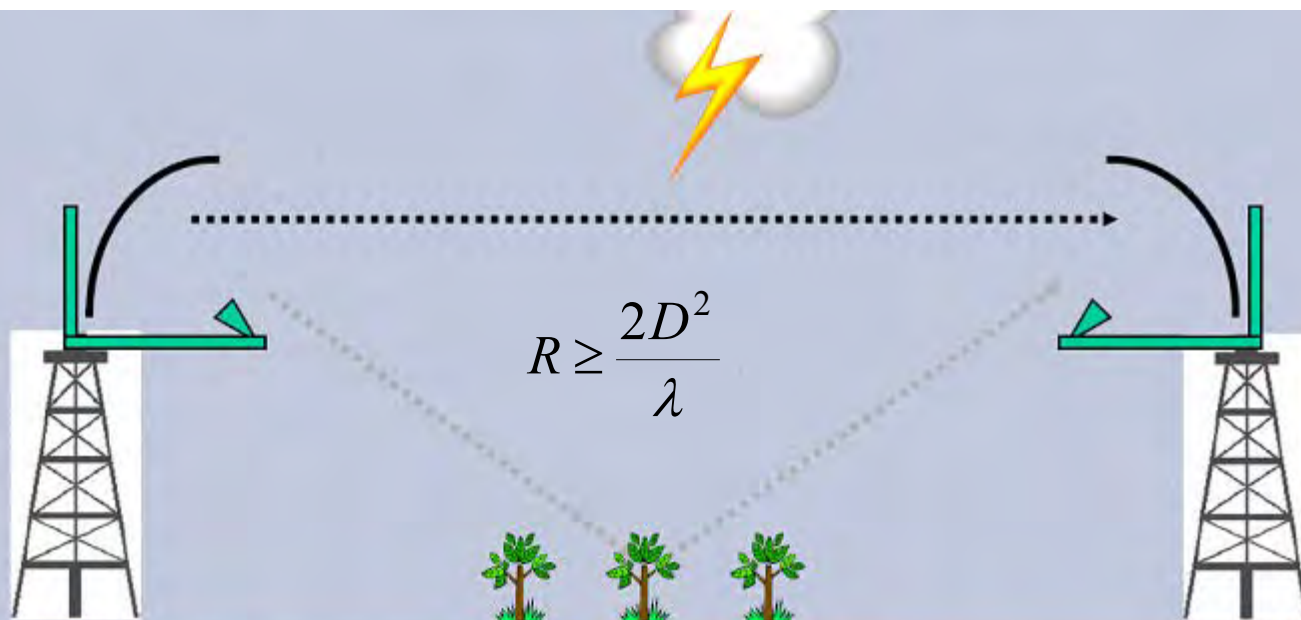


Современные методы и средства измерения радиотехнических характеристик антенн

Измерения в дальней зоне



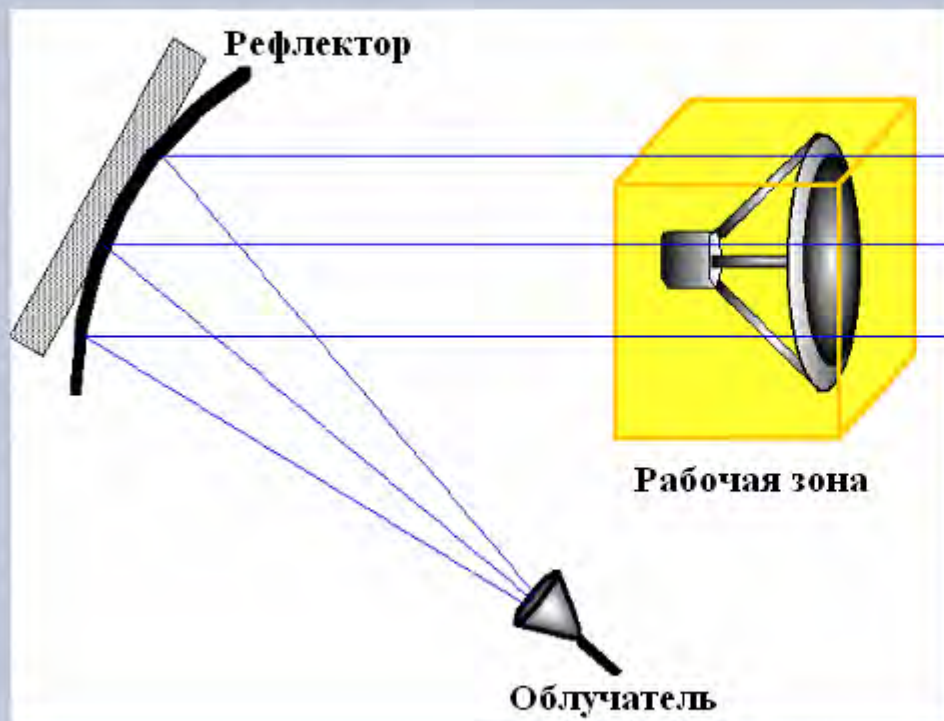
Преимущества

- Простота
- Измерения в реальном времени
- Не требуется преобразование данных

Недостатки

- Большая протяженность полигона
- Отражения от земли / интерференция
- Зависимость от погодных условий

Измерения в коллиматоре



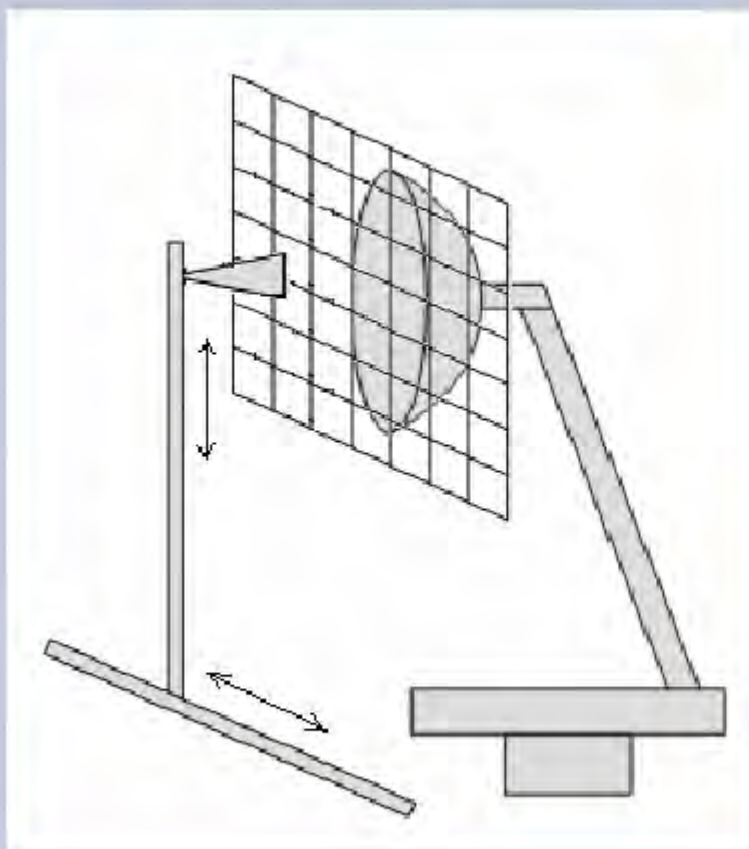
Преимущества

- Прямые измерения в квазидальней зоне
 - Измерения в реальном времени
 - Не требуется преобразование данных
- Измерения на малых расстояниях (< 25 м):
 - Низкие потери в пространстве
- Измерения в помещении:
 - Независимость от погоды
 - Круглосуточная работа
 - Измерения в "чистой зоне"

Ограничения/ Недостатки

- Ограничения частотного диапазона:
 - < 500 МГц (дифракция)
 - > 100 ГГц (точность поверхности рефлектора)
- Прямое облучение антенны
- Сложность обезвешивания

Измерения в ближней зоне



Преимущества

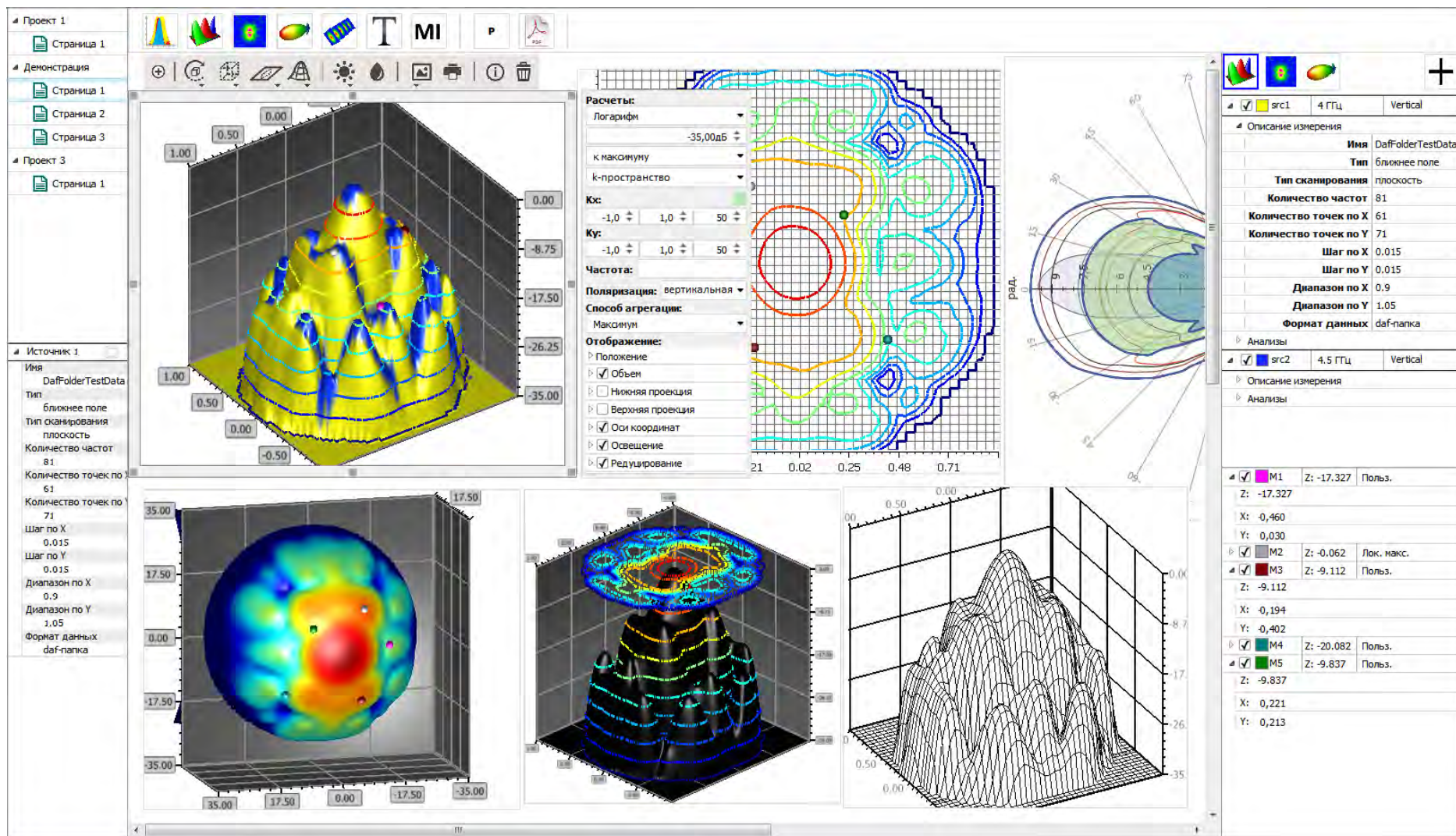
- Измерения на малых расстояниях:
 - Низкие потери в пространстве
 - Низкие переотражения
- Измерения в помещении:
 - Независимость от погоды
 - Круглосуточная работа
 - Измерения в "чистой зоне"
- Возможность обезвешивания

Ограничения/ Недостатки

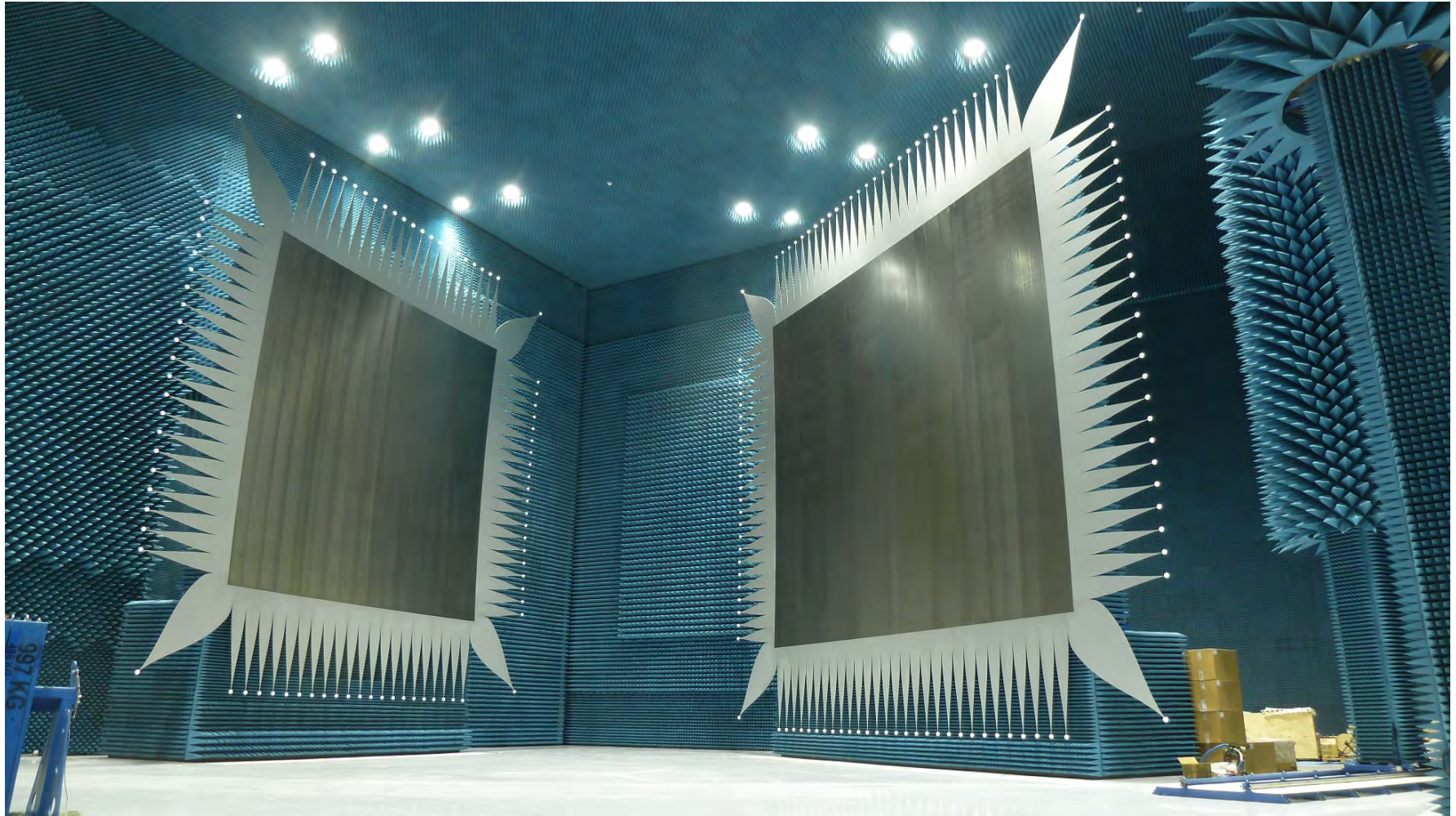
- Необходимость преобразования данных
- Измерения не в реальном времени
- Связь между зондом и антенной
- Ограничение частоты до ~50 ГГц (точность позиционирования ограничивает точность измерения фазы)

Состав измеряемых параметров:

- амплитудные и фазовые ДН по основной и кроссовой поляризации (объемные и сечения);
- поляризационные ДН;
- коэффициент усиления;
- ЭИИМ;
- КНД;
- коэффициент эллиптичности;
- угол наклона поляризационного эллипса;
- уровень кросс-поляризационной развязки;
- координаты ФЦ;
- ширина луча по заданному уровню;
- направление максимума ДН по заданному уровню;
- преобразование в круговой базис;
- пересчет и отображение в разных системах координат;
- восстановление АФР в апертуре антенны и пр.



