

АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

И.М. Малай

*ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево, Московская обл.
malay@vniiftri.ru*

Рассмотрены актуальные задачи метрологического обеспечения в области радиотехнических измерений. Сформулированы основные направления развития эталонов радиотехнических величин с учётом перспективных задач и потребностей экономики.

Ключевые слова: радиотехнические измерения, метрологическое обеспечение, государственные эталоны, методы воспроизведения единиц, прослеживаемость и достоверность результатов, направления развития, цифровые средства измерений.

CURRENT TASKS OF METROLOGICAL ASSURANCE OF RADIO TECHNICAL MEASUREMENTS

I.M. Malay

*FSUE "VNIIFTRI", Mendeleevo, Moscow region
malay@vniiftri.ru*

Current tasks of metrological assurance in the field of radio engineering measurements are considered. The main directions of development of standards of radio engineering quantities with consideration of the perspective tasks and needs of the economy are formulated.

Key words: radio engineering measurements, metrological assurance, state standards, methods of reproducing units, traceability and reliability of results, development directions, digital measuring instruments.

Принятые на уровне Правительства Российской Федерации решения по цифровой трансформации отечественной экономики предполагают широкое использование современной радиоэлектронной продукции, разработка и эксплуатация которой связаны с большим объёмом радиотехнических измерений. Драйверами развития системы метрологического обеспечения в области радиотехнических измерений в настоящее время являются оборонная промышленность, космическая и авиационная отрасли, автомобилестроение, навигация, транспорт и целый ряд других областей деятельности.

Достоверность и оперативность выполнения измерений в значительной степени определяют сроки разработки, качественные показатели и надёжность аппаратуры, а также затраты на её создание и применение, что в конечном счёте сказывается на конкурентоспособности отечественной радио-

электроники. При этом влияние метрологического обеспечения на эффективность деятельности отраслей экономики определяется характеристиками и возможностями самой системы метрологического обеспечения. Основу системы, безусловно, составляют первичные эталоны, к которым должны прослеживаться все измерения, выполняемые в рамках обязательного государственного метрологического надзора.

В Российской Федерации в области радиотехнических измерений имеется более двадцати государственных первичных эталонов, 18 из которых эксплуатируются в ФГУП «ВНИИФТРИ». Кроме того, в ЦСМ и ряде других организаций, включая предприятия малого бизнеса, эксплуатируется огромный парк вторичных эталонов, которые обеспечивают прослеживаемость измерений к государственным первичным эталонам [1].

Условно весь комплекс первичных эталонов единиц радиотехнических величин можно разделить на группы по видам измерений. Это измерения энергетических характеристик электромагнитных колебаний (ЭМК) и параметров согласования в трактах, измерения параметров спектральных и временных характеристик сигналов, антенные и полевые измерения, измерения радиофизических свойств материалов, измерения параметров телекоммуникационных сетей, частотно-временные измерения.

В настоящее время измерение мощности электромагнитных колебаний, наряду с измерениями частоты, без преувеличения можно считать ключевыми измерениями в современной радиоэлектронике. Разработка, испытания и эксплуатация приёмно-передающих средств, радиоэлектронных систем и устройств различного назначения, современной элементной компонентной базы, требуют контроля абсолютных значений энергетических характеристик микроволнового излучения.

В основе сложившейся системы обеспечения единства измерений мощности ЭМК находятся три государственных первичных эталона, обеспечивающих воспроизведение единицы мощности электромагнитных колебаний в волноводных и коаксиальных трактах в диапазоне частот от 0,03 до 37,5 ГГц — ГЭТ 26-2010, единицы мощности электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 37,5 до 78,33 ГГц — ГЭТ 167-2017 и единицы спектральной плотности мощности шумового радиоизлучения в диапазоне частот от 0,002 до 178,3 ГГц — ГЭТ 21-2010.

Передача единиц этих величин осуществляется вторичными и рабочими эталонами (около 400 штук), эксплуатируемыми в 34 региональных центрах стандартизации и метрологии, а также более чем в 60 ведомственных метрологических службах.

