

характеристик антенн в ближней зоне / А.Г. Будаи, А.П. Гринчук, А.В. Громыко // Приборы и методы измерений. 2017, № 4. – С. 334–343.

3. Будаи А.Г. Практическая реализация радиолокационного аппарата – программного комплекса со сферическим сканированием / А.Г.Будаи, А.П. Гринчук, А.В. Громыко // Материалы 11-й Международной

научно-технической конференции «Приборостроение – 2018», Минск, 14–16 ноября 2018. – С. 123–124.

4. Будаи А.Г. Применение статистических методов для оценки метрологических характеристик голографических измерительных комплексов / А.Г. Будаи, А.П. Гринчук, А.В. Громыко // Приборы и методы измерений. 2018, т. 9, № 2. – С. 151–159.

УДК 621.317.7.089.68(476)

**МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ЕДИНИЦЫ
ОСЛАБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**
Гуревич В.Л.¹, Серенков П.С.², Волюнец А.С.¹, Толочко Т.К.¹, Ермакович А.В.¹

¹Белорусский государственный институт метрологии
Минск, Республика Беларусь

²Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Одной из измеряемых характеристик на высоких и сверхвысоких частотах является уровень потерь электромагнитной энергии, передаваемой через пассивные радиотехнические устройства, который характеризуется ослаблением.

Для обеспечения метрологического контроля средств измерений ослабления электромагнитных колебаний в Республике Беларусь в 2014 году был создан Исходный эталон единицы ослабления электромагнитных колебаний ИЭ РБ 24-18. После проведения исследований, в 2018 году этот эталон был утвержден в качестве Национального эталона единицы ослабления электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 0 до 37,5 ГГц НЭ РБ 44-18.

Национальный эталон единицы ослабления электромагнитных колебаний представляет собой программно-аппаратный комплекс, в состав которого входят:

- управляющая ПЭВМ;
- генератор сигналов Agilent E8257D;
- установка эталонная единицы ослабления в диапазоне частот от 0 до 30 МГц ЭО-1;
- приемник измерительный VM7; частотные конверторы Tegan 8852 и Tegan 8853, используемые в диапазоне частот от 30,0 МГц до 18,0 ГГц и от 18,0 ГГц до 37,5 ГГц соответственно;
- комплекты коаксиальных переходов, прецизионных аттенуаторов, согласующих устройств, кабелей СВЧ и интерфейсных кабелей.

Эталон обеспечивает воспроизведение и передачу единицы ослабления в диапазоне частот от 0 до 37,5 ГГц, разбитых на три поддиапазона:

- 1-ый поддиапазон от 0 до 30 МГц;
- 2-ой поддиапазон от 30 МГц до 18 ГГц;
- 3-ий поддиапазон от 18 до 37,5 ГГц.

Для метрологического контроля эталона необходимо обеспечить метрологическую прослеживаемость результатов измерений до единиц Международной системы (СИ).

Метрологическая прослеживаемость результатов измерений представляет собой ключевой вопрос для обеспечения доверия к результатам измерений и их сопоставимости, как на национальном, так и на международном уровне.

Обеспечить метрологическую прослеживаемость до единиц величин Международной системы единиц (СИ) можно несколькими способами.

Один из способов это поэлементное исследование эталона. Но в этом случае есть риск того, что либо появятся, либо не будут учтены некоторые влияющие факторы, которые приведут к увеличению неопределенности при калибровке.

Другой способ, это проведение калибровки на вышестоящем эталоне. Для осуществления данного способа необходимо оборудование, входящее в состав эталона, доставить в страну хранения вышестоящего эталона, что является процессом довольно затруднительным и экономически не выгодным, а также может привести к повреждению оборудования в процессе перевозки.

Третьим способом обеспечения метрологической прослеживаемости результатов измерений является участие в межлабораторных сличениях. В рамках КООМЕТ в 2014 году БелГИМом была предложена тема «Дополнительные сличения эталонов единицы ослабления электромагнитных колебаний» (КООМЕТ 643/ВУ/14). Тема в качестве предлагаемой была включена в программу сличений, но из-за отсутствия заинтересованных участников не была реализована и аннулирована в 2019 году.

Для решения заданной задачи был выбран путь, который включал в себя анализ источников неопределенности, создание математической модели измерений, разработку методики калибровки.

Анализ показал, что среди источников неопределенности измерений при воспроизведении и передаче единицы ослабления электромагнит-

ных колебаний можно выделить следующие доминирующие составляющие:

- неопределенность, обусловленная погрешностью измерений ослабления на промежуточной частоте;
- неопределенность, обусловленная нелинейностью входных цепей;
- неопределенность, обусловленная наличием паразитных связей и шумов;
- неопределенность, связанная с рассогласованием ВЧ тракта.