Двухзеркальный коллиматор ССР 120/100



Основные характеристики

- размер большого зеркала: 10м x 12м
- размер малого зеркала: 8.6м x 9м
- количество сегментов большого зеркала: 8
- количество сегментов малого зеркала: 6
- размеры рабочей зоны: 8м x 8м x 12м
- размеры БЭК: 30м x 18м x 45м
- диапазон частот: 1.0...40.0 ГГц
- неравномерность амплитуды: $\leq \pm 0.5$ дБ (ripple)
- ≤ 1.0 дБ (taper)
- неравномерность фазы: $\leq \pm 6^\circ$ (ripple)
- $\leq 5^\circ$ (taper)
- уровень кроссполяризации: < -40 дБ

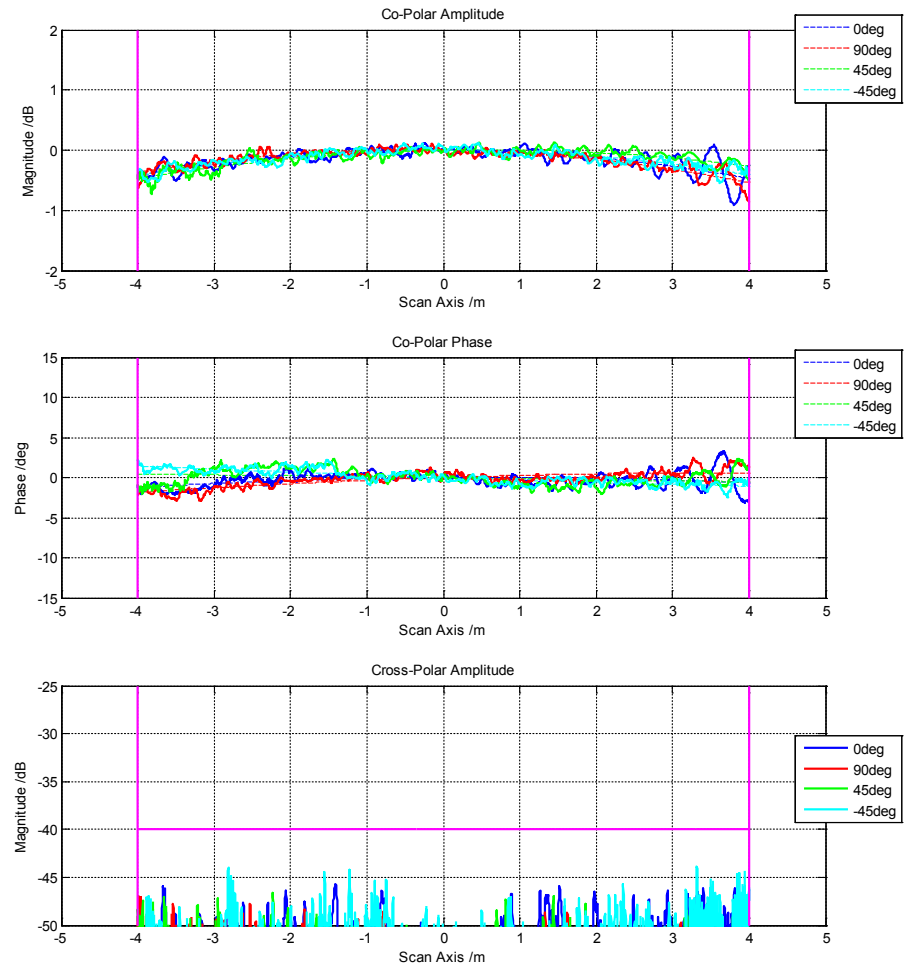
Двухзеркальный коллиматор CCR 120/100



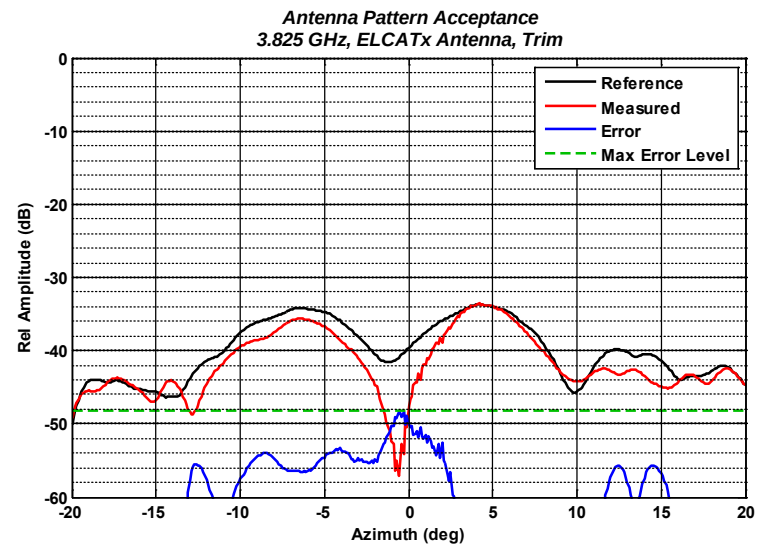
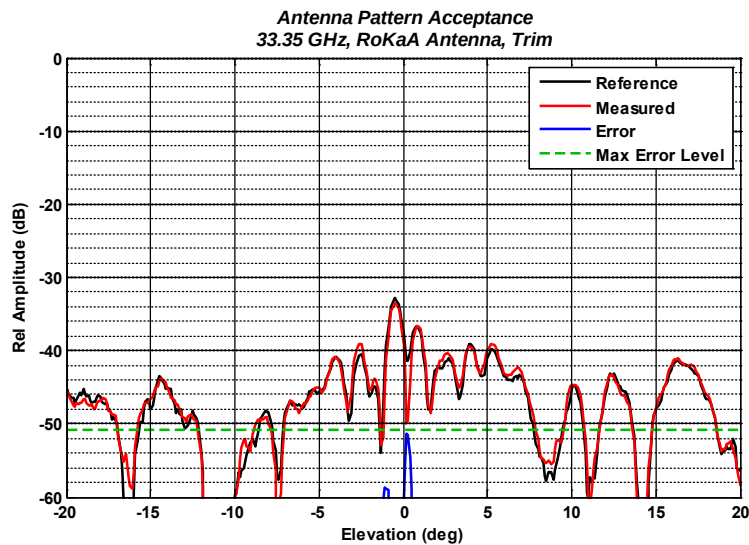
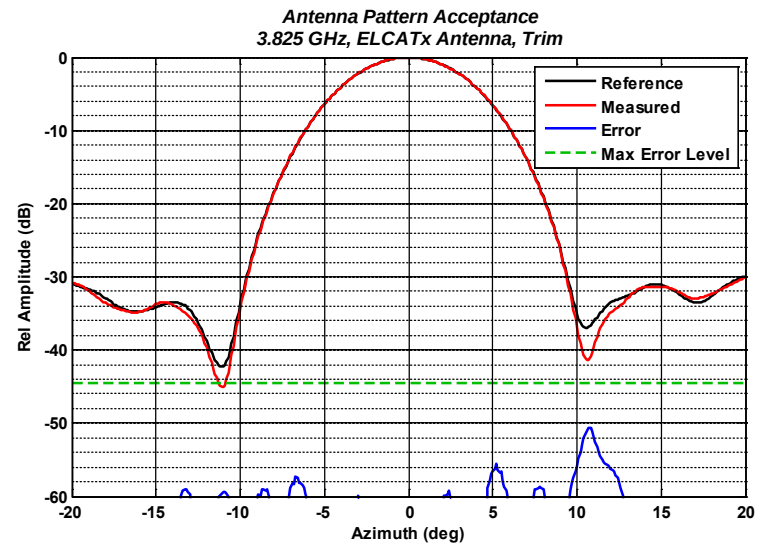
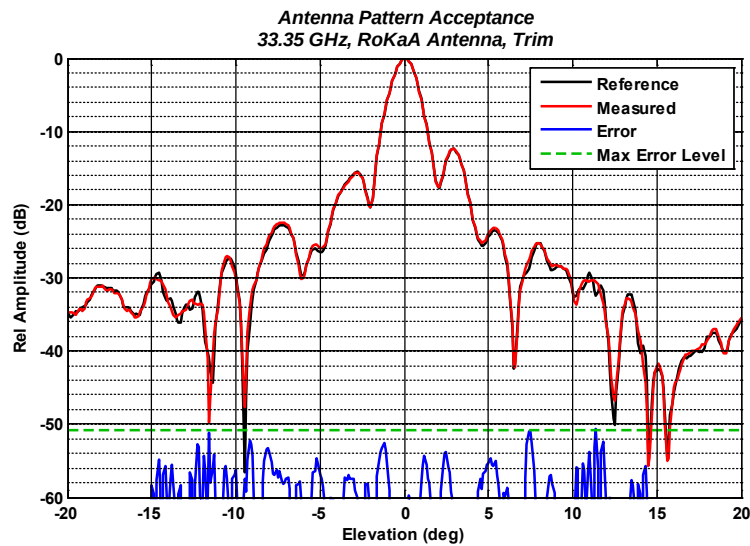
B8: F=15.1 ГГц, поляризация H

PLANE WAVE PROBING SUMMARY DATA SHEET ISSC CCR 120/100

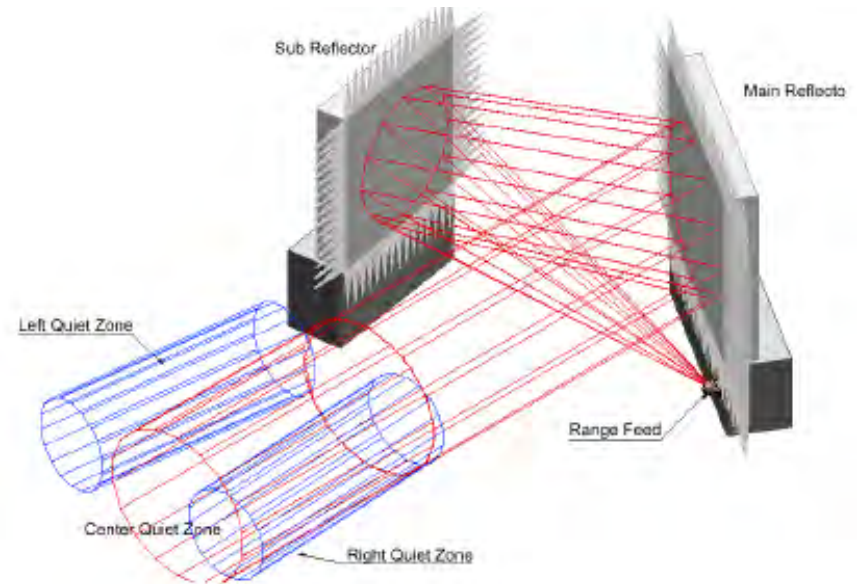
Quiet Zone: COZ Quiet Zone Size(WxH): 8.0 m x 8.0 m Frequency: 15.100 GHz
Pol. CCR Feed: Horizontal Probe: SGH16A-15.2



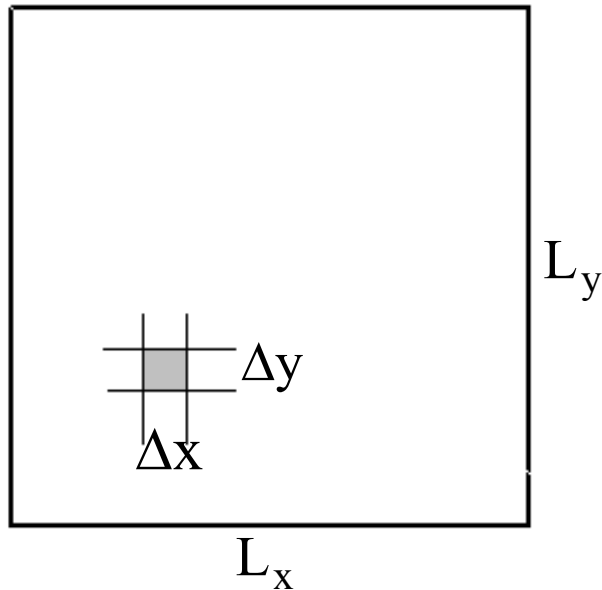
Двухзеркальный коллиматор CCR 120/100



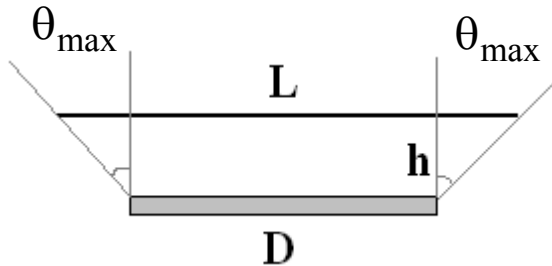
Система облучателей



Измерения в ближней зоне (сканирование на плоскости)



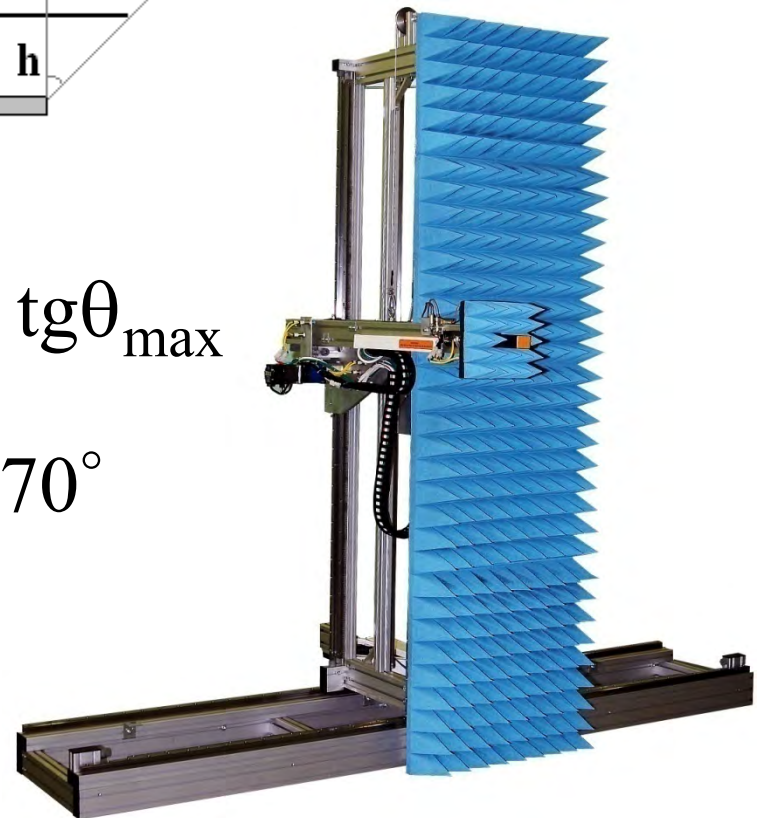
$$\Delta x = \Delta y \leq \frac{\lambda}{2}$$



