

УДК 006.91:621.317

**СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ  
РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН****И.М. Малай, О.В. Каминский, В.А. Тищенко, В.Н. Шеховцов***ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево, Московская обл.**malay@vniiftri.ru, kaminsky@vniiftri.ru, otd200@vniiftri.ru, shehovtcov@vniiftri.ru*

*Статья знакомит с формированием и развитием направления радиотехнических измерений в стране, освещает основные этапы создания комплекса государственных эталонов в этой области. Основное внимание уделяется работам последнего полтора десятилетия – периода коренной модернизации эталонной базы радиотехнических измерений, повышения точности государственных эталонов, освоения новых частотных и динамических диапазонов. Значительное внимание уделено международным сличениям эталонов ведущих стран в этой области.*

*Ключевые слова: единство измерений радиотехнических величин, сличения*

Радиоэлектронные измерения являются одним из наиболее массовых видов измерений. Период бурного развития радиоизмерений в нашей стране начался в середине прошлого века и был связан с ростом парка радиоизмерительных приборов, а также острой необходимостью разработки высокоточных средств и методов измерений. К середине 50-х гг. направление радиоизмерений было сформировано во вновь созданном Всесоюзном научно-исследовательском институте физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ), где были начаты работы по созданию установок для проверки частотоизмерительной аппаратуры, измерителей радиопомех, тока на высоких частотах, свойств диэлектриков.

Первый этап по созданию комплекса радиотехнических эталонов, обеспечивавших единство и достоверность радиоэлектронных измерений в стране, был завершён в 1976 г.

Следующим важнейшим этапом в развитии этого направления стало создание комплекса военных эталонов для основных физических величин в радиоизмерениях, работы по которому были завершены к началу 80-х гг.

В период существования СССР его эталонная база на уровне государственных первичных эталонов (ГЭТ) была сконцентрирована в 10 государственных научных метрологических институтах, три из которых после 1991 года оказались за пределами Российской Федерации. При этом в НПО «Метрология» (Украина) и ВНИИРИ (Армения) было сосредоточено значительное количество радиотехнических и антенных эталонов.

Однако проведённые за последние полтора десятилетия работы по модернизации и совершенствованию государственных эталонов в области радиоэлектронных, электрических и магнитных измерений позволили

создать новый комплекс государственных первичных эталонов и практически полностью восполнить этот пробел [1,2].

Учитывая постоянно возрастающие метрологические потребности радио-приборостроения, были продолжены работы по дальнейшему совершенствованию государственных эталонов, повышению их точности, освоению новых частотных и динамических диапазонов.

В настоящее время актуальной проблемой в области радиоэлектронных измерений является повышение эффективности метрологического обеспечения приоритетных, перспективных направлений экономики, обороны и социального развития Российской Федерации. В частности, предстоит решить задачу обеспечения единства измерений в приоритетных направлениях и критических технологиях, «Перечни» которых утверждены Президентом Российской Федерации. Это такие приоритетные направления развития науки, технологии, техники, как «Информационно-телекоммуникационные системы», «Транспортные, авиационные и космические системы», «Перспективные вооружения, военная и специальная техника», а также критические технологии: технологии создания и управления новыми видами транспортных систем; технологии создания новых поколений ракетно-космической, авиационной, морской техники; обработки, хранения, передачи и защиты информации; технологии создания интеллектуальных систем навигации и управления; распределённых вычислений и систем; обеспечения защиты и жизнедеятельности населения и опасных объектов при угрозах террористических проявлений.

Основным качественным показателем развития радиоизмерений в каждой стране является участие в международных сличениях ведущих стран в области радиоэлектронных измерений.

