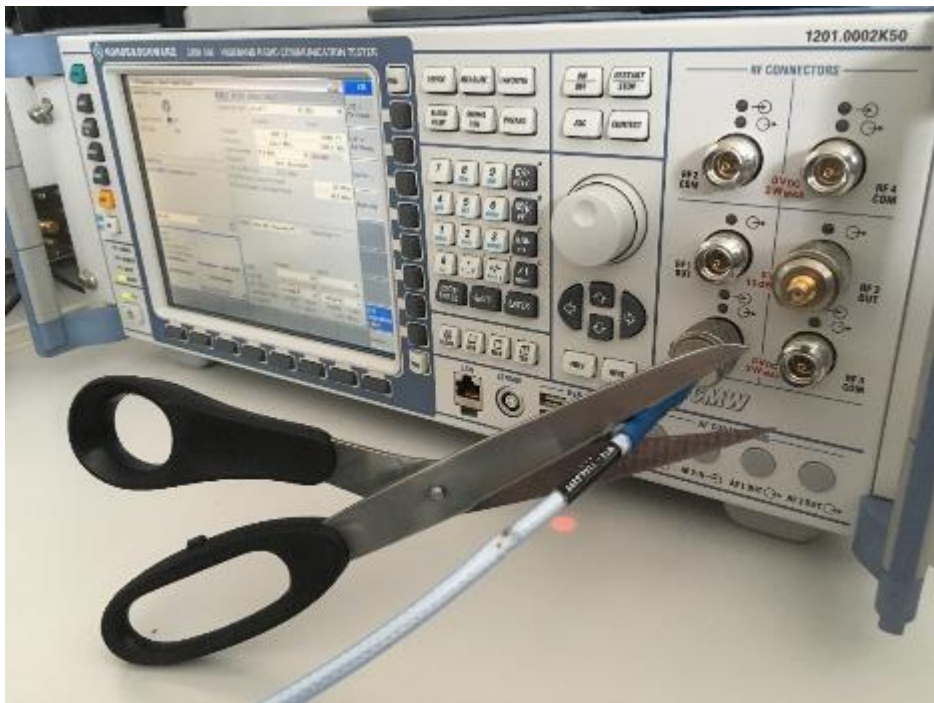


5G NR – Эфирные (ОТА) испытания. Введение



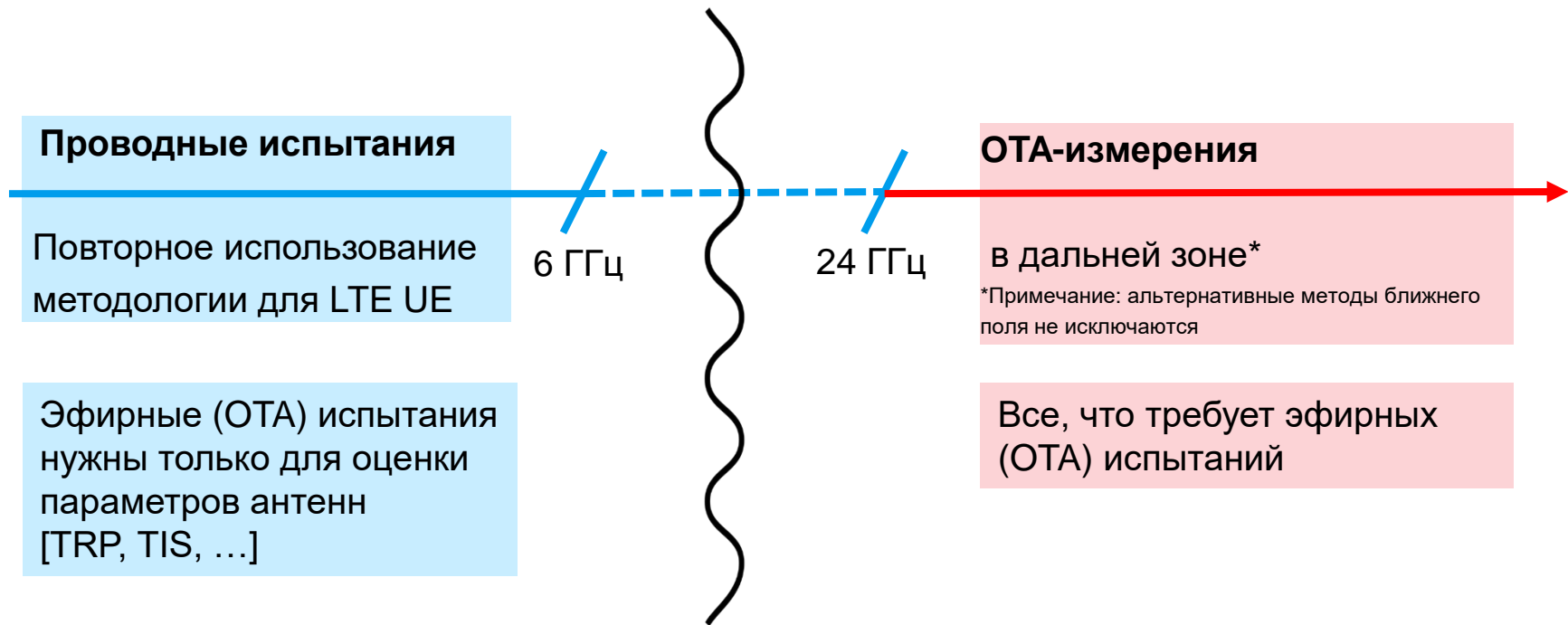
ОТА-испытания? – Легко! Просто перерезать шнур...

и заменить его на антенну...



Зачем нужны ОТА-испытания?

Возможность проведения ВЧ-испытаний по 3GPP TR 38.803 NR

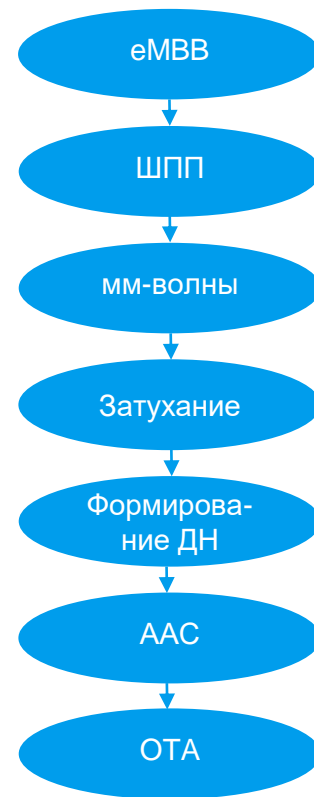


Источник: 3GPP TR 38.803 V2.0.0



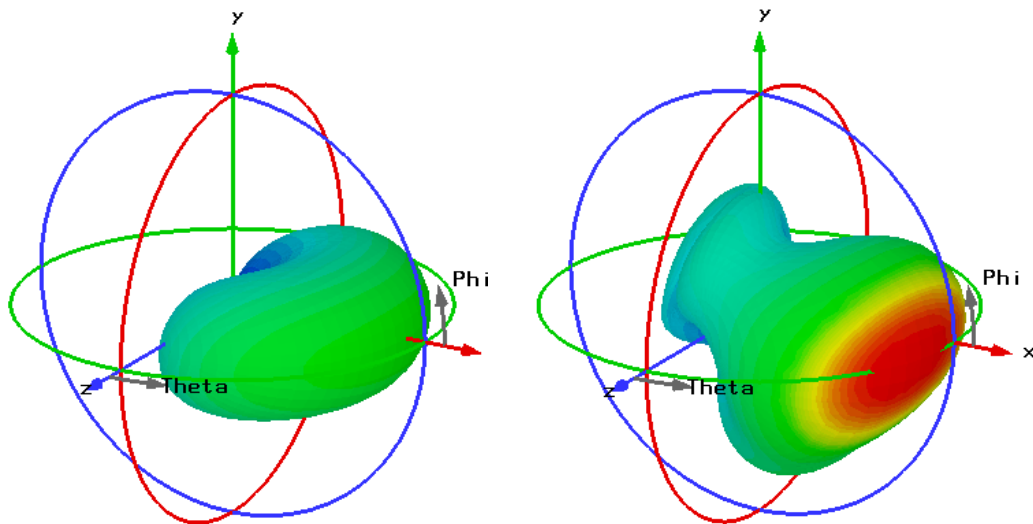
Почему OTA такая важная тема для 5G NR?

