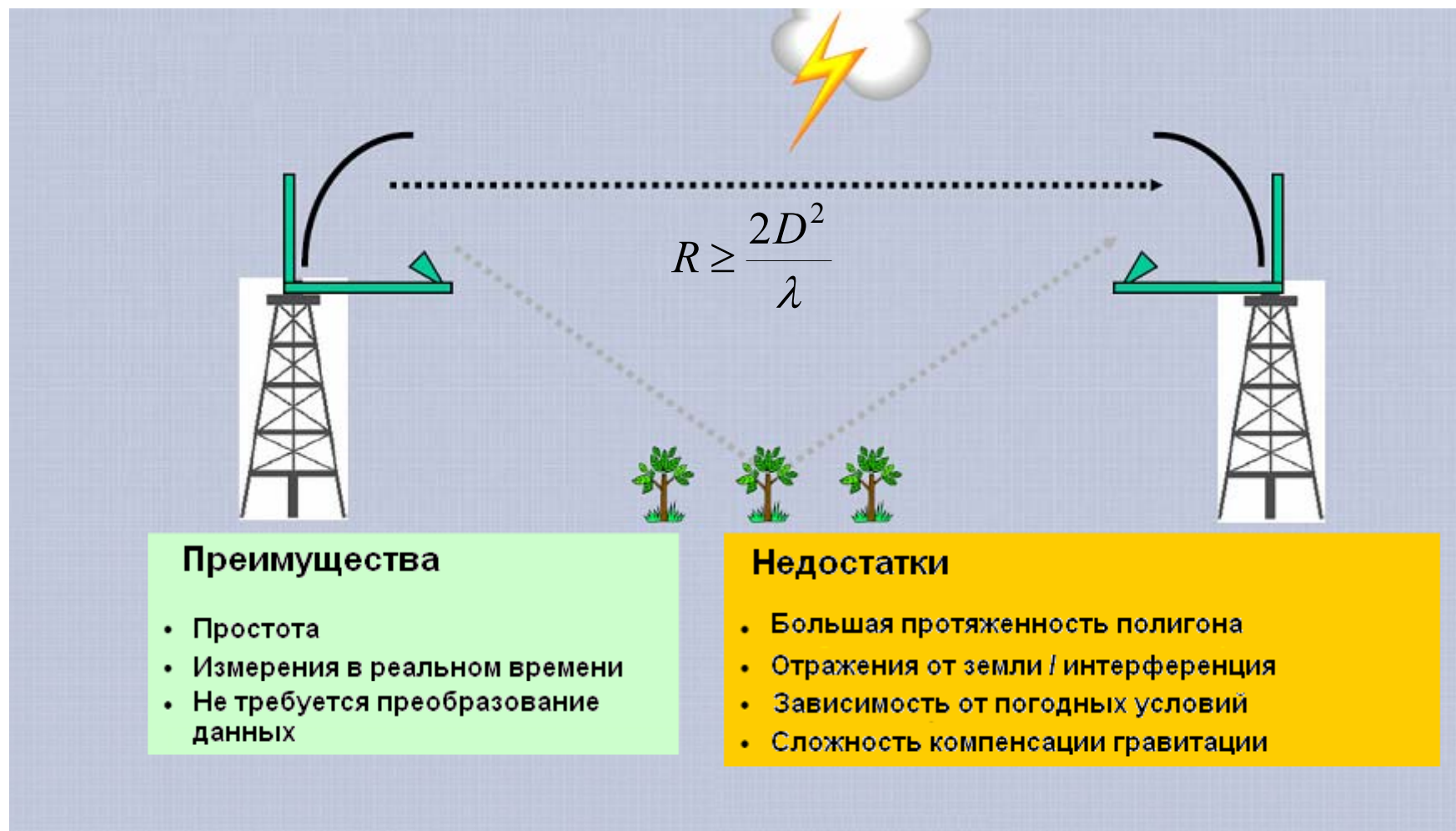
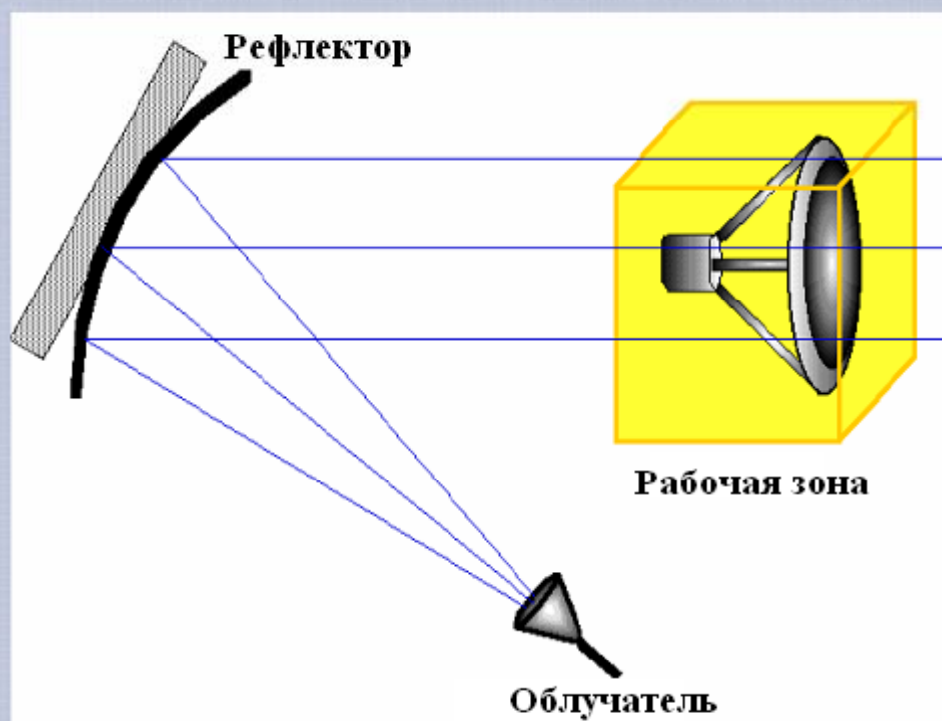


Методы измерения
характеристик антенн.
Особенности реализации
на современном этапе.

Измерения в дальней зоне



Измерения в коллиматоре



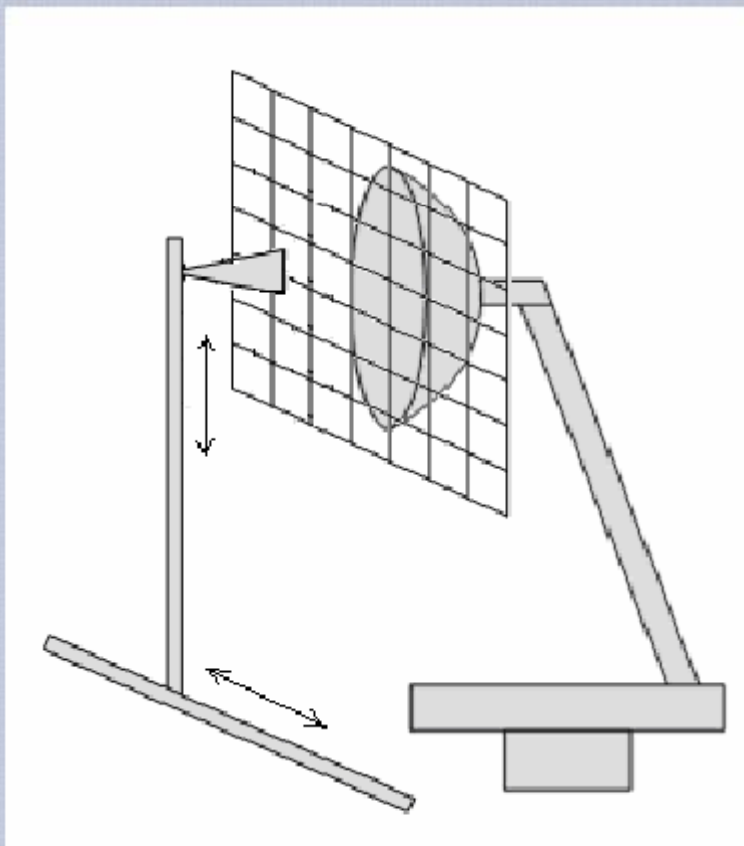
Преимущества

- Прямые измерения в квазидальней зоне
 - Измерения в реальном времени
 - Не требуется преобразование данных
- Измерения на малых расстояниях (< 25 м):
 - Низкие потери в пространстве
- Точные измерения (1 - 100 ГГц)
- 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 компенсации гравитации

Измерения в ближней зоне



Преимущества

- Точные измерения (до ~ 50 ГГц)
- Измерения на малых расстояниях:
 - Низкие потери в пространстве
 - Низкие переотражения
- Измерения в помещении:
 - Независимость от погоды
 - Круглосуточная работа
 - Измерения в "чистой зоне"
- Компенсация гравитации

