

Точность измерений фазовых центров антенн в миллиметровом диапазоне длин волн

С.А. Колотыгин¹, А.В. Пивак², С.Н. Потапов²

¹ФГУП ВНИИФТРИ

²ООО «РОДЕ и ШВАРЦ РУС»

Информация о положении условного фазового центра антенны находит своё применение при решении двух больших, но различных задач. Первой задачей является определение дополнительных временных задержек (ГВЗ), возникающих в антенной системе, что бывает важно, например, для глобальных спутниковых навигационных систем (ГНСС). Второй задачей является определение геометрического положения антенн при измерениях их значения коэффициента усиления K_u на расстояниях, меньших чем стандартные критерии для дальней зоны. В данном докладе рассматривается нахождение ФЦ с позиции решения второй задачи.

Актуальность данной задачи на текущем этапе развития техники связана с распространением технологий 5G в миллиметровом диапазоне длин волн. Специфика технологии предполагает тестирование устройств (базовых станций и мобильных терминалов) без подключения к ВЧ разъемам, только «по эфиру» (т.н. ОТА измерения), и в масштабах крупносерийного производства. Это в свою очередь предъявляет жесткие требования к измерительным системам – они должны быть максимально простыми, и обеспечивать максимальную скорость проведения тестов. Такому критерию в первую очередь отвечают системы для измерений в дальней зоне, однако в миллиметровом диапазоне длин волн требуемые расстояния могут исчисляться десятками метров, что может быть экономически затратно. Поэтому проводятся исследования для получения более точных уравнений, описывающих минимальную дистанцию, на которой возможны «прямые» измерения с требуемой точностью [1]. Это связано с тем, что для ОТА-измерений устройств в сигнальном режиме невозможно использовать поправки «на близость», которые применяются в антенных измерениях. Причина - доступ к фазовой информации при измерениях таких устройств отсутствует.

Тем не менее, для верификации таких уравнений применяются обычные антенны, в основном рупорные, при этом возможно сравнение результатов, полученных в рамках новых теорий, с классической теорией «фазового (амплитудного) центра» антенн [2]. Однако научные и практические исследования в рамках классической теории, сделанные в 80-ых годах прошлого века, не рассматривали миллиметровые диапазоны длин волн вплоть до 100 ГГц. Далее рассмотрен анализ достижимых точностей при измерениях фазовых центров антенн в этом частотном диапазоне.

При экспериментах использовалась система измерения антенн TS8991, позволяющая проводить измерения как в ближней зоне с последующим программным пересчетом в дальнюю (основной режим работы), так и непосредственно в дальней зоне, если это позволяет расстояние и электрические размеры испытываемых антенн. Таким образом возможно в рамках одной системы комбинировать и антенные, и ОТА измерения.

В СПО AMS32, используемом в системе TS8991 реализована программная опция AMS32-K55 для расчета положения фазового центра антенны, положение которого определяется по измеренным данным фазовой диаграммы направленности испытываемой антенны (ФДН) методом наименьших квадратов, аналогично [3]. Для получения сопоставимых с методом определения фазового\амплитудного центра результатов с помощью экстраполяционной техники [4], в рассмотрение вводится допущение об аппроксимации реальной ФДН сферой в секторе углов, ограниченном

уровнем половинной мощности (-3дБ) амплитудной диаграммы направленности. Иллюстрации обоснования такого допущения приведены на рисунках 1 и 2 для рупорной антенны с шириной основного лепестка амплитудной ДН 14 градусов в плоскости электрического вектора Е.