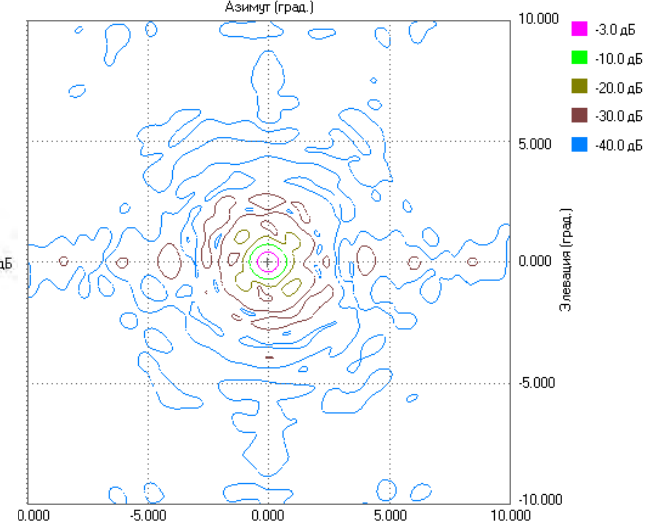
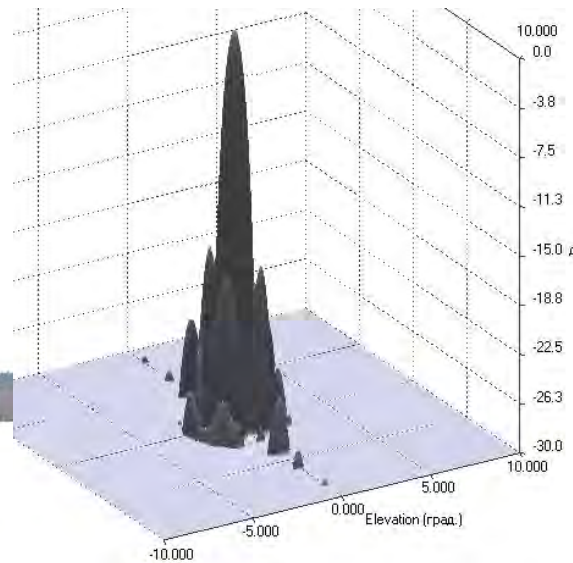
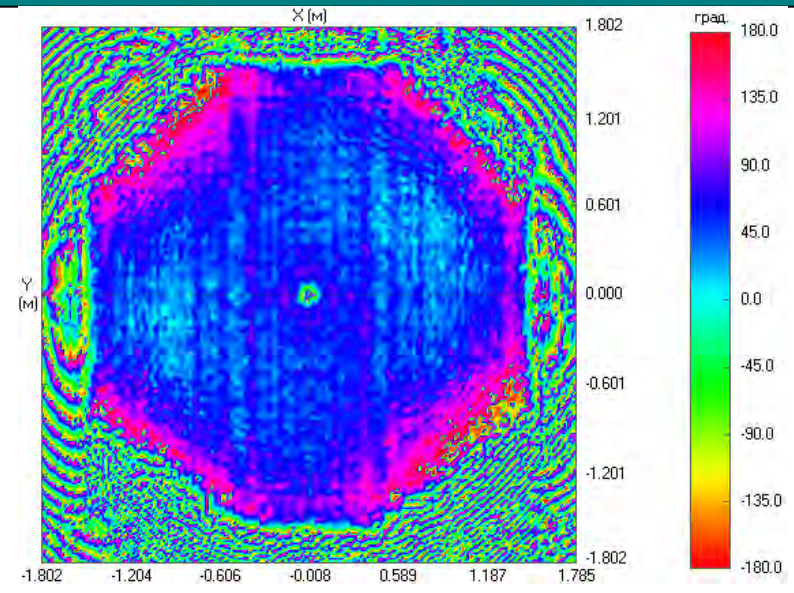
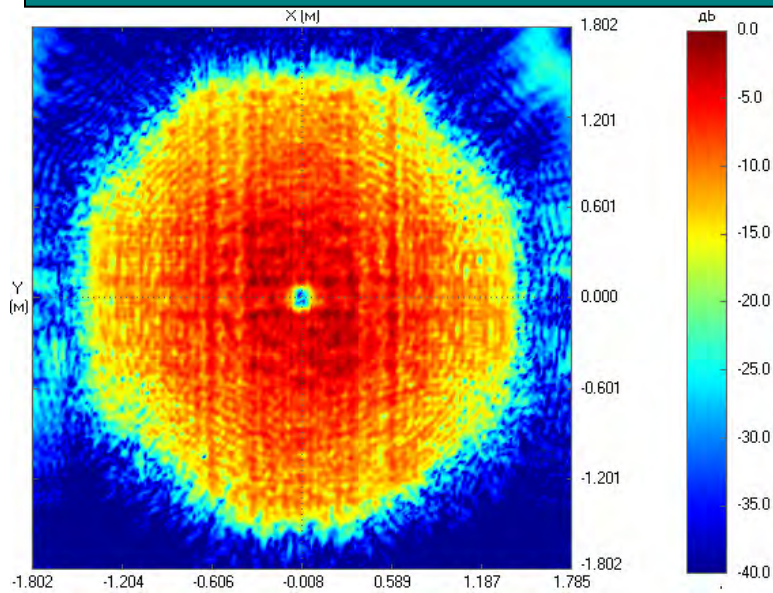
$$L > D + 2h \cdot \operatorname{tg} \theta_{\max}$$

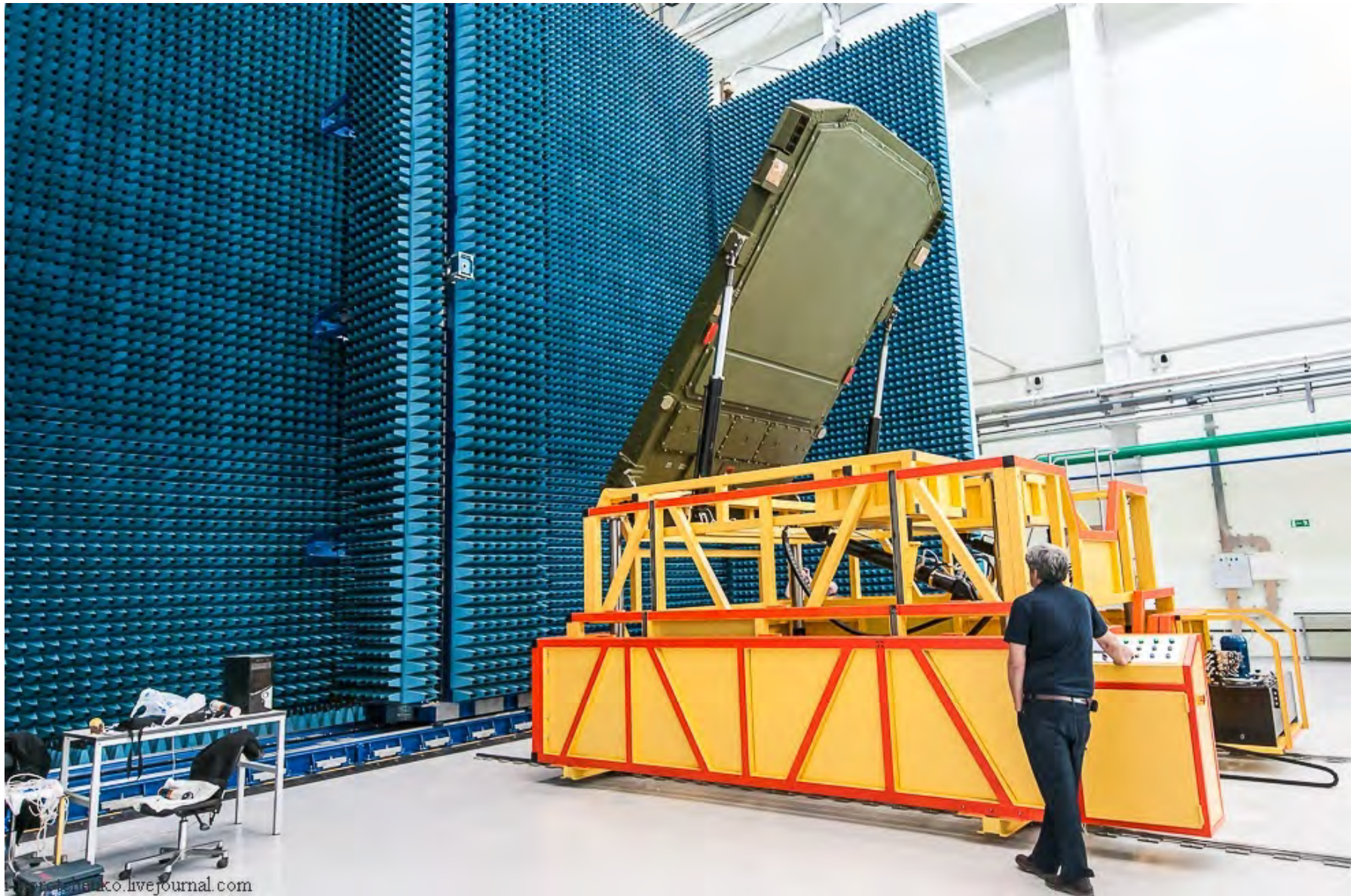
$$\theta_{\max} = 60 \dots 70^\circ$$

$$h = (3 \dots 5)\lambda$$



Примеры измерений

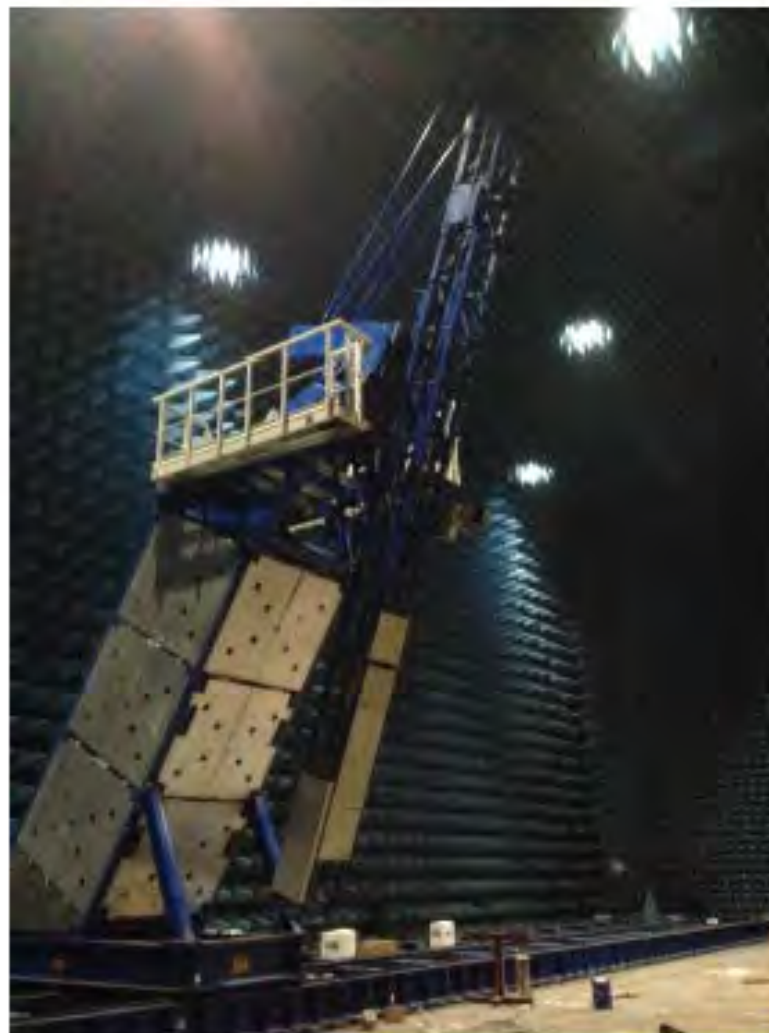






Наклонный сканер

- ❖ Рабочая зона 32x13 м
- ❖ Угол наклона башни 0-32°
- ❖ поперечное перемещение зонда 0,5м
- ❖ вращение зонда по поляризации 360°
- ❖ максимальная скорость зонда 0,3м/с
- ❖ точность позиционирования 0,5мм
- ❖ отклонение от идеальной плоскости, СКО:
 - зона сканирования 6х6м, 0° - 0,6мм
 - зона сканирования 6х6м, 32° - 0,75мм
 - зона сканирования 32х13м, 0° - 1,2мм
 - зона сканирования 32х13м, 32° - 2мм



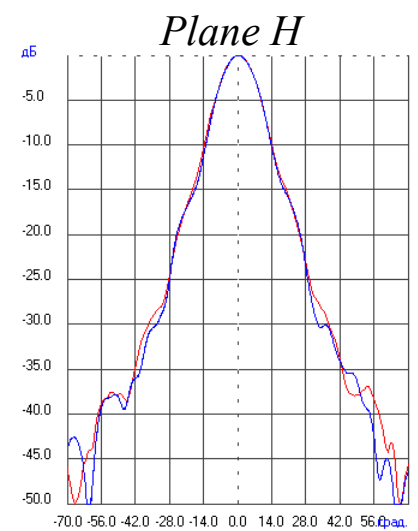
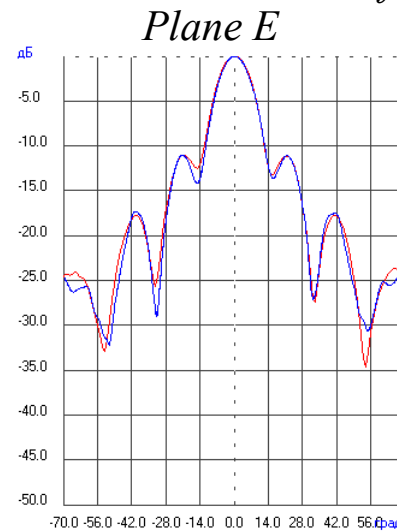
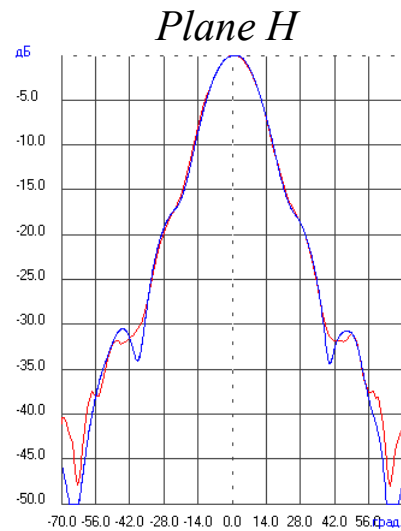
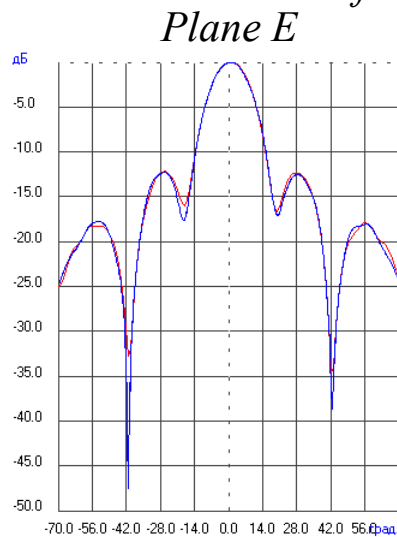
FF – NF Plane

$f=11.5\text{ GHz}$

— FF

— NF

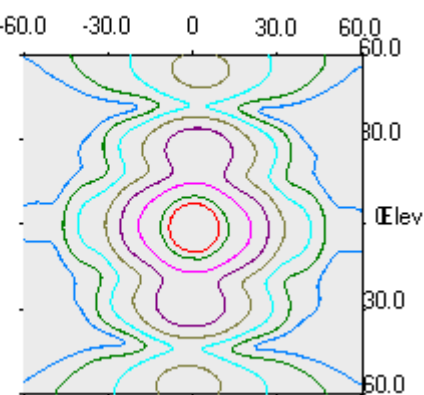
$f=15\text{ GHz}$



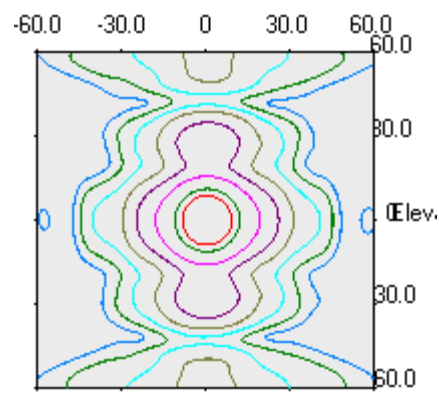
$f=10\text{ GHz}$

- -15.0 dB
- -3.0 dB
- -5.0 dB
- -10.0 dB
- -20.0 dB
- -30.0 dB
- -35.0 dB
- -25.0 dB

FF
Azimuth, град.

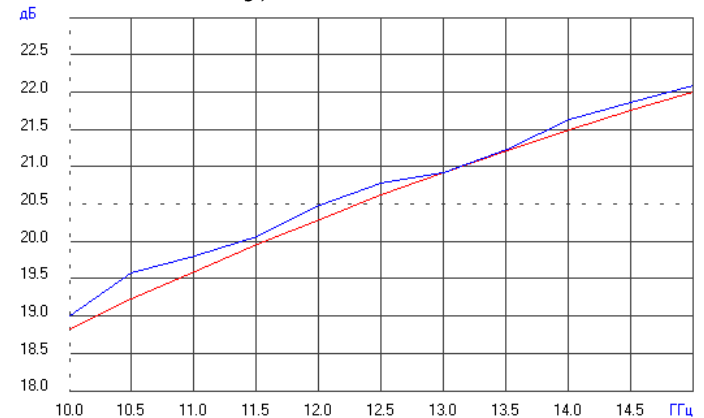


NF
Azimuth, град.