Ограничения/ Недостатки

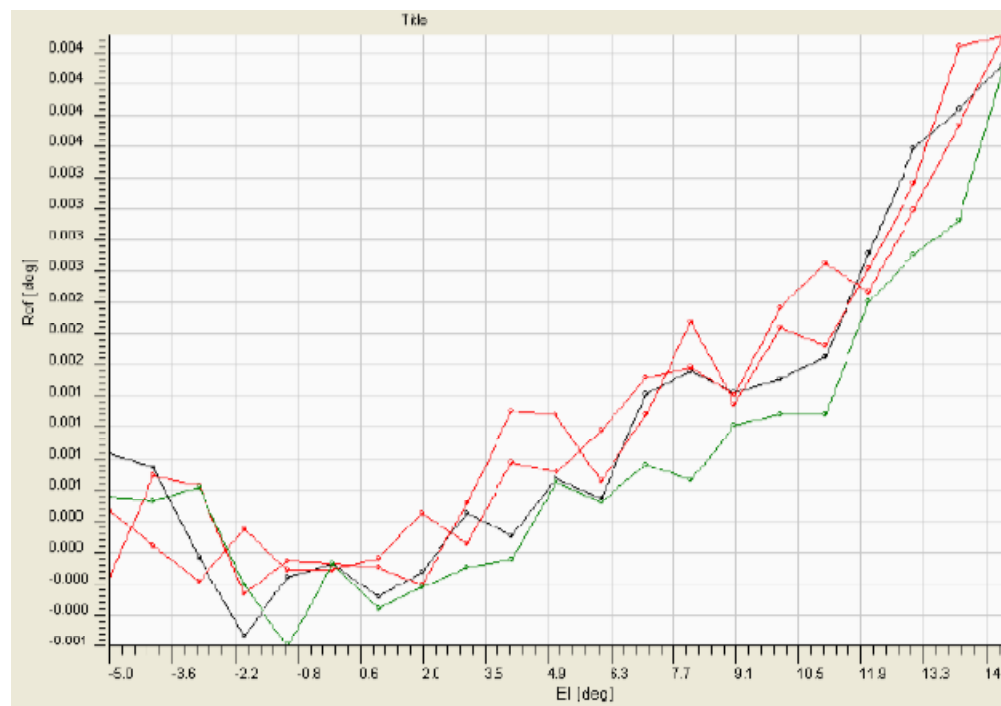
- Необходимость преобразования данных
- Измерения не в реальном времени
- Связь между зондом и антенной
- Ограничение частоты до ~50 ГГц (точность позиционирования ограничивает точность измерения фазы)

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 кроссполяризационной развязки;
- координаты ФЦ;
- ширина луча по заданному уровню;
- направление максимума ДН по заданному уровню;
- пересчет в круговой базис;
- пересчет и отображение в разных системах координат;
- восстановление АФР в апертуре антенны;
- расчет ближнего поля в заданной области пространства и пр.



ОПУ дальней зоны 2.5 км

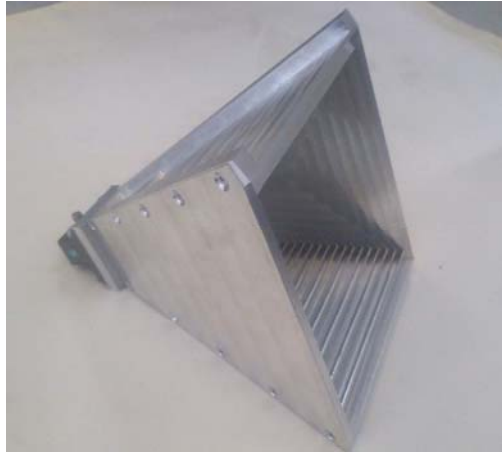


Погрешность позиционирования при нагрузке 1200 кг*м:

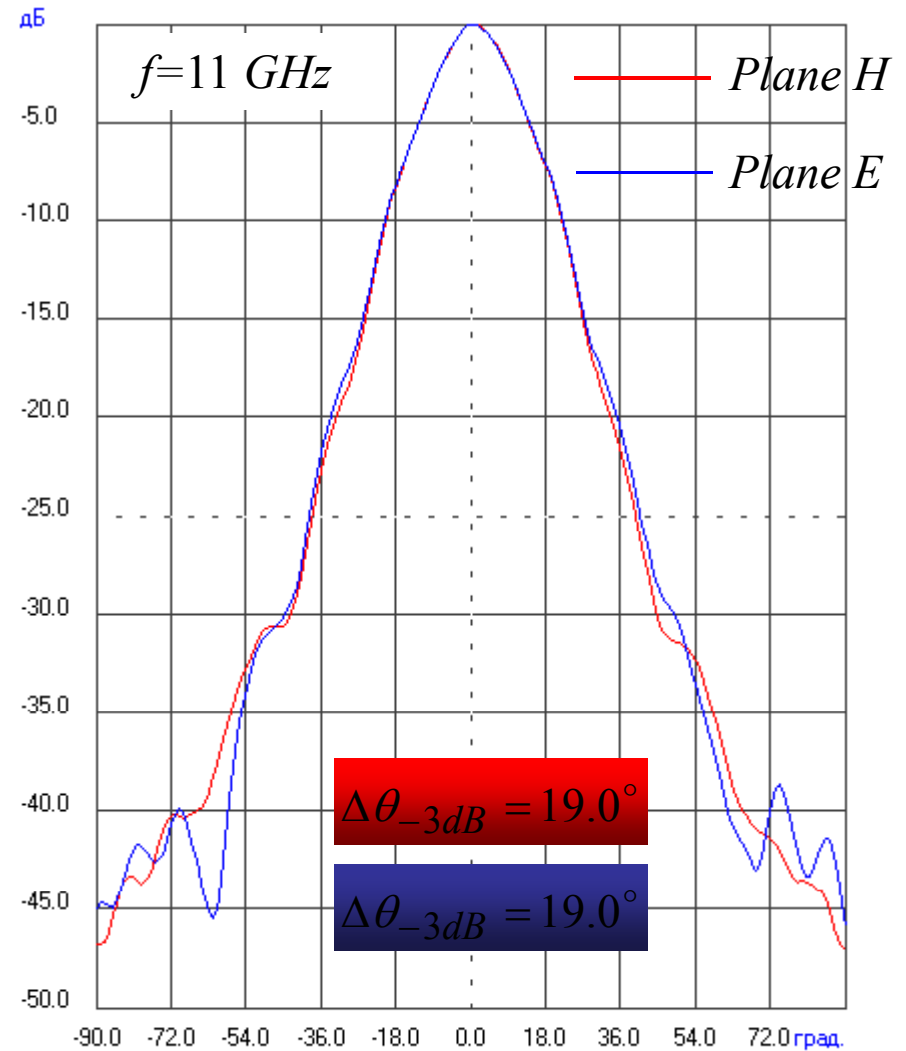
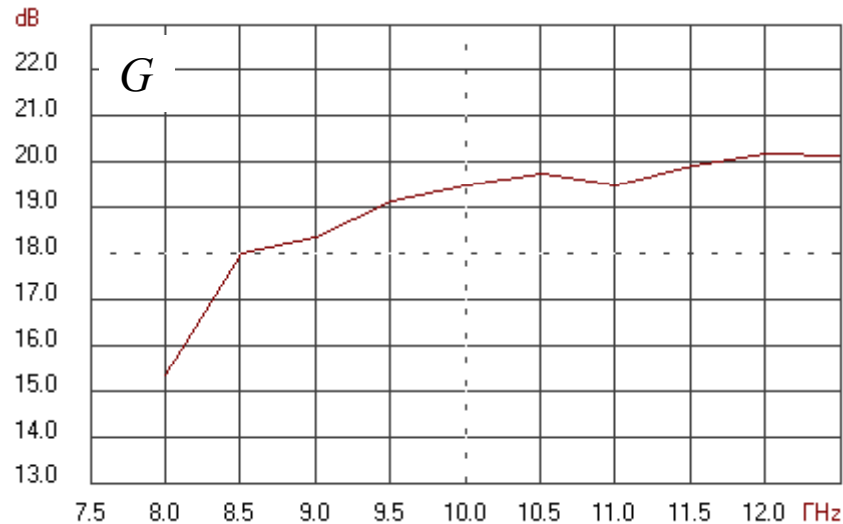
Азимут ($-10^{\circ} \dots +10^{\circ}$): $\pm 0.0015^{\circ}$