Комплекс государственных первичных эталонов ГЭТ 26 и ГЭТ 167 в настоящее время обеспечивает прослеживаемость измерений мощности в волноводных трактах в диапазоне частот до 78,33 ГГц. Однако на многих предприятиях используются ваттметры до 178,4 ГГц, при этом рост техно-

логических возможностей ведущих отечественных производителей микроволновых систем и устройств уже демонстрирует необходимость измерений в диапазоне частот до 220 ГГц. В связи с этим ФГУП «ВНИИФТРИ» выполняет работы по модернизации ГЭТ 167 с целью расширения диапазона рабочих частот до 118,1 ГГц. При этом ожидаемая оценка неисключённой систематической погрешности воспроизведения единицы мощности СВЧ в этом диапазоне частот составит от 2 до 4 %. Кроме того, запланированы работы по расширению верхней границы диапазона частот до 178,4 ГГц, в перспективе и до 325 ГГц, а также совершенствование методов передачи единиц мощности в волноводных трактах.

Первичный эталон ГЭТ 26-2010 обеспечивает прослеживаемость измерений мощности в коаксиальных трактах на частотах до 26 ГГц. При этом во ФГУП «ВНИИФТРИ» разработаны и опробованы методы передачи единицы мощности СВЧ от эталонных ваттметров с использованием коаксиально-волноводных переходов до 50 ГГц. В последнее время также возникает потребность в поверке и калибровке ваттметров с рабочим диапазоном до 67 и 110 ГГц, что обуславливает необходимость создания исходного государственного эталона мощности в коаксиальных трактах 2,92/1,26, 2,4/1,04, 1,85/0,8 и 1,0/0,43 мм. Поэтому одновременно с расширением измерительных возможностей первичных эталонов в волноводных трактах ведутся исследования по созданию рабочих эталонов мощности электромагнитных колебаний в коаксиальных трактах в диапазоне частот до 110 ГГц.

В области измерений СПМШ и коэффициента шума государственный первичный эталон ГЭТ 21 обеспечивает прослеживаемость эталонов и средств измерений, которые широко используются при разработке и производстве радиоприёмной аппаратуры и её компонентов. Кроме того, эталонные низкотемпературные генераторы шума из состава ГЭТ 21 позволяют подтвердить точность измерений эталонов спектральной плотности энергетической яркости и единицы радиояркостной температуры в микроволновой области спектра от 18,1 до 118,3 ГГц УВТ 95-А-2000.

На основе анализа применяемых в РФ рабочих средств и эталонов мощности и СПМШ в рамках импортозамещения с целью снижения критической зависимости от зарубежных технологий и промышленной продукции представляется необходимым разработку следующих отечественных приборов: генераторов сигналов на основе умножителей частоты в диапазоне частот от 18 до 178,4 ГГц; измерителей коэффициента шума в диапазоне частот от 26,5 до 110 ГГц; ваттметров волноводных в диапазоне частот от 18 до 178 ГГц; ваттметров коаксиальных в диапазоне частот от 0,03 до 50 ГГц. Наряду с совершенствованием первичных эталонов требуется постановка работ по созданию отечественных рабочих эталонов в этих видах измерений, в том числе калибраторов мощности СВЧ и генераторов шума.

Одним из наиболее перспективных направлений решения данной проблемы может быть использование микроэлектромеханических термоэлектрических преобразователей мощности СВЧ (технология МЭМС), применяемых во многих серийных изделиях ведущих приборостроительных компаний. В связи с этим необходимо проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по исследованию возможности создания, проработки принципов функционирования и вариантов конструкции преобразователей мощности, изготовленных по технологии МЭМС или микроэлектроники. Изготовление подобного термоэлектрического преобразователя позволит решить задачу создания необходимых отечественной промышленности согласованных коаксиальных и волноводных датчиков и, в конечном итоге, создать универсальное и стандартное конструктивное и технологическое решение в области измерения мощности СВЧ.

