ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
Научный
Центр
РФ

ВНИИФТРИ

ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт
физико-технических и радиотехнических измерений»

Состояние и перспективы развития обеспечения единства измерений радиотехнических величин

Каминский О.В., Малай И. М., Тищенко В.А.

ФГУП «ВНИИФТРИ»

ФГУП «ВНИИФТРИ» уже более 60 лет осуществляет деятельность в области метрологического обеспечения науки, техники и технологий России с целью развития следующих областей:

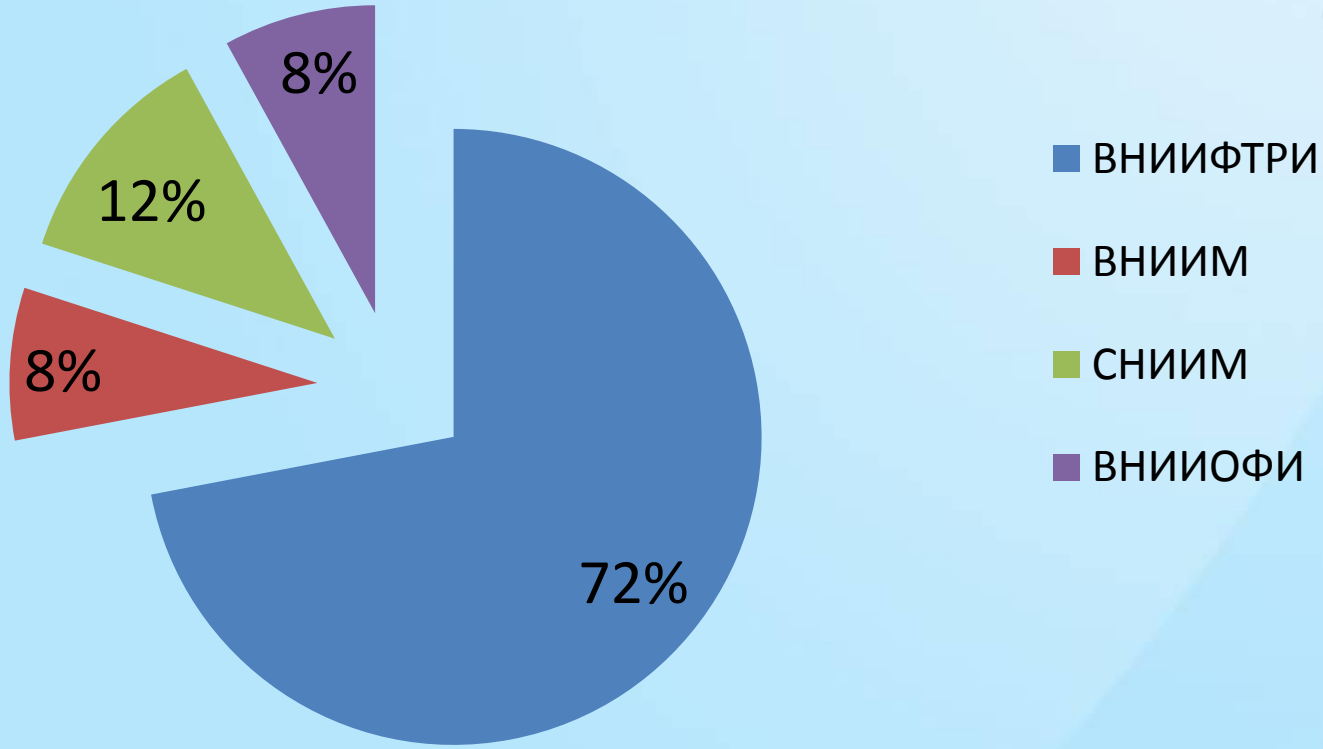
Радиоэлектроники;
Радионавигации, в том числе ГЛОНАСС;
Охраны окружающей среды и метеорологии;
Телевидения;
Систем дальней и сверхдальней связи, в том числе космической связи;
Радиолокации – активной и пассивной;
Радиовещательной техники;
Научных исследованиях.

С успешным развитием эталонной базы ВНИИФТРИ напрямую связаны достижения в приоритетных направлениях развития науки, техники, технологий:

- информационно-телекоммуникационных системах
- транспортных, авиационных и космических системах
- перспективных видах вооружения, военной и специальной техники
- нанотехнологии
- дистанционном зондирование Земли
- прикладной астрономии

Эксплуатируются 14 первичных и 7 вторичных эталонов

Процентное соотношение первичных радиотехнических эталонов России



ВНИИФТРИ

Первичные государственные эталоны радиотехнических величин ФГУП «ВНИИФТРИ»

- Единицы мощности электромагнитных колебаний ГЭТ 26-2010, ГЭТ 167-2005
- Единицы спектральной плотности мощности шумового радиоизлучения ГЭТ 21-2011
- Единицы ослабления электромагнитных колебаний ГЭТ 193-2011
- Единицы напряженности электрического поля ГЭТ 45-2011, ГЭТ 158-96
- Единицы напряженности магнитного поля ГЭТ 44-2010
- Единицы плотности потока энергии электромагнитного поля ГЭТ 160-2006
- Единицы комплексной диэлектрической проницаемости ГЭТ 110-2012, ГЭТ 121-80
- Единицы импульсного электрического напряжения ГЭТ 182-2010
- Единицы коэффициента амплитудной модуляции ГЭТ 180-2010
- Единицы девиации частоты ГЭТ 166-2004
- Единицы коэффициента гармоник ГЭТ 188-2010
- Единицы силы тока высокой частоты ГЭТ 56-74
- Единицы магнитной индукции ГЭТ 82-85
- Единиц измерения объемов передаваемой цифровой информации ГЭТ 200-2012