- Адреса 5G NR – среди прочего – eMBB (улучш. мобильный широкополосный доступ)
- Технология eMBB означает скорость передачи данных 20 Гбит/с
- Требуется широкая полоса пропускания (закон Шеннона)
- Близлежащая широкая полоса пропускания доступна на высоких частотах (диапазон миллиметровых волн)
- Высокие частоты – высокое затухание сигнала
- Контрмеры – методы формирования диаграммы направленности (луча ДН)
- Для формирования ДН требуются активные антенные решетки (ФАР) с многофазными управляемыми антеннами
- К ФАР не допускается подключать кабели
- Могут быть проведены только беспроводные – эфирные (OTA) испытания



Все дело в отсутствии кабелей... в системах 5G мм-диапазона

Трехмерные диаграммы направленности антенны АО мм-диапазона



Без измерительного кабеля

С измерительным кабелем

Антенна связывается со всеми окружающими объектами
Проводные измерения вносят большую погрешность

- ФАР не допускают кабельных подключений



- Много антенн – много разъемов
- Кабель влияет на характеристики антенны
- Антенна становится системно-зависимой функцией от формирования ДН (луча) и т. д.

Новые проблемы, возникающие при ОТА-испытаниях

- Испытания в режиме ОТА не новы
- До сих пор проводились только испытания характеристик антенн в диапазоне ниже 6 ГГц
- Теперь же ВСЕ должно испытываться в режиме ОТА
- Частоты в диапазоне мм-волн

- Множество новых вещей для рассмотрения
 - Диаграмма направленности антенны
 - Полевые свойства излучения
 - Условия ближнего и дальнего поля
 - Размеры зоны молчания
 - Размеры камеры
 - Устройства позиционирования (позиционеры)
 - ...



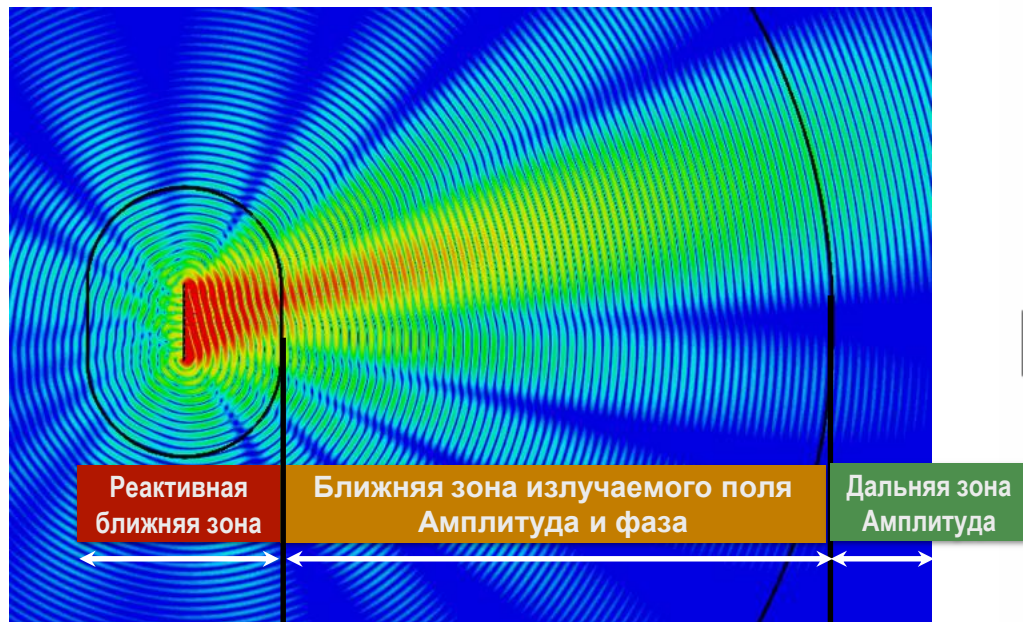
Параметры излучения

- Каждая антенна или антенный элемент излучает множество сферических волн
- По мере того, как волны распространяются от антенны, их энергия уменьшается с ростом расстояния от антенны, поскольку она распределяется по все увеличивающейся сфере
- В точке, расположенной достаточно далеко от антенны, излучаемая волна (в определенных пределах) выглядит плоской
 - этот участок называется «тихой зоной» (зоной стабилизации)
 - Сравните с падением камня в воду
- Для увеличения размера тихой зоны есть несколько вариантов
 - Дальше отодвинуться от антенны
 - Управлять распределением поля
 - Использовать перекрывающиеся поля от нескольких антенн
 - ...



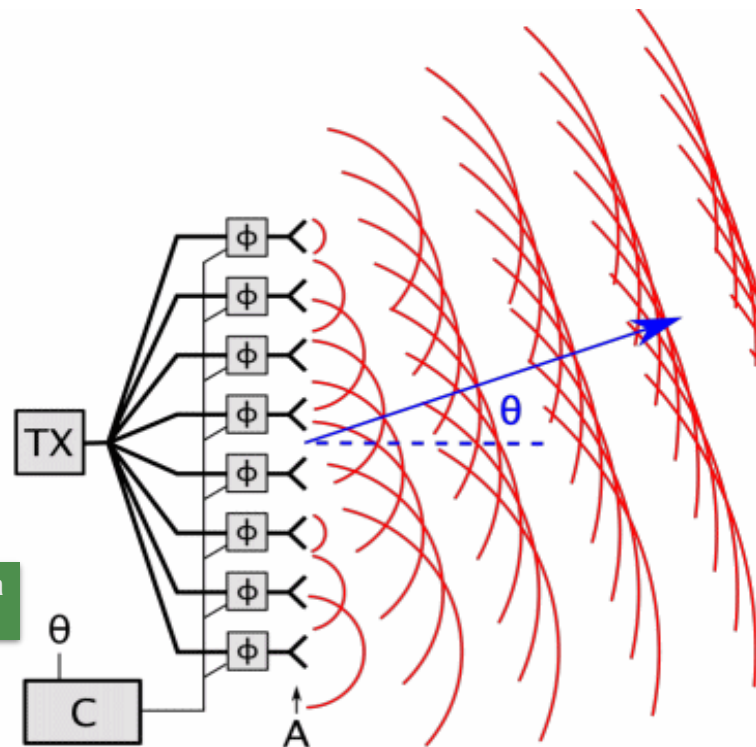
Фундаментальные свойства: электромагнитные поля

Размер апертуры 0,1 м, частота 28 ГГц



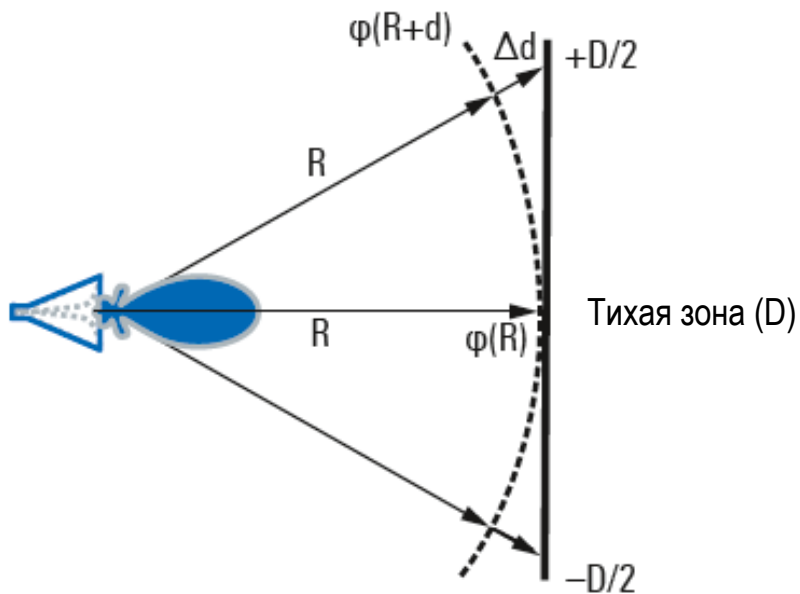
$$0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} = 19 \text{ cm}$$

$$\frac{2D^2}{\lambda} = 1.87 \text{ m}$$



Что такое тихая зона?