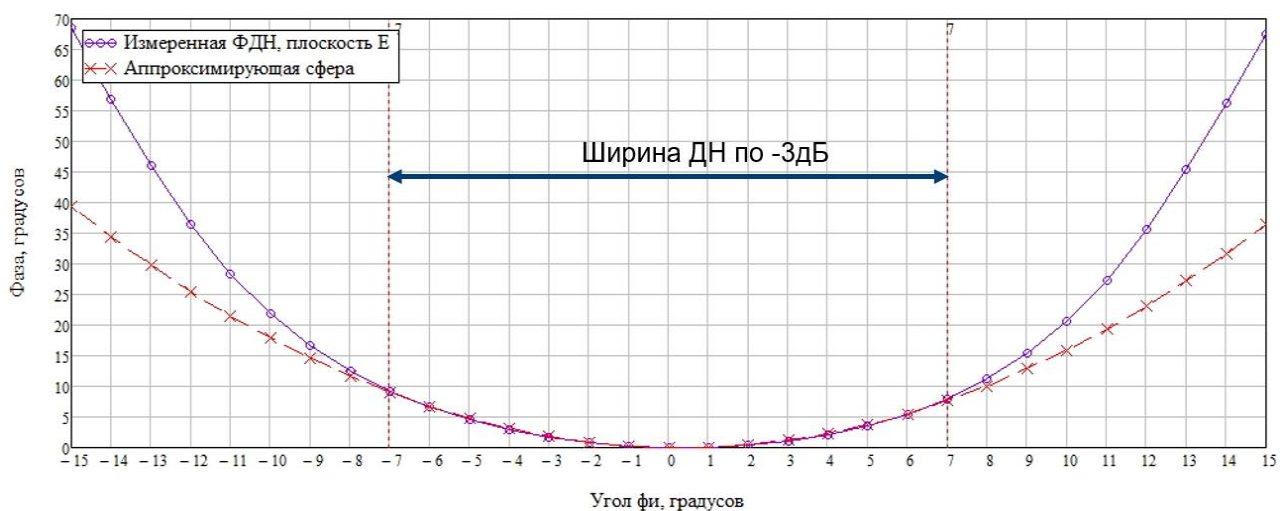


Рисунок 1. Сравнение реальной ФДН рупорной антенны и аппроксимирующей сферы для рупорной антенны

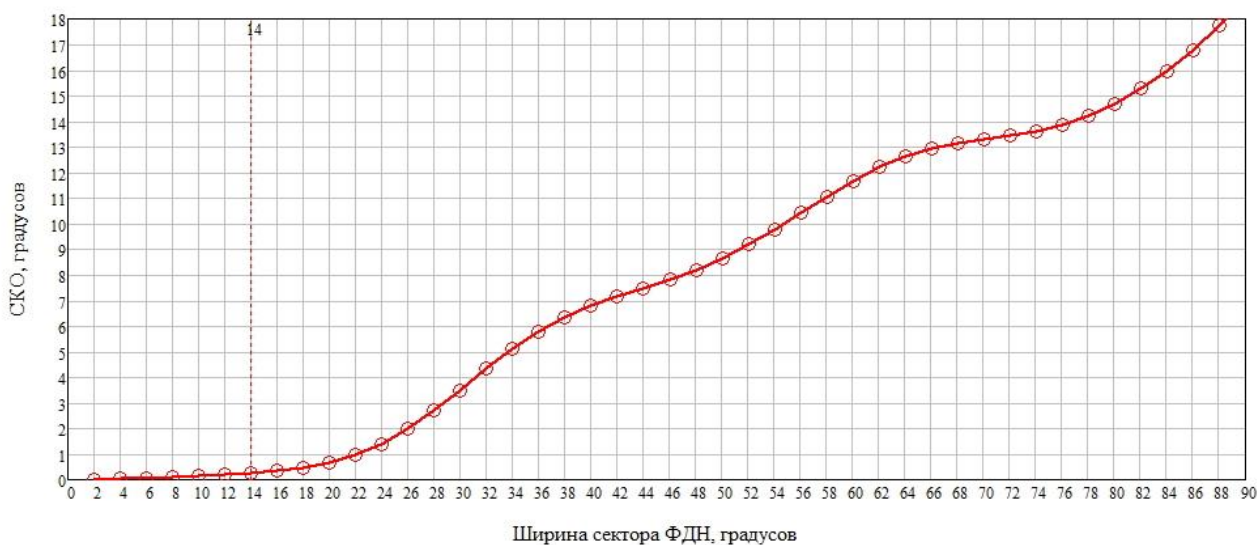


Рисунок 2. SKO разности между реальной ФДН и аппроксимирующей сферой для рупорной антенны

Бюджет погрешностей расчета ФЦ в системе TS8991 приведен в таблице 1. Как это показано и в других работах [5], максимальный вклад в погрешность вносят переотражения. Для минимизации их влияния и предотвращения увеличения времени измерений в технике пространственного «сглаживания», применяется частотное «сглаживание», хорошо работающее для стандартных рупоров.