Контроль характеристик потерь и согласования в трактах являются неотъемлемым условием разработки и эксплуатации современных СВЧ устройств, тем более измерительных приборов. Данные характеристики традиционно описываются S-параметрами или комплексным коэффициентом отражения (ККО) и комплексным коэффициентом передачи (ККП). Парк векторных анализаторов цепей (ВАЦ), эксплуатируемых на предприятиях, неуклонно растёт, расширяется их частотный и динамический диапазон измерений S-параметров, повышается точность и расширяются функциональные возможности.

В коаксиальных трактах система обеспечения единства измерений S-параметров базируется на Государственном первичном эталоне единицы волнового сопротивления в коаксиальных волноводах — ГЭТ 75-2011, который в настоящее время хранится в ФГУП «СНИИМ» [2].

В волноводных трактах на уровне первичных эталонов в настоящее время эксплуатируется Государственный первичный эталон единицы ослабления электромагнитных колебаний (ГЭТ 193-2011), который обеспечивает прослеживаемость по модулю коэффициента передачи (модуль S₂₁) в диапазоне частот до 178,4 ГГц, при этом измерения фазы коэффициента передачи не обеспечиваются.

В диапазоне частот от 2,59 до 37,5 ГГц в качестве исходного эталона ККО и ККП в отечественных волноводных трактах используется УВТ 33 А 89, которая обеспечивает измерения в диапазоне значений модуля ККО от 0,005 до 0,64. Характеристики данного эталона не соответствуют требованиям перспективных измерительных задач. Средства обеспечения единства измерений ККО и ККП в волноводных трактах с прослеживаемостью к государственным эталонам в РФ в диапазоне частот до 178,4 ГГц в отечественных типах волноводов в настоящее время отсутствуют. При этом существуют прямые ограничения поставки в РФ средств измерений ККО и ККП в диапазоне частот выше 110 ГГц.

В диапазоне частот от 33 до 170 ГГц в волноводных трактах стандартов МЭК в качестве исходного используется Государственный эталон 3.1.ZZT.0148.2015 единиц ККО в диапазоне от 0,006 до 1 и ККП в диапазоне от 0 до –60 дБ. Эталон построен на базе современных ВАЦ с внешними модулями расширения частотного диапазона. Сейчас этот эталон уже работает в диапазоне частот до 220 ГГц, и осуществляется поставка оборудования до 325 ГГц. Точность передачи единиц ККО и ККП рабочим эталонам в волноводных трактах сравнима с точностью рабочих средств измерений метрологического класса.

Крайне актуальной в РФ является проблема метрологического обеспечения измерений параметров микроэлектронных устройств на подложке (пластине) при изготовлении электронной компонентной базы. Ключевой задачей в этом случае является создание калибровочных мер на подложке с нормированными значениями ККО и ККП, наиболее востребованных в производстве СВЧ электроники.

Ещё одной важной задачей в области трактовых измерений является гармонизация использования волноводных, а также коаксиальных трактов отечественного и зарубежного производства. Де факто значительная часть отечественного парка средств измерений использует импортные разъёмы и волноводы, поэтому при совершенствовании государственных первичных эталонов должна быть предусмотрена возможность работы как с отечественными трактами, так и в трактах, выполненных по стандартам МЭК.

Таким образом, повышение точности измерений комплексных коэффициентов отражения и передачи связано с решением следующих актуальных задач:

- разработка средств измерений ККО и ККП в диапазоне частот до 178,4 ГГц в волноводных трактах;
- разработка комплектов калибровочных мер в стандартизованных типах трактов с оптимальным составом для решения основных измерительных задач;
- разработка технологии изготовления мер с требуемыми техническими характеристиками;
- создание и практическая отработка методик выполнения измерений при воспроизведении, хранении и передаче единиц ККО и ККП волноводных трактов в диапазоне частот до 178,4 ГГц.