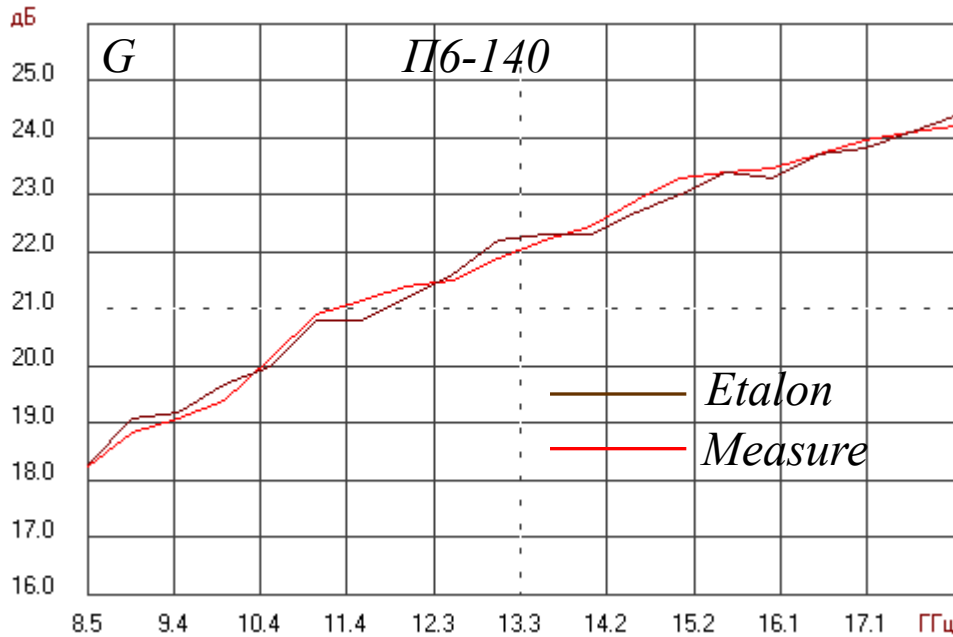


— $G(f)$

— $D(f)$ NF



Gain NF – Probe Etalon

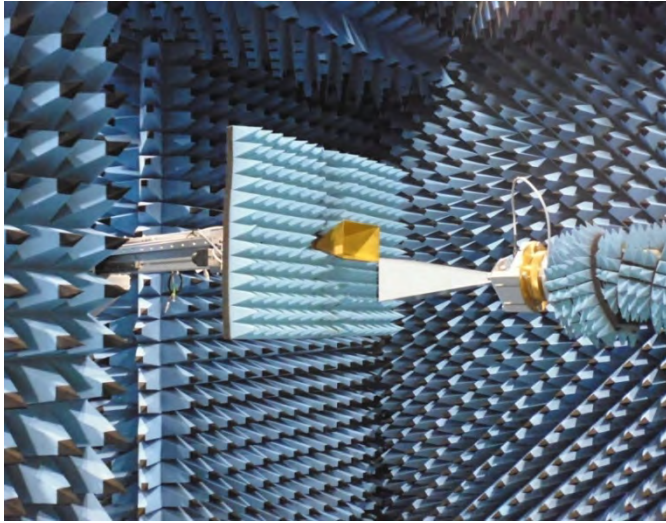


$$G_a(\vec{K}_0) = \left(\frac{4\pi}{\lambda^2} \right)^2 M \frac{\left| \delta_x \delta_y \sum B_0(\vec{P}_i) e^{-j\vec{K}_0 \cdot \vec{P}_i} \right|^2}{|a_n|^2 G_p(\vec{K}_0)}$$

$$G_p(\vec{K}_0) = \left(\frac{4\pi}{\lambda^2} \right)^2 M \frac{\left| \delta_x \delta_y \sum B_0(\vec{P}_i) e^{-j\vec{K}_0 \cdot \vec{P}_i} \right|^2}{|a_n|^2 G_{et}(\vec{K}_0)}$$

$$EIRP(\vec{K}_0) = \left(\frac{4\pi}{\lambda^2} \right)^2 M \frac{\left| \delta_x \delta_y \sum B'_0(\vec{P}_i) e^{-j\vec{K}_0 \cdot \vec{P}_i} \right|^2}{G_p(\vec{K}_0)} \mathbf{P}_0(\vec{P}_0)$$

Gain NF – 3-antenna method

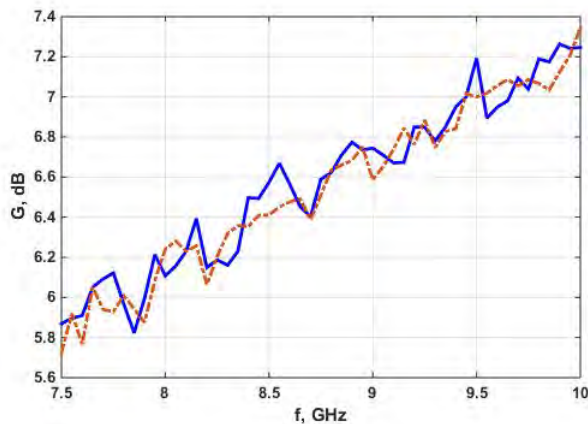


$$G_m(\vec{K}_0)G_n(\vec{K}_0) = \left(\frac{4\pi}{\lambda^2}\right)^2 \frac{\left| \Delta^2 \sum_j S(\vec{P}_j) e^{-i\vec{K}_0 \cdot \vec{P}_j} \right|_{mn}^2}{L},$$

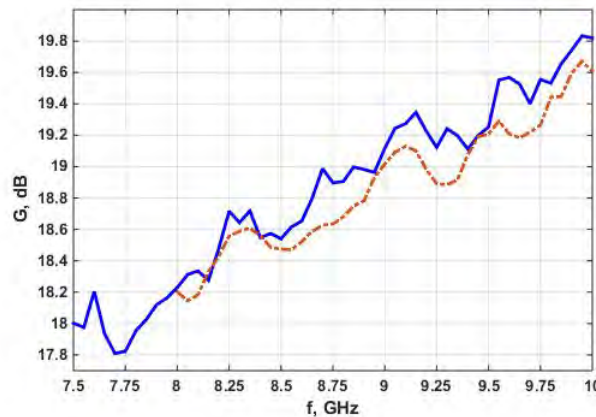
$$m, n = 1, 2, 3; \quad m \neq n;$$

$$G_m(\vec{K}_0)G_n(\vec{K}_0) \equiv G_n(\vec{K}_0)G_m(\vec{K}_0),$$

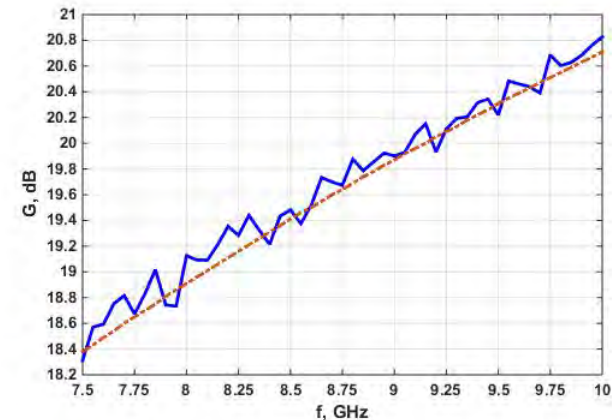
Ant.1 – OEWG WR-112



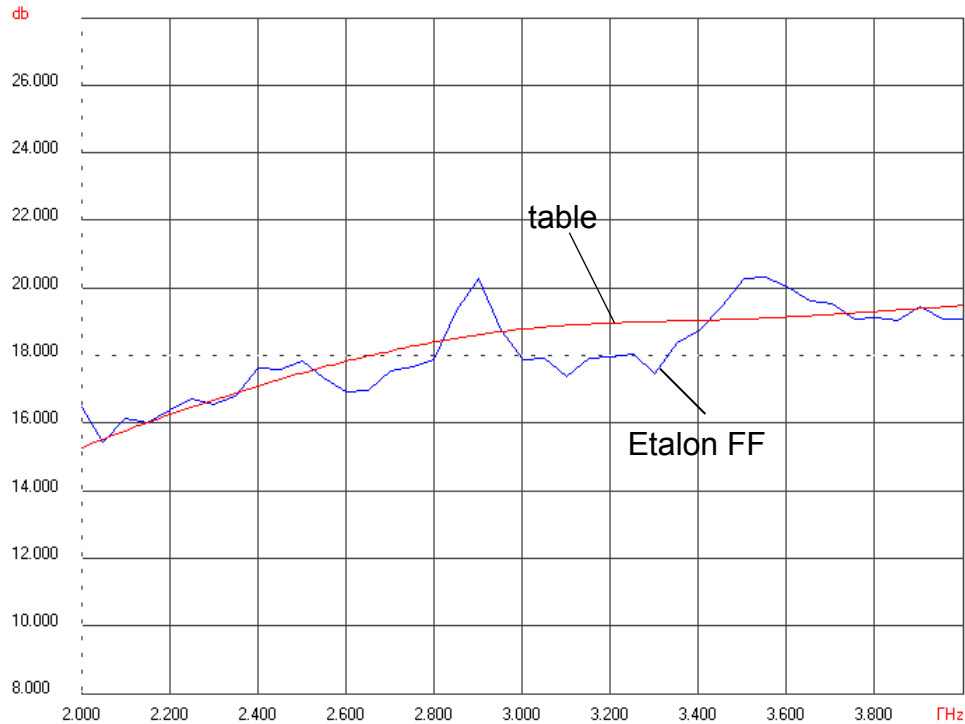
Ant.2 – Horn 9×13.5 sm



Ant.3 – SGH WR-112



Gain NF – Etalon FF

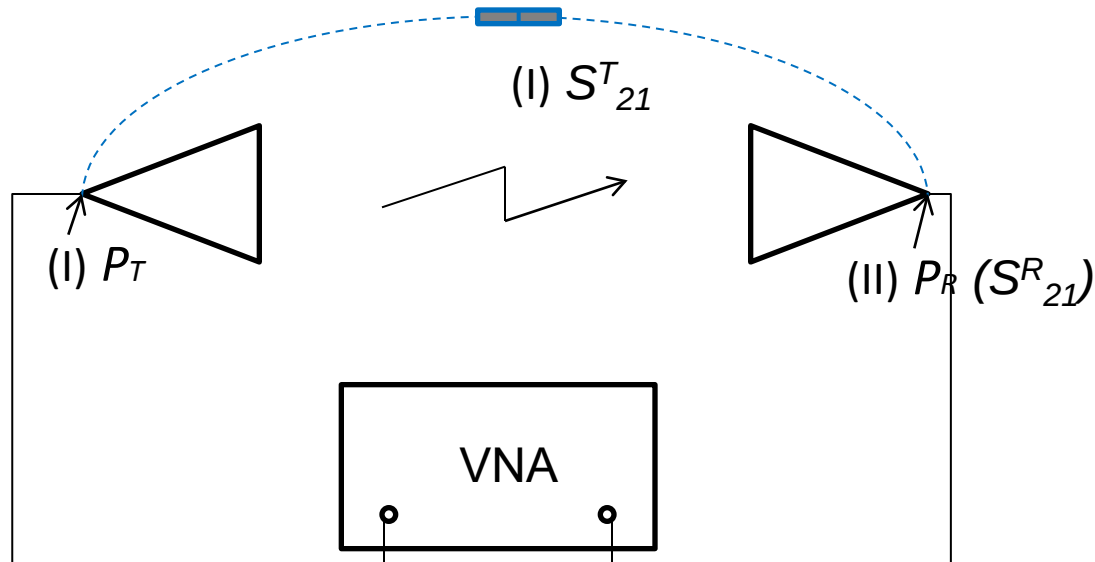


$$G_a(\vec{K}_0) = \left(\frac{4\pi}{\lambda^2} \right)^2 M \frac{\left| \delta_x \delta_y \sum B_0(\vec{P}_i) e^{-j\vec{K}_0 \cdot \vec{P}_i} \right|^2}{|a_n|^2 G_p(\vec{K}_0)}$$

$$G_p(\vec{K}_0) = \left(\frac{4\pi}{\lambda^2} \right)^2 M \frac{P_R^{et}}{P_T^{pr}} \frac{(\lambda d)^2}{G_{et}(\vec{K}_0)}$$

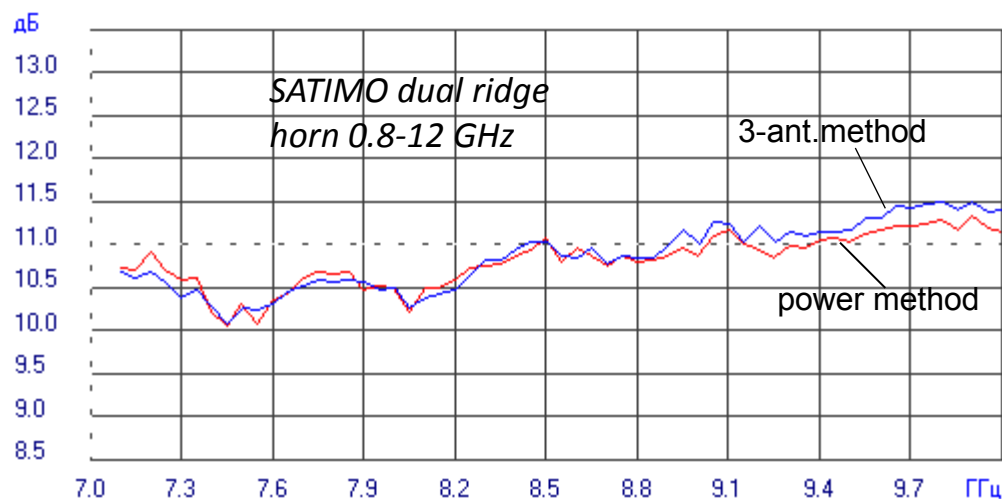
$$G_a(\vec{K}_0) = \frac{\left| \delta_x \delta_y \sum B_0(\vec{P}_i) e^{-j\vec{K}_0 \cdot \vec{P}_i} \right|^2}{P_R^{et}} \frac{G_{et}(\vec{K}_0)}{(\lambda d)^2}$$

Gain FF – Source Antenna Etalon



$$I) G_a = \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2 \frac{P_R}{P_T G_{et}}$$

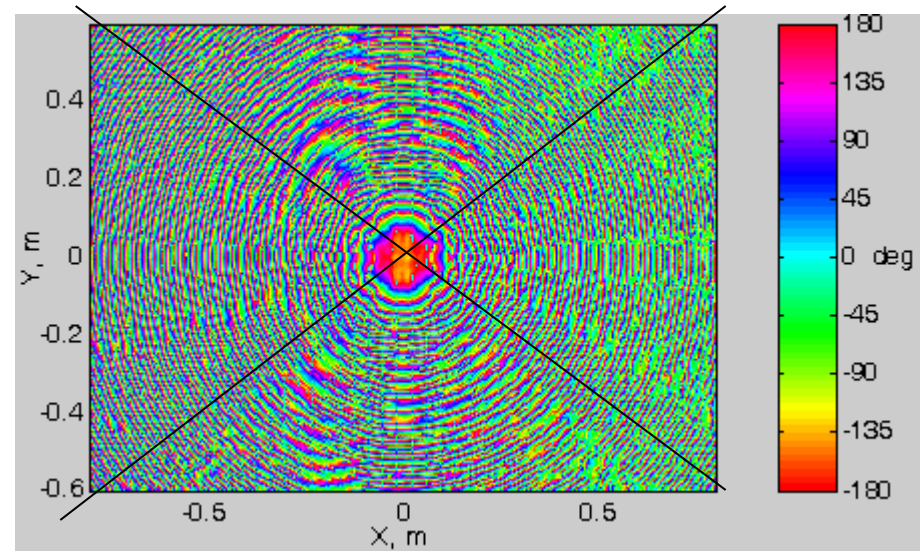
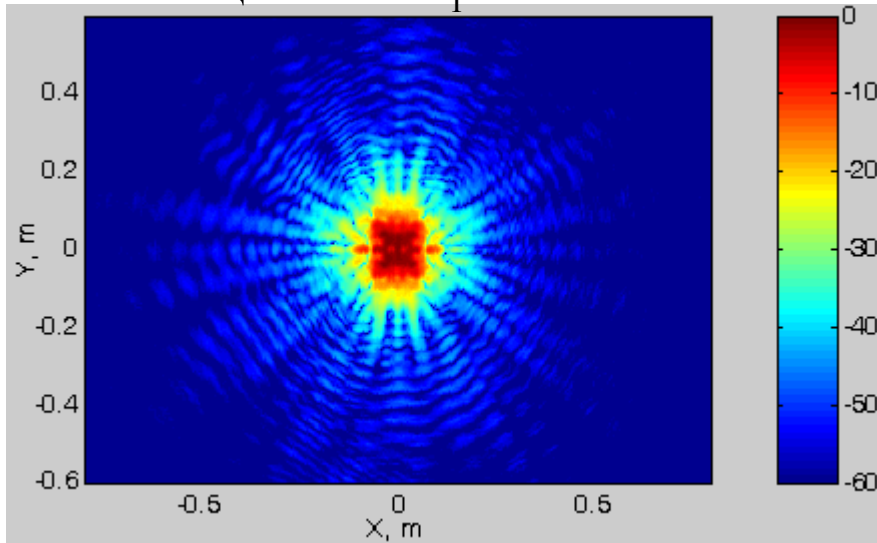
$$II) G_a = \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2 \frac{S^R_{21}}{S^T_{21} G_{et}}$$