Таблица 1. Бюджет погрешностей расчета ФЦ рупорной антенны для частоты 23ГГц

Назв.	Описание	Величина	Ед.	Функция распределения	Делитель	Коэфф. чувствит.	Стандартная погрешность, мм		
Δ_{inst1}	Погрешность ФДН	0,025	Λ	Гаусс	2	1	0,163		
Δ_{inst2}	Погрешность позиционирования антенны на измерит.установке	1	мм	Равномерн.	1,732	1	0,577		
Δ_{inst3}	Погрешность механической калибровки системы	1	мм	Равномерн.	1,732	1	0,577		
Δ_{inst4}	Погрешность, определяемая переотражениями	3,162	мм	Гаусс	1,414	1	2,236		
Δ_{meth1}	Алгоритмическая погрешность	0,012	Λ	U-обр.	1,414	1	0,008		
Δ_{meth2}	Погрешность, определяемая выбором сектора аппроксимации ФДН	0,008	Λ	U-обр	1,414	1	0,074		
	Комбинированная стандартная погрешность		мм				2,388	0,183	λ
	Расширенная стандартная погрешность (k=2)		мм				4,775	0,366	λ

Результаты сличения измерений фазового центра, для прямоугольной рупорной антенны диапазона 18-26.5ГГц, полученных в системе TS8991 и на ГЭТ 160-2006, приведены на рис.3. Приведены как необработанные данные, так и усредненные по частоте. Как видно из графиков, результаты измерений сходятся с учетом их погрешностей, что подтверждает правильность методического подхода и проведенного анализа бюджета погрешностей системы.

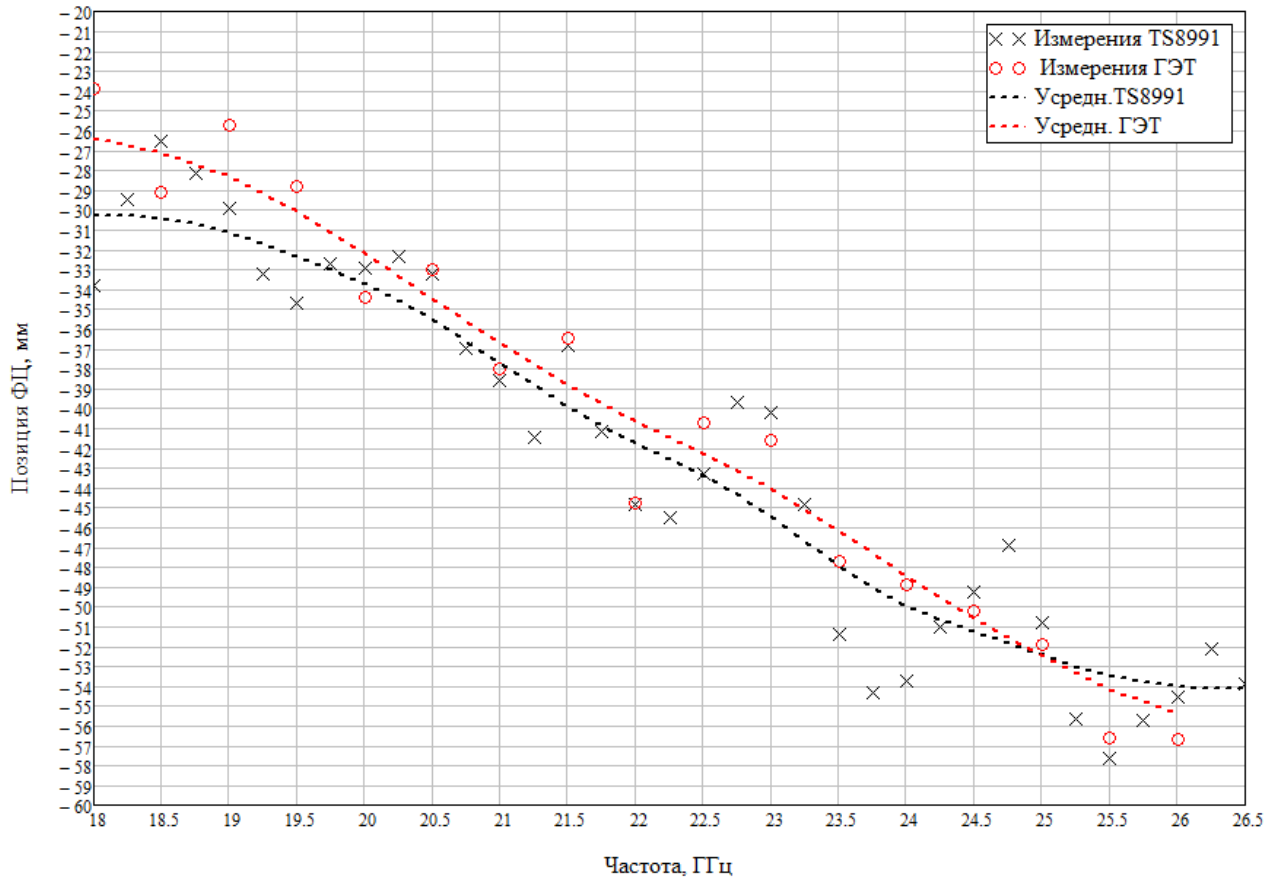


Рисунок 3. Сравнение результатов измерения положения ФЦ для рупорной антенны, полученных с помощью TS8991 и на ГЭТ 160-2006