В области измерений параметров формы и спектра сигналов система метрологического обеспечения базируется на государственных первичных эталонах единиц коэффициента амплитудной модуляции ГЭТ 180-2010 и девиации частоты ГЭТ 166-2004, государственных эталонах коэффициента гармоник ГЭТ 188-2010, государственном первичном специальном эталоне единицы импульсного напряжения ГЭТ 182-2010, а также первичных эталонах мощности и частоты.

Широкое внедрение цифровых технологий позволило реализовать новые возможности в формировании и измерении параметров сигналов. По своим характеристикам приборы на основе современных быстродействующих ЦАП и АЦП во многом превосходят аналоговые средства измерений. В настоящее время значительная часть выпускаемых генераторов сигналов работает по принципу «DDS» — прямого цифрового синтеза. Также принципиально отличаются от своих предшественников современные осциллографы и анализаторы спектров (сигналов), использующие новые цифровые технологии. Уже сейчас серийно выпускаются генераторы сигналов произвольной формы с частотой дискретизации до 12 Гвыб/с с аналоговой полосой 5 ГГц, а полоса анализа сигналов достигает 1 ГГц. Такие параметры необходимы для тестирования современных систем связи, радиолокации, радионавигации.

Ключевым фактором, определяющим в настоящее время требования к системе метрологического обеспечения параметров сигналов, стал переход от аналоговой модуляции к векторной, что позволило повысить скорость передачи информации. В настоящее время особое внимание уделяется созданию мобильной сети 5G, её развёртывание позволит обеспечить потребности цифровой экономики в современных телекоммуникационных системах за счёт увеличения скорости передачи данных более чем в 100 раз. Это может быть достигнуто за счёт перехода на более высокие частоты несущей, в частности рассматриваются частоты около 24 и 52 ГГц, на которых возможно расширение полосы до 400 МГц, а также рассматривается увеличение индекса векторной модуляции с QAM256 до QAM1024. Такие изменения ведут к ужесточению требований к параметрам радиосигналов, точность измерения которых не может быть подтверждена без создания соответствующей метрологической базы.

С развитием цифровых средств измерений также возрастает потребность в метрологическом обеспечении измерений амплитудно-временных параметров сигналов. Измерения в данной области прослеживаются к ГЭТ 182-2010.

Характеристики первичных эталонов единиц коэффициента амплитудной модуляции ГЭТ 180 и девиации частоты ГЭТ 166, которые были утверждены в период с 2004 по 2010 г, уже не обеспечивают диапазоны нормируемых характеристик модуляций современных средств измерений с такой широкой полосой генерации и анализа сигналов. Работа по усовершенствованию Государственного первичного специального эталона единицы девиации частоты ГЭТ 166-2004 с целью повышения диапазона и точности воспроизведения девиации частоты уже ведётся.

В ведущих национальных метрологических институтах NIST (США) и PTB (Великобритания) осуществляется переход на метод воспроизведения единицы электрического импульсного напряжения на основе электрооптических преобразователей. Разработка конструкции и технологии создания

сверхширокополосной электрооптической измерительной установки на основе радиофотонных компонентов (фемтосекундного лазера, СВЧ фотодиода, микрополосковой линии) позволит обеспечить единство измерений амплитудно-временных характеристик импульсных сигналов до 110 ГГц, а также формирование единого методологического подхода к нормированию и методам измерения метрологических характеристик современных широкополосных стробоскопических и реального времени осциллографов. Во ФГУП «ВНИИФТРИ» ведётся поиск путей для создания такой системы и включения её в состав эталона ГЭТ 182-2010.

Важной задачей в области измерения параметров сигналов является метрологическое обеспечение измерителей уровня фазовых шумов, используемых при оценке спектральной плотности мощности фазового шума и для оценки паразитных составляющих в спектре сигнала при малой отстройке от несущей. В настоящее время ФГУП «ВНИИФТРИ» проводит исследования по созданию исходного эталона фазовых шумов.

Таким образом, перечисленные проблемы в области измерений параметров сигналов требуют развития эталонов и нормативно-технической базы.