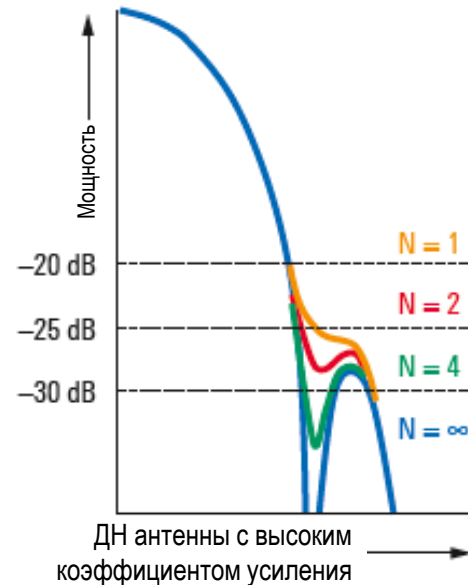
Определение расстояния Фраунгофера



Девияция фазы и погрешность амплитуды тихой зоны

$$R_{FFmin} = \frac{ND^2}{\lambda}$$

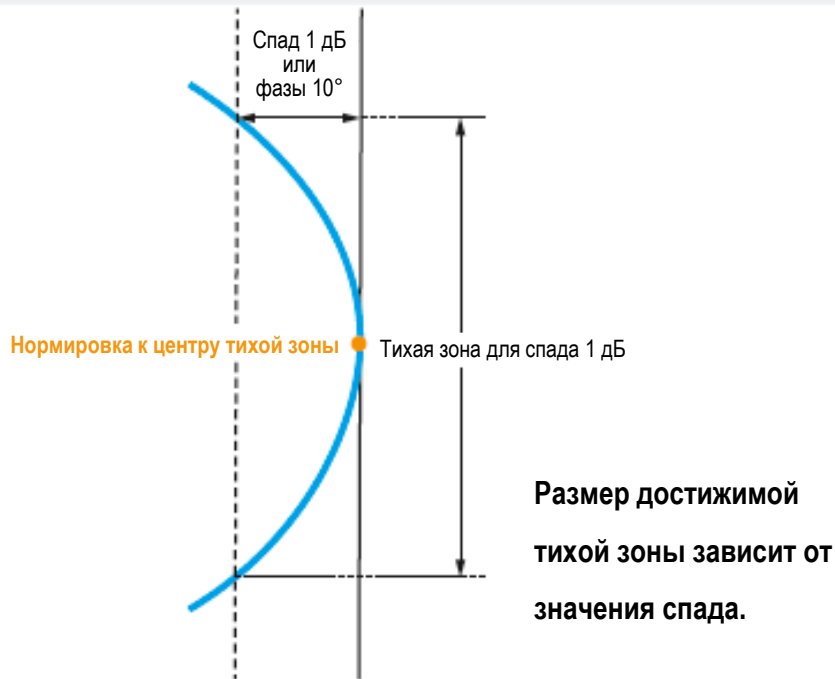
$R_{FFmin} (N)$	Девияция фазы (φ)
D^2/λ	45°
$2D^2/\lambda$	22.5°
$4D^2/\lambda$	11.2°
$8D^2/\lambda$	5.6°



Расстояние Фраунгофера представляет собой наилучший компромисс между компактностью измерительной установки, приемлемой девиацией фазы и измеримым нулем

Насколько качественна тихая зона?

Пример распределения (спада) амплитуды/фазы



Пример пульсаций амплитуды/фазы



Реактивная ближняя зона – ближняя зона излучаемого поля – дальняя зона

D = размер излучающей апертуры
 λ = длина волны

- Реактивная ближняя зона вблизи антенны
 - Каждый объект связывается с антенной — влияет на диаграмму направленности и другие характеристики антенны
- Дальняя зона (свыше $\frac{2D^2}{\lambda}$)
 - Поле считается локально плоским
 - Простые радиоизмерения — только измерения амплитуд
- Между этими двумя точками ближняя зона излучаемого поля
 - Волны не плоские — измерения амплитуды и фазы
 - Необходимо измерять всю сферу, чтобы понять картину распределения поля
 - Для преобразования в дальнюю зону
 - Обычно применяется позиционер
 - Измерение более сложное и трудоемкое, более дорогая установка



Измерения, которые могут быть выполнены в реактивной ближней зоне

- Никаких измерений радиотехнических параметров, таких как EVM, ACLR и т. д.
- Следует держаться подальше от реактивного ближнего поля
- Измерения повлияют на результат, поскольку оказывается влияние на диаграмму направленности антенны

- Здесь проводятся такие измерения, как измерение удельной мощности поглощения излучения (SAR)



Измерения, которые могут быть выполнены в ближней зоне излучаемого поля

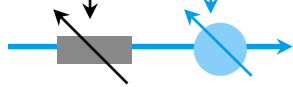
- Сферическое сканирование всего поля по амплитуде и фазе
 - Все параметры поля известны
 - Затем их можно математически преобразовать в дальнюю зону с использованием определенных алгоритмов
 - Все измерения передатчиков
 - Затрачиваемые усилия намного выше чем в дальней зоне
 - Пространственные требования ниже
- Непосредственно в ближней зоне излучения (без преобразования в дальнюю зону)
 - Могут быть измерены только некоторые определенные параметры
 - TRP (общая излучаемая мощность)
 - Пиковая EIRP (эквивалентная изотропная излучаемая мощность)
 - ACLR (коэффициент утечки мощности в соседний канал)
 - Погрешности измерений выше, чем в дальней зоне



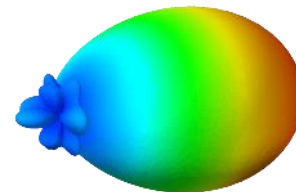
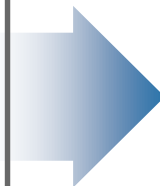
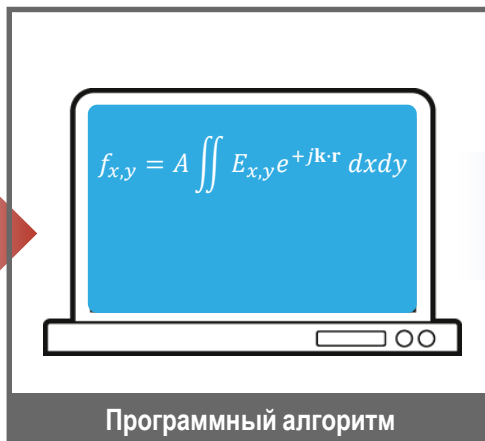
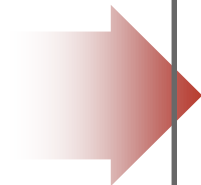
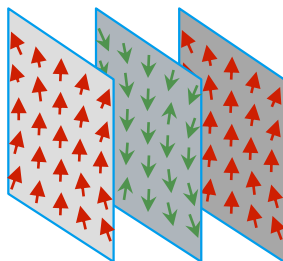
Решение, преобразующее БЗ в ДЗ (NF-FF) с помощью программного алгоритма

$$f_{x,y} = A \iint E_{x,y} e^{+jk \cdot r} dx dy$$

Амплитуда Фаза



Сложное поле ближней зоны



Полученная плоская волна в дальней зоне



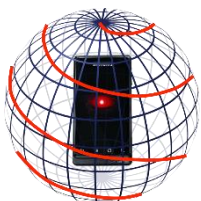
Преобразование ближней зоны в дальнюю (NF-FF) – FIAFTA

Особенности

Высокоточный позиционер

Угловое разрешение $0,1^\circ$
Преобразование NF-FF

Быстрое спиральное
сканирование

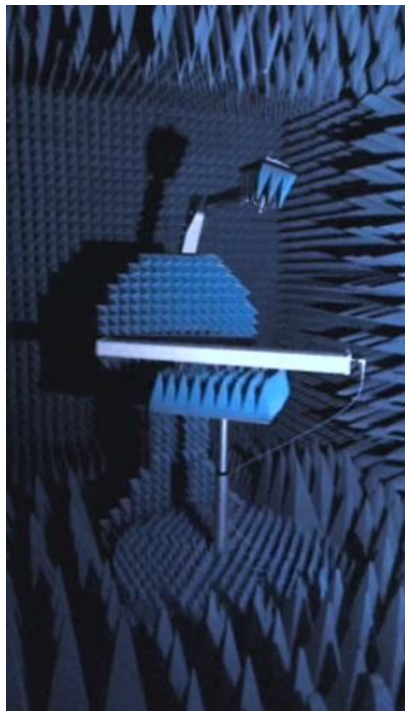


6 минут

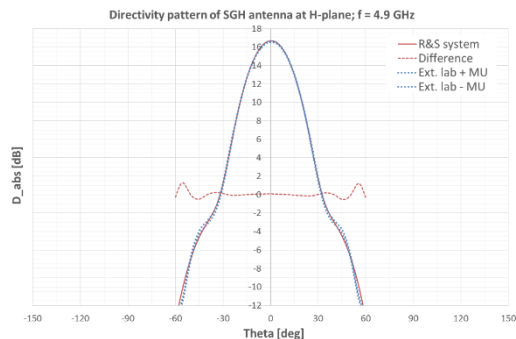
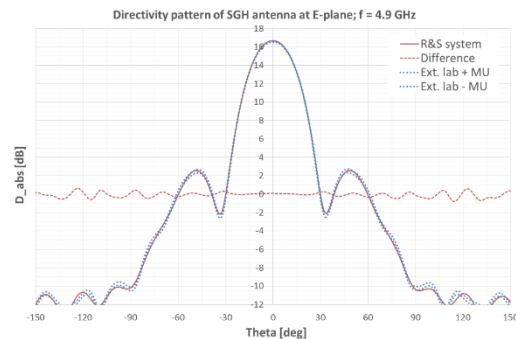
ИЛИ



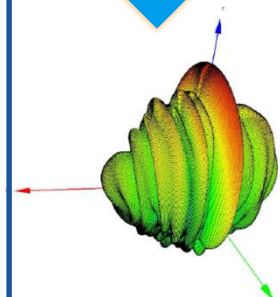
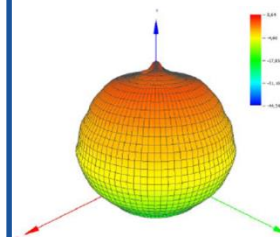
220 минут