ВНИИФТРИ

Востребованность радиотехнических эталонов

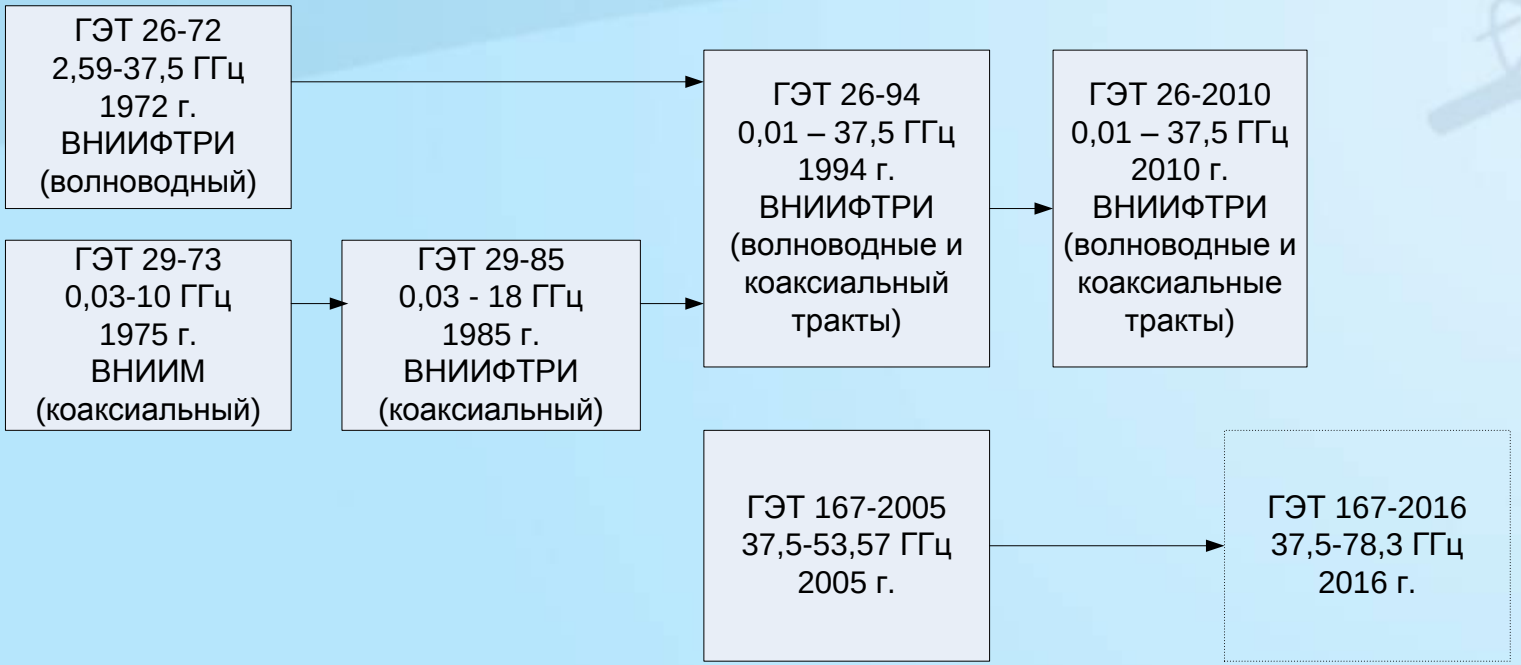
Обозначение и наименование	Год создания (модернизации)	Количество подчинённых СИ			Количество передач размера единицы в год
		ВЭТ	РЭ	РСИ	
ГЭТ 45-2011	2011	2	100	50000	230
ГЭТ 44-2010	2010	1	30	20000	190
ГЭТ 26-2010	2010	6	120	25000	**1540**
ГЭТ 188-2010	2010	1	100	150000	870
ГЭТ 160-2006	2000	0	12	11000	284
ГЭТ 167-2005	2005	10	1000	200000	230
ГЭТ 166-2004	2004	1	100	100000	910
ГЭТ 158-96	1996	1	28	30000	360
ГЭТ 21-2011	2011	1	1500	50000	240
ГЭТ 82-85	1985	0	25	120	20
ГЭТ 182-2010	2010	1	250	50000	180
ГЭТ 188-2010	2010	1	70	4000	60
ГЭТ 193-2011	2011	1	220	40000	150
ГЭТ 200-2012	2012	-	4	30000	15

Проводимые за последнее время международные сличения первичных эталонов

Эталон	Код	Область	Величина	Начало	Контроль
ГЭТ 160	CCEM.RF-K23.F	Electricity and Magnetism, Radio frequencies	Antenna gain	2009	CCEM
ГЭТ 160	COOMET.EM.RF-S1	Electricity and Magnetism, Radio frequencies	Comparison of power flux density	2009	COOMET
ГЭТ 160	CCEM.RF-K24.F	Electricity and Magnetism, Radio frequencies	Correction factor for E-field measurements	2010	CCEM
ГЭТ 167	CCEM.RF-K25.W	Electricity and Magnetism, Radio frequencies	RF power from 33 GHz to 50 GHz in waveguide	2010	CCEM
ГЭТ-180	COOMET 468/RU/09	Electricity and Magnetism, Radio frequencies, Signal and pulse characteristics, Modulation AM	Supplementary comparisons of amplitude mogulation depth HF oscillations	2009	COOMET

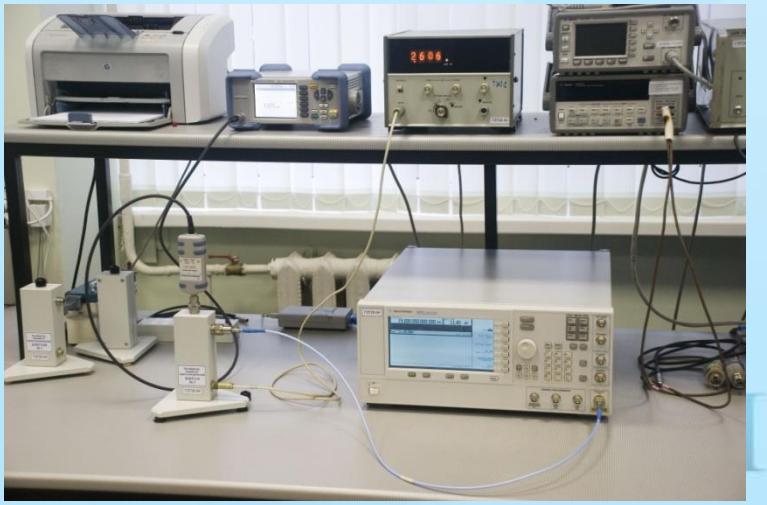
ВНИИФТРИ

Государственные первичные эталоны мощности электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 30 МГц до 37,5 ГГц ГЭТ 26-2010 и от 37,5 ГГц до 53,57 ГГц ГЭТ 167-2005