Решение задач метрологического обеспечения в области измерений параметров электромагнитных полей и антенн обеспечивается комплексом Государственных эталонов единиц напряжённости электрического и магнитного полей ГЭТ 44-2010, ГЭТ 45-2011, ГЭТ 158-96, а также плотности потока энергии электромагнитного поля ГЭТ 160-2006.

Физические принципы воспроизведения параметров электромагнитных полей и антенн в низкочастотной области — до 1000 МГц, и в диапазоне от 1 до 178,4 ГГц существенно отличаются, что сказывается на подходах к построению системы метрологического обеспечения измерений параметров электромагнитных полей и антенн.

Характеристики Государственных первичных эталонов ГЭТ 44-2010 (магнитное поле в диапазоне частот от 0,1 до 30 МГц), ГЭТ 45-2011 (электрическое поле в диапазоне от 300 Гц до 1 ГГц), ГЭТ 158-96 (электрическое поле в диапазоне от 0 Гц до 20 кГц) позволяют обеспечить воспроизведение и передачу с требуемой точностью единиц соответствующих физических величин для решения измерительных задач в области контроля санитарных норм, радиоконтроля, ЭМС, защиты информации, специальных исследований и проверок.

Вторичные эталоны параметров электромагнитных полей эксплуатируются в ГНМЦ Минобороны России, ФБУ «Ростест-Москва» и ряде региональных ЦСМ.

К основным недостаткам существующих государственных первичных эталонов напряжённости ЭМП стоит отнести физический износ и низкий уровень автоматизации. В настоящее время в рамках совершенствования эталонной базы ведутся работы по модернизации ГЭТ 158-96, в результате ко-

торых будет расширен динамический диапазон воспроизводимых значений НЭП. Также в настоящее время в институте ведутся работы по исследованию фундаментально нового подхода к воспроизведению НЭП, при котором используется взаимодействие радиочастотных полей с щелочными атомами, возбуждёнными до ридберговских состояний.

Более сложная ситуация с обеспечением единства измерений параметров ЭМП и антенн наблюдается в диапазоне частот выше 1 ГГц. Единство измерений ППЭ ЭМП обеспечивается на основе ГЭТ 160-2006. При этом единица эффективной площади (коэффициента усиления) антенн воспроизводится методом трёх антенн с экстраполяцией в дальнюю зону. Однако передача единицы коэффициента усиления возможна лишь антеннам с малыми электрическими размерами.

Широкое внедрение многофункциональных антенных систем (АС) привело к расширению номенклатуры контролируемых параметров, при этом ужесточаются требования к точности их измерения. В связи с этим особого внимания заслуживает проблема метрологического обеспечения измерений параметров крупноапертурных антенных систем, активных фазированных антенных решёток, в том числе антенн с цифровым формированием диаграммы, адаптивных антенн [3].

Многие предприятия промышленности, занятые разработкой и производством современных антенных систем, за последние 10–15 лет были оснащены антенными измерительными комплексами (АИК), в том числе современными комплексами ближней зоны и комплексами на основе радиоколлиматоров, позволяющих измерять характеристики антенных систем с максимальными размерами до 10...15 м в диапазоне частот от 0,1 до 50 ГГц. Парк современных АИК на предприятиях промышленности в России в настоящее время превышает 100 единиц. Однако имеющаяся эталонная база не обеспечивает подтверждение требуемых для разработчиков погрешностей и диапазонов измерений характеристик АС. Остро стоят вопросы метрологического обеспечения измерений характеристик активных ФАР (эквивалентной изотропно-излучаемой мощности $P \times G$, энергетической добротности G/T), низких уровней боковых лепестков диаграмм направленности (менее -30 дБ), поляризационных характеристик антенн, пространственных диаграмм системы антенна—облучатель. Кроме того, отсутствует или устарела нормативно-техническая база в области измерений характеристик АС.

Также остаётся открытым вопрос прослеживаемости и достоверности результатов измерений крупноапертурных антенн по внеземным естественным источникам радиоизлучений. В большинстве случаев в качестве исходных используются данные из открытых источников информации — сайтов зарубежных обсерваторий, которые были получены в значительно более южных широтах и на частотах, которые не всегда совпадают с рабочим диапазоном тестируемых антенн.