Измерение ДН без измерения фазы

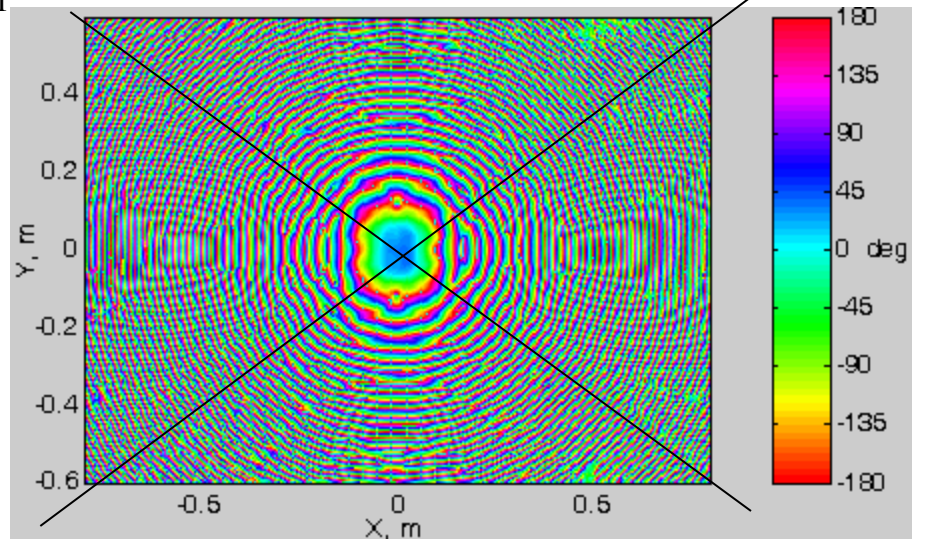
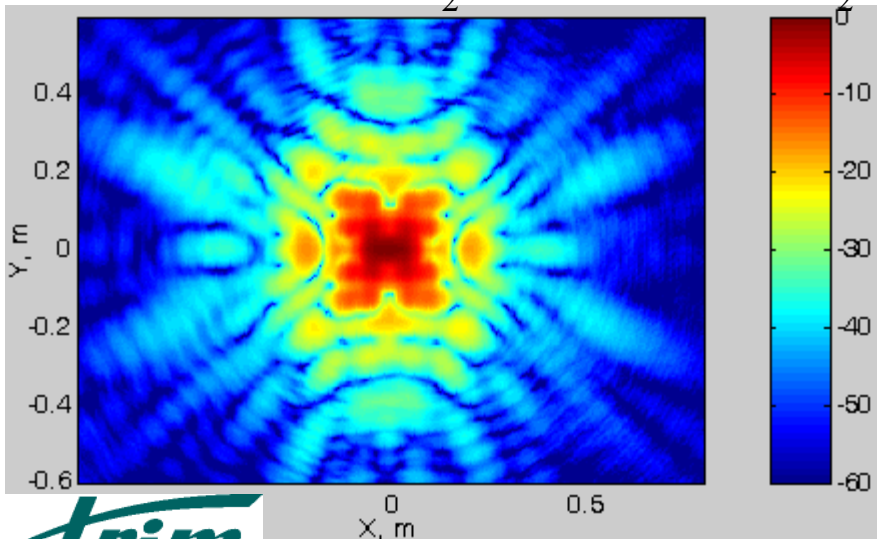
$f=20$ ГГц

$z_1=0.112$ м

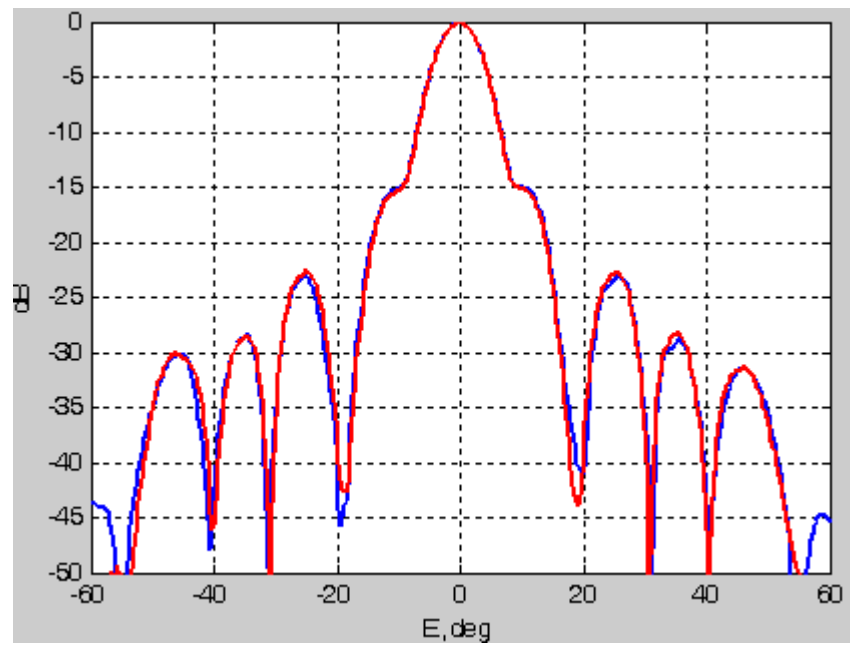
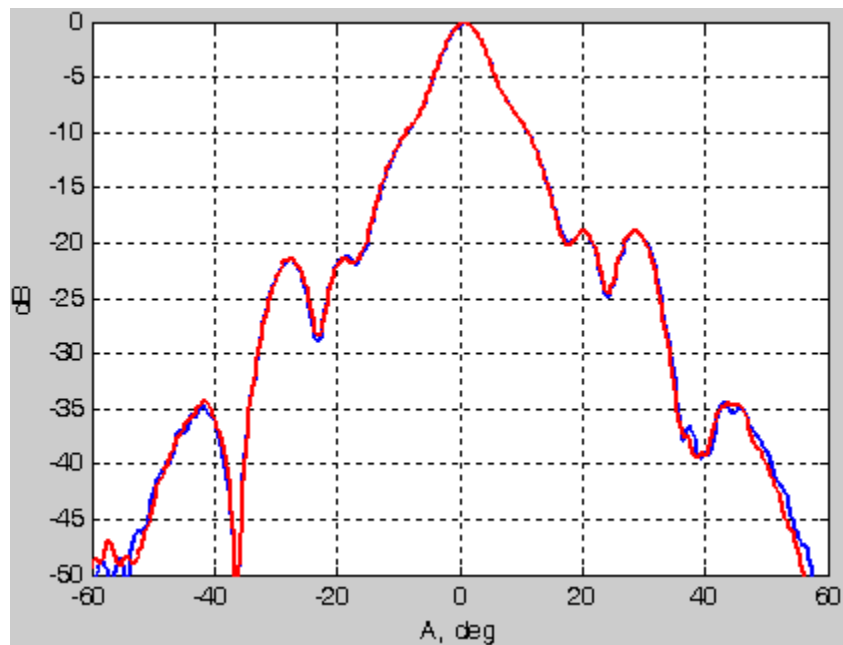
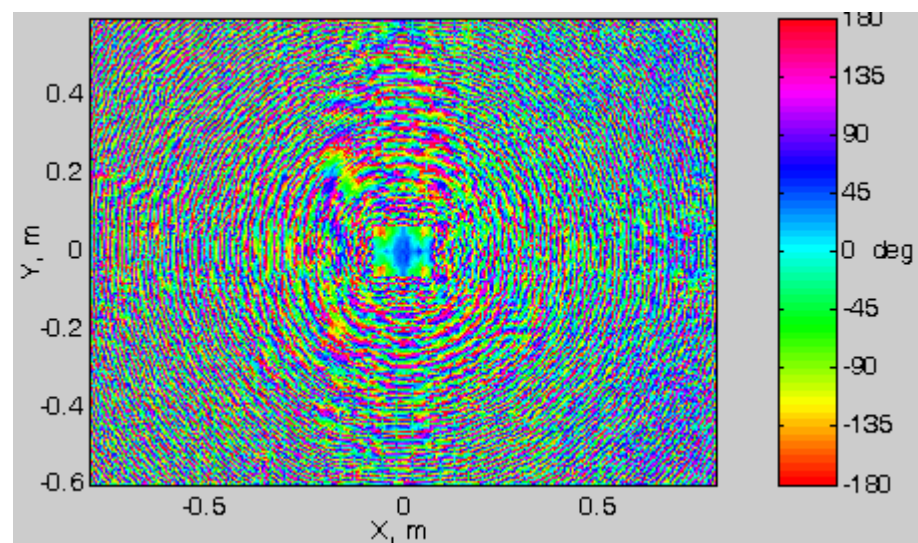
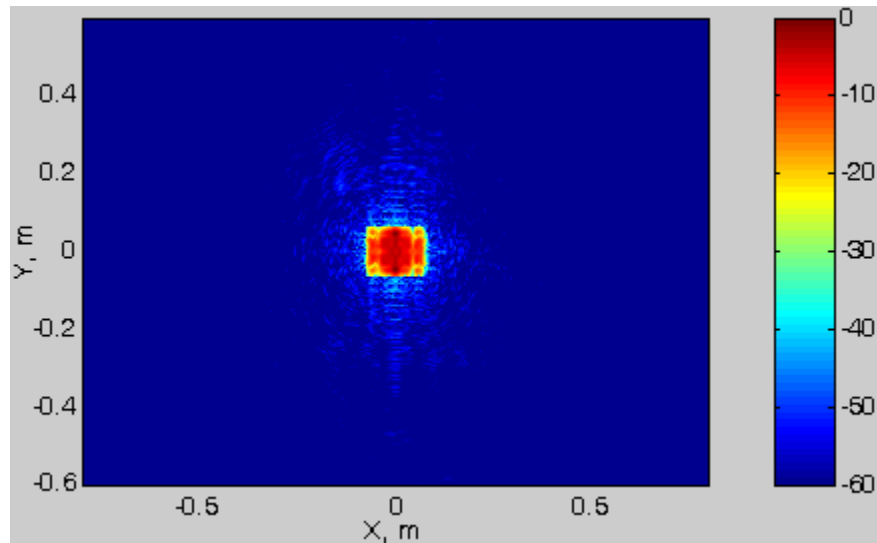


$z_2=0.375$ м

$z_2-z_1=17.5\lambda$

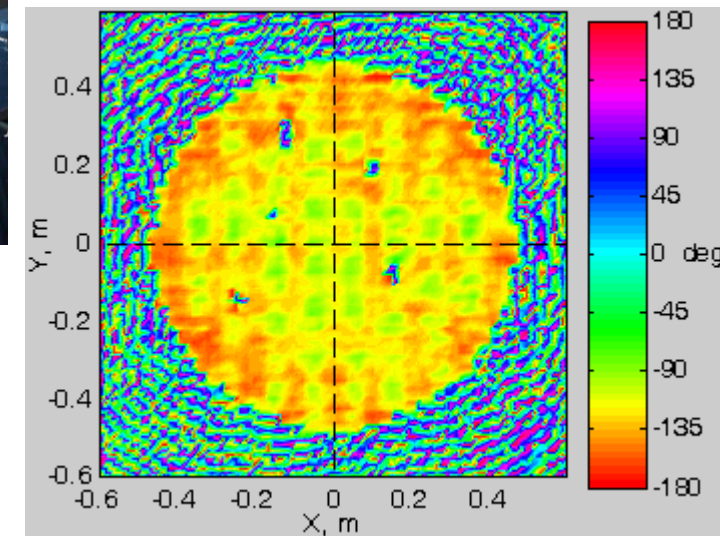
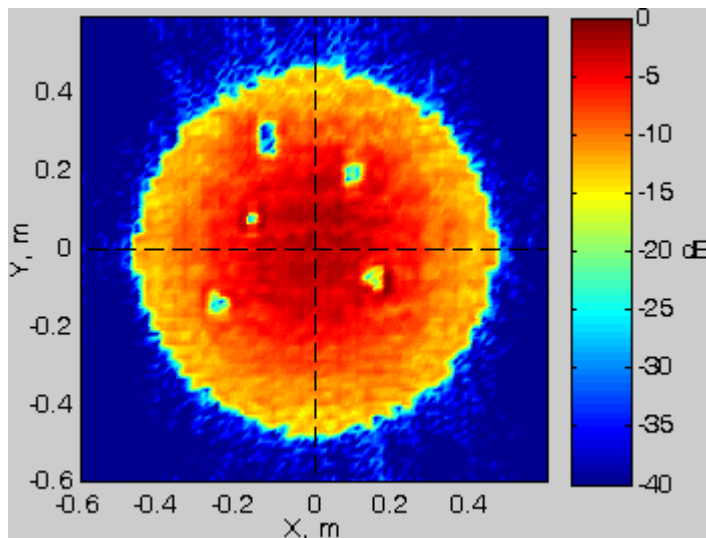
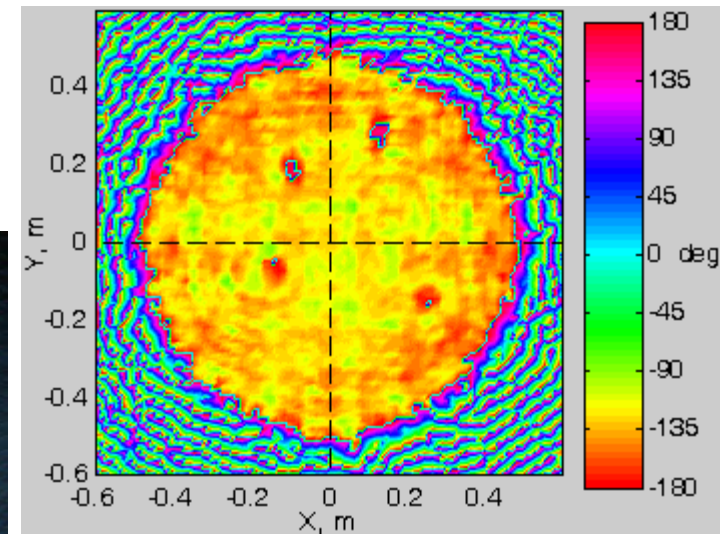
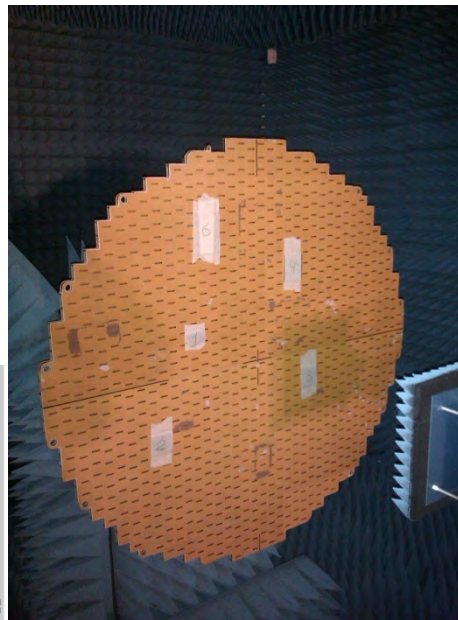
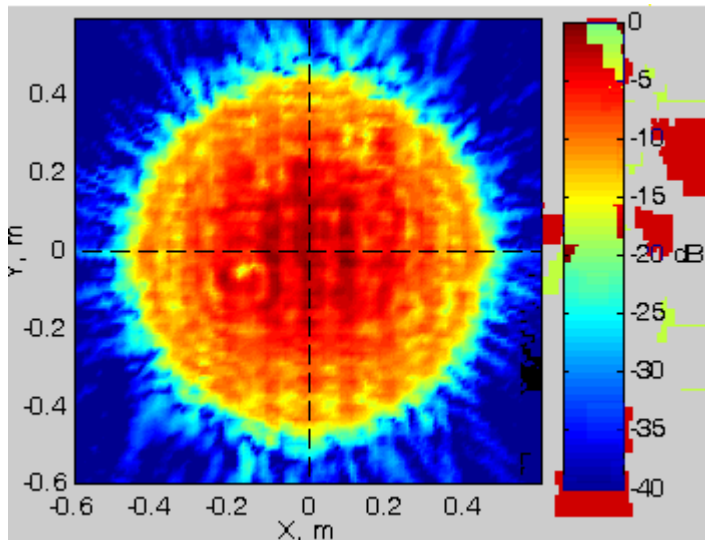