Парк рабочих эталонов состоит из более чем 25 типов, более 60 утвержденных типов СИ

Существует потребность предприятий в срочном расширении диапазона частот эталона до 178 ГГц

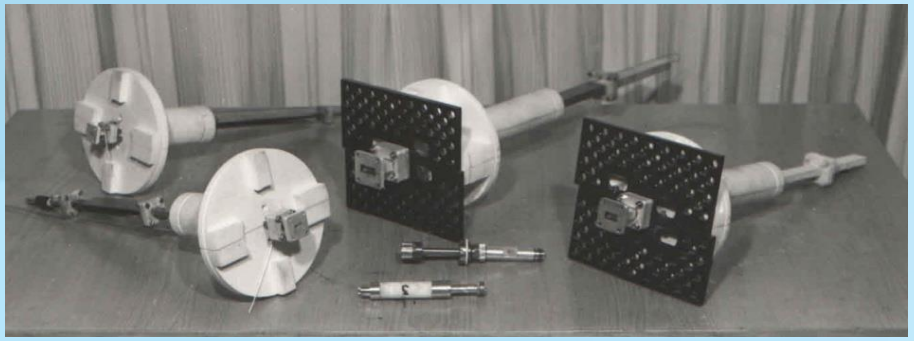


Национальные эталоны мощности СВЧ

Параметры эталонов		Россия	Украина	США Германия Англия	Швейцария
Диапазон частот, ГГц	Коаксиал	0,03 - 26	**0,03 – 18 ГГц**	**0,05 – 50**	**0,01 – 67**
	Волновод	5,64 – 53,57	**37,8 – 178,6**	**8,2 – 110**	–
Типы трактов и соединителей	Коаксиал	7/3,04; 3,5/1,52 тип III и IX по ГОСТ 13317	7/3,04 тип N по стандартам МЭК	7/3,04; 3,5/1,5; 2,4/1,04 type N, PC3.5, PC2.4 по стандартам МЭК	7/3,04; 3,5/1,5; 2,4/1,04 1,85/0,8 type N, PC3.5, PC2.4, PC1.85 по стандартам МЭК
	Волновод	7 типов волноводов, по ГОСТ 13317	3 типа волноводов, по ГОСТ 13317	7 типов волноводов, по стандартам МЭК	–
Погрешность воспроизведения, %	Коаксиал	0,4-1,5	1,1-1,5	0,2-3,1	0,5-4
	Волновод	0,4-2	1,1-1,5	1-2	–
Число строк СМС	Коаксиал	11	2	11	2
	Волновод	10	2	7	–

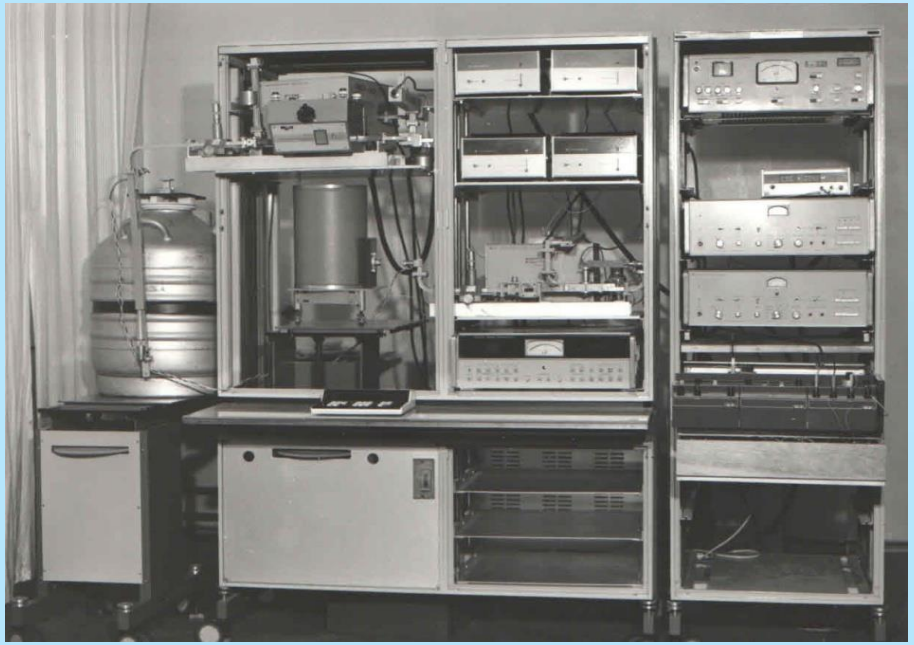
ВНИИФТРИ

Государственный первичный эталон единицы спектральной плотности мощности шумового радиоизлучения в диапазоне частот от 0,002 до 178,3 ГГц ГЭТ 21 - 2011



ПЭМ-К7,ПЭМ-В23, ПЭМ-В16, ПЭМ-В11, ПЭМ-7,2

ПЭМ-В5,2; ПЭМ-В3,6; ПЭМ-В2,4; ПЭМ-В1,2



Эталонная установка 8,15 – 17,44 ГГц

Эталонная установка 17,44 – 37,5 ГГц

ВНИИФТРИ

Метрологические характеристики государственного первичного эталона единицы СПМШ ГЭТ 21-2011

Диапазон частот, ГГц	Линия передачи		Воспроизведение единицы		Передача единицы вторичным эталонам*		Нестабильность эталона ν, К в год
			СКО результата измерения при n=5 S, К	НСП Θ, К	СКО результатов сличений		
	Тип**	Сечение, мм			НТ S_{Σ}, К	ВТ $S_{\Sigma 0}$, %	
1,0-8,0	КВ	3,5/1,52	0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,5	-***
8,0-26,5			0,1	0,2-0,3	0,3-0,7	0,5-0,7	-***
0,002- 1,0		7/3,04	0,1	0,4	0,8	0,6	0,2
1,0 - 8,15			0,1	0,4	0,3	0,5-0,7	0,3
8,15-12,42			0,1	0,4	0,6	0,8	0,3
8,15-17,44	ПВ	23×10 16×8	0,1	0,2	0,5	0,7	0,2
17,44-37,5		11×5,5 7,2×3,4	0,1	0,3-0,4	0,7	0,8	0,3
37,5-78,33		5,2×2,6 3,6×1,8	0,6	0,6	1,4-2,0	1,5-1,9	1,8
78,33-178,3		2,4×1,2 1,6×0,8	0,5 0,7	0,7 1,0	2,0-4,0	1,8-2,2	2,0

* Вид вторичного эталона: НТ – низкотемпературный, ВТ – высокотемпературный.