Таким образом, текущая ситуация в области антенных измерений характеризуется, с одной стороны, дальнейшим усложнением решаемых измерительных задач в области измерений параметров многофункциональных АС, с другой — недостаточным уровнем метрологического и методического обеспечения измерений основных параметров АС. Невозможность контроля с требуемой точностью всей номенклатуры нормируемых параметров, разрабатываемых АС, неизбежно ведёт к снижению качества испытаний АС и сдерживает развитие радиоэлектронных систем в целом.

В области измерений радиолокационных характеристик объектов за последнее десятилетие расширился перечень решаемых задач по испытаниям современных малозаметных объектов. Радиолокационные измерительные комплексы (РИК), как правило, являются уникальными изделиями, предназначенными для испытаний конкретного вида техники. Значительная часть РИК прошла испытания с целью утверждения типа средств измерений. Не решены проблемы метрологического обеспечения измерений локальных радиолокационных характеристик (радиолокационных изображений), а также измерений характеристик радиопоглощающих материалов и покрытий, в первую очередь — измерение малых значений модуля коэффициента отражения для материалов рассеивающего типа.

Для решения проблем метрологического обеспечения и повышения эффективности применения РИК начаты работы по созданию исходного эталона эффективной площади рассеяния, а также разработка и внедрение современной нормативно-методической базы в области радиолокационных измерений.

Частотно-временные измерения являются самостоятельным видом измерений, однако они тесно связаны с радиотехническими измерениями. Практически все измерения радиотехнических величин привязаны к частоте, и многие измеряемые радиотехнические величины характеризуются временными зависимостями. Характеристики Государственного первичного эталона времени и частоты ГЭТ-1, модернизация которого завершена в 2017 году, соответствуют характеристикам национальных эталонов ведущих промышленно развитых стран. Парк вторичных эталонов, в качестве которых используются стандарты частоты, также динамично развивается и соответствует текущим потребностям. Основной нерешённой проблемой в области радиотехнических измерений, которая связана с частотно-временными измерениями, является отсутствие серийного производства отечественных частотомеров выше 37,5 ГГц.

В области метрологических измерений объёмов передаваемой цифровой информации по каналам интернет и телефонии исходным является ГЭТ-200-2012. С учётом развития рынка телекоммуникационных услуг в настоящее время остро стоит вопрос модернизации ГЭТ-200 с целью расширения его функциональных возможностей в части воспроизведения и измерений объём-

ма и скорости пакетной передачи данных, а также измерений задержек при передаче пакетов данных.

Проведение модернизации позволит обеспечить единство измерений скорости пакетной передачи данных в телекоммуникационных системах, снизить количество конфликтных ситуаций, возникающих между поставщиками и потребителями телекоммуникационных услуг. Кроме того, это обеспечит объективный контроль достижения целевых показателей программы «Цифровая экономика Российской Федерации» в части объёма и скорости передачи информации.

Развитие многих областей радиоэлектроники также неразрывно связано с исследованием радиофизических свойств материалов. Основными контролируемыми характеристиками материалов являются комплексные диэлектрическая и магнитная проницаемости. Основу системы обеспечения единства измерений в данной области составляют Государственные первичные эталоны диэлектрической проницаемости ГЭТ 121-2015 и ГЭТ 110-2012, эксплуатируемые в Восточно-сибирском филиале ФГУП «ВНИИФТРИ» и Государственный первичный эталон единиц относительных диэлектрической и магнитной проницаемостей ГЭТ 174-2016, эксплуатируемый во ФГУП «СНИИМ».

Рост парка средств измерений диэлектрической проницаемости в настоящее время связан с активным освоением миллиметрового диапазона длин электромагнитных волн, разработкой антенно-фидерных устройств и радиопоглощающих материалов.