Элевация ($-5^{\circ} \dots +15^{\circ}$): $\pm 0.0025^{\circ}$

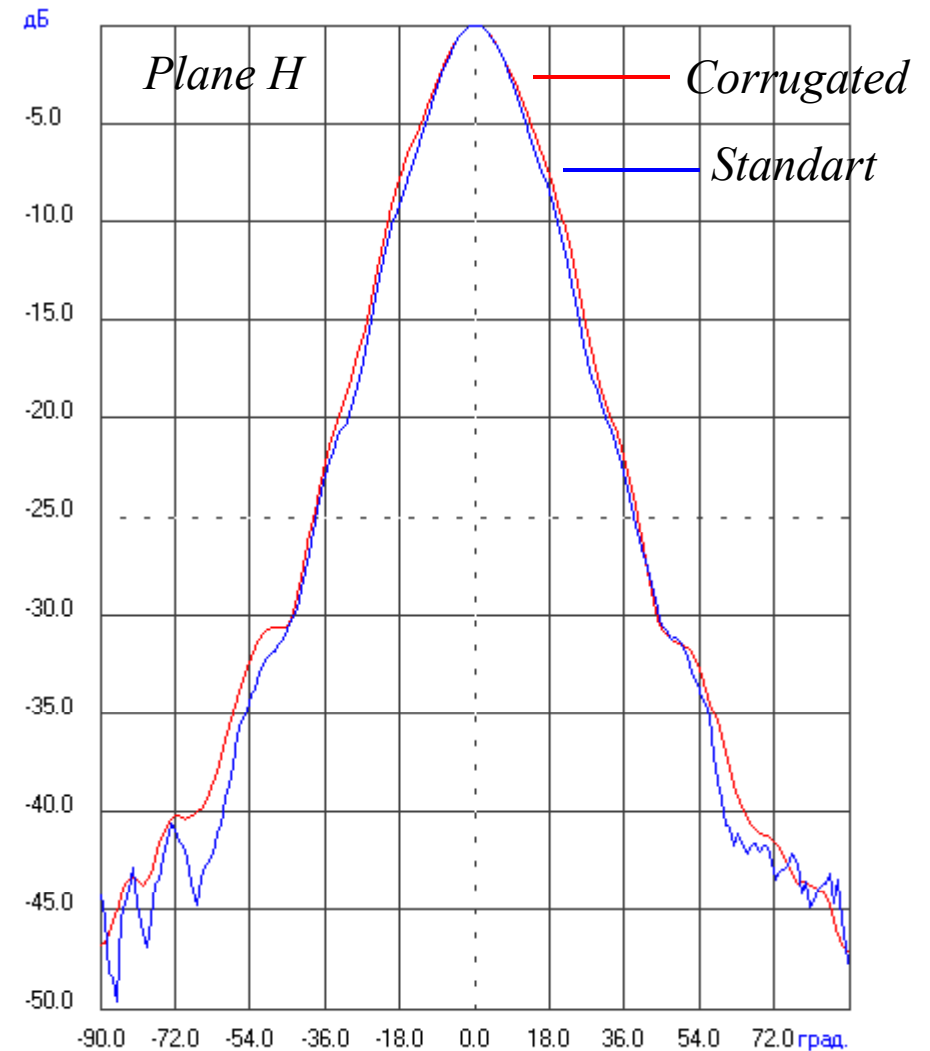
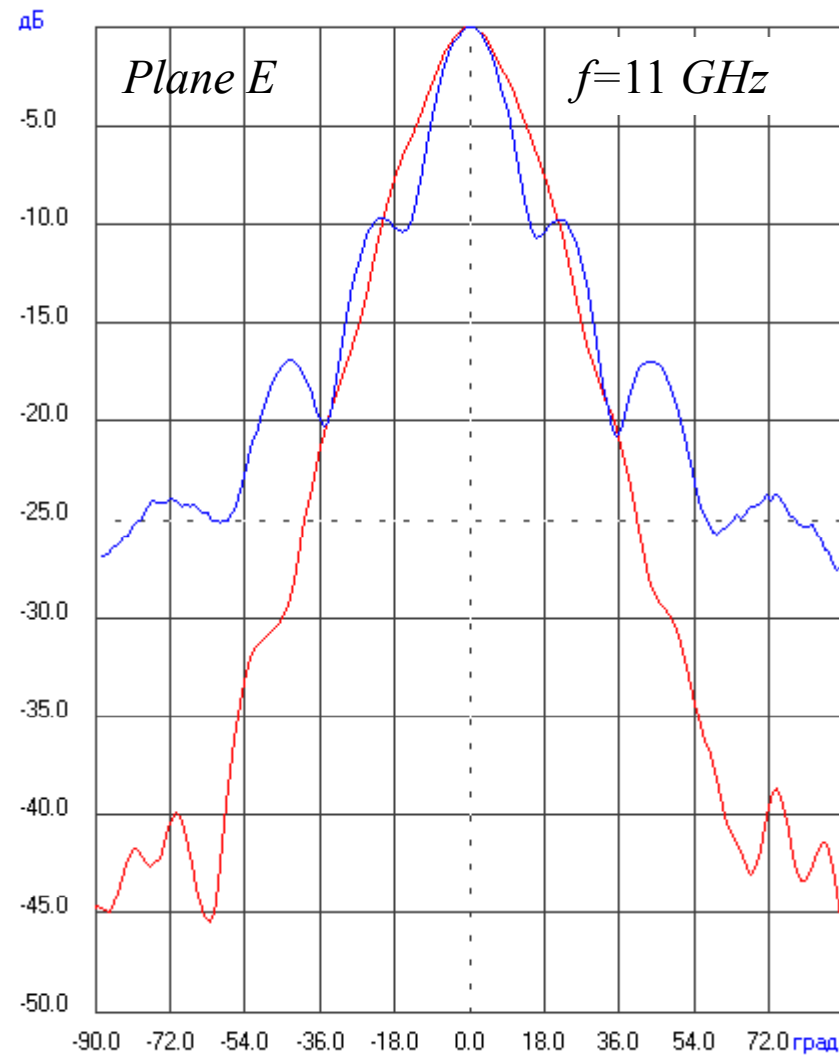
Гофрированный рупор



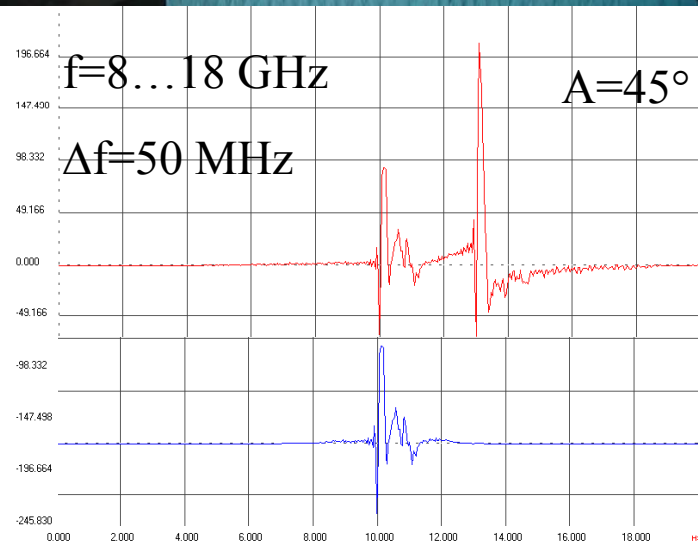
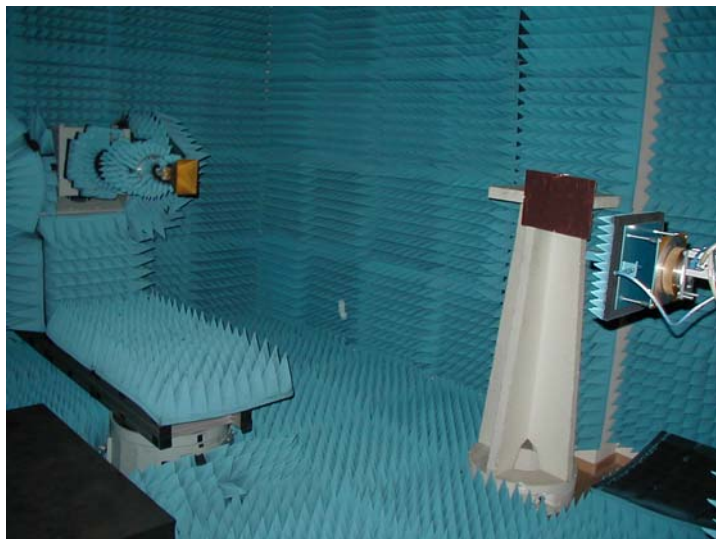
$f=8.5\ldots 12.5\text{ GHz}$



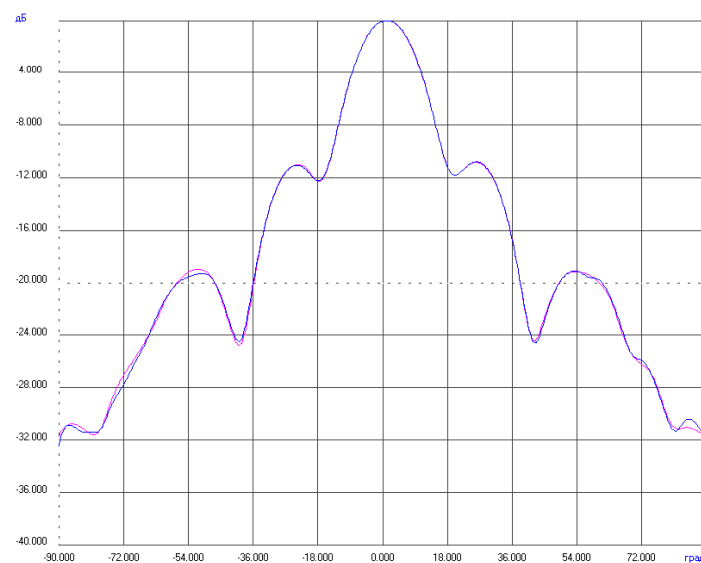
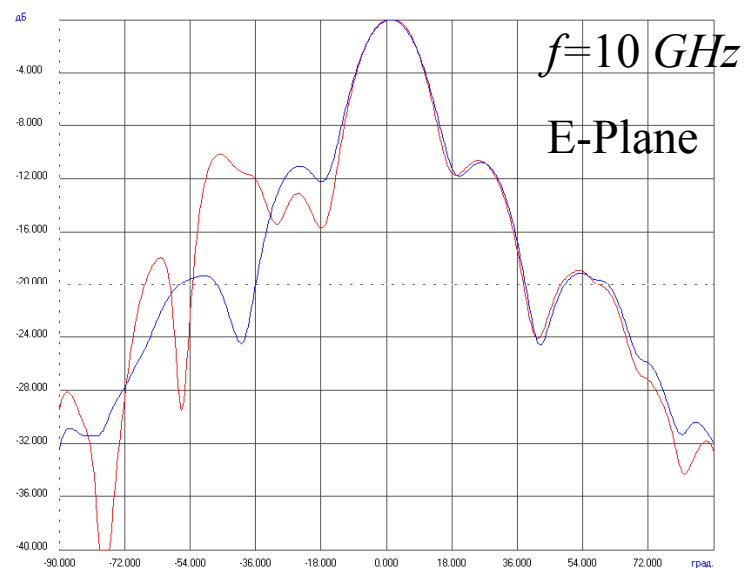
ДН гофрированного рупора