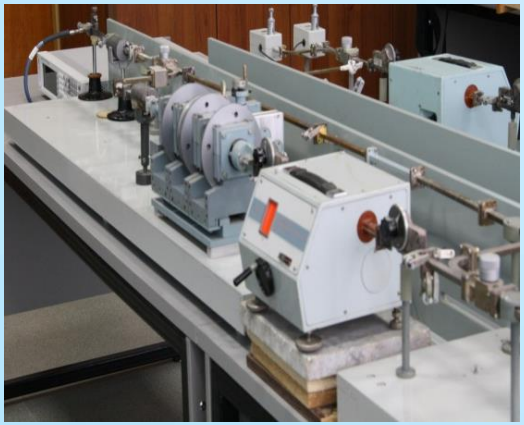
** КВ-коаксиальный волновод; ПВ-прямоугольным волновод.

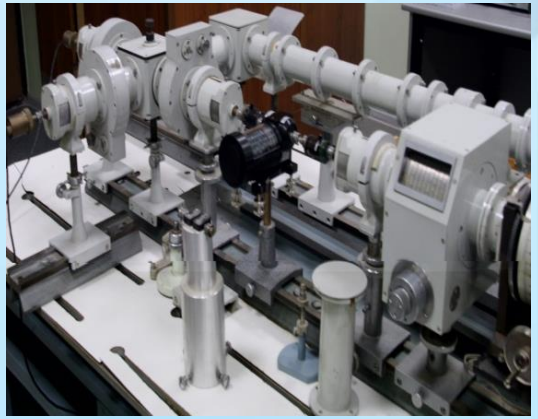
*** Подлежит определению при периодической аттестации ЭУ 1,0-26,5.

ВНИИФТРИ

Государственный первичный эталон ослабления электромагнитных колебаний в диапазоне частот до 178 ГГц ГЭТ 193-2011

- Диапазон значений ослабления (А), в котором воспроизводится единица, составляет от 0 до 120 дБ.
- Первичный эталон обеспечивает воспроизведение единицы ослабления на постоянном токе и в диапазоне частот от 20 Гц до 178 ГГц со средним квадратическим отклонением результата измерений, S_0, не превышающим $2 \cdot 10^{-5} – 1,5 \cdot 10^{-1}$ дБ при 10 независимых измерениях.
- Неисключенная систематическая погрешность, Θ_0, не превышает $7 \cdot 10^{-5} – 2 \cdot 10^{-1}$ дБ.
- Стандартная неопределенность результата измерений:
- оценённая по типу А, u_a, $2 \cdot 10^{-5} – 1,5 \cdot 10^{-1}$ дБ;
- оценённая по типу В, $u_в$, $4 \cdot 10^{-5} – 1,2 \cdot 10^{-1}$ дБ.
- Суммарная стандартная неопределённость $4,5 \cdot 10^{-5} – 1,9 \cdot 10^{-1}$ дБ.
- Расширенная неопределенность $9,0 \cdot 10^{-5} – 3,8 \cdot 10^{-1}$ дБ при К = 2.





ВНИИФТРИ

Государственный первичный специальный эталон единицы импульсного электрического напряжения 182-2010

Диапазон мгновенных значений периодических импульсных напряжений: от 0,1 до 100 В, длительность импульсов от 20 нс до 10 мкс:

- СКО результата измерений ($\mathbf{S_0}$) после интервала времени 10нс: не более 0,1 % при 10 независимых наблюдениях;
- НСП ($\mathbf{\Theta_0}$) после интервала времени 10 нс не более 0,05 %;
- стандартная неопределённость результатов измерений эталоном, оцениваемой по типу А, $\mathbf{U_A}$, после интервала времени 10 нс не более 0,1 % при 10 независимых наблюдениях;
- стандартная неопределённость результатов измерений эталоном, оцениваемой по типу В, $\mathbf{U_B}$, после интервала времени 10 нс не более 0,03 %;
- расширенная неопределённость после интервала времени 10 нс не более 0,2 % (коэффициент охвата к = 2).

ВНИИФТРИ

Государственный первичный эталон единицы коэффициента амплитудной модуляции высокочастотных колебаний ГЭТ 180-2010

Диапазон измерений: 0.1 - 100 %,
НСП: 10-3·М +(0,015,..0,09) %,
СКО: 0,005 %.
Диапазоны частот:
f0 = 0,01 – 1000 МГц,
Fм = 0,02 – 200 кГц.

ВНИИФТРИ

Государственный первичный эталон единицы коэффициента гармоник в диапазоне 0,001…100 % для сигналов с основной гармоникой в диапазоне частот 10…200000 Гц
ГЭТ 188-2010

Метрологические характеристики

1. Диапазон измерений Кг : 0,001 - 100) %;
2. Диапазон частот основной
3. гармоники: 0,01 - 200) кГц;
4. СКО: $(5 \cdot 10^{-6} - 3 \cdot 10^{-3})$ %
5. НСП $(1 \cdot 10^{-4} - 4 \cdot 10^{-2})$ %

Стандартная неопределенность при измерениях на эталоне:

1. Оценённая по типу А: $(5 \cdot 10^{-6} - 3 \cdot 10^{-3})$ %
2. Оцененная по типу В: $(4 \cdot 10^{-5} - 2 \cdot 10^{-2})$ %
3. Суммарная стандартная неопределенность:
4. $4 \cdot 10^{-5} - 2 \cdot 10^{-2})$ %
5. Расширенная неопределенность: $(8 \cdot 10^{-5} - 4 \cdot 10^{-2})$ % (при коэфф охвата 2)