Участие в проводимых за последнее время международных сличениях первичных эталонов отражено в табл.1

Таблица 1

Эталон	Код	Область	Величина	Контроль
ГЭТ 160	CCEM.RF-K23.F	Electricity and Magnetism, Radio frequencies	Antenna gain	CCEM
ГЭТ 160	COOMET.EM.RF-S1	Electricity and Magnetism, Radio frequencies	Comparison of power flux density	COOMET
ГЭТ 160	CCEM.RF-K24.F	Electricity and Magnetism, Radio frequencies	Correction factor for E-field measurements	CCEM
ГЭТ 167	CCEM.RF-K25.W	Electricity and Magnetism, Radio frequencies	RF power from 33 GHz to 50 GHz in waveguide	CCEM
ГЭТ-180	COOMET 468/RU/09.	Electricity and Magnetism, Radio frequencies, Signal and pulse characteristics, Modulation AM	Supplementary com- parisons of amplitude modulation depth HF oscillations	COOMET

Среди лидеров в области электромагнитной метрологии в целом пять – США, ФРГ, Великобритания, Франция, Россия. Они имеют приблизительно одинаковое количество позиций СМС (калибровочных возможностей) национальных метрологических институтов, содержащихся в базе данных KCDB.

Решающим в развитии направления электромагнитных измерений радиочастотного диапазона стали конец XX и начало XXI века, когда очень остро стал вопрос создания эталонной базы, соответствующей международному уровню, удовлетворяющей всё возрастающие требования к точности измерений отечественных предприятий приборостроения, связи, радиоэлектроники, навигации, а также медицины, биологии, экологии, других областей, связанных с воздействием электромагнитных полей на человека. Были созданы новые эталоны [1,2]:

в 1996 г. - Государственный специальный эталон единицы напряженности электрического поля в диапазоне частот 0 - 20 кГц;

в 2000 г. - Государственный первичный эталон единицы плотности потока энергии электромагнитного поля в диапазоне частот 0,3-78 ГГц;

в 2004 г. - Государственный специальный эталон девиации частоты;

в 2005 г. - Государственный первичный эталон единицы мощности электромагнитных колебаний в диапазоне частот 37,5 – 53,57 ГГц;

в 2010 г. - Государственный первичный эталон единицы коэффициента амплитудной модуляции высокочастотных колебаний; Государственный первичный эталон единицы коэффициента гармоник в диапазоне (0,001...100) % для сигналов с основной гармоникой в диапазоне частот (10...200000) Гц; Государственный первичный эталон единицы ослабления электромагнитных колебаний в диапазоне частот до 178 ГГц; в области импульсных напряжений – Государственный первичный специальный эталон единицы импульсного электрического напряжения с длительностью импульса от  $4 \cdot 10^{-11}$  до  $10^{-5}$  с; Государственный первичный специальный эталон единицы комплексной диэлектрической проницаемости в диапазоне частот от 1 до 78,33 ГГц;

в 2012 г. - Государственный первичный эталон единиц объёмов передаваемой цифровой информации по каналам Интернет и телефонии, который предназначен для хранения и воспроизведения единиц объёмов (количества) цифровой информации (данных) и передачи размера единиц рабочим эталонам методами непосредственного сличения и прямых измерений, а также рабочим средствам измерения дистанционно по каналам связи стандартов UMTS, GPRS, Ethernet, LTE, WiMAX, EDGE, HSPA, ADSL, IMT-TC-450. Данный эталон обеспечивает выполнение требований ст. 1, п. 3, п. 9 Федерального Закона № 102-ФЗ от 26.06.2008 г. «Об обеспечении единства измерений» при учёте оказанных услуг электросвязи операторами связи.

С 2005 г. начался плановый процесс совершенствования существующих эталонов. Был модернизирован ряд наиболее востребованных эталонов.

В 2006 г. - Государственный первичный эталон единицы плотности потока энергии электромагнитного поля (ППЭ) в диапазоне частот 0,3 – 178,0 ГГц. В результате расширился диапазон частот эталона с 78 до 178 ГГц. По своим метрологическим характеристикам созданный эталон соответствует мировому уровню, что подтверждается результатами проводимых международных сличений.

В 2010 г. - Государственный первичный эталон единицы напряжённости магнитного поля в диапазоне частот 0,01 – 30 МГц. Технические и метрологические характеристики модернизированного эталона удовлетворяют текущим и перспективным требованиям к единству измерений напряжённости магнитного поля в области обеспечения электромагнитной безопасности окружающей среды для человека, информационно-телекоммуникационных систем и технологий, электромагнитной совместимости технических средств. Расширен диапазон применения поверочной схемы.