Основными направлениями развития средств метрологического обеспечения измерений проницаемости является расширение частотного диапазона до 325 ГГц, повышение точности и расширение диапазона измеряемых значений проницаемости материалов с высокими потерями, а также расширение функциональных возможностей в части исследования анизотропных свойств материалов и измерений диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в широком диапазоне температур.

Особенности распространения электромагнитных волн терагерцового диапазона делают этот диапазон привлекательным для широкого круга прикладных задач. Применение ТГц-диапазона в системах спутниковой и воздушной связи позволит существенно улучшить пространственную избирательность (скрытность) при меньшей массе и габаритах антенн, при этом пропускная способность канала может достигать десятков Гбит/с. Несмотря на низкую практическую загрузку данного диапазона за рубежом активно ведутся работы по созданию средств метрологического обеспечения измерений в ТГц диапазоне. Как правило, разработка ведётся на основе серийных изделий СВЧ диапазона с применением твердотельных умножителей частоты, позволяющих расширить диапазон генераторов, анализаторов спектра, ВАЦ.

Основными задачами обеспечения единства измерений в терагерцовом диапазоне частот являются совершенствование государственных первичных эталонов единиц мощности, ККО ККП в части расширения их частотного диапазона до 1,0 ТГц, а также создание технологического задела в области производства средств измерений в этом диапазоне частот.

Следует также отметить увеличение парка многофункциональных средств измерений. Например, прецизионный анализатор спектра может применяться в качестве рабочего эталона единиц частоты, мощности, отношения мощностей, ослабления, амплитудной модуляции, фазовой девиации, спектральной плотности мощности шума. Всё это ведёт к необходимости изменения подходов в организации их поверки и калибровки. Во-первых, для этого необходимо применение большого числа эталонов, во-вторых, количество операций поверки по широкому ряду нормируемых параметров приводит к удорожанию стоимости таких работ. Исправить ситуацию могли бы автоматизированные рабочие места, аттестованные в качестве рабочих эталонов сразу по нескольким единицам величин. Задача разработки таких установок для оснащения региональных центров стандартизации и метрологии и метрологических служб предприятий является крайне актуальной задачей. При этом следует рассматривать возможность создания транспортируемых мер для поверки и калибровки сложных, дорогостоящих приборов на месте их постоянной эксплуатации.

Таким образом, основными задачами развития системы метрологического обеспечения в области радиотехнических измерений являются расширение диапазона частот государственного первичного эталона мощности электромагнитных колебаний до 178,4 ГГц и создание исходного государственного эталона ККО и ККП в волноводных трактах в диапазоне частот до 178,4 ГГц, а также создание исходного эталона параметров антенн для метрологического обеспечения разработки и производства современных многофункциональных антенных решёток.

Наряду с этим представляется необходимой активизация исследований по поиску рациональных путей обеспечения единства измерений параметров цифровой модуляции, в том числе созданию исходных эталонов по параметрам аналоговых и цифровых модуляций, уровню фазовых и амплитудных шумов на основе векторных генераторов и анализаторов сигналов. Кроме того, должны быть начаты активные работы по поиску путей реализации системы воспроизведения единицы электрического импульсного напряжения на основе электрооптических преобразователей.

Решение перечисленных задач должно оказать существенное влияние на эффективность производства в приборостроительной и смежных отраслях, а также будет способствовать повышению качества и конкурентоспособности выпускаемой продукции.

Литература

1. Альманах современной метрологии. 2019. № 1 (17). С. 7–43, 137–158.
2. Гаврилов А.Б. Состояние и перспективы развития эталонной базы радиотехнических измерений ФГУП «СНИИМ» / Материалы научно-технической конференции «Метрология в радиоэлектронике». Т. 1. Менделеево, 2018. С. 32–40.
3. Малай И.М., Титаренко А.В., Шкуркин М.С. Современное состояние и перспективы развития эталонной базы в области антенных измерений СВЧ-диапазона / Материалы научно-технической конференции «Метрология в радиоэлектронике». Т. 1. Менделеево, 2018. С. 111–116.