах, рекомендованы МБМВ для применения в качестве исходных. В настоящее время в отделе измерения электрических величин БелГИМ создан и функционирует Национальный эталон единицы напряжения на эффекте Джозефсона. В рамках государственной научно-технической программы «Эталонные и научные приборы» проводится создание Национального эталона единицы электрического сопротивления (на постоянном токе) (далее – эталон). Разработку эталона сопротивления, как правило, проводят в два этапа: на первом – создают системы хранения, передачи размера единицы, которые будут функционировать независимо от наличия в составе эталона установки для воспроизведения единицы электрического сопротивления на эффекте Холла; на втором – устройство воспроизведения единицы сопротивления на эффекте Холла.

До настоящего времени отдел измерений электрических величин БелГИМ обладал следующими средствами измерений в области измерения сопротивления:

– комплектом мер Р310, Р321, Р331, Р4013, Р4023, Р4033, Р4030 в диапазоне от 10^{-3} до 10^9

Ом (исходный эталон). Вышеназванные меры было решено включить в состав эталона ввиду их долголетней истории, надежности и высокой стабильности (до $2 \cdot 10^{-6}$ в диапазоне от 10^{-3} до 10^5 Ом и до $5 \cdot 10^{-6}$ в диапазоне от 10^6 до 10^9 Ом). Также в наличии есть меры Р323 с номинальным значением 10^{-4} Ом и мера Р40115 – 10^{10} Ом, обладающие более низкой точностью;

– мостовые установки УМИС-2 (10^{-4} – 10^5 Ом) и У401 (10^5 – 10^{10} Ом), давно выработавшие свой ресурс, не отвечающие современным требованиям по автоматизации измерений и управлению и выводу результатов измерений с помощью ПК;

– температурно-стабилизированный эталон сопротивления 6634А с номинальными значениями сопротивления от $1 \cdot 10^{-1}$ до $1 \cdot 10^8$ Ом (годовая стабильность $(2-15) \cdot 10^{-6}$) и автоматическим мостом-компаратором сопротивления постоянного тока серии 6622А (погрешность компарирования \pm (от 0,05 до 6) $\cdot 10^6$, могут быть использованы для передачи размера единицы эталонным и рабочим средствам измерений;

– в области воспроизведения больших сопротивлений используется калибратор больших сопротивлений и малых токов ЕК1-6, обладающий недостаточной точностью.

Также необходимо отметить, что при поверке мер электрического сопротивления использовалось пассивное термостатирование с дальнейшим пересчетом с использованием температурных коэффициентов.

Таким образом, при создании эталона стоял вопрос о создании группы мер (1 Ом), позволяющих хранить размер единицы электрического сопротивления, оборудования для термостатирования, а также измерительного оборудования для компарирования и передачи размера единицы от группового эталона мерам 1-го разряда (от 10^{-3} до 10^9 Ом) и далее. Исходя из нужд потребителей, необходим был комплекс оборудования в диапазоне от 10^{-4} до 10^{14} Ом.

Таким образом, в состав эталона вошли меры Р310, Р321, Р331, Р4013, Р4023, Р4033, Р4030 в диапазоне от 10^{-3} до 10^9 Ом, также были изготовлены меры серии 9331G, увеличившие диапазон воспроизведения сопротивления до 10^{14} Ом. В

качестве мер группового эталона, хранящего единицу сопротивления с наивысшей в стране точностью, канадским производителем Measurements International (MI) были изготовлены меры электрического сопротивления типа 9210A/1 с номинальным значением 1 Ом, которые обладают наилучшими из существующих на сегодняшний день мер характеристиками:

- годовая стабильность до $0,2 \cdot 10^{-6}$ /год;
- температурные коэффициенты до $0,05 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$.

В качестве измерителей были рассмотрены различные измерительные системы на основе мостов-компараторов сопротивления, как обладающие наивысшей точностью, и разработаны две системы для перекрытия всего диапазона измерения:

- измерительная система 6242/100 (MI), диапазон измерения от 10^{-5} до 10^8 Ом, погрешность от менее $0,05 \cdot 10^{-6}$ до $5 \cdot 10^{-6}$;
- измерительная система 6600A (MI), диапазон измерения от 10^5 до 10^{16} Ом, погрешность $(7-100) \cdot 10^{-6}$.