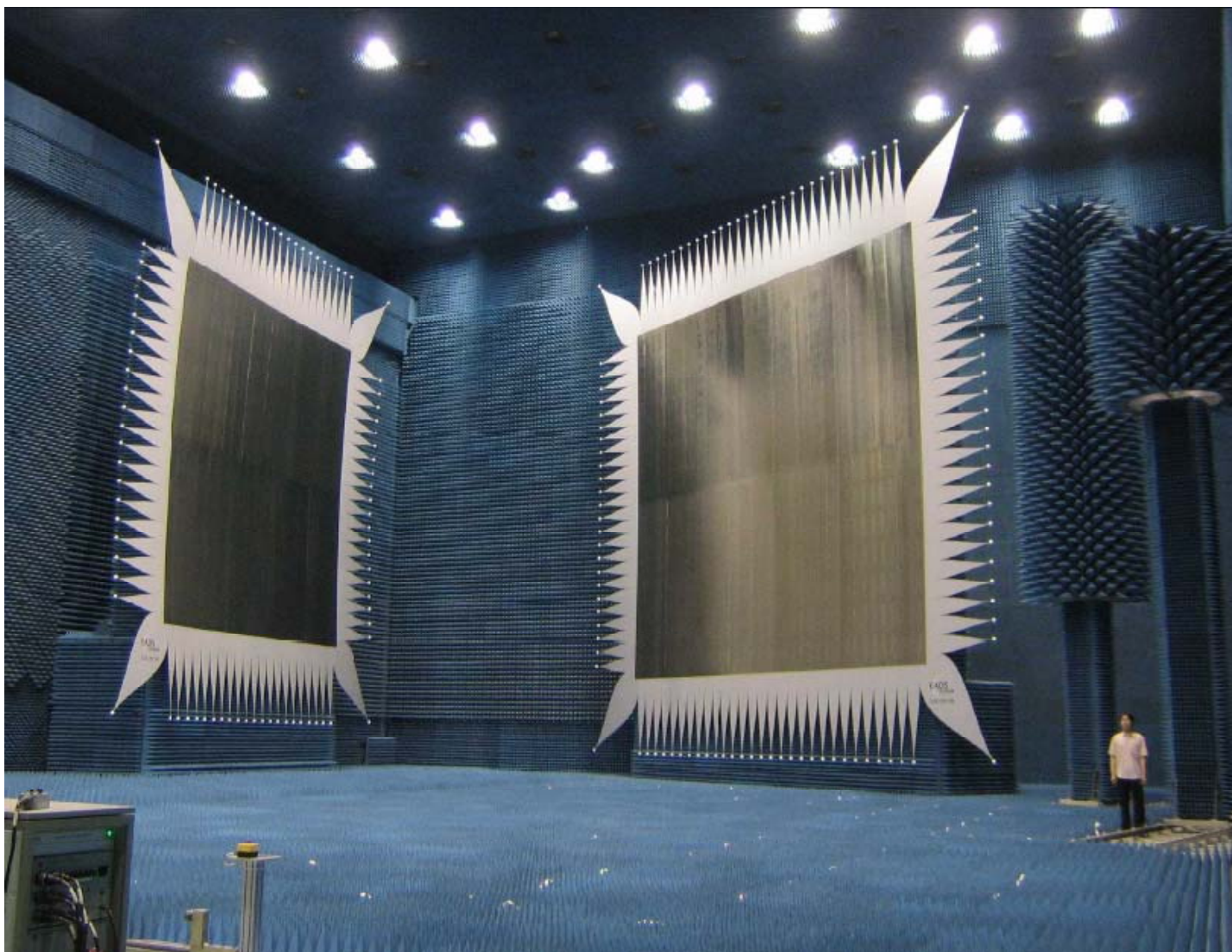
Измерение с синтезированием многочастотного сигнала



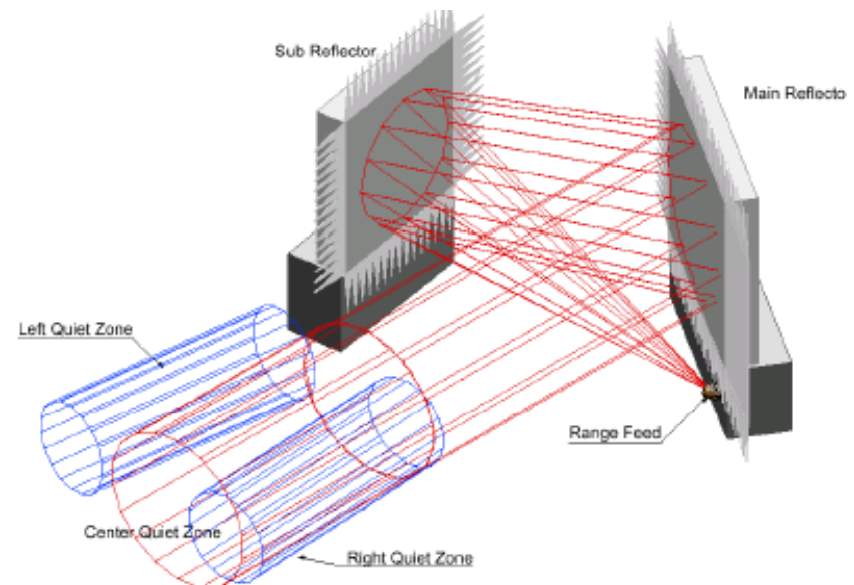
trim



Двухзеркальный коллиматор CCR 120/100



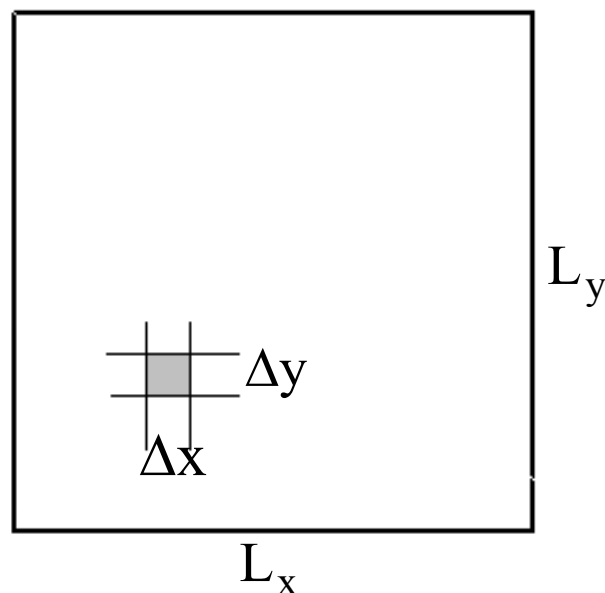
Система облучателей



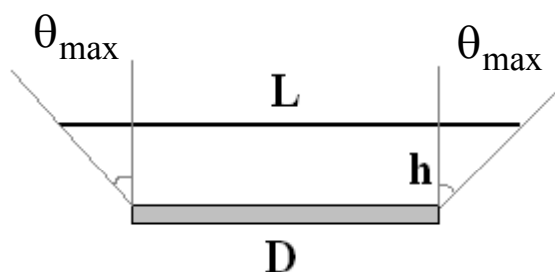
Основные характеристики

- 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...50.0 ГГц
- неравномерность амплитуды: $\leq \pm 0.3$ дБ (ripple)
- ≤ 0.5 дБ (taper)
- неравномерность фазы: $\leq \pm 3^\circ$ (ripple)
- $\leq 3.5^\circ$ (taper)
- уровень кроссполяризации: < -42 дБ

Измерения в ближней зоне (сканирование на плоскости)



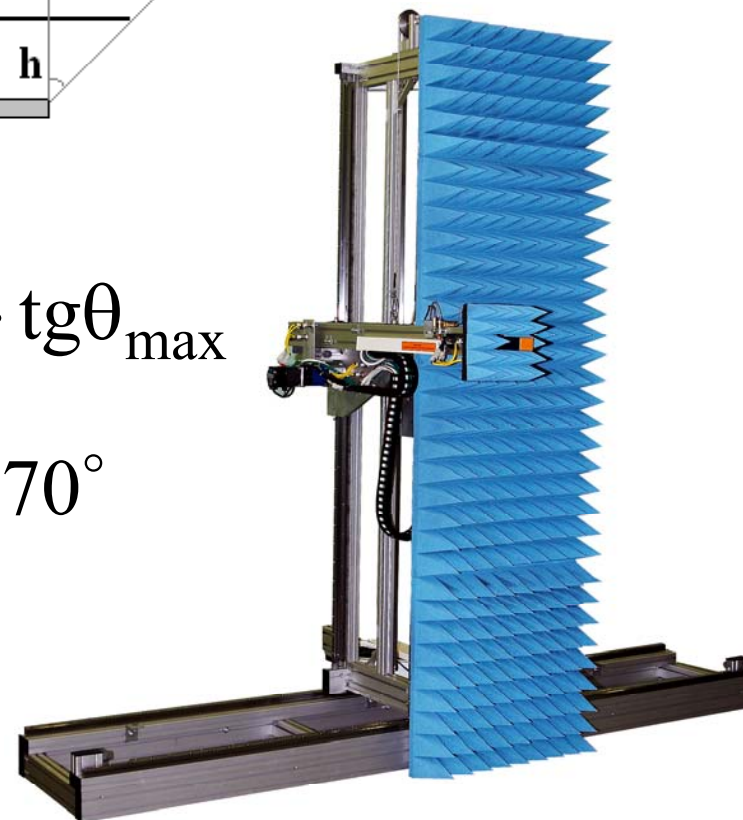
$$\Delta x = \Delta y \leq \frac{\lambda}{2}$$