$z=0$ $n=100$

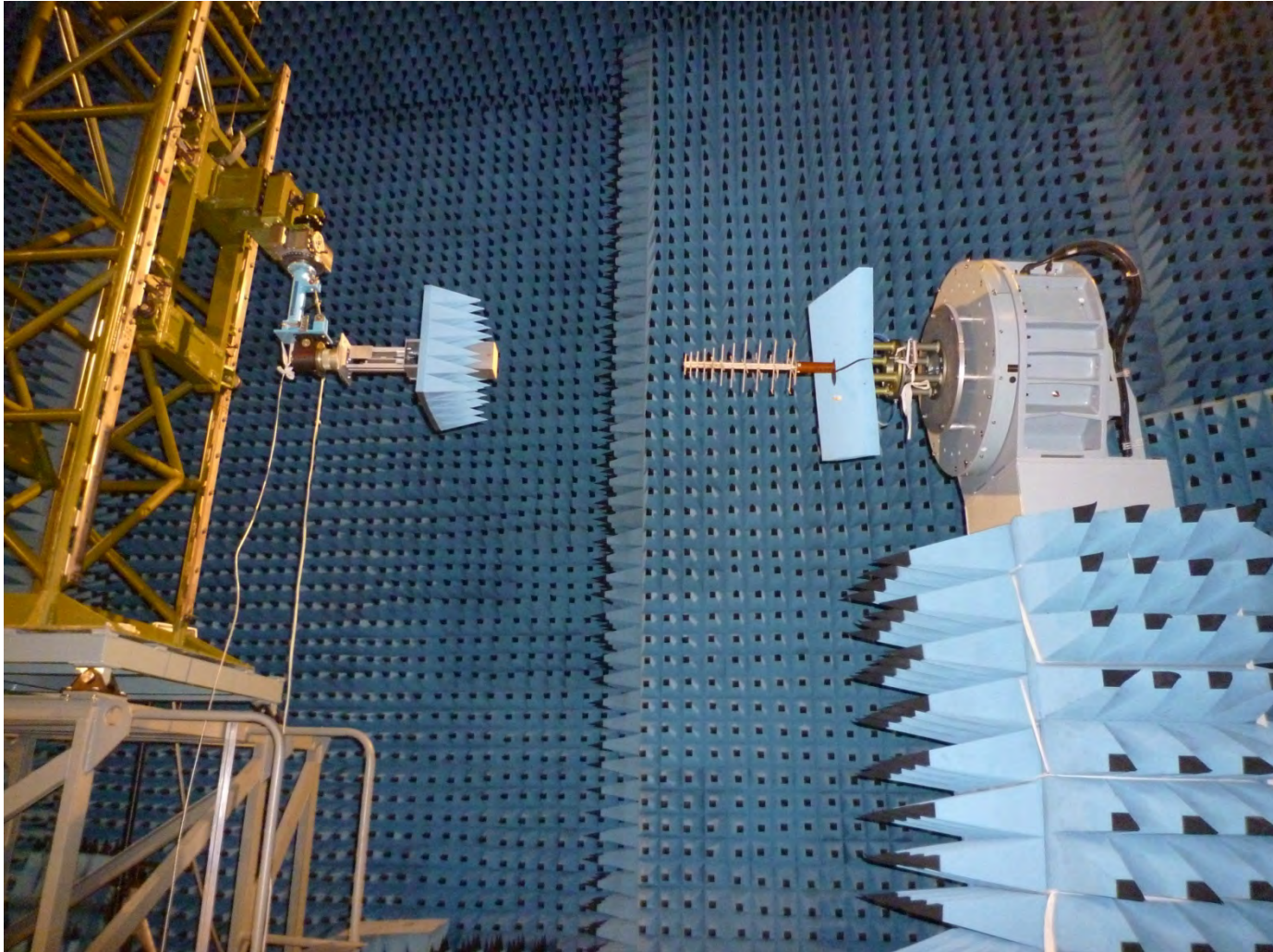


Восстановление АФР в раскрыве

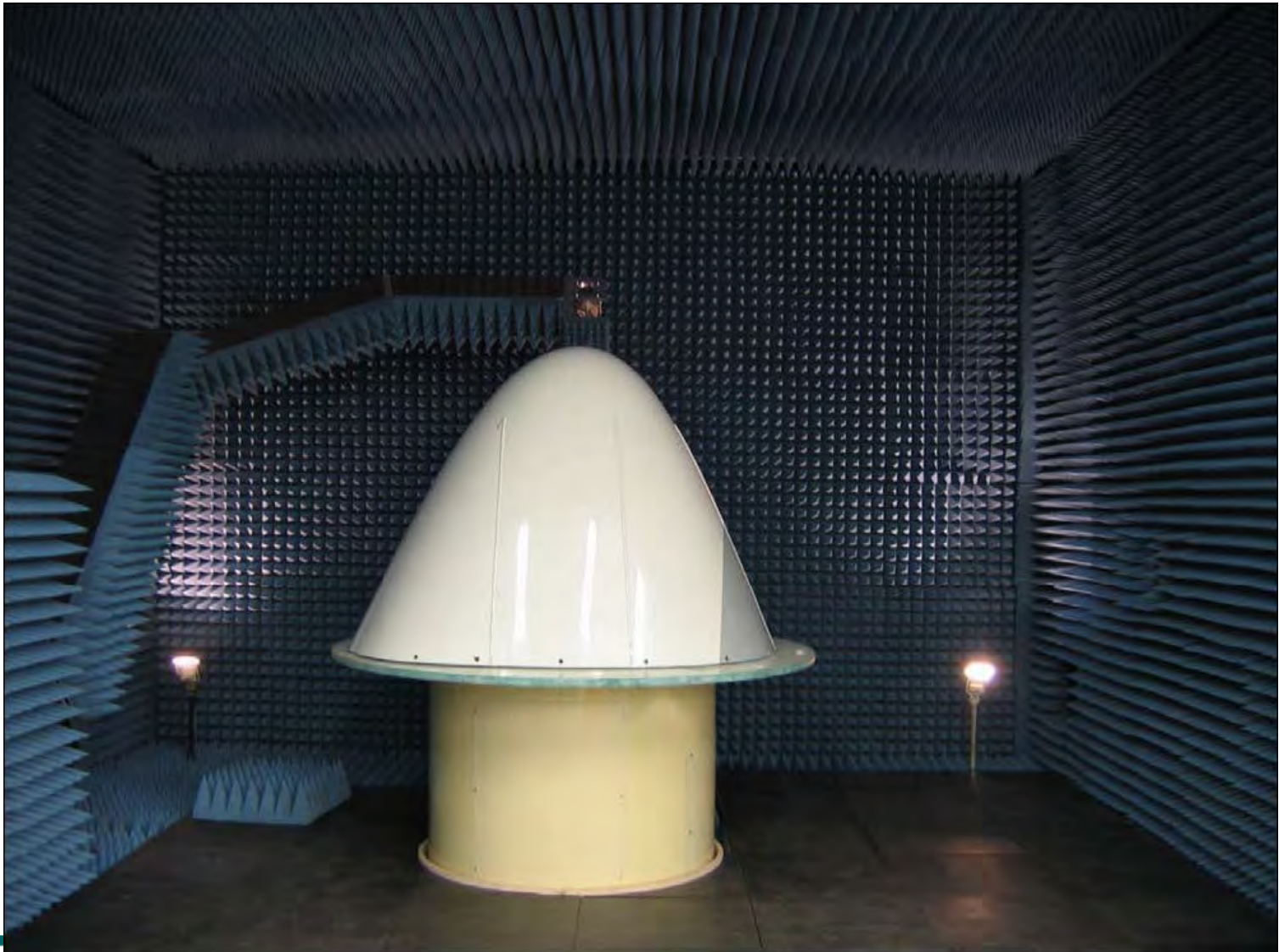
$d=10\text{ cm}$



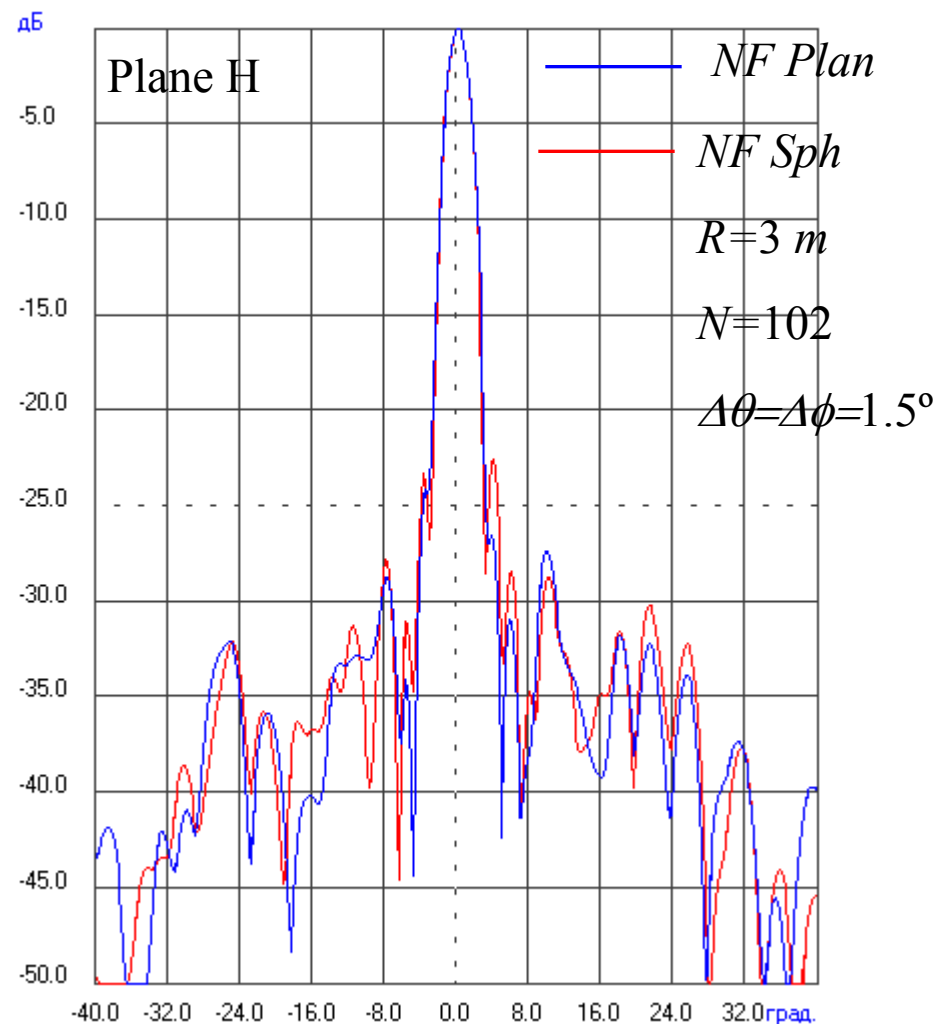
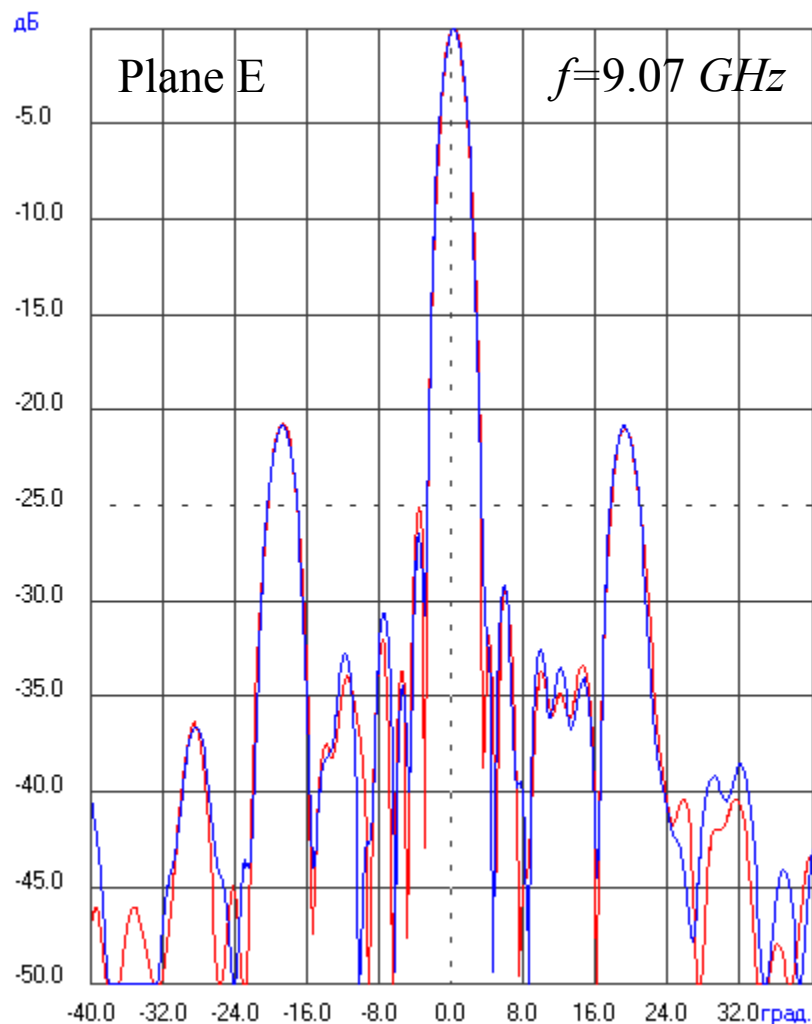
Измерения в ближней зоне (сферическое сканирование)



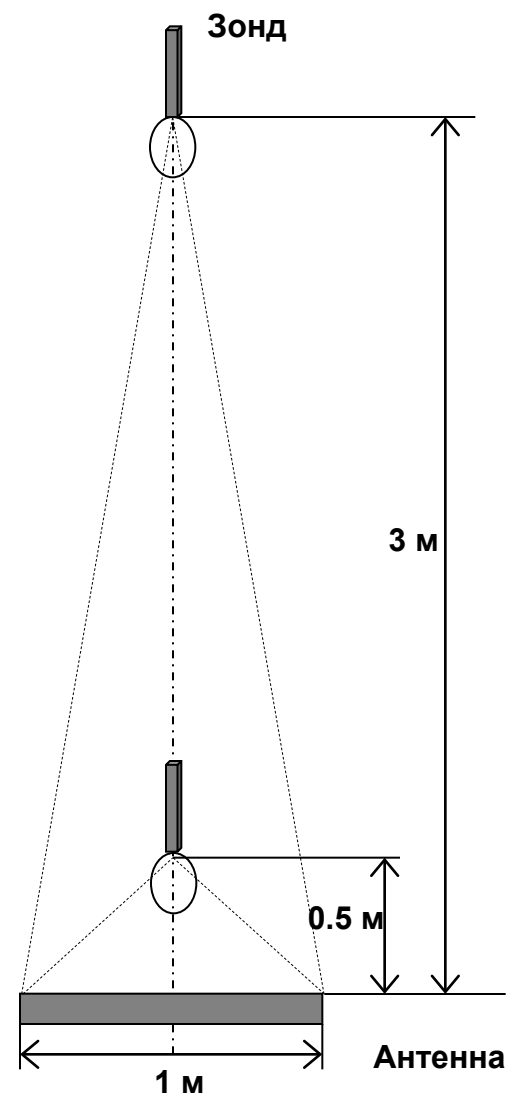
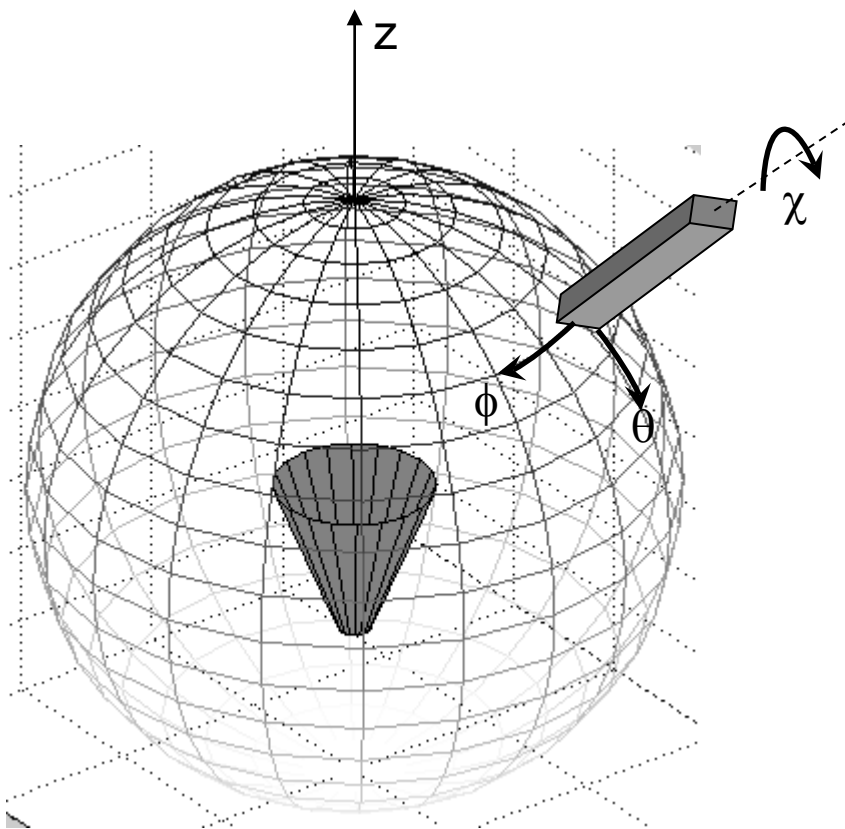
Вариант сферического сканера