Для создания системы термостатирования в состав эталона был включен прецизионный воздушный термостат из состава Национального эталона единицы индуктивности (для эталонных мер) 9300A; для группы мер 9210A/1 изготовлен масляный термостат ОВ-50/2 с погрешностью поддержания температуры $\pm 0,008^{\circ}\text{C}$, также был изготовлен воздушный термостат 9300 для возможности калибровки (поверки) мер сопротивления с температурой, отличной от температуры эталонных мер.

Таким образом, мы получили комплекс средств измерений, воспроизводящих единицу электрического сопротивления в диапазоне от 10^3 до 10^{14} Ом и позволяющих передать размер единицы электрического сопротивления в диапазоне от 10^{-5} до 10^{16} Ом. В диапазоне до 100 МОм имеется возможность автоматизации большого количества измерений с помощью составления специальных программ с использованием ПО системы 6242/100 и одновременного подключения до 20 мер с помощью многоканального сканнера.

В процессе создания эталона и при исследовании его метрологических характеристик объектами исследований стали отдельные элементы комплекса оборудования. Наибольший интерес представляет собой исследование группы мер 9210A, а также необходимость передачи размера единицы электрического сопротивления на комплект мер в диапазоне $10^{-3} - 10^9$ Ом (ранее калибровка данных мер проводилась во ВНИИМ им. Менделеева).

В таблице 1 представлены результаты исследований мер сопротивления 9210A/1 с использованием системы измерительной 6242/100 за фев-

раль и август 2015 г., изменение сопротивления мер за полгода составило $(0,19-0,24) \cdot 10^{-6}$. В качестве эталона использовалась мера Р321, калибровка которой проведена во ВНИИМ. Значение расширенной неопределенности для меры составляет $3 \cdot 10^{-7}$. Значение расширенной неопределенности из сертификата калибровки для мер 9210A/1 составляет $1 \cdot 10^{-6}$. Калибровка мер проведена канадской измерительной лабораторией MI.

Таблица 1

Зав. № меры	Результаты измерений сопротивления мер 9210A/1, Ом		Изменение сопротивления, $\cdot 10^{-6}$
	фев.15	авг.15	
1101044	0,99999690	0,99999666	-0,24
1101047	1,00000081	1,000000614	-0,20
1102314	1,00000149	1,000001682	0,19
1030603	0,99999822	0,99999799	-0,23

Среднее квадратическое отклонение (СКО) результатов измерений (для десяти измерений) составило $(1,1-3,7) \cdot 10^{-8}$ (таблица 2), что не превышает значения СКО, заложенного в техническом задании при разработке эталона - $5 \cdot 10^{-8}$. Отклонение результатов измерений при определении действительного значения мер сопротивлений, проведенных в БелГИМ, составило $(0,1-0,6) \cdot 10^{-6}$ и находится в границах расширенной неопределенности мер 9210A/1 ($1 \cdot 10^{-6}$), указанной в сертификатах калибровки.

Таблица 2

Зав. № меры	СКО, для 10 измерений	Действительное значение 9210A/1, Ом (из сертификатов калибровки)	Отклонение результата измерений от действительного значения, $\cdot 10^{-6}$	
			фев.15	авг.15
1101044	$1,1 \cdot 10^{-8}$	0,99999658	0,3	0,1
1101047	$3,0 \cdot 10^{-8}$	1,00000038	0,4	0,2
1102314	$3,7 \cdot 10^{-8}$	1,00000105	0,4	0,6
1030603	$2,0 \cdot 10^{-8}$	0,9999979	0,3	0,1

Передачу размера единицы на группу мер 9210A/1 можно осуществить двумя способами: от установки, воспроизводящей сопротивление на эффекте Холла – более высокоточный метод, либо посредством меры Р321, которая имеет расширенную неопределенность при калибровке во ВНИИМ не более $3 \cdot 10^{-7}$. Исключив из результата измерений или минимизируя источники погрешности, обусловленные временной стабильностью эталона, температурным воздействием, измерительным оборудованием (расширенная неопределенность измерения моста 6242В составляет $0,02 \cdot 10^{-6}$ для 1 Ом согласно сертификату калибровки) получим неисключенную систематическую погрешность воспроизведения единицы сопротивления не более $5 \cdot 10^{-7}$.