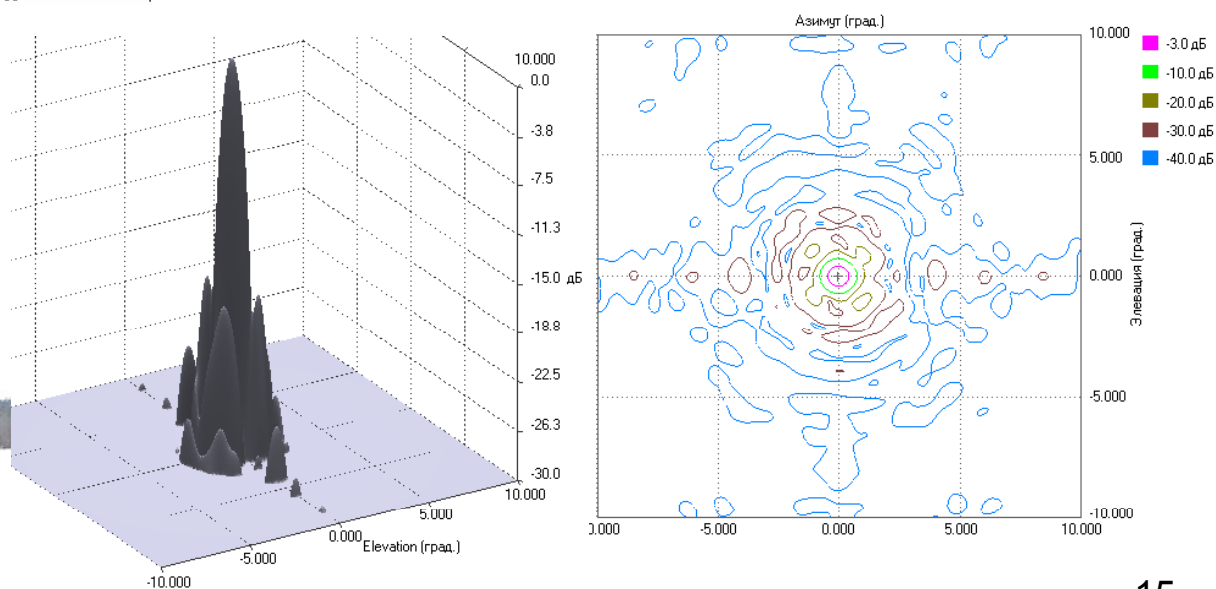
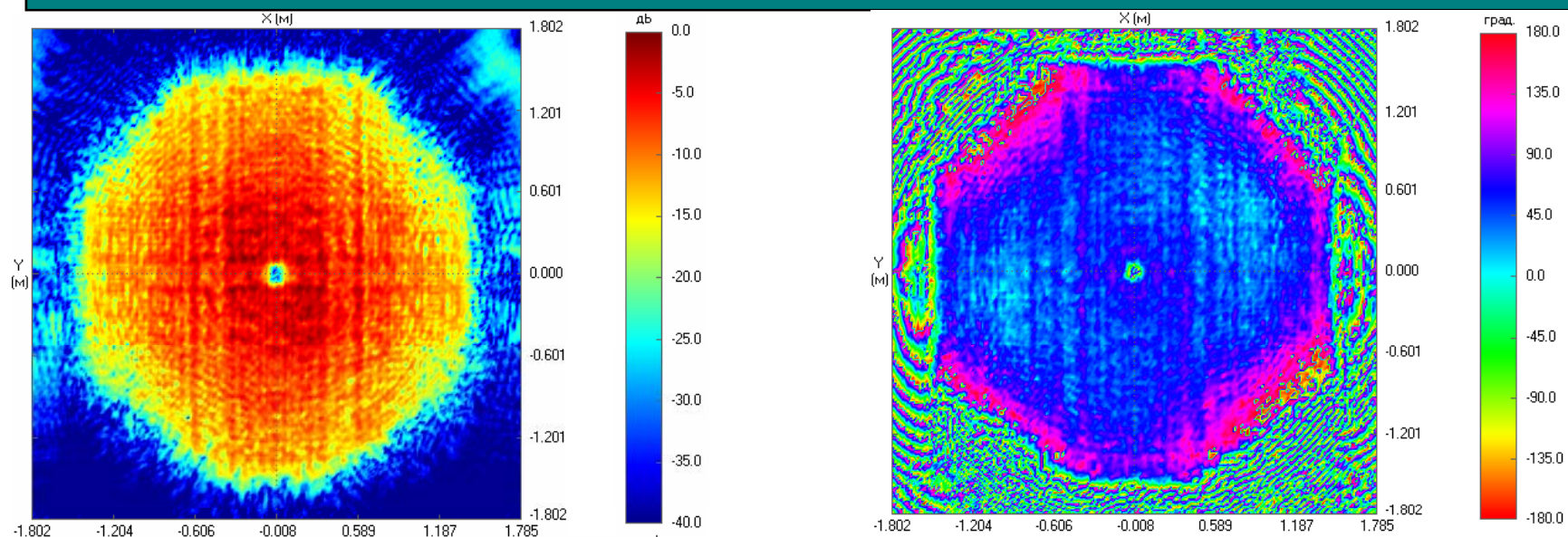
$$L > D + 2h \cdot \operatorname{tg} \theta_{\max}$$