Сравнение характеристик



Преобразование

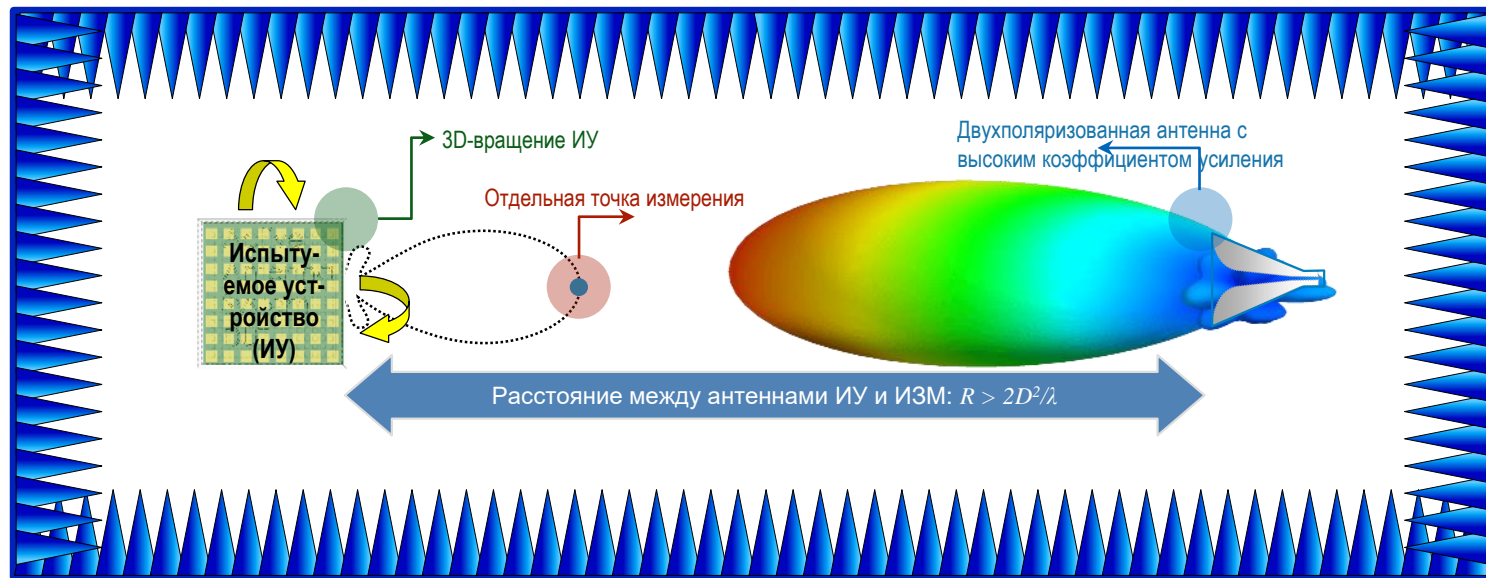
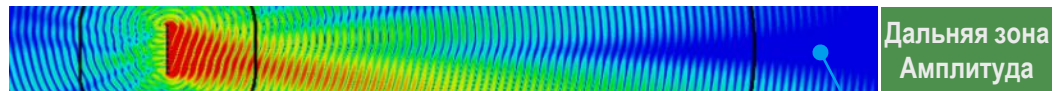


Измерения, которые могут быть выполнены в дальней зоне

- Измерения в дальней зоне
 - Сравнительно просты
 - Могут выполнены все радиоизмерения
 - E_iRP/E_iS (Эффективная изотропная излучаемая мощность/чувствительность)
 - При измерении ДН (луча) для НИОКР и производства
 - EVM, ACLR, SEM, OBW, BLER и т.д.
 - Вдали от антенны
 - Дополнительная проблема — как правило высокое затухание сигнала для прямой дальней зоны



Системы прямых измерений в дальней зоне



Испытательные беспроводные безэховые камеры для мм-волн

Дальняя зона: испытание оборудования UE/CPE 5G

Дальняя зона: испытание базовых станций 5G

Обзор камер для беспроводных испытаний (WPTC)



Предварительные испытания на соответствие

Испытания на соответствие СТИА



Размер тихой зоны

D = размер излучающей апертуры
 λ = длина волны

- Какой размер тихой зоны требуется в дальней зоне?
- Зависит от частоты и размера излучающей апертуры
 - Расстояние Фраунгофера $\frac{2D^2}{\lambda}$



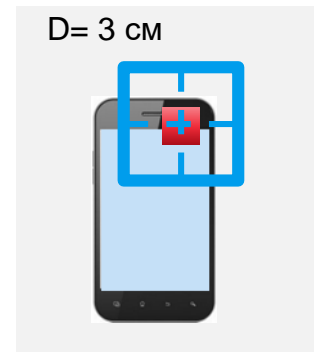
Какой размер тихой зоны (QZ) нужен?

D = размер излучающей апертуры
 λ = длина волны

■ Размер и положение антенны известны

- Этот размер можно принять за D
- Измерение белого ящика — устройство является «белым ящиком» для пользователя, так как положение антенны известно

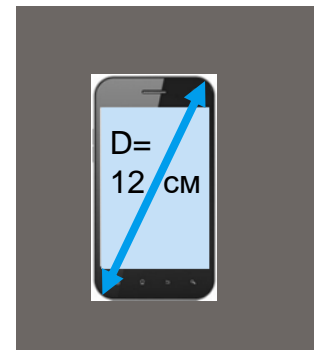
напр. размер QZ равен 3 см; 30 ГГц $\rightarrow \lambda = 1$ см; расстояние до дальней зоны $\frac{2D^2}{\lambda}$ 18 см



■ Размер и/или положение антенны неизвестны

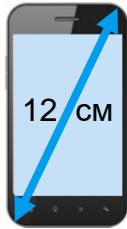
- За D следует принять максимальный размер всего ИУ
- Измерение черного ящика — устройство является «черным ящиком» для пользователя

напр. размер QZ равен 12 см; 30 ГГц $\rightarrow \lambda = 1$ см; расстояние до дальней зоны $\frac{2D^2}{\lambda}$ 2,9 м



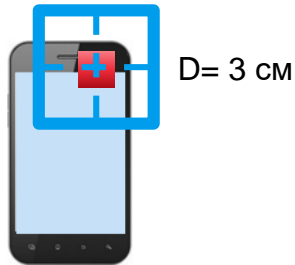
Каковы размеры камеры для прямых измерений в дальней зоне?

■ Размер тихой зоны (черный ящик)

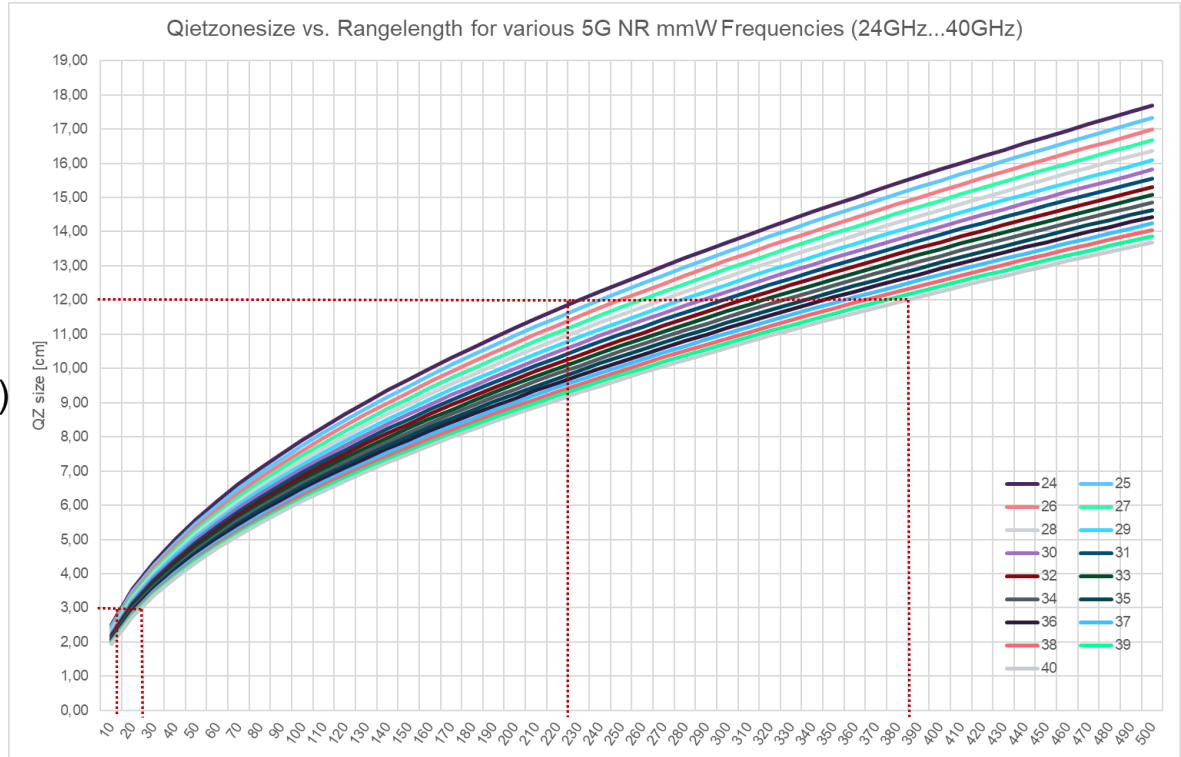


■ Размер камеры 3...5 м

■ Размер тихой зоны (белый ящик)