NF Sphere – NF Plane

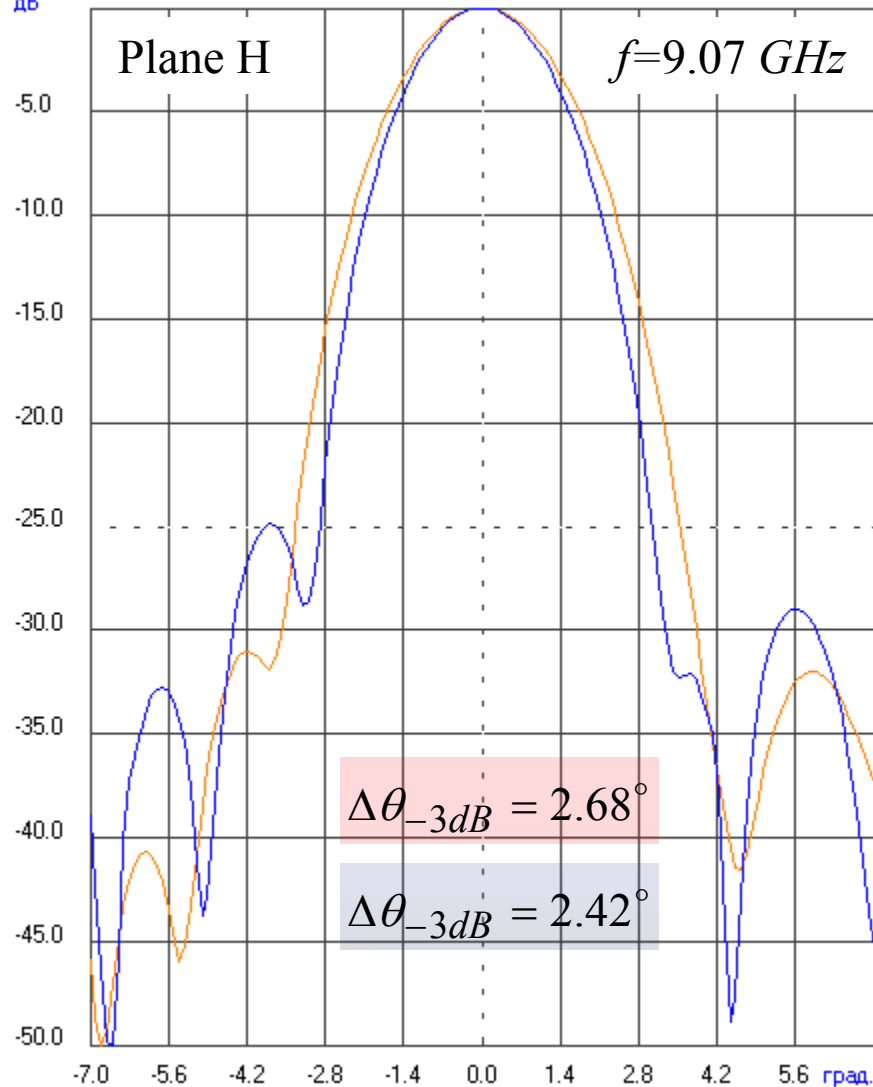


Геометрия сферического сканирования

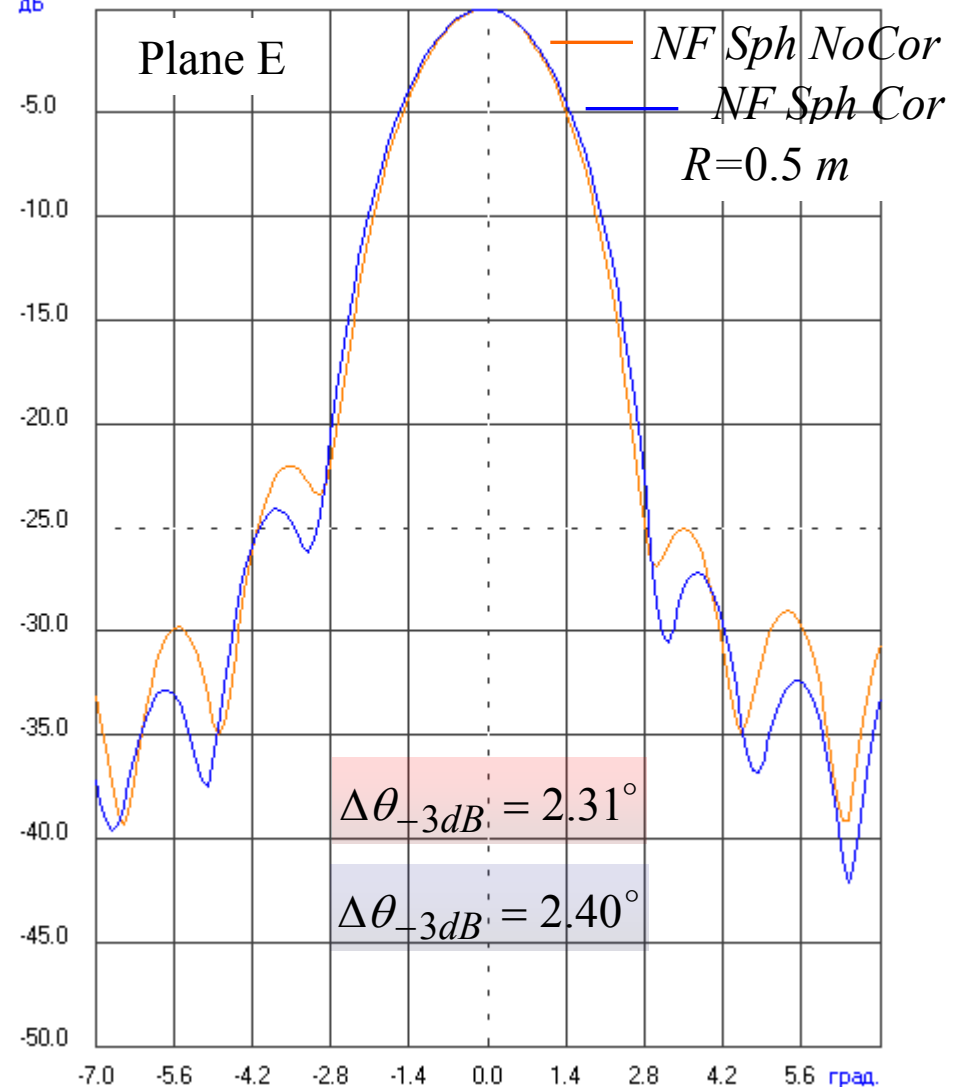


NF Sphere Cor– NF Sphere NoCor

дБ

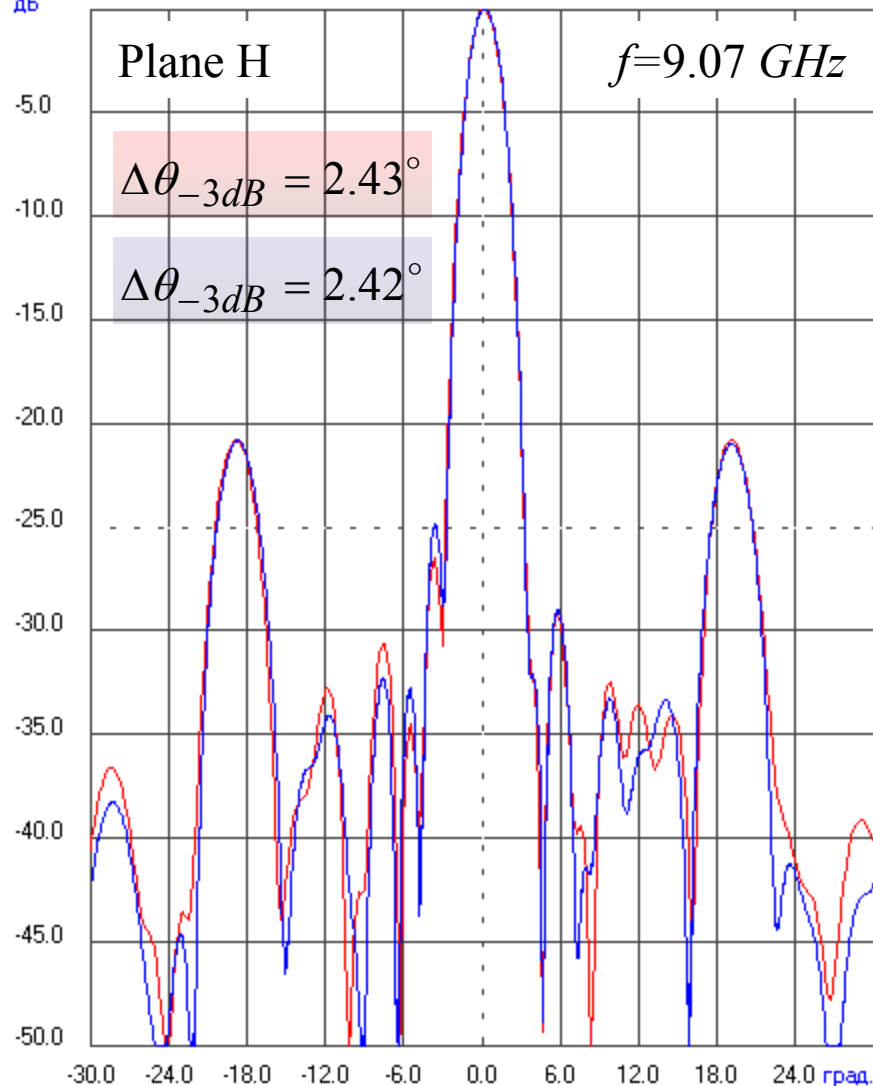


дБ

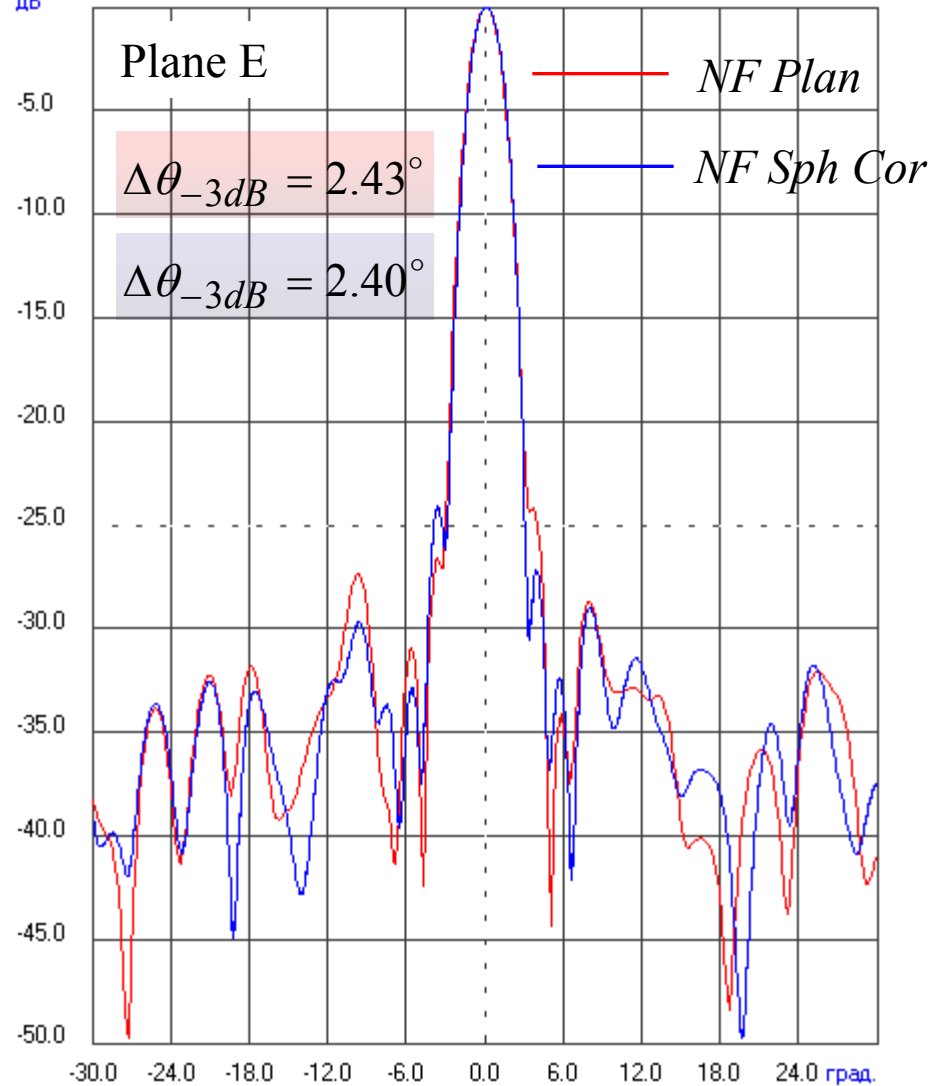


NF Plan – NF Sphere Cor

дБ



дБ

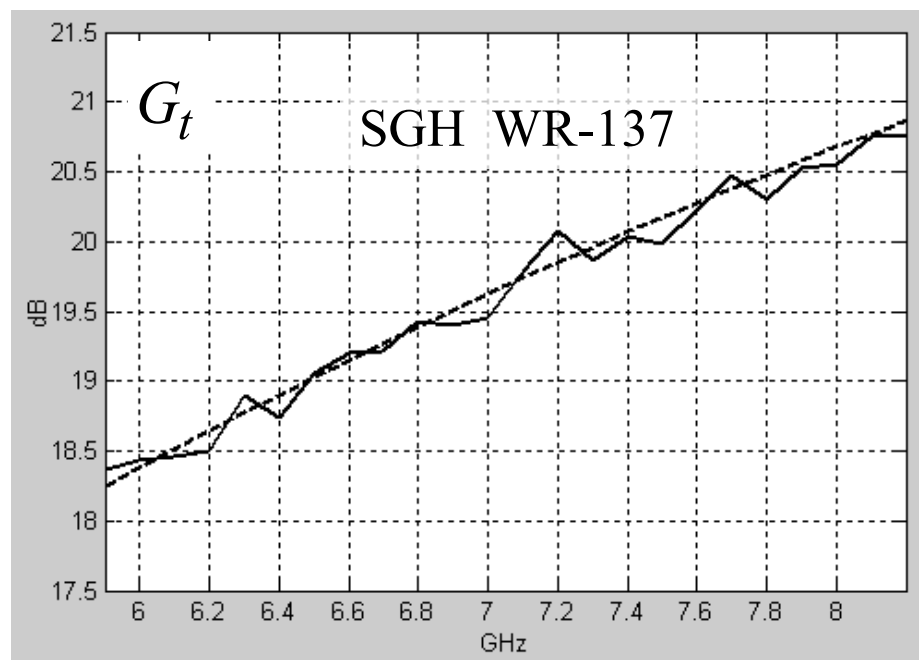
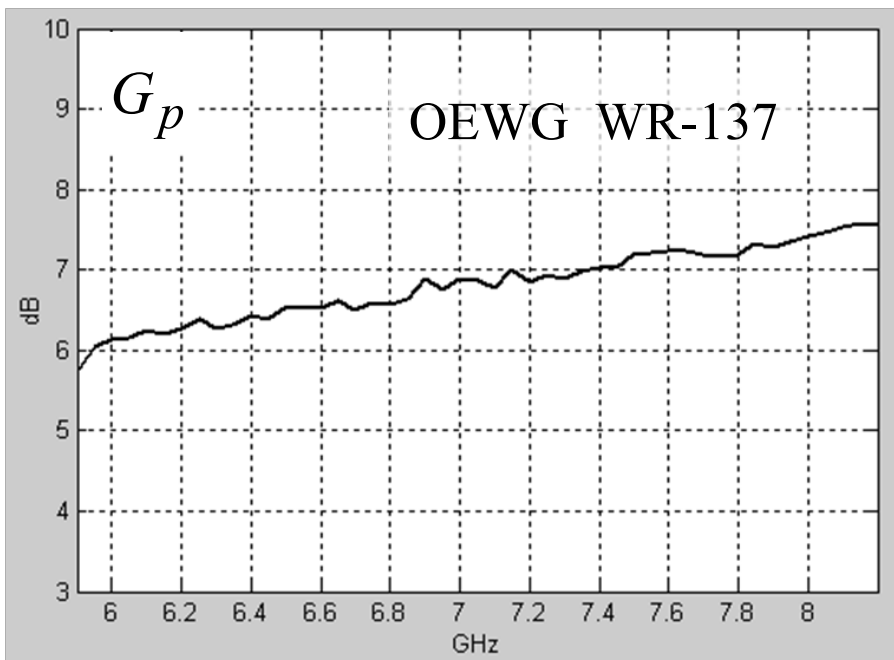