Полученная таким образом в системе TS8991 информация о положении ФЦ антенн позволяет применять их для измерений в зоне Френеля также как в дальней зоне и сократить измерительные расстояния до 2ух раз, при этом сохраняя допустимые точности по амплитудным параметрам (рис.4), что хорошо коррелирует с результатами, полученными в [1].

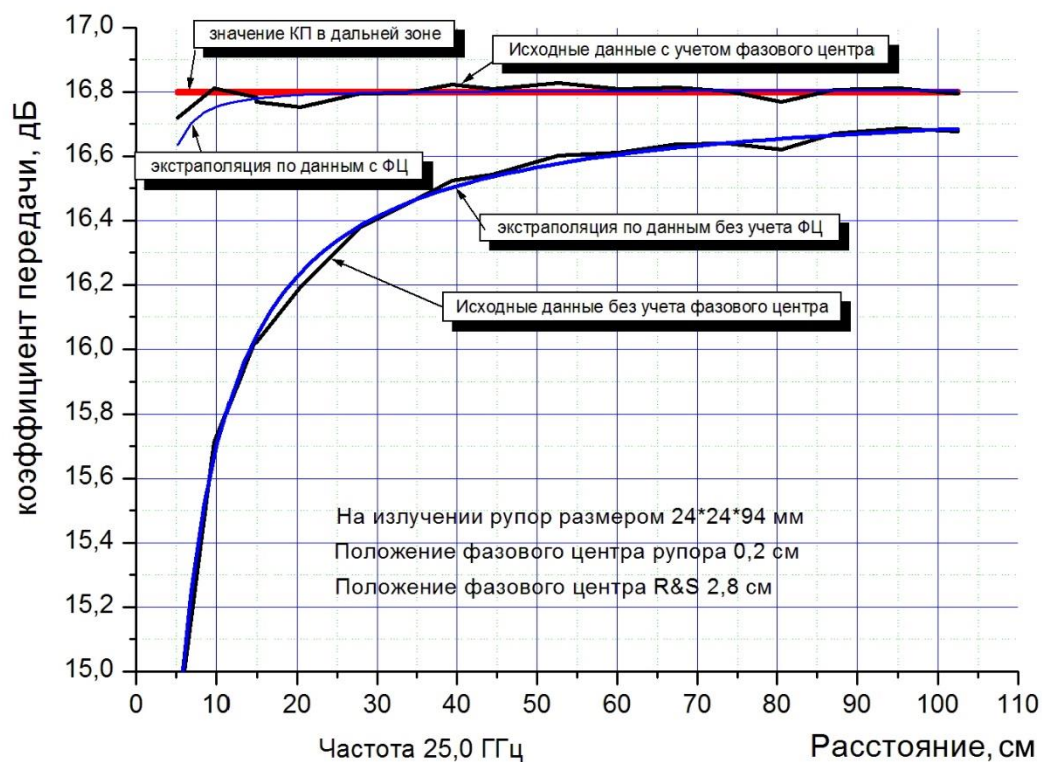


Рисунок 4. Зависимость K_u рупорной антенны от расстояния с учетом и без учета ФЦ

Список литературы:

1. B. Derat, G. F. Hamberger and F. Michaelsen, "Shortest range length to measure the total radiated power," *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 13, no. 15, pp. 2584-2589, 18 December 2019.
2. Panicali, A., Nakamura, M., *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 33, issue 3, pp. 330-335, March 1985
3. Калинин, Ю.Н. Измерение координат фазового центра антенны // *Антенны*. - М.: Радиотехника, 2014. - вып. 4. - с. 54-62.
4. A. C. Newell, R. C. Baird and P. F. Wacker, "Accurate Measurement of Antenna Gain and Polarization at Reduced Distances by and Extrapolation Technique", *IEEE Trans. on Ant. and Prop.*, vol. AP-21, no. 4, pp. 418-431, 1973.
5. Баженов Н.Р, Разработка и исследование методов и средств измерений фазовых параметров антенн навигационной аппаратуры потребителя, диссертация, Менделеево -2017.