■ Размер камеры 0,5 м



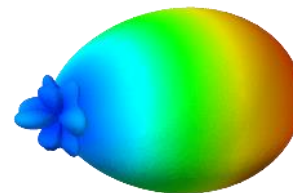
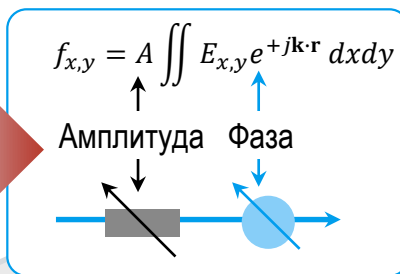
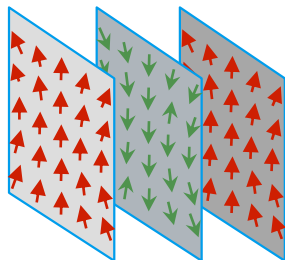
Как уменьшить расстояние до поля в дальней зоне?

- Косвенные методы дальней зоны
 - Чтобы преодолеть проблему высокого затухания сигнала в дальней зоне
- CATR (компактный полигон для испытаний антенн)
 - Выполняет преобразование поля в условия дальней зоны с помощью аппаратного обеспечения
 - Позволяет получить условия дальней зоны в камере меньшего размера
 - Как правило, больший размер тихой зоны
- Те же измерения, что и в дальней зоне

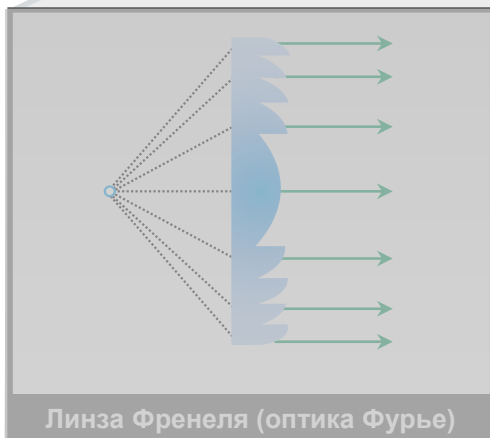


Системы БЗ-ДЗ (NF-FF): аппаратное преобразование Фурье

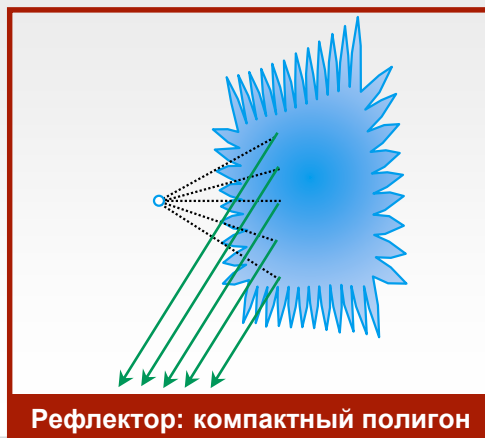
Сформированное сложное поле ближней зоны



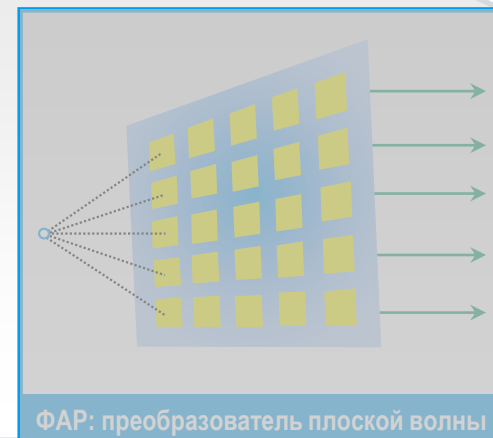
Полученная плоская волна в дальней зоне



Линза Френеля (оптика Фурье)