В 2010 г. - Государственный первичный эталон единицы мощности электромагнитных колебаний в волноводных и коаксиальных трактах в диапазоне частот 0,03 – 37,5 ГГц. Эталон принял участие в международных сличениях. По данным калибровочных возможностей он соответствует международному уровню в указанных трактах и диапазонах частот. Эталон укомплектован современным вспомогательным оборудованием, позволяющим использовать его в автоматизированных установках и обеспечивать поверку основных СИ мощности СВЧ.

В 2011 г. - Государственный первичный эталон единицы напряжённости электрического поля в диапазоне частот 0,0003 – 1000 МГц. В результате проведена его гармонизация с национальными эталонами зарубежных стран путём расширения диапазона воспроизведения единиц напряжённости электрического поля (НЭП). Вместе с поверочной схемой он обеспечивает единство измерений находящимися в сфере государственного регулирования рабочими средствами измерений, выпускаемыми серийно как отечественными, так и зарубежными производителями, и применяемыми в области информационно-телекоммуникационных технологий, электромагнитной совместимости технических средств и электромагнитной безопасности в диапазоне частот от 0,0003 до 2500 МГц.

В 2011 г. был усовершенствован один из базовых радиотехнических эталонов – эталон единицы спектральной плотности мощности шумового радиоизлучения в диапазоне частот от 0,002 до 178,3 ГГц. Модернизация эталона СПМШ была вызвана необходимостью обеспечения на уровне современных требований создания, сертификации и эксплуатации чувствительных приёмно-усилительных устройств и их активных компонентов.

Приведённая ниже таблица иллюстрирует востребованность электромагнитных эталонов.

Таблица 2

Обозначение и наименование	Год создания (совершенствования)	Количество подчинённых СИ			Количество передач размера единицы в год
		ВЭТ	РЭ	РСИ	
1	2	3	4	5	6
ГЭТ 45-2011 Государственный первичный эталон единицы напряжённости электрического поля в диапазоне частот от 0,0003 до 1000 МГц	2011	2	100	50000	230
ГЭТ 44-2010 Государственный первичный эталон единицы напряжённости магнитного поля в диапазоне частот от 0,01 до 30 МГц	2010	1	30	20000	190
ГЭТ 26-2010 Государственный первичный эталон единицы мощности электромагнитных колебаний в волноводных и коаксиальных трактах в диапазоне частот от 0,03 до 37,5 ГГц	2010	6	120	25000	1540
ГЭТ 188-2010 Государственный первичный эталон единицы коэффициента амплитудной модуляции высокочастотных колебаний	2010	1	100	150000	870
ГЭТ 160-2006 Государственный первичный эталон плотности потока энергии электромагнитного поля в диапазоне частот от 0,3 до 178 ГГц	2000	0	12	11000	284

Продолжение таблицы 2

Обозначение и наименование	Год создания (совершенствования)	Количество подчинённых СИ			Количество передач размера единицы в год
		ВЭТ	РЭ	РСИ	
1	2	3	4	5	6
ГЭТ 167-2005 Государственный первичный эталон единицы мощности электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 37,5 до 53,57 ГГц	2005	10	1000	200000	230
ГЭТ 166-2004 Государственный специальный эталон единицы девиации частоты	2004	1	100	100000	910
ГЭТ 158-96 Государственный специальный эталон единицы напряженности электрического поля в диапазоне частот 0 - 20 кГц	1996	1	28	30000	360
ГЭТ 21-2011 Государственный первичный эталон единицы спектральной плотности мощности шумового радиоизлучения в диапазоне частот от 0,002 до 178,3 ГГц	2011	1	1500	50000	240
ГЭТ 82-85 Государственный специальный эталон единицы магнитной индукции в диапазоне от 1 до 10 Тл	1985	0	25	120	20
ГЭТ 182-2010 Государственный специальный эталон единицы импульсного электрического напряжения с длительностью импульса от $4 \cdot 10^{-11}$ до $1 \cdot 10^{-5}$ с	2010	1	250	50000	180

Продолжение таблицы 2

Обозначение и наименование	Год создания (совершенствования)	Количество подчинённых СИ			Количество передач размера единицы в год
		ВЭТ	РЭ	РСИ	
1	2	3	4	5	6
ГЭТ 188-2010 Государственный первичный эталон единицы коэффициента гармоник в диапазоне (0,001...100) % для сигналов с основной гармоникой в диапазоне частот (10...200000) Гц	2010	1	70	4000	60
ГЭТ 193-2011 Государственный первичный эталон единицы ослабления электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 0 до 178 ГГц	2011	1	220	40000	150
ГЭТ 200-2012 Государственный первичный эталон единиц измерения объемов передаваемой цифровой информации по каналам Интернет и телефонии	2012	-	15	30000	10

Одновременно с введением в действие эталонов разрабатывается и утверждается необходимая нормативная документация на средства поверки, разрабатывается и внедряется в метрологическую практику комплекс рабочих эталонов.