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

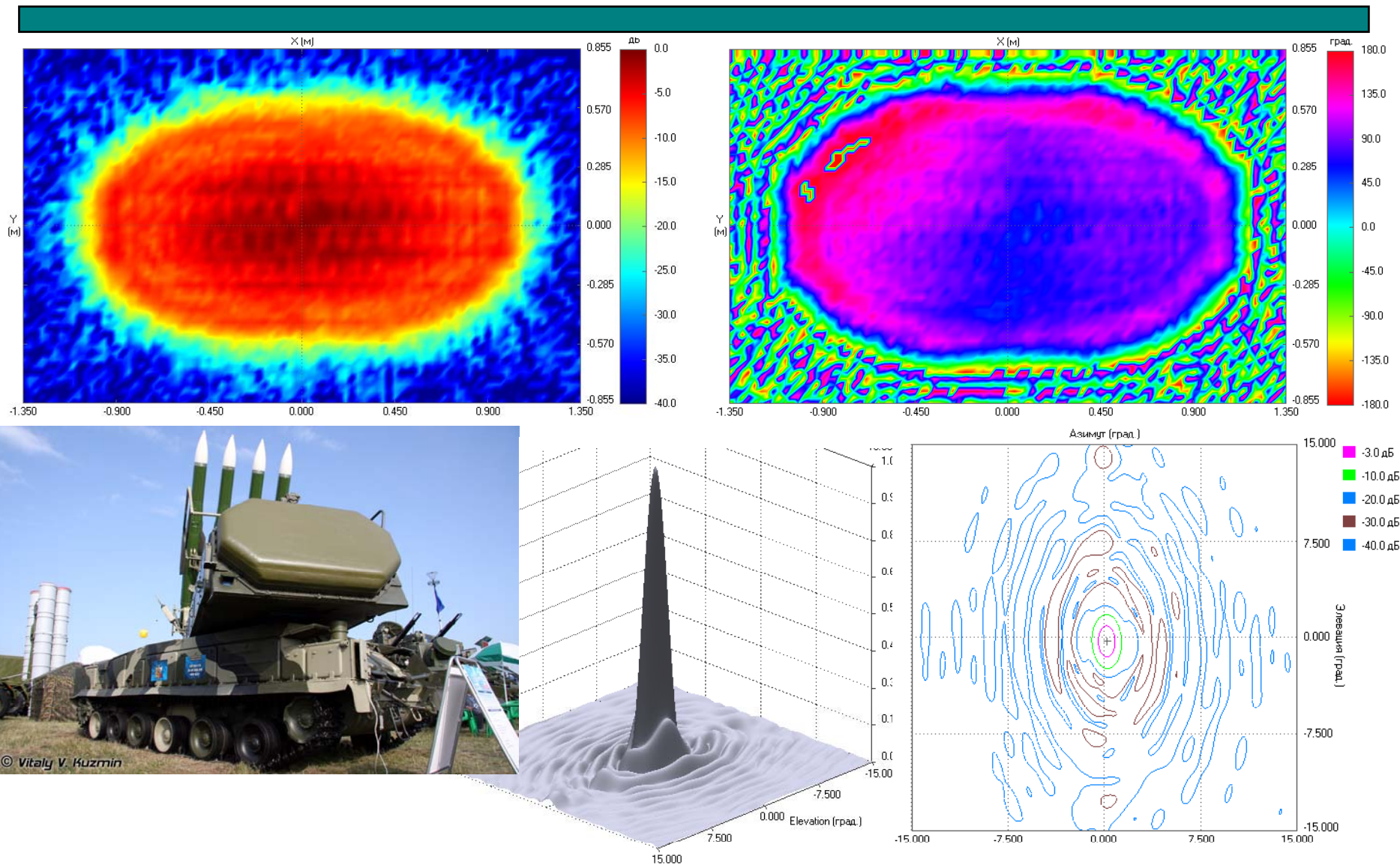
$$h = (3 \dots 5)\lambda$$

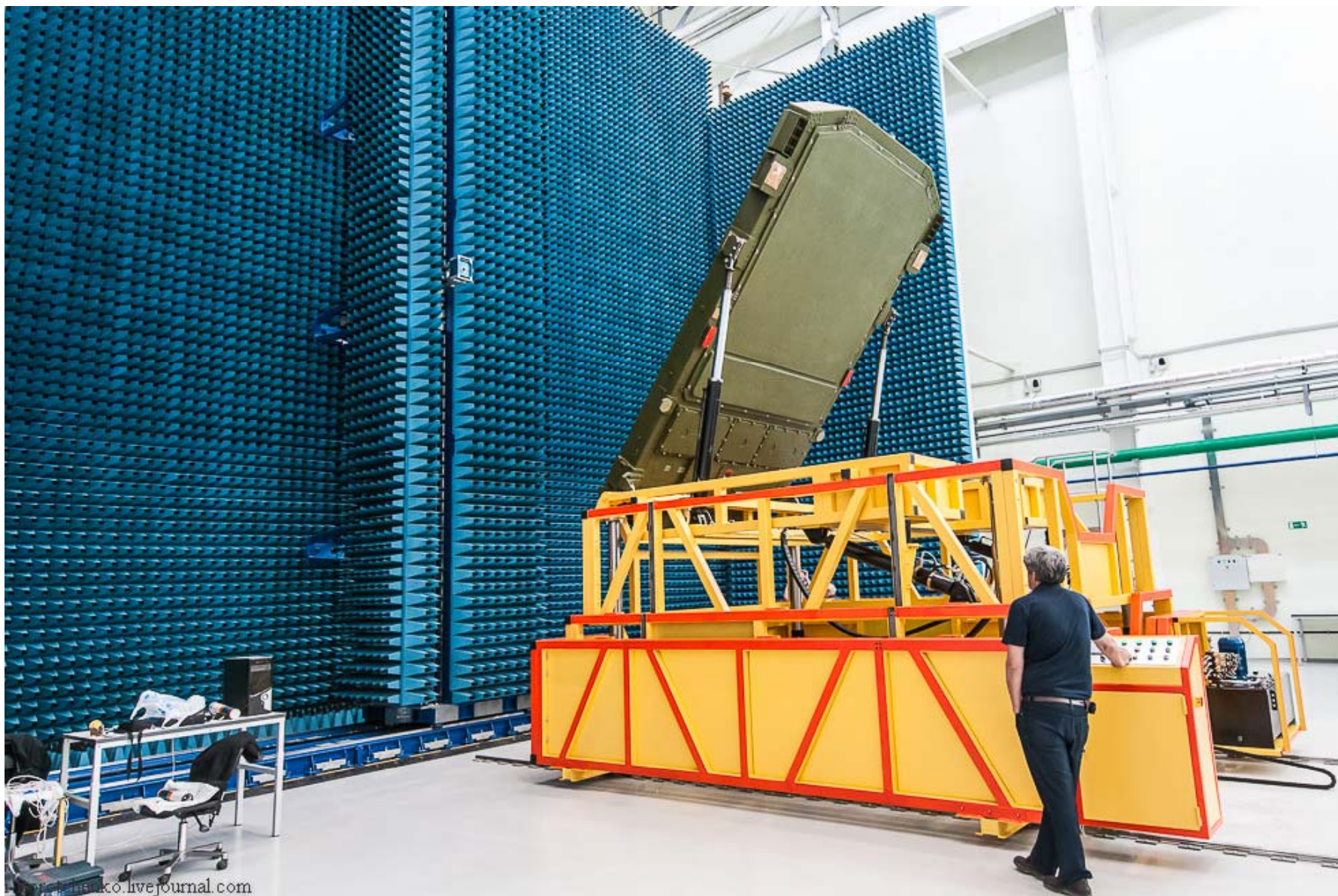


Примеры измерений



Примеры измерений



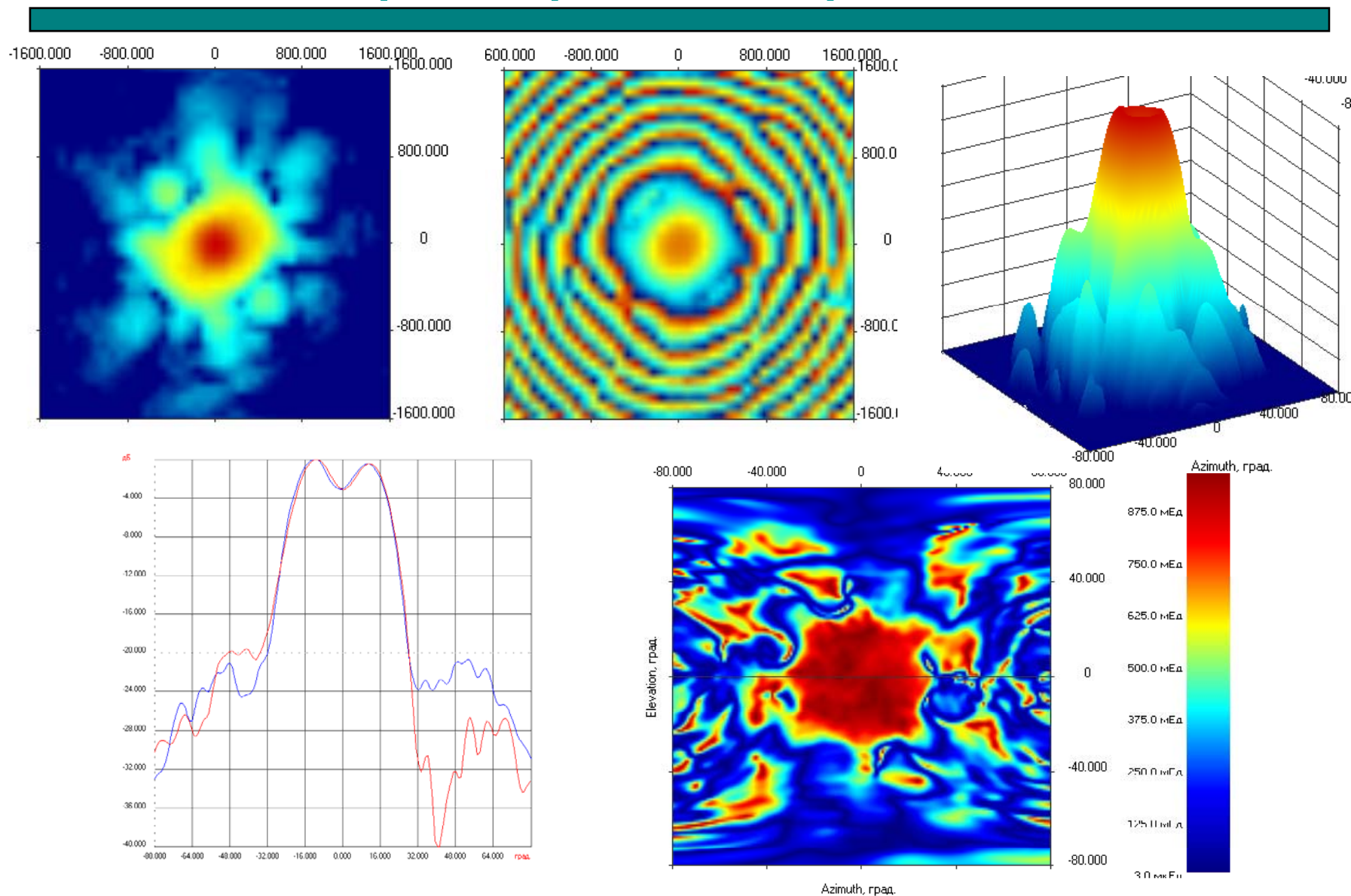