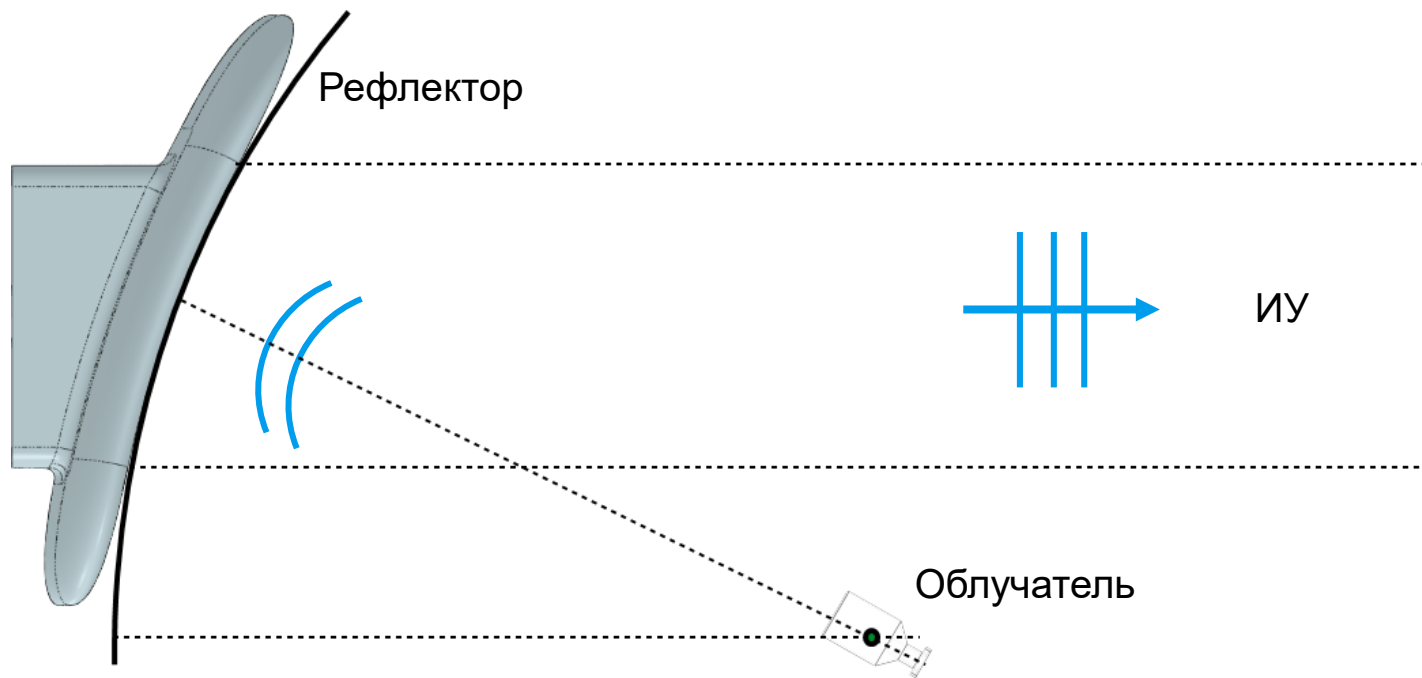
Рефлектор: компактный полигон



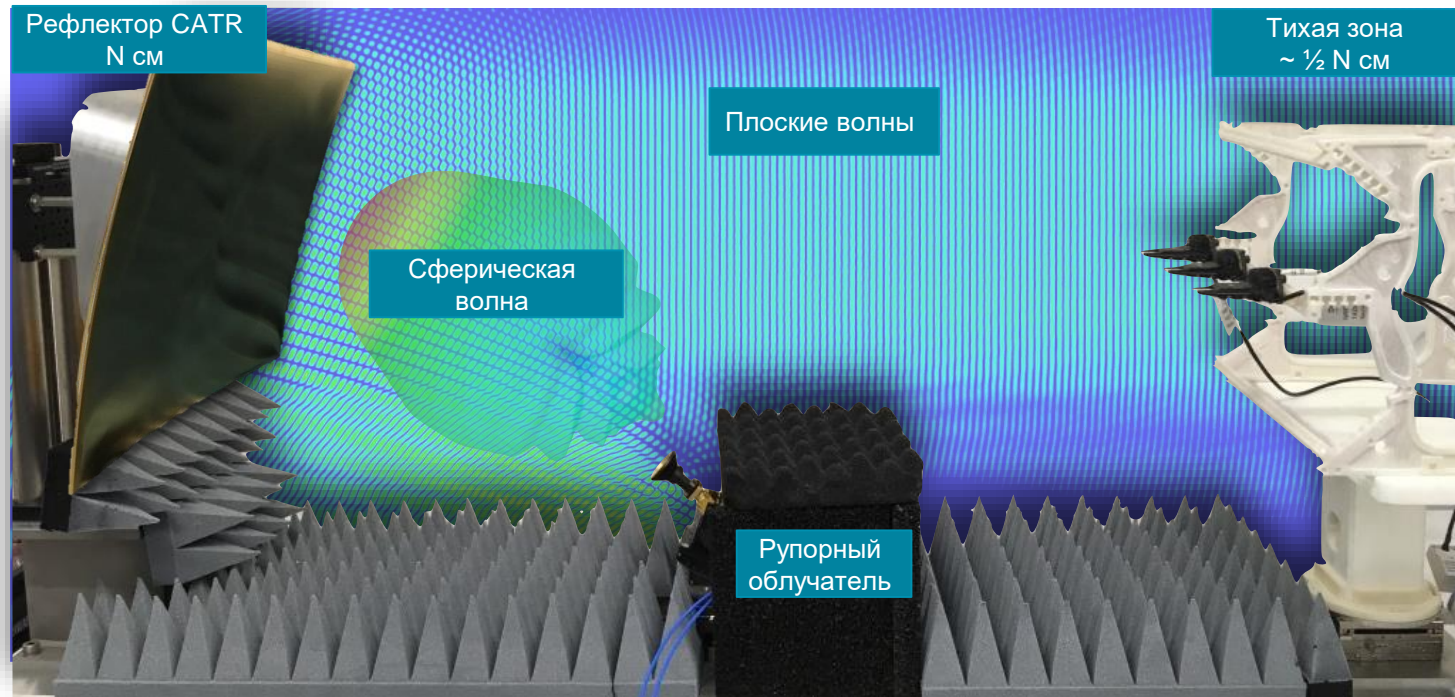
ФАР: преобразователь плоской волны



Возможности уменьшения размера камеры — непрямая дальняя зона

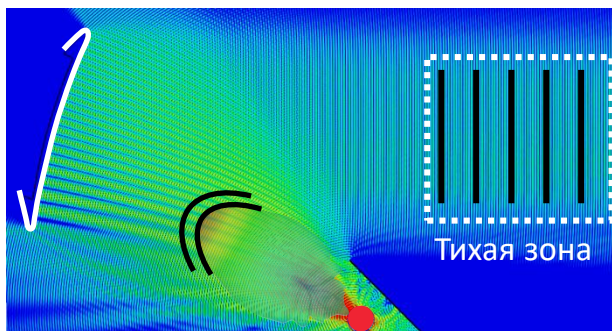


CATR – Компактный полигон для испытаний антенн



CATR — это двунаправленное устройство

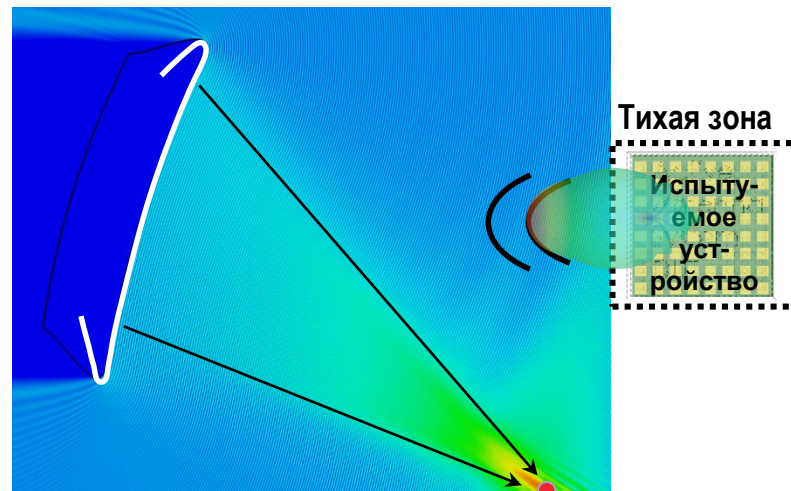
Прямое направление: ИУ принимает сигнал



Из: фокус рефлектора (облучатель) ●
В: рефлектор и тихая зона ИУ

Рефлектор **преобразует** сферическое поле из фокуса (облучателя) в **плоскую волну** перед рефлектором для формирования тихой зоны

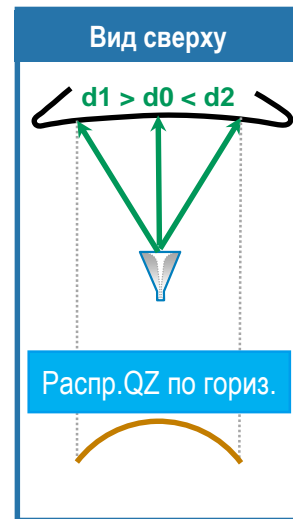
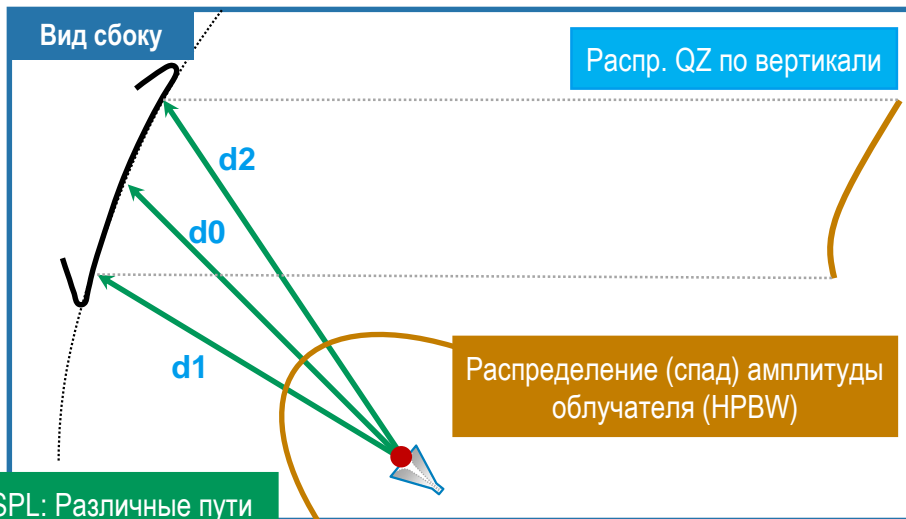
Обратное направление: ИУ передает сигнал



Из: тихая зона ИУ
В: фокус рефлектора (облучатель) ●

Рефлектор — это **пространственный фильтр**, который извлекает **плоские компоненты** сферической волны из ИУ и фокусирует их в фокусе (облучателя)

Затухание сигнала в CATR-системах



$$FSPL = 20 \log_{10} (d) - 20 \log_{10} (f) + 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi}{c} \right) - G_t - G_r$$

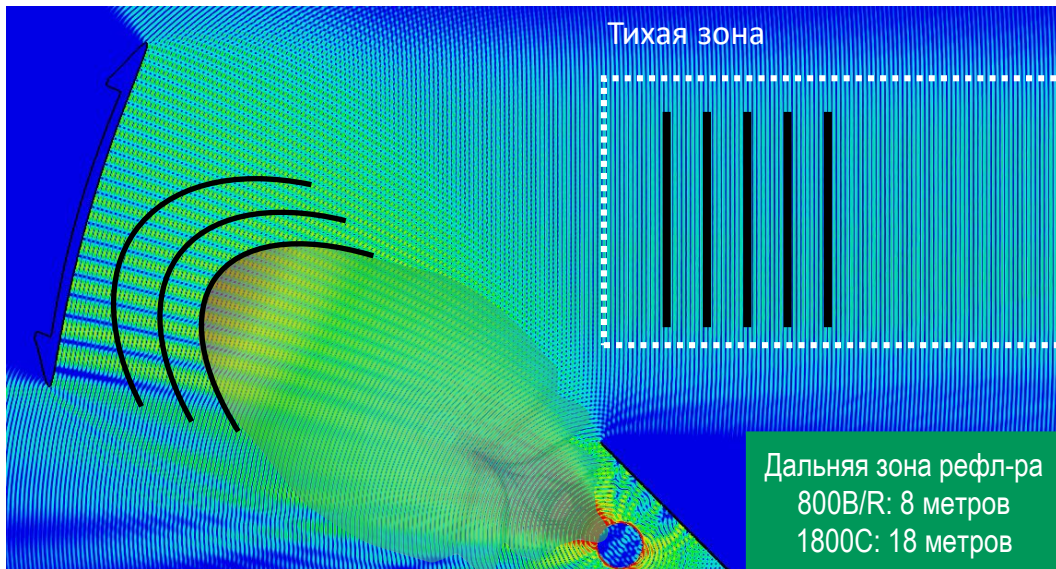
$d_1 < d_0 < d_2$

частота

FSPL (затухание в свободном пространстве): от облучателя до рефлектора

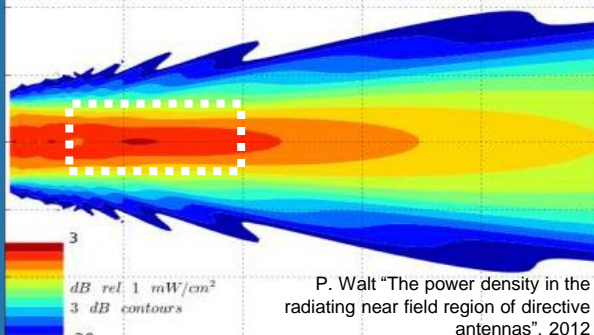
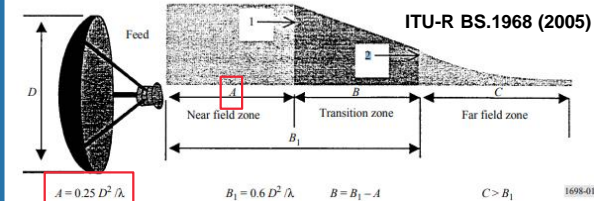
Затухание сигнала в CATR-системах