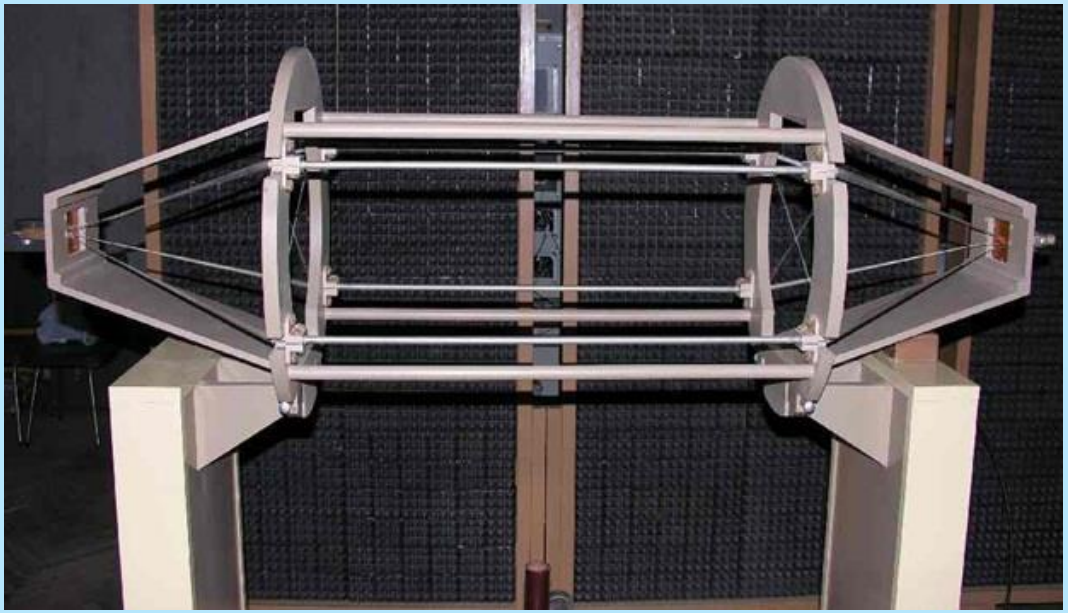
ВНИИФТРИ

Государственный первичный эталоны единицы напряженности магнитного поля в диапазоне частот от 0,01 МГц до 30 МГц ГЭТ 44-2010

ГЭТ 44-73 0,01 - 30 МГц 1973 г.	→	ГЭТ 44-2010 0,01 - 30 МГц Расширение диапазона измерений в 25 раз за счет применения четырехпроводной линии передачи

Единица напряженности магнитного поля ампер на метр

Парк РЭ состоит из 30 установок,
общее число измерителей магнитного поля составляет около 20 тыс. шт.



Государственные первичные эталоны единицы напряженности электрического поля в диапазоне частот от 0 Гц до 20 кГц ГЭТ 158-96 и от 0,0003 МГц до 1000 МГц ГЭТ 45-2011

ГЭТ 45-73
0,1-30 МГц
1973 г.

ГЭТ 96-75
30-1000 МГц
1975 г.

ГЭТ 45-94
0,0003 - 1000 МГц
1994 г.

ГЭТ 45-94
0,0003 - 1000 МГц
2011 г.

ГЭТ 158-96
0 - 20 кГц
1996 г.

Основные сферы применения: контроль санитарно–гигиенических норм, обеспечивающих электромагнитную безопасность окружающей среды для человека; электромагнитная совместимость технических средств; радиосвязь

Более 30 РЭ в региональных центрах метрологии, 50 типов СИ в Реестре СИ

ВНИИФТРИ

Государственный первичный эталоны единицы плотности потока энергии электромагнитного поля в диапазоне частот 0,3 – 178 ГГц ГЭТ 160-2006

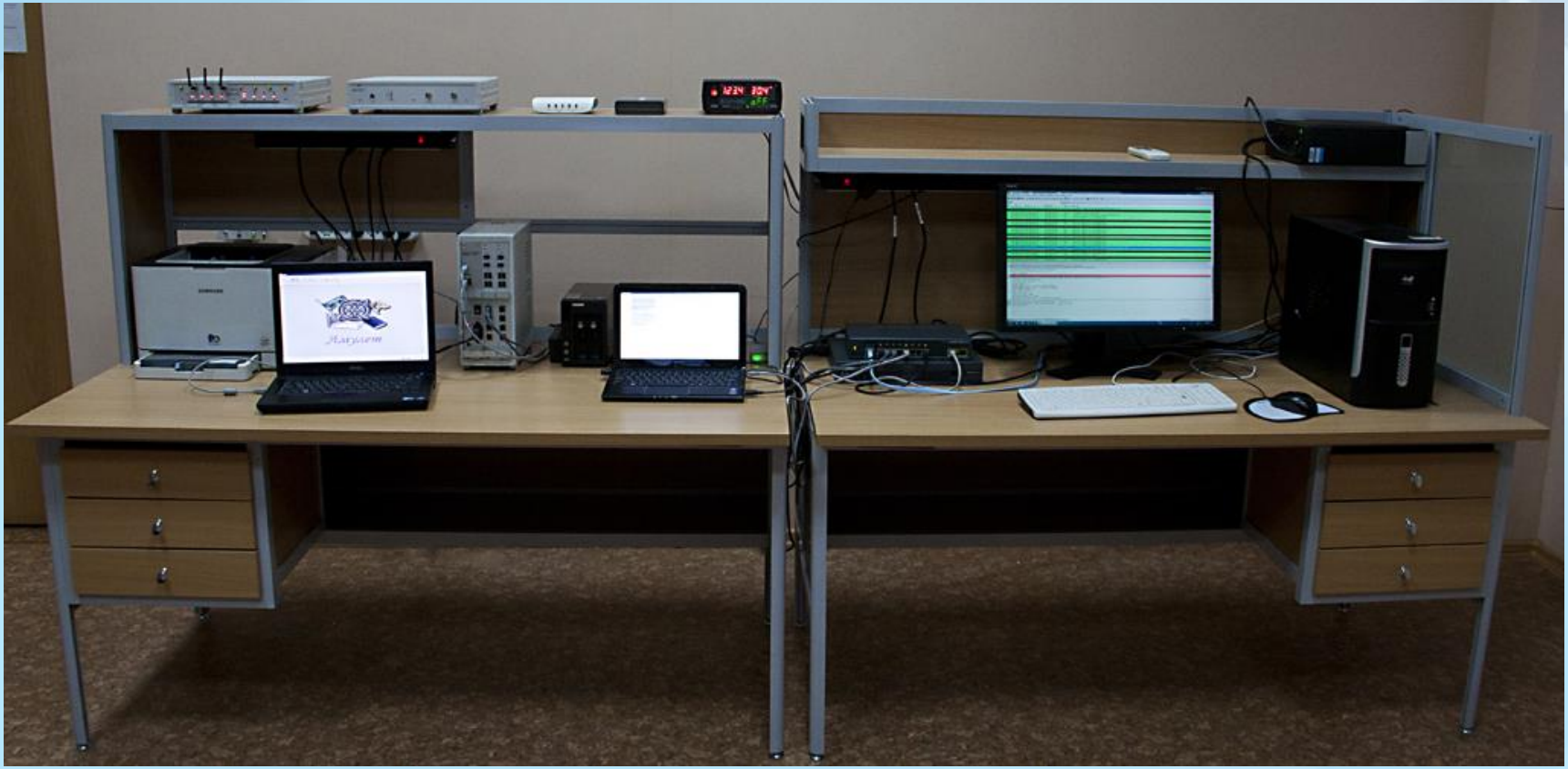
ГЭТ 160 0,3 – 78 ГГц 2000 г.	→	ГЭТ 160 0,3 – 178 ГГц 2006 г.