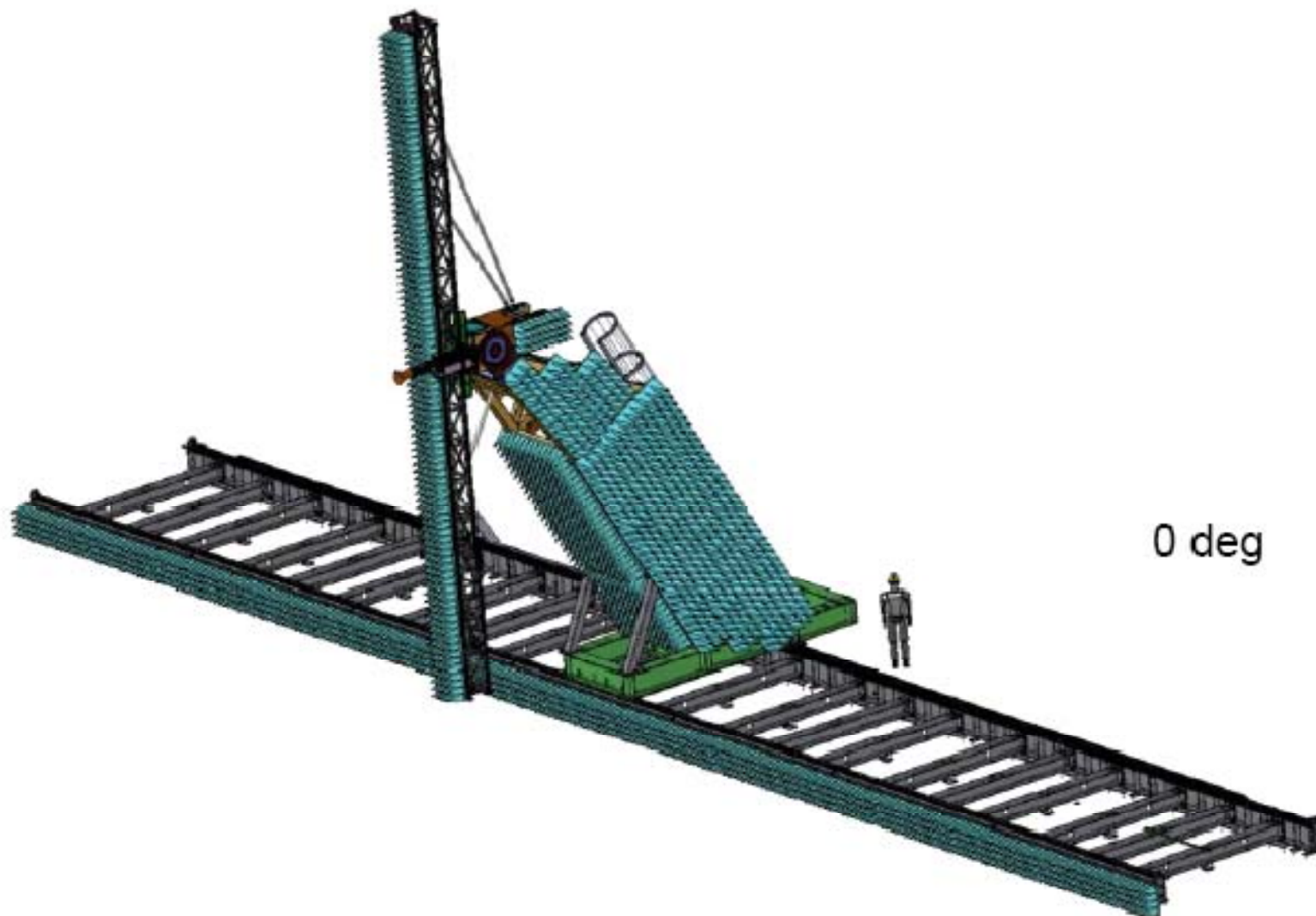
i-korotchenko.livejournal.com



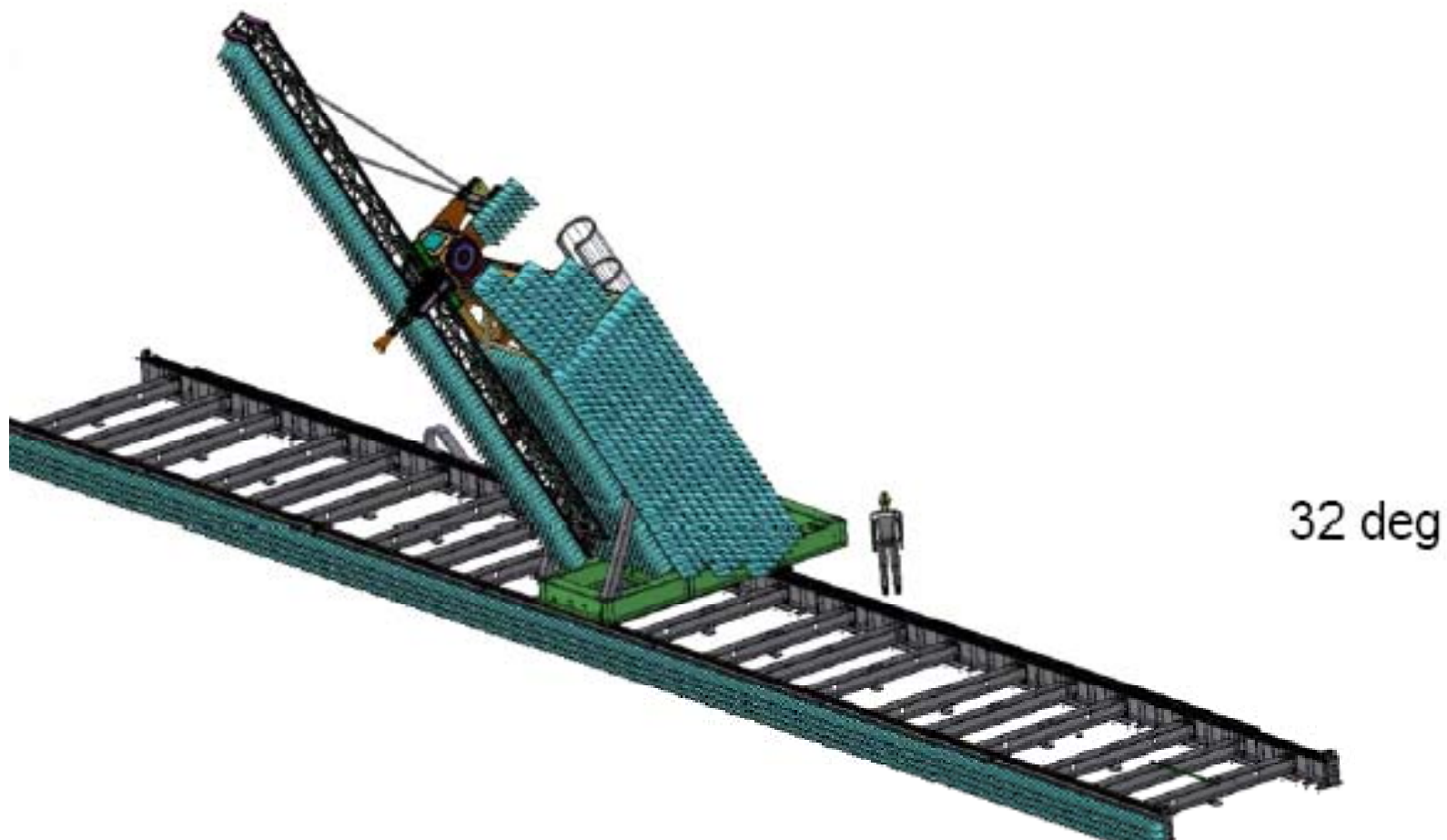
Примеры измерений



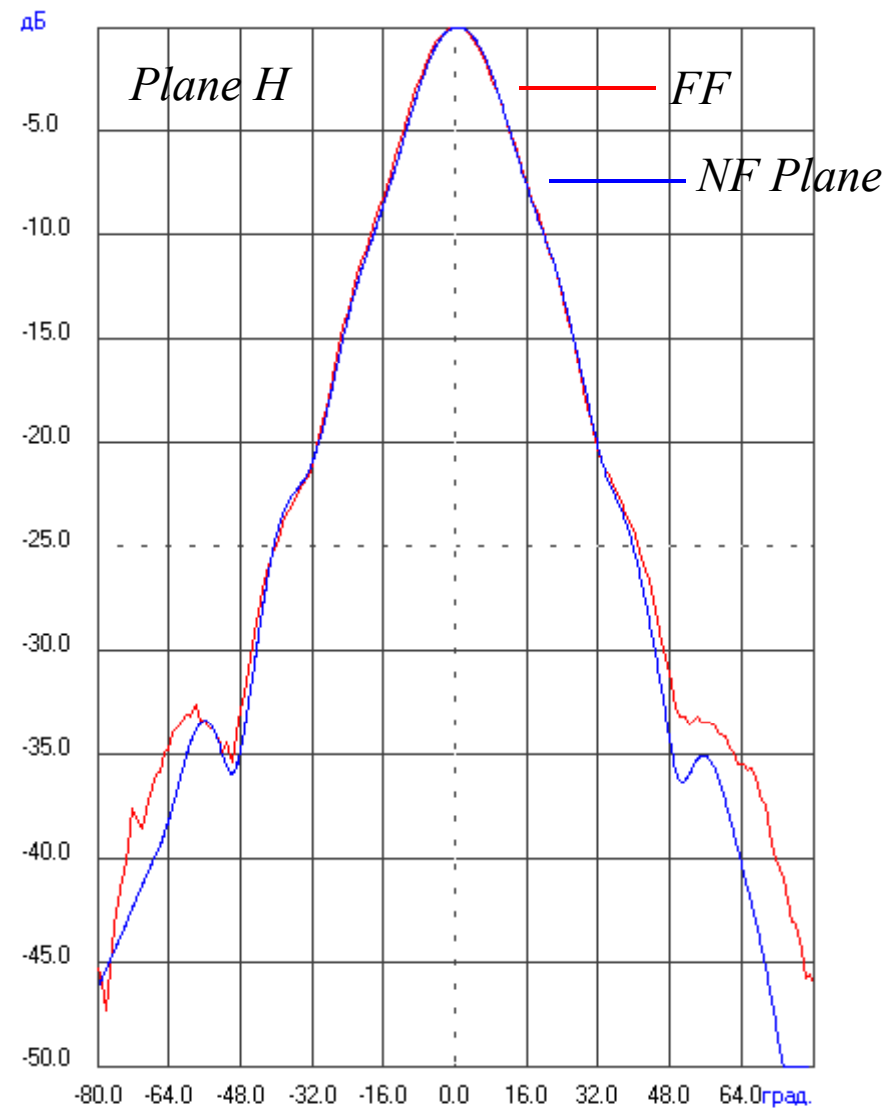
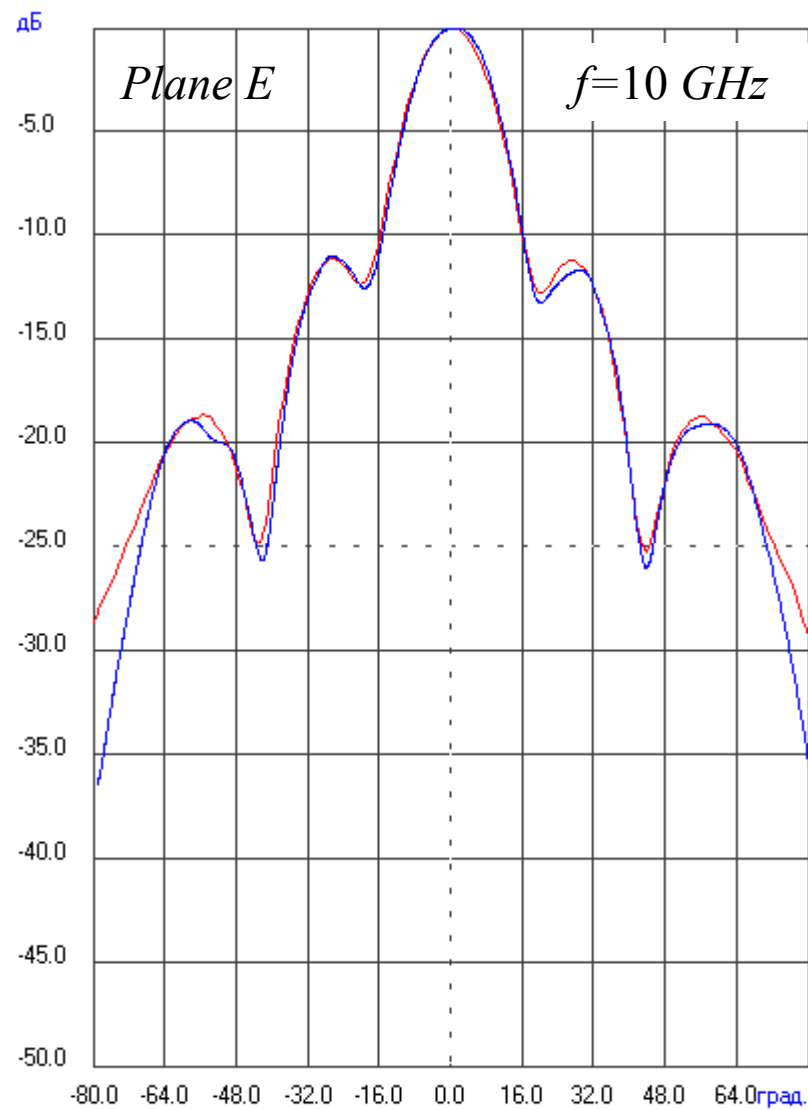
Наклонный сканер