При передаче размера единицы электрического сопротивления от меры Р321 на комплект мер в диапазоне $10^{-3} - 10^9$ Ом с применением системы измерительной 6242/100 отклонение результатов измерений от значений из сертификатов калибровки, выданных ВНИИМ, составило $(0,4-8) \cdot 10^{-6}$. С учетом изменения сопротивления мер за год (годовой нестабильности), неопределенности калибровки мер и погрешности системы для каждого диапазона, данные результаты можно считать удовлетворительными.

Таким образом, созданный эталон полностью удовлетворяет требованиям ТЗ (таблица 3).

Также можно сказать, что эталон обладает более широкими функциональными возможностями, вызванными потребностями заказчиков, в частности, в области измерения больших сопро-

тивлений. Созданный эталон позволяет воспроизводить и передавать единицу электрического сопротивления в диапазоне от 10^{-5} до 10^{16} Ом с наивысшей в Республике точностью, не уступающей по характеристикам эталонам НМИ других стран. В настоящее время запланировано проведение сличения с применением созданного эталона в рамках КОOMET.

Таблица 3

<i>Метрологическая характеристика эталона</i>	<i>Значение</i>
Воспроизведение и хранение единицы электрического сопротивления	1 Ом
Среднее квадратическое отклонение результатов измерений	$5 \cdot 10^{-8}$
Неисключенная систематическая погрешность	$5 \cdot 10^{-7}$
Диапазон передачи размера единицы электрического сопротивления	от $1 \cdot 10^{-3}$ до $1 \cdot 10^9$ Ом

УДК 620.17

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНОВ

Мацулевич О.В., Крень А.П., Рудницкий В.А.

Институт прикладной физики НАН Беларуси

Минск, Республика Беларусь

Портативные приборы для измерения прочности бетонов ударным методом (склерометры) получили широкое применение в промышленно-гражданском и автомобильном строительстве. Практически каждая испытательная лаборатория строительного профиля оснащена склерометрами того или иного типа. В этой связи вопрос их метрологического обеспечения является весьма актуальным.

Поверка приборов для измерения физико-механических свойств материалов, как правило, осуществляется путем проведения измерений на образцовых изделиях (мерах), и последующего сравнения показаний приборов с характеристиками мер. Изготавливают меры преимущественно из тех же материалов, что и контролируемые прибором изделия. Например, для металлов стандартизованы наборы мер, позволяющие проверять метрологические характеристики твердомеров по различным шкалам.

Существенной особенностью поверки склерометров является сложность использования бетонных образцов в качестве мер прочности. Это обусловлено двумя причинами: структурной неоднородностью данного класса материалов и изменением свойств бетона со временем. Значительная структурная неоднородность бетона приводит к тому, что прочность образцов даже в партии, изготовленной из одной смеси, отличается. Поэтому для поверки склерометров нужно аттестовывать всю партию, а в качестве показаний прибора брать среднее значение из результатов измерений на нескольких образцах. Учитывая

необходимость регулярной перееаттестации партии, сопровождающейся разрушением образцов, а также их значительный износ при поверке склерометров, потребуется изготовить десятки образцов.

Все эти образцы необходимо хранить в специальных камерах с определенными температурно-влажностными условиями. При их несоблюдении прочность бетонных образцов может существенно измениться, что исключит возможность их использования для проверки метрологических характеристик приборов. Очевидно, что перечисленные требования делают поверку склерометров на образцах бетона слишком трудоемкой и экономически нецелесообразной.

В настоящее время практически все производители склерометров для поверки или калибровки своих приборов используют эквивалентные меры прочности, выполненные из более однородных и стабильных по сравнению с бетоном материалов. Для каждого типа склерометра создается свой набор эквивалентных мер. С этой целью в первую очередь устанавливают так называемую базовую градуировочную зависимость между прочностью бетона на сжатие по ГОСТ 10180-90 [1] и показаниями склерометра. Для проведения этих испытаний выбирают склерометр с минимальным разбросом показаний, который аттестовывается как отдельное эталонное средство измерения. Этим прибором испытывают эквивалентные меры, и с помощью базовой зависимости устанавливают соответствующие им значения прочности бетона.