Эксплуатируется 9 типов рабочих эталонов, общее количество измерителей, подлежащих обязательной поверке, более 10000 шт.

ВНИИФТРИ

Государственный первичный эталон измерения объемов передаваемой цифровой информации по каналам интернета и телефонии

ГЭТ 200-2012



Диапазон измерений: 1 байт – 1 Тбайт

Стандартная неопределенность воспроизведения единиц:

- ✓ оценённая по типу А - 0 байт
- ✓ Оценённая по типу В – 0 байт

ВНИИФТРИ

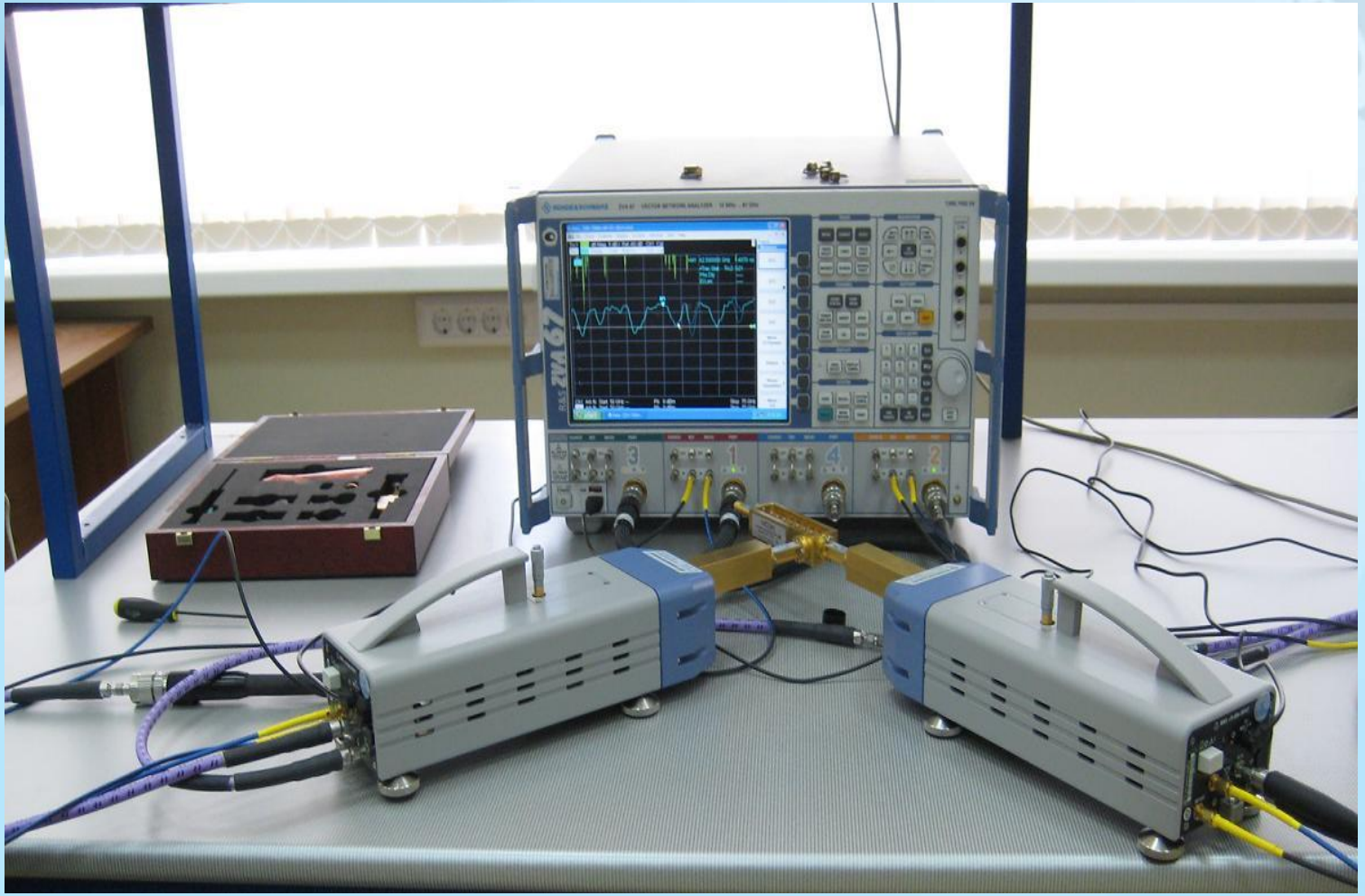
Проблемы передачи единиц измерения объемов передаваемой цифровой информации

1. В целях обеспечения единства измерений в цифровых системах передачи информации (данных) необходимо принять правовые нормы, устраняющие неопределенность при передаче трафика на пользовательском и транспортном уровнях.

2. Необходимо принятие технического регламента на технические системы и устройства с измерительными функциями, применяемыми в электросвязи, с распространением на них действия законодательства Российской Федерации об обеспечении единства измерений в полном объеме.