Ближняя зона рефлектора



ДЗ облучателя (с низким усилением) : FSPL

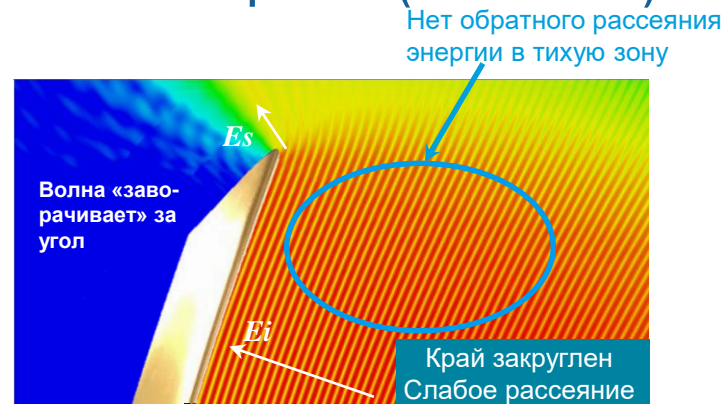
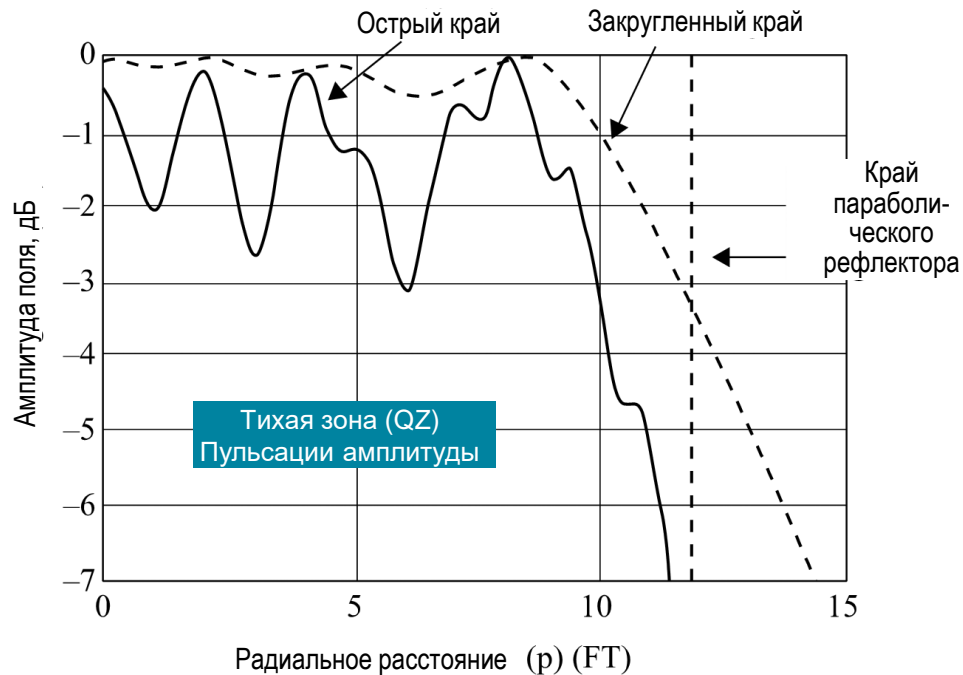
Плотность мощности параболического рефлектора



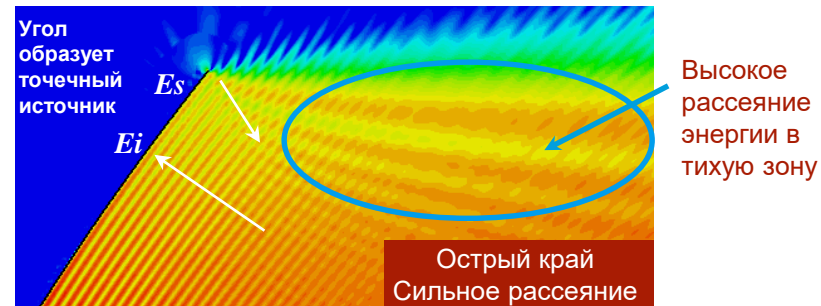
Плотность мощности постоянна до: $0,25D^2/\lambda$
800В/Р (D = 20 см): 1 метр при 30 ГГц
1800С (D = 30 см): 2,25 метра при 30 ГГц

От рефлектора до ИУ затухания нет

Погрешность рефлектора CATR: обработка краев (НЧ и QZ)



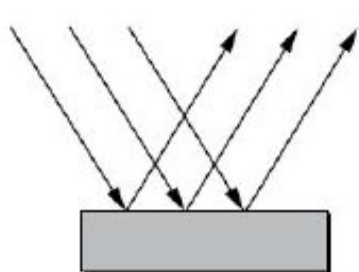
E_i : Начальное э/м поле (из рупора)



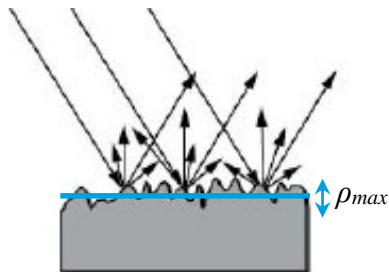
E_s : Рассеянное э/м поле (от краев)

W. Burnside "Curved Edge Modification of Compact Range Reflector", IEEE 1987

Погрешность рефлектора CATR: шероховатость поверхности (высокие частоты)

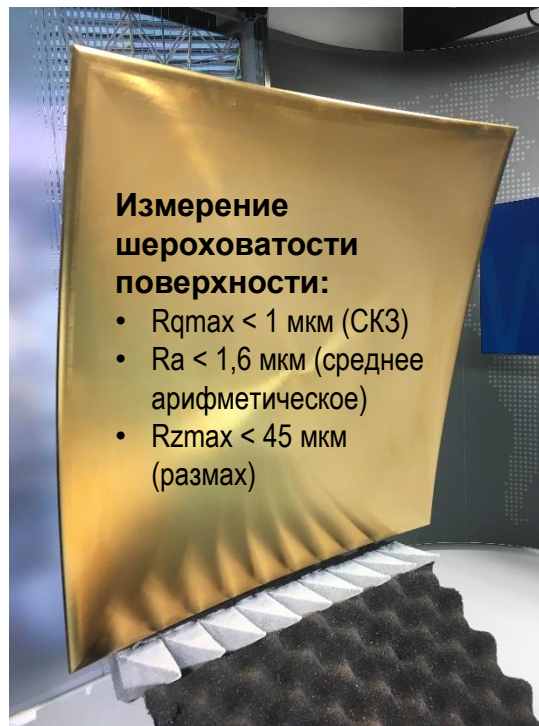


Идеальный



Фактический

Максимальная частота	Шероховатость поверхности (мкм)
28 ГГц	75
43 ГГц (в диапазоне)	49
87 ГГц (паразитные излучения)	24
220 ГГц (5 ^я гармоника по FCC)	< 1



ATS800B – Настольная измерительная установка CATR

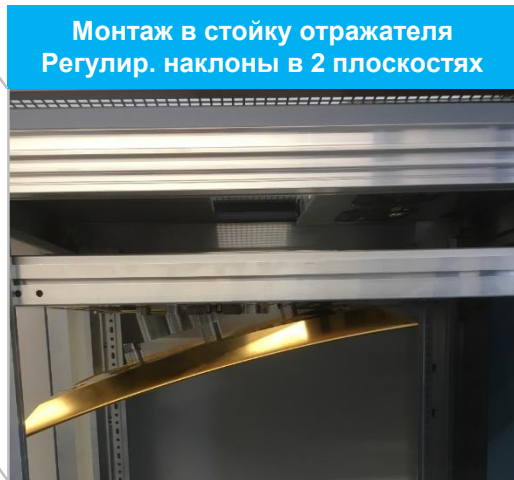
Сравнимый размер QZ в ДЗ
8 м при 30 ГГц



Без экранирования

- Применение: НИОКР по разработке антенн, образование
- Диапазон частот: 20-50 ГГц
- Тихая зона: $D = 20$ см
- Габариты: 120 x 60 x 80 см
- Макс. размер ИУ: 40x40 см (ноутбук)
- Шероховатость поверхности рефлектора < 1 мкм
- Опционально: 2D-позиционер
- Широкополосный облучатель