Прямое измерение КУ

$$P_{s1n}^{\infty} = -\frac{\sqrt{6}}{8} j^{-n} \sqrt{2n+1};$$

$$P_{s,-1,n}^{\infty} = (-1^s) \frac{\sqrt{6}}{8} j^{-n} \sqrt{2n+1}.$$

$$G_t(\theta, \phi) = \frac{4}{G_p} \frac{|W(\theta, \phi)|^2}{|v|^2}$$

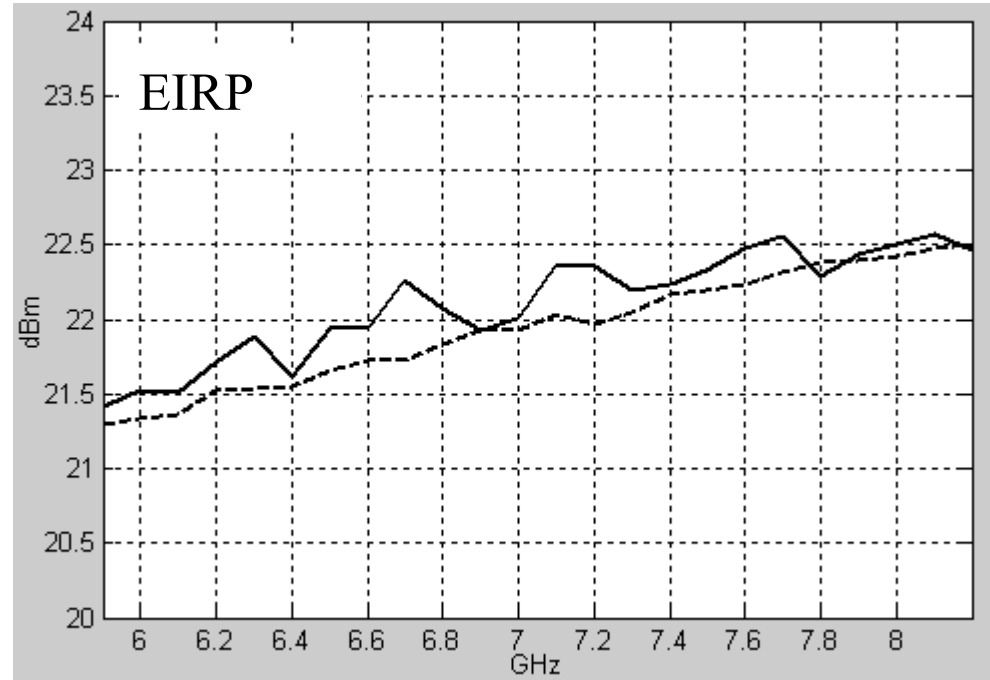


Прямое измерение ЭИИМ

$$EIRP = \frac{1}{2} |\nu|^2 G_t$$

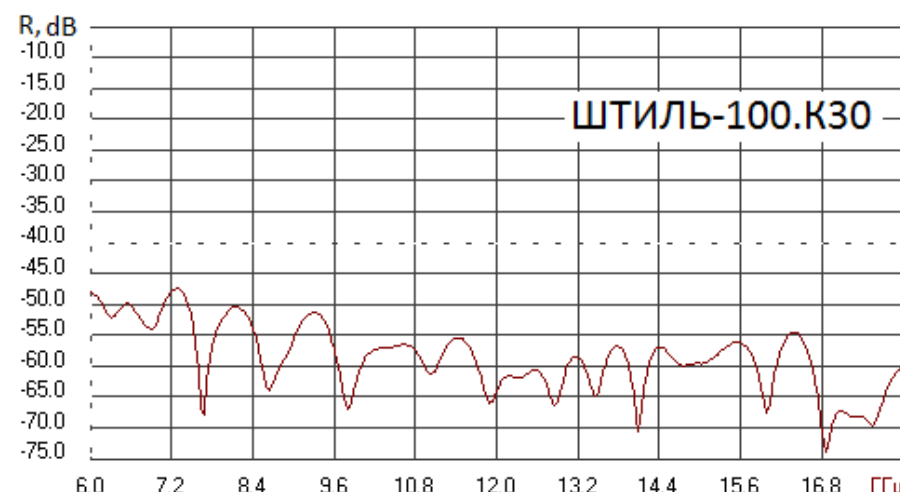
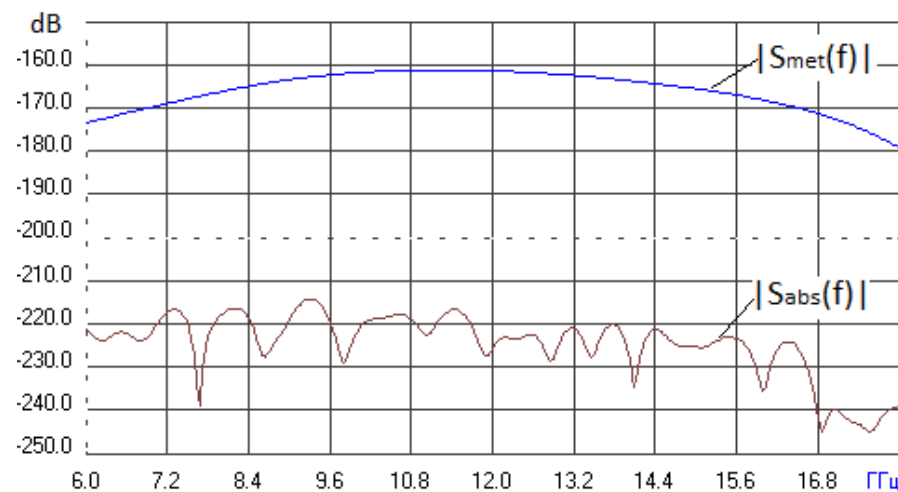
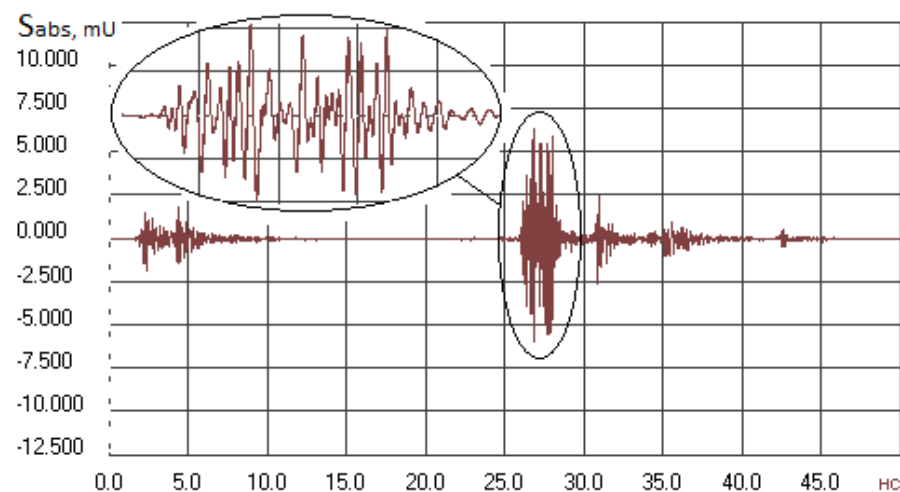
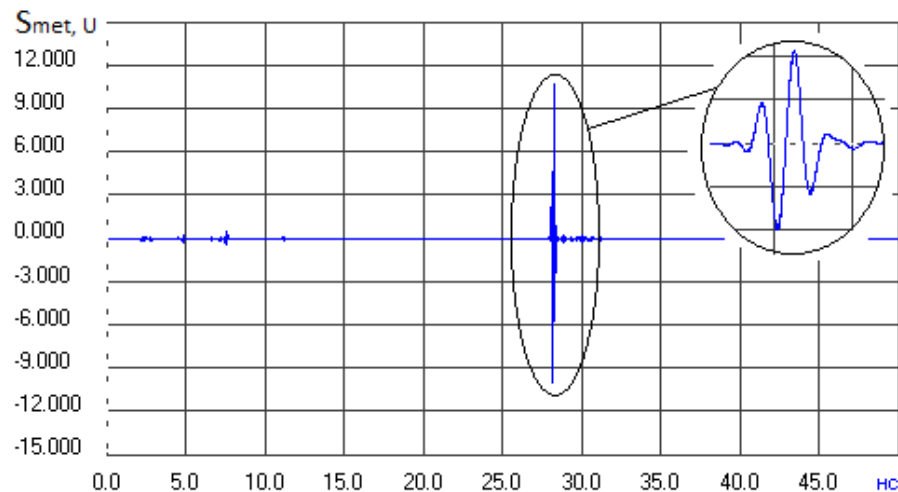
$$\frac{1}{2} |W|^2 = \frac{G_p EIRP}{4}$$

$$K = \frac{P_m}{\frac{1}{2} |w(\theta_m, \phi_m)|^2}$$

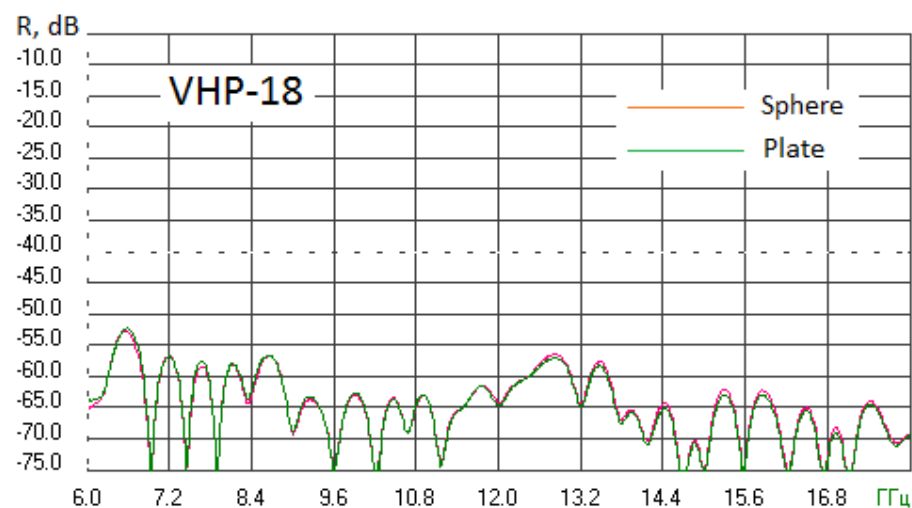
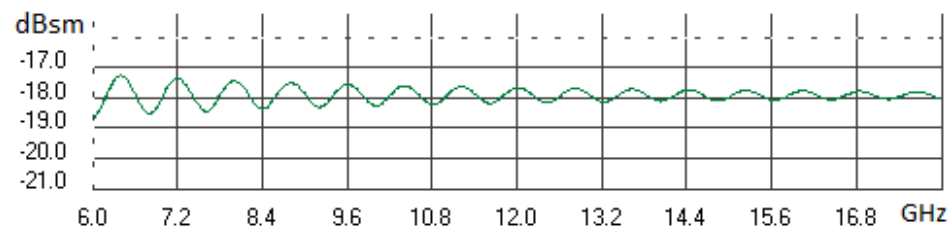
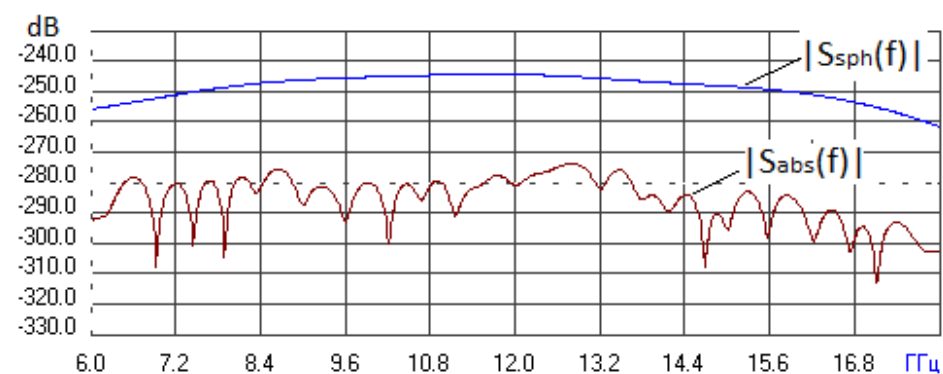
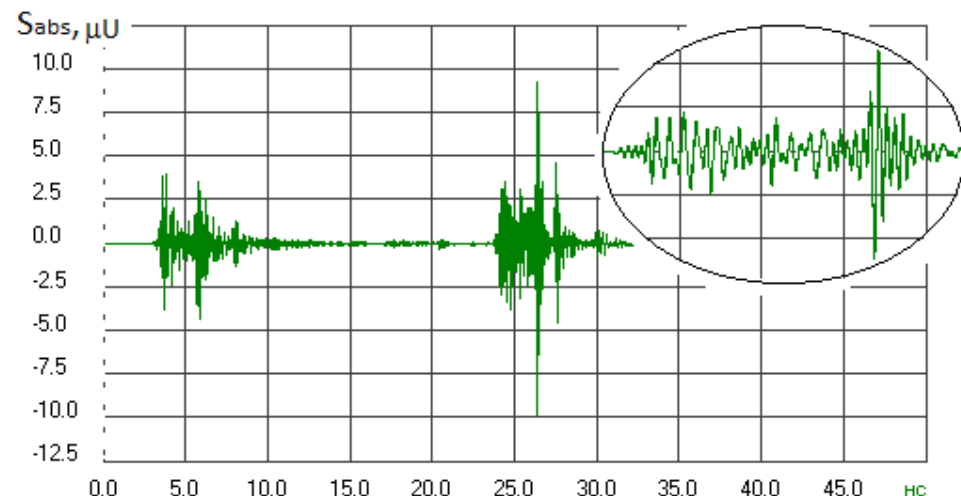
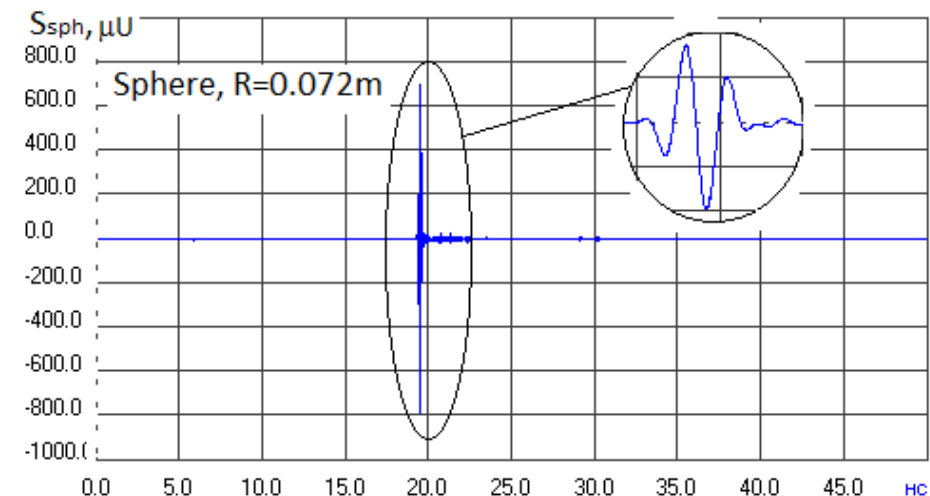


$$EIRP(\theta, \phi) = \frac{2K}{G_p} |W(\theta, \phi)|^2.$$

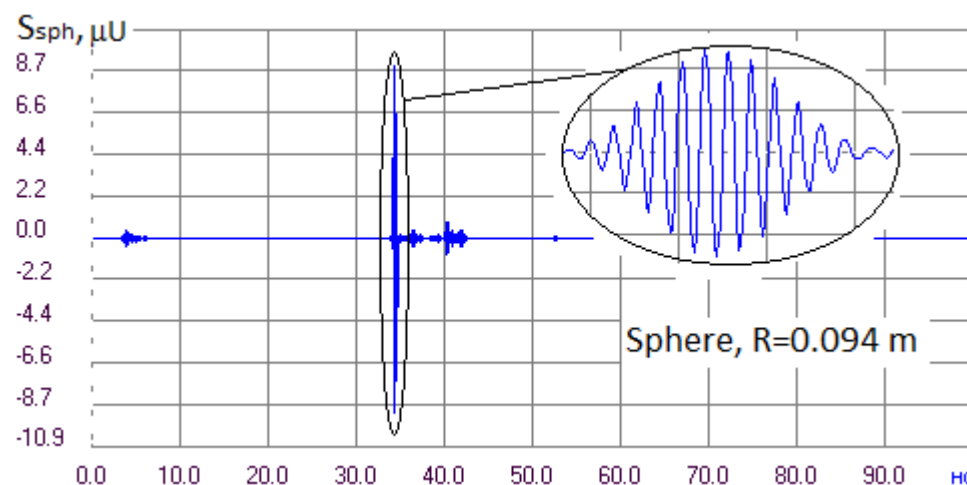
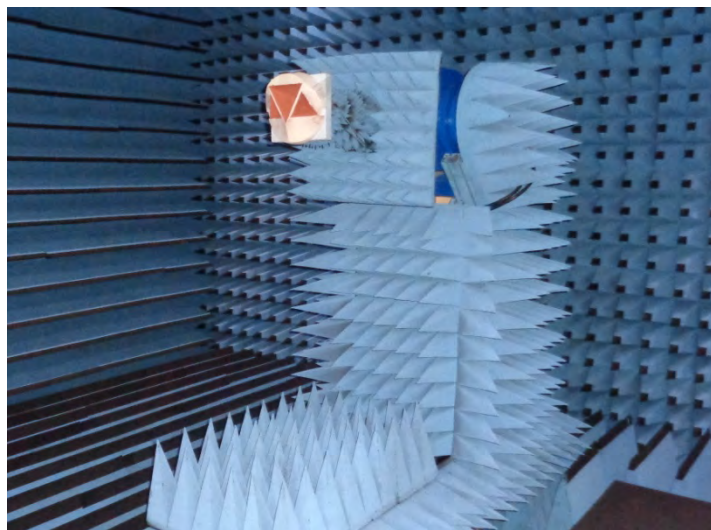
Измерение характеристик РПМ



Измерение характеристик РПМ



Измерение РЛХ



Azimuth Pattern, $f=34\text{ GHz}$, $\sigma_{max}=3.05\text{ dBsm}$