ВНИИФТРИ

Установка для измерений комплексных коэффициентов отражения в диапазоне частот до 110 ГГц



ВНИИФТРИ

Рабочее место для измерений комплексных коэффициентов отражения

Система активной стабилизации температуры с приточной вентиляцией и распределенной по пространству системой подачи воздуха

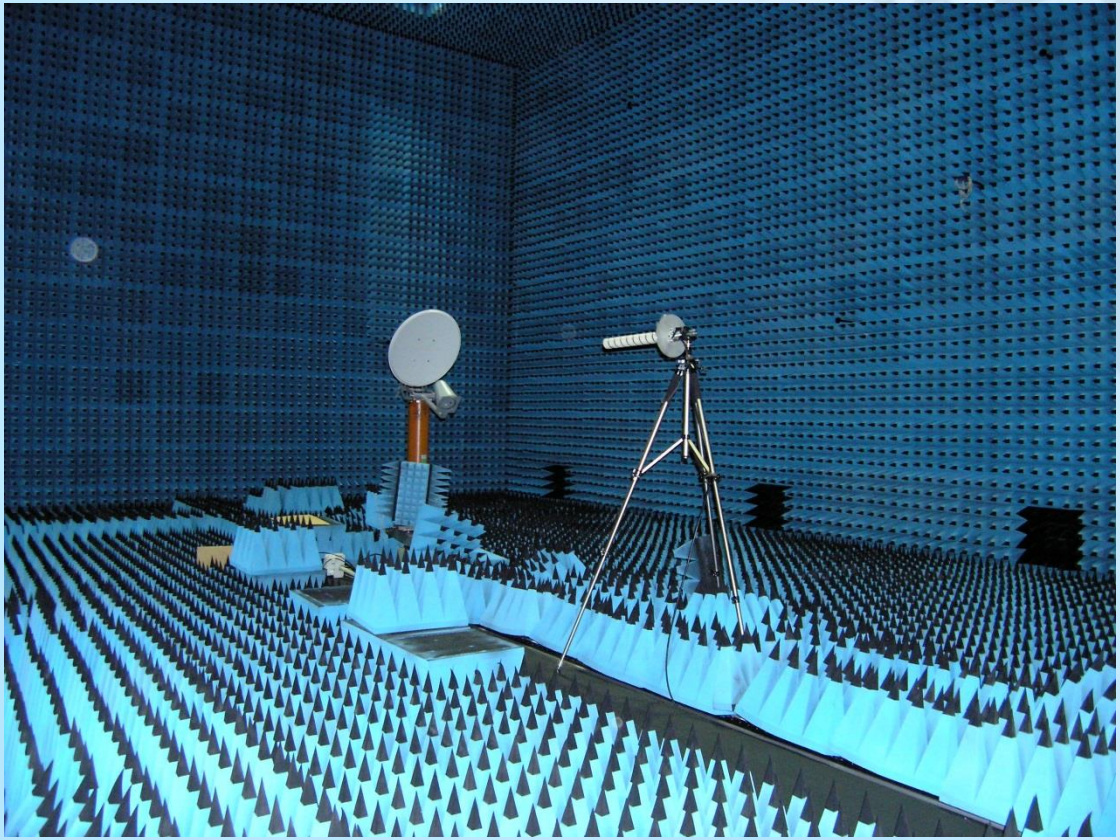
Системы для хранения аппаратуры

Антистатическое покрытие пола и рабочих столов

Рабочее место по контролю коаксиальных соединителей и волноводных фланцев

Основные направления деятельности ФГУП «ВНИИФТРИ» по обеспечению единства и точности измерений характеристик антенн

Экспериментальные исследования средств и методов метрологического обеспечения в области антенных измерений.



ВНИИФТРИ

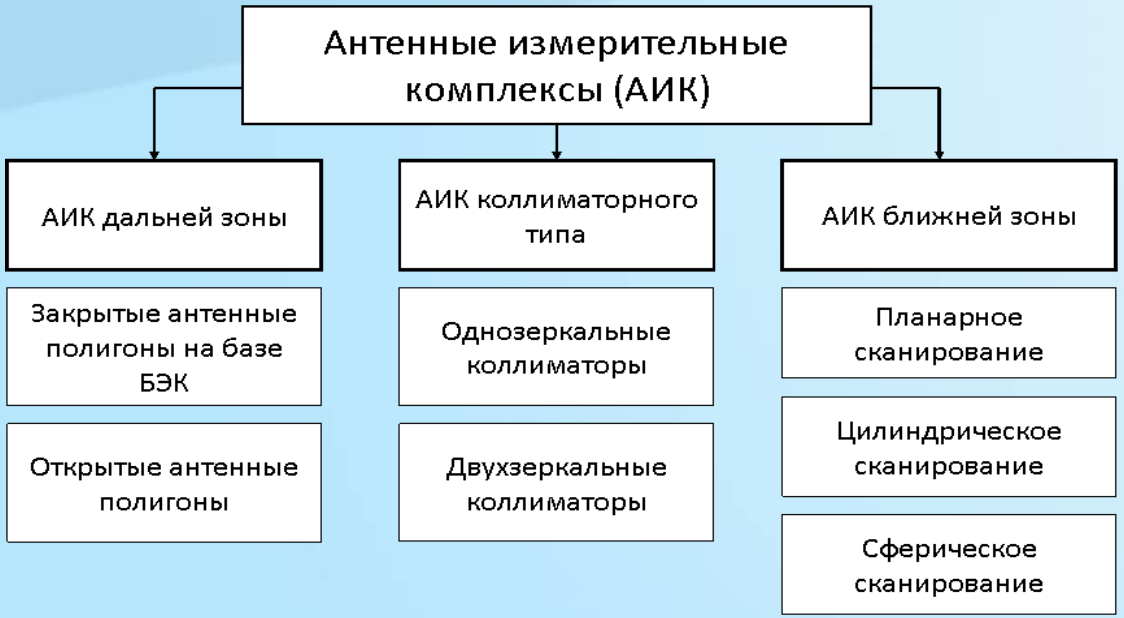
Эталон единицы коэффициента усиления (эффективной площади) направленных антенн с размером апертуры до 40 см