Совершенствование и создание новых радиотехнических эталонов проводились с учётом приоритетных и критических технологий. Созданные эталоны позволяют на качественно новом уровне проводить испытания, метрологические исследования и поверку вновь разрабатываемых и ввозимых из-за рубежа средств измерений.

Таким образом, проведённые за последние полтора десятилетия работы по модернизации и совершенствованию государственных эталонов в области радиоэлектронных измерений позволили создать новый комплекс государственных первичных эталонов и практически полностью восполнить пробелы, образовавшиеся в эталонной базе России после распада СССР.

Важной вехой в 2013 г. явилось завершение строительства и ввод в эксплуатацию во ВНИИФТРИ измерительной радиобезэховой экранированной

камеры. (ИРБК), которая представляет собой уникальный многоцелевой комплекс, предназначенный для проведения электромагнитных измерений в условиях максимально приближенных к условиям свободного пространства.

Основой комплекса является безэховая экранированная камера (БЭК) с размерами 19,5x13,7x8,9 м, которая обеспечивает снижение уровня внешних электромагнитных помех не менее чем на 80 дБ. Камера изнутри покрыта радиопоглощающим материалом, с коэффициентом отражения от минус 30 до минус 50 дБ, что позволяет получить коэффициент безэховости в рабочей зоне БЭК не более минус 35 дБ в диапазоне частот от 1,0 до 40 ГГц.

Наличие такого инструмента открывает во ВНИИФТРИ новую страницу в области исследований, связанных с измерениями фазовых и поляризационных характеристик электромагнитных полей в свободном пространстве, измерениями характеристик антенн, как в ближней, так и дальней зонах, проведения испытаний антенн с управляемой диаграммой направленности, характеристик поля рассеяния. Первым шагом в развитии упомянутых направлений является создание методов и средств калибровки по групповому времени запаздывания, фазовой задержке и положению электрического центра антенно-фидерных устройств навигационной аппаратуры потребителей глобальных навигационных спутниковых систем с помощью эталона фазовых параметров антенн, функционирующего в условиях БЭК.

Традиционными в качестве перспективных являются направления, связанные с расширением диапазона частот существующих и создания новых эталонов в области миллиметрового диапазона частот.

- Ведется плановая работа по совершенствованию Государственного первичного эталона единицы мощности электромагнитных колебаний в диапазоне частот 37,50 – 53,57 ГЭТ 167 – 2005 с целью расширения верхнего значения диапазона частот до 78 ГГц.

- Имеется серьезный задел (специальное помещение, аппаратура) для создания первичного эталона комплексного отражения в волноводных трактах в диапазоне частот до 110 ГГц, в перспективе до 170 ГГц.

- Существует потребность в повышении статуса исходного эталона единицы спектральной плотности энергетической яркости и единицы радиояркостной температуры в микроволновой области спектра от 18,1 до 118,3 ГГц с расширением диапазона частот до 220 ГГц.

Основными тенденциями в области совершенствования государственных первичных эталонов являются:

- повышение точности воспроизведения, хранения и передачи единиц величин;

- расширение частотного и динамического диапазонов;

- автоматизация;

улучшение массо-габаритных и эксплуатационных характеристик.

Данные мероприятия проводятся с учётом современных и перспективных направлений развития радиоэлектронной промышленности.

### **Литература**

1. Радиотехнические эталоны для приоритетных научно-технических направлений и новейших технологий.- Менделеево, ФГУП «ВНИИФТРИ», 2012.
2. Создание и совершенствование эталонной базы в области радиочастотных электромагнитных измерений.- Менделеево, ФГУП «ВНИИФТРИ», 2013.