ATS800R – Монтируемая в стойку испытательная камера CATR



Эффективность экранирования
~ 50...60 дБ

- Применение: НИОКР по разработке чипсетов и мобильных телефонов
- Диапазон частот: 20-50 ГГц
- Тихая зона: $D = 20$ см
- Габариты: 80 x 100 x 210 см (стойка)
- Макс. размер ИУ: 40x40 см (ноутбук)
- Шероховатость поверхности рефлектора < 1 мкм
- Опционально: 3D-позиционер
- Широкополосный облучатель

ATS1800C – полноценные аттестационные испытания / испытания на соответствие стандартам



- Применение: соответствие 3GPP
- Диапазон частот: 18-87ГГц
- Тихая зона: $D = 30$ см
- Габариты: 90 x 150 x 210 см
- Макс. размер ИУ: 40x40 см (ноутбук)
- Шероховатость поверхности рефлектора < 1 мкм
- Большой круговой 3D позиционер
- Широкополосный облучатель



ATS1000 – быстрое и компактное ОТА-решение для мм-волн



- Компактная концепция конического сечения для преобразований DFF и NFFF в диапазоне мм-волн
- Погрешность позиционирования $<0,1^\circ$ и лазерная юстировка обеспечивают высокую точность измерения диаграммы направленности
- ИУ: устройства размером до 14" и массой до 20 кг
- Текущий охват частот: от 18 ГГц до 50 ГГц
- Прокладка кабеля через вращающееся сочленение и энергетическую цепь
- Измерение TRP на частоте 28 ГГц с 4-градусным угловым шагом занимает около 7 мин

ОТА-испытания в экстремальных температурных условиях

- Активные антенные решетки
 - Усилители и фазовращатели для формирования луча ДН и управления лучом ДН
 - Чувствительность к температуре
 - Точность формирования лучей ДН зависит от рабочей температуры→ ОТА-испытания в различных температурных условиях
- Температурные испытания в ОТА камере трудновыполнимы
 - Велик объем нагреваемого или охлаждаемого воздуха — для достижения стабильной температуры требуется много времени
 - Поглотители и позиционирующие двигатели не любят очень высокие или очень низкие температуры
- Тепловое решение, позволяющее избежать этих проблем
 - Климатический пузырь, установленный внутри ОТА-камеры ATS1000
 - Климат управляется внешним тепловым потоком



ATS1000 — полноценное трехмерное ОТА-решение для экстремальных условий



- Полное сферическое измерение в условиях контролируемой температуры от -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$
- Смена температуры на 100 K прил. за 10 минут ($-40\dots+60/+85\dots-15$)



Обзор серии испытательных камер ATsх

	ATS800B	ATS800R	ATS1000	ATS1800C
				
Применение	Настольное, НИОКР	НИОКР	НИОКР+предварит. испытания	Аттестационные испытания
Осн. диапазон частот	20-50 ГГц	20-50 ГГц	18-87 ГГц	18-87 ГГц
Тихая зона (при спаде амплитуды 1 дБ)	D = 20 см	D = 20 см	D = 7 см	D = 30 см
Автоматизация / позиционер	2D-позиционер	3D-позиционер	3D коническое сечение	3D сечение по дуге большого круга

Экранирующий бокс R&S CMQ200 — ключевые факты

Готов к 5G и другим грядущим технологиям -> диапазон поглощения 20-75 ГГц

Готов к автоматизации -> концепция выдвижного ящика с автоматическим открытием

Надежность на миллионы циклов -> прочная, хорошо известная конструкция

Уменьшенная площадь основания -> подходит для 19" стоек

Масштабируемость под большинство ИУ -> умные устройства, CPE, RFIC, прототипы

Эффективность для больших партий -> компоновка с упрощенной геометрией

Гибкость для небольших партий -> компоновка с напольным позиционером

Встроенное ОТА-решение с CMP200/RRH -> надежность + эффективность



ОТА-решения компании R&S для технологии 5G NR

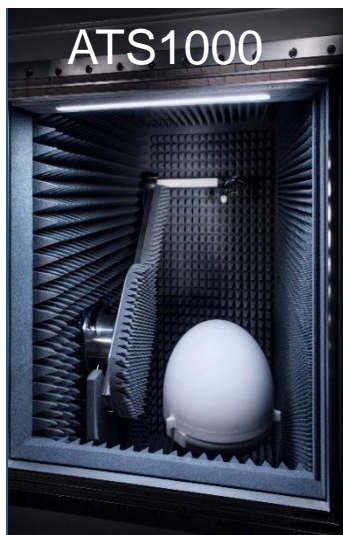
Разработка антенн

- Широчайшая полоса
- Гибкая система



Ранняя стадия НИОКР

- Высокая скорость испытаний
- Климатические испытания



НИОКР / регрессия

- Экономичность
- Место для приборов



ВЧ аттестация

- Большой размер QZ
- IB/OOB до 90ГГц



Производство (мм-волны)

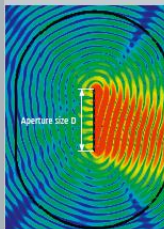
- Системное решение
- Высокая автоматизация



Плакат об основах ОТА-испытаний


Over-the-air (OTA) testing fundamentals

Reactive near-field region

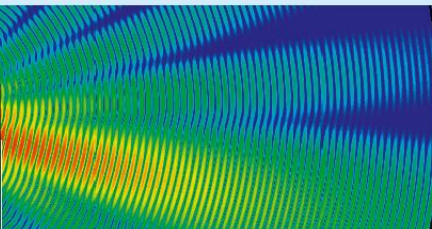


Aperture size D


All objects become part of the antenna system and interfere with RF measurements. Up to 10 GHz the specific absorption rate (SAR) is typically measured in this region.



Radiated near-field region (requires phase and magnitude measurement)



Near-field definitions
Boundary then reactive to radiated near field for radiators with $D > \lambda/2$.

$$R_{up} = 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$$


Near-field measurements
The best setup for near-field measurements is compact, but measurements are complex, time-consuming and have higher uncertainty.

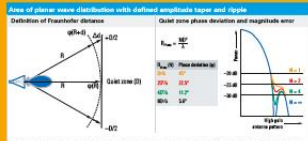
Typical near-field measurements for device characterization
- Total radiated power (TRP)
- Peak equivalent isotropic radiated power (EIRP)
- Average channel leakage ratio (ACL3)

Far-field region (requires magnitude measurement only)

Far-field quiet zone

Plane wave distribution with defined amplitude taper and ripple

Determination of Fraunhofer distance

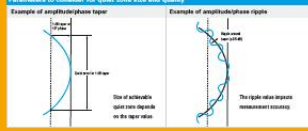


$R_{FF} = \frac{2D^2}{\lambda}$

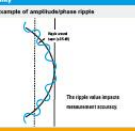
The Fraunhofer distance governs the best compromise between a compact test setup, acceptable phase distortion and measurement error.

Parameters to consider for quiet zone size and quality

Example of amplitude/phase taper



Example of amplitude/phase ripple



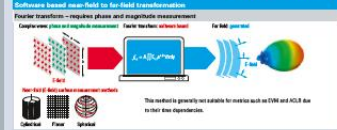
Far-field measurements
Far-field measurements are fast and simple and provide higher measurement reliability, but path loss is higher and the test setup becomes larger with increasing DUT size and higher frequencies.

Typical far-field measurements for device characterization
- TRP (TRP ACL3)
- Error vector magnitude (EVM)
- Spectral Power
- Power
- Bit error rate (BER)

How to perform far-field measurements at near-field distances

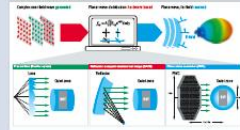
Software-based near-field to far-field transformation

Far-field transformation – requires phase and magnitude measurement




Hardware-based near-field to far-field transformation

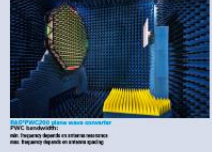
Plane wave distribution - indirect far-field (IFF)



Electromagnetic scattering (ES)



ES/EM scattering (ES/EM)
ES/EM scattering (ES/EM) is a technique for measuring the radiation pattern of an antenna or device under test (DUT) in the near-field.



Most compact OTA test solutions for antenna and device testing
www.rohde-schwarz.com/5G



Скачивайте по ссылкам

www.rohde-schwarz.com/OTA-poster

www.mobilewirelesstesting.com



*“Если хочешь идти быстро — иди один,
если хочешь идти далеко — идите вместе!”*

Африканская пословица