Единицы: коэффициента усиления (КУ) – дБ, эффективной площади (ЭП) – **м^2** .
Радиоколлиматор из состава ГЭ УВТ 96-А-2000 3.1.ZZT.0015.2012

ГЭ УВТ 96-А-2000

ВНИИФТРИ

Структура парка средств измерений характеристик антенн

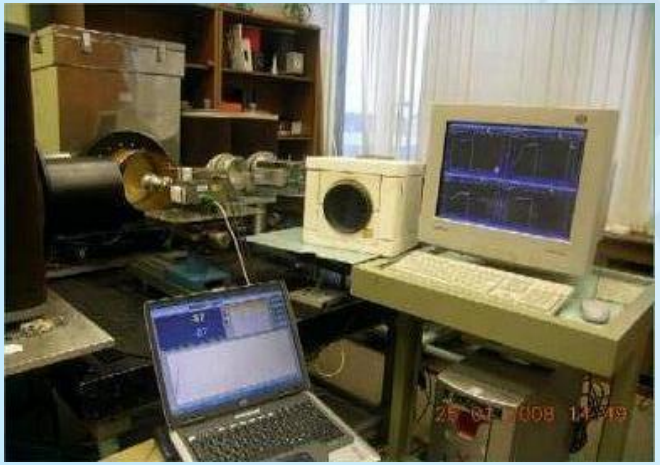


Дальняя зона	*Радиоколлиматоры*	*Ближняя зона*
Количество комплексов в организациях промышленности и НИУ		
около 70 шт.	8 шт.	около 20 шт.
доля современных комплексов		
30 %	37 %	90 %

ВНИИФТРИ

Эталон единицы спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ) и единицы яркостной температуры (ЯТ) в микроволновой области спектра от 18 до 118 ГГц

ГЭ УВТ 95-А-2000



Единицы: СПЭЯ – Вт/(м2·Гц·ср), яркостной температуры – кельвин.

Назначение эталона – обеспечение единства и достоверности измерений СПЭЯ и ЯТ земных и космических источников шумового радиоизлучения в открытом пространстве.

Основные сферы применения:

- дистанционное зондирование Земли,
- прикладная и фундаментальная астрономия,
- метеорология,
- оборона.

Парк рабочих эталонов и рабочих средств измерений – десятки типов и видов спутниковых, самолетных, наземных МКВ радиометрических систем.

Существует потребность в создании ГПЭ в расширенном диапазоне частот, с усовершенствованными эталонными мерами и компаратором.

ВНИИФТРИ

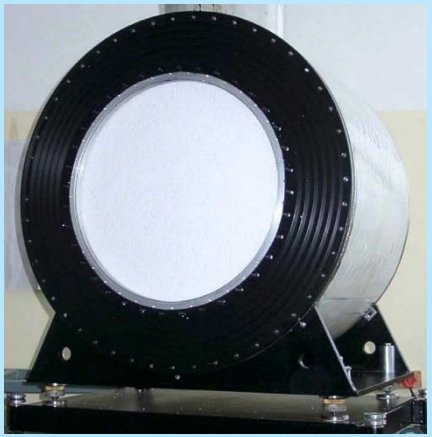
Создание средств и методов метрологического обеспечения микроволновых радиометрических систем, пассивных систем наведения и обнаружения воздушных, космических, морских и наземных объектов

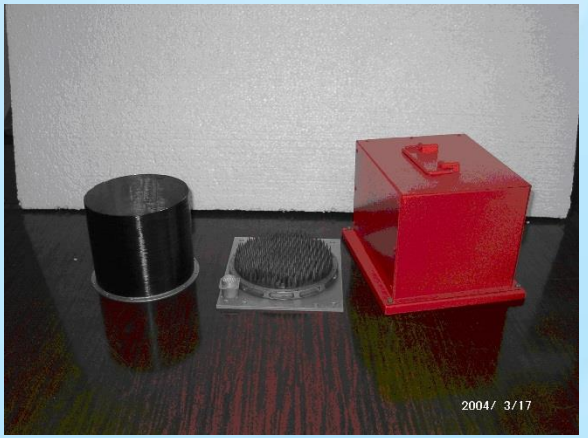
Назначение рабочих мер – калибровка наземных и бортовых МКВ радиометрических систем на этапах их разработки, производства, испытаний и эксплуатации.

Разработчики рабочих мер: Россия: ФГУП ВНИИФТРИ, ОКБ МЭИ, ОАО «Космонит»; США: NIST, NASA; КНР: ПИРИ, ЦКНПТ АН КНР, Шанхайский институт космической радиоэлектроники.

Требуемые характеристики средств метрологического обеспечения МКВ радиометрических систем:

1. частоты от 2 до 220 ГГц (в ближайшей перспективе до 400 ГГц);
2. воспроизводимые уровни РЯТ от 4 до 500 К;
3. апертуры излучателей от 100 до 500 мм;
4. погрешность воспроизведения единицы РЯТ ~0,5 К.





ВНИИФТРИ

Широкоапертурный генератор шума (ШНГШ) для калибровки радиотелескопов двухэлементного радиоинтерферометра со сверхдлинной базой

Бурятия.

Обсерватория «Бадары» - ИПА РАН.

Декабрь 2014 г.

ШНГШ

ВНИИФТРИ

Перспективные направления развития обеспечения единства измерений,

1. Расширение частотного диапазона эталона мощности ЭМК до 178 ГГц.
2. Создание эталона комплексного коэффициента отражения в волноводных трактах до 178 ГГц.
3. Создание антенных эталонов СВЧ диапазона в части воспроизведения эффективной площади, измерений поляризационных и фазовых характеристик антенн.
4. Проведение исследований новых способов и средств создания широкоапертурных низкотемпературных генераторов шума (ШНГШ) – эталонных мер единиц радиояркостной и шумовой температуры (РЯТ), кельвин и единицы спектральной плотности энергетической яркости, Вт/м2·Гц·ср в микроволновой области спектра.
5. Продолжение финансирования работ по международному сличению Госэталонов в области радиотехнических величин, являющихся мощным фактором развития и подтверждения статуса национальных эталонов.
6. Исследование путей по созданию эталонных (рабочих) средств в субмиллиметровом диапазоне длин электромагнитных волн (300 ГГц)

ВНИИФТРИ

Благодарю за внимание

ВНИИФТРИ