Для определения составляющей неопределенности, связанной с погрешностью измерений на промежуточной частоте, было предложено осуществить передачу единицы ослабления на промежуточной частоте от эталона Российской Федерации ГЭТ 193-2011 посредством использования эталона-переносчика, в качестве которого выступил прибор для поверки аттенуаторов ступенчатый Д1-25.

Модель измерений погрешности эталона на промежуточной частоте представлена формулой (1).

$$\Delta_A = A_{изм} - A_{эт} + \Delta_{кв}, \text{ дБ}, \quad (1)$$

где Δ_A – погрешность измерения ослабления, дБ; $A_{изм}$ – показание приемника ЭО-1 или VM-7 эталона, дБ; $A_{эт}$ – действительное значение ослабления эталона - переносчика Д1-25, дБ; $\Delta_{кв}$ – поправка из-за конечного разрешения приемника ЭО-1 или VM-7 эталона, дБ.

Для оценивания составляющей неопределенности эталона из-за нелинейности ВЧ-тракта были проведены экспериментальные исследования, в ходе которых выполнялись измерения ослабления одного и того же аттенуатора при различных уровнях сигнала.

При измерении больших значений ослабления (100 дБ и выше) необходимо учитывать составляющую неопределенности эталона из-за паразитных связей и шумов. Для этого были проведены экспериментальные исследования, в ходе которых выполнялись измерения одной и той же величины ослабления аттенуатора при постоянном уровне и различных частотах сигнала на выходе генератора.

Составляющая неопределенности из-за рассогласования определяется параметрами согласования аттенуатора и учитывается при измерениях в диапазоне частот от 10 МГц.

Модель измерения для воспроизведения и передачи единицы ослабления электромагнитных колебаний от эталона к средствам измерения ослабления, представлена формулой (2).

$$A_{СИ} = A_{изм} + \Delta_{пч} + \Delta_{нф} + \Delta_{сф} + \Delta_{рас}, \text{ дБ} \quad (2)$$

где $A_{СИ}$ – действительное значение ослабления средства измерения, дБ; $A_{изм}$ – показание приемника ЭО-1 или VM-7, дБ; $\Delta_{пч}$ – составляющая неопределенности, обусловленная неточностью приемника ЭО-1 или VM-7 на промежуточной частоте, дБ; $\Delta_{нф}$ – составляющая неопределенности, обусловленная нелинейностью ВЧ-тракта, дБ; $\Delta_{сф}$ – составляющая неопределенности, обусловленная наличием паразитных связей и шумов (учитывается при измерении ослабления 100 дБ и выше), дБ; $\Delta_{рас}$ – составляющая неопределенности, обусловленная рассогласованием (учитывается при измерении в диапазоне частот от 10 МГц), дБ.

Схема метрологической прослеживаемости единицы ослабления электромагнитных колебаний представлена на рисунке 1.

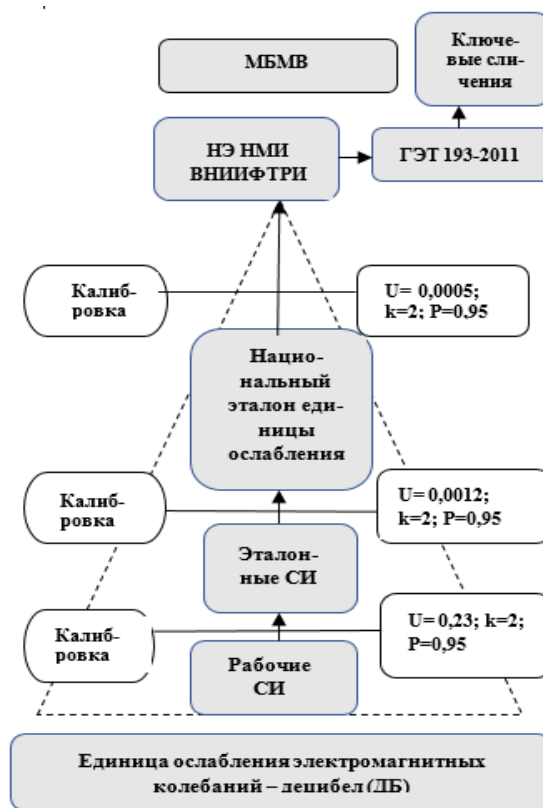


Рисунок 1 – Схема метрологической прослеживаемости единицы ослабления электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 0 до 37,5 ГГц

Эталон обеспечивает воспроизведение и передачу единицы ослабления электромагнитных колебаний с неисключенной систематической погрешностью от $5 \cdot 10^{-4}$ до 0,24 дБ. Среднее квадратическое отклонение результатов измерений составляет от $2 \cdot 10^{-4}$ до 0,02 дБ, с расширенной неопределенностью от $2 \cdot 10^{-4}$ до 0,11 дБ.