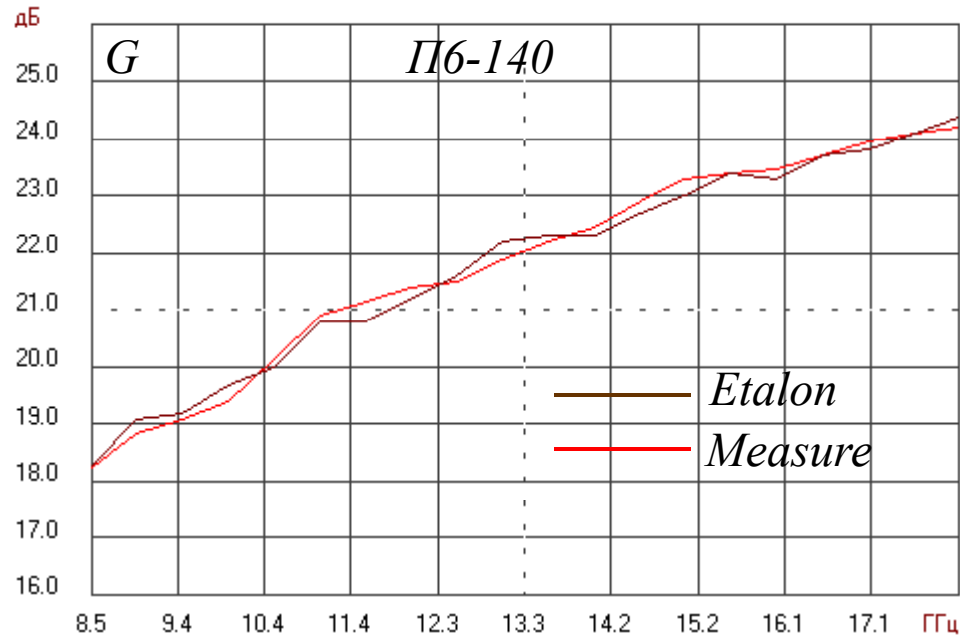
Наклонный сканер



FF – NF Plane



Gain NF – Probe Etalon

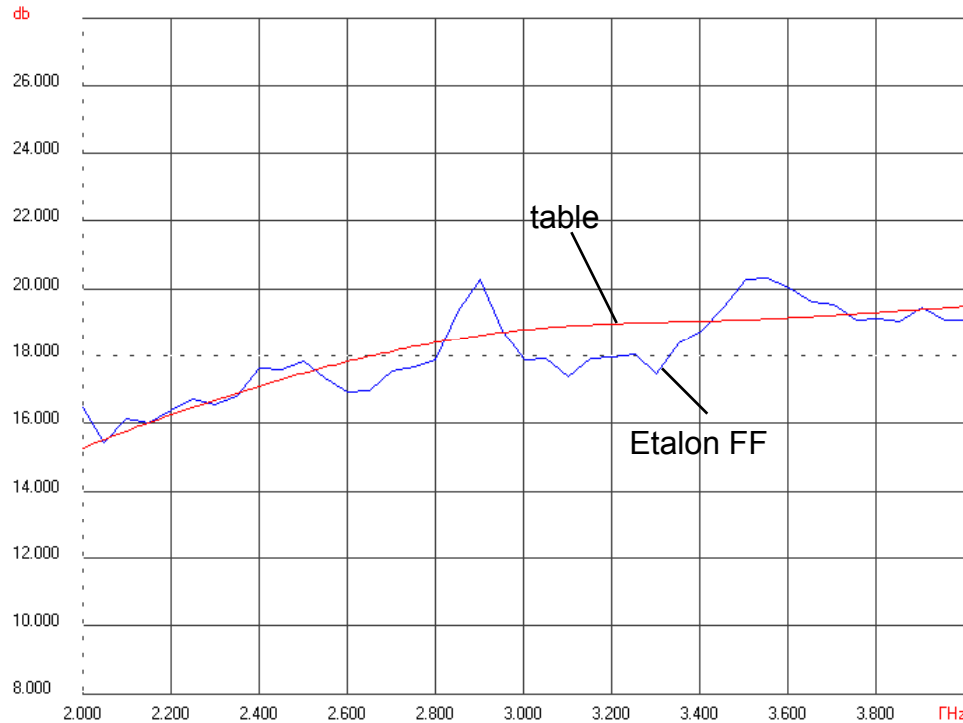


$$G_a(\vec{K}_0) = \left(\frac{4\pi}{\lambda^2} \right)^2 M \frac{\left| \delta_x \delta_y \sum B_0(\vec{P}_i) e^{-j\vec{K}_0 \cdot \vec{P}_i} \right|^2}{|a_n|^2 G_p(\vec{K}_0)}$$

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

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

Gain NF – Etalon FF



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

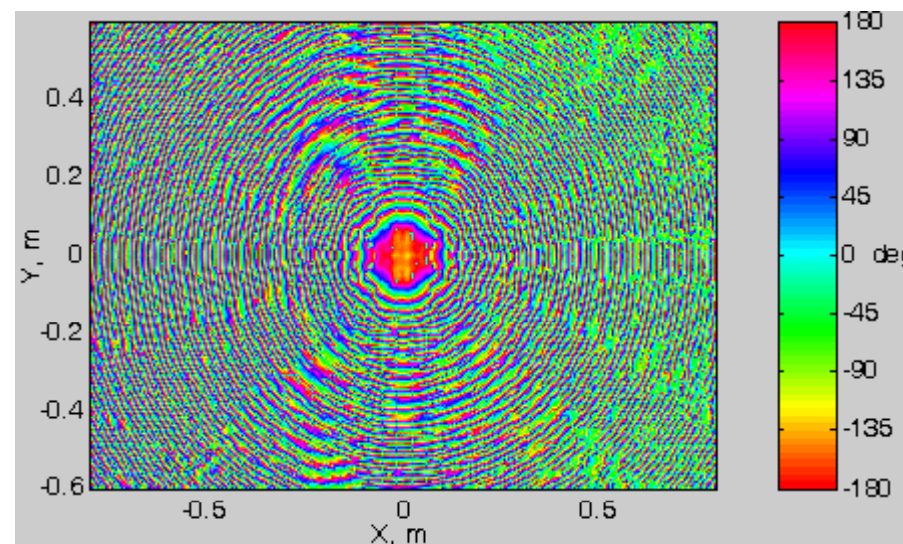
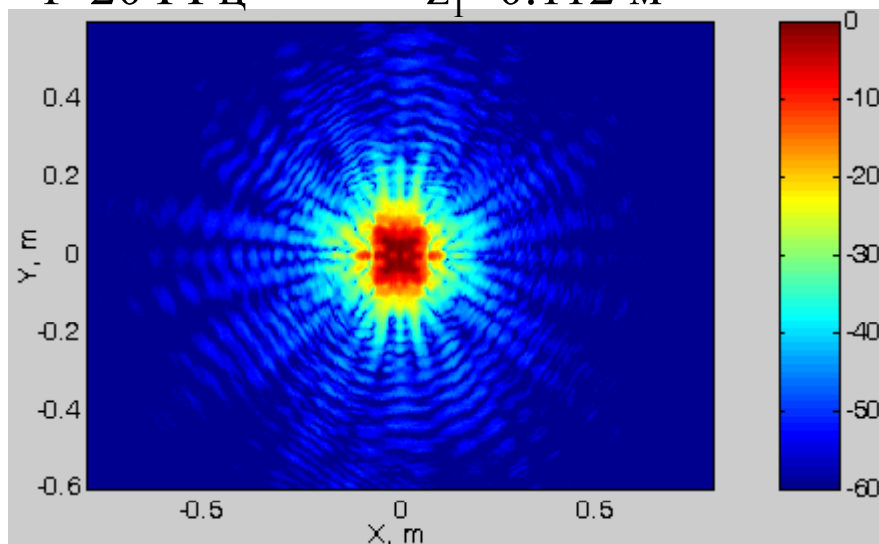
$$G_p(\vec{K}_0) = \left(\frac{4\pi}{\lambda^2} \right)^2 M \frac{P_R^{et}}{P_T^{pr}} \frac{(\lambda d)^2}{G_{et}(\vec{K}_0)}$$

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

Измерение ДН без измерения фазы

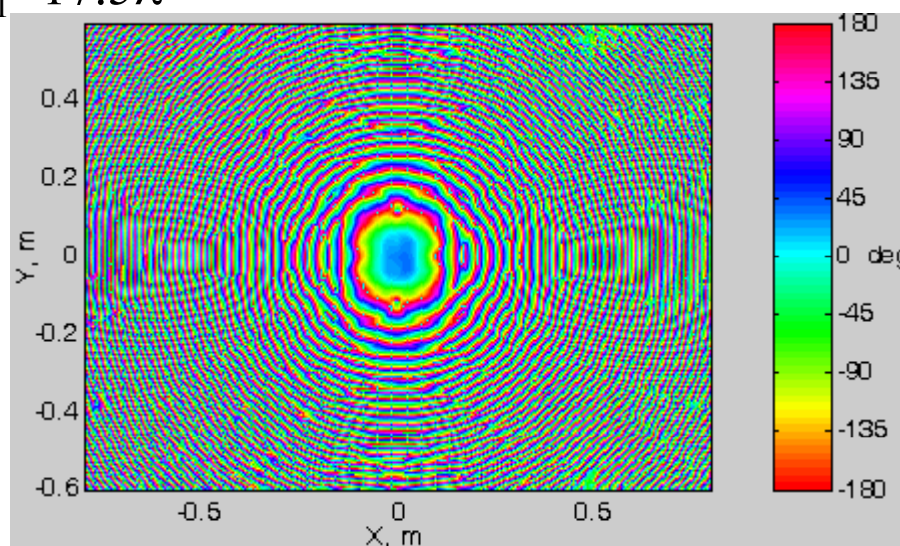
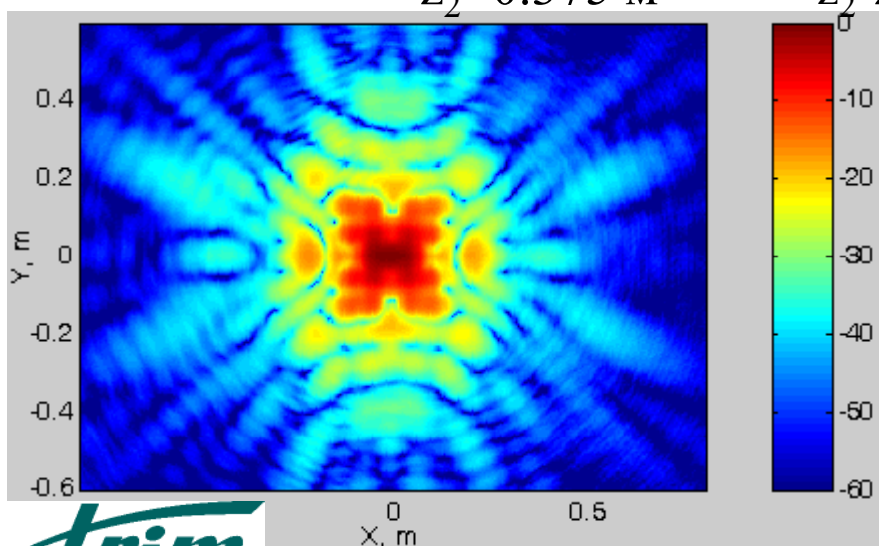
$f=20$ ГГц

$z_1=0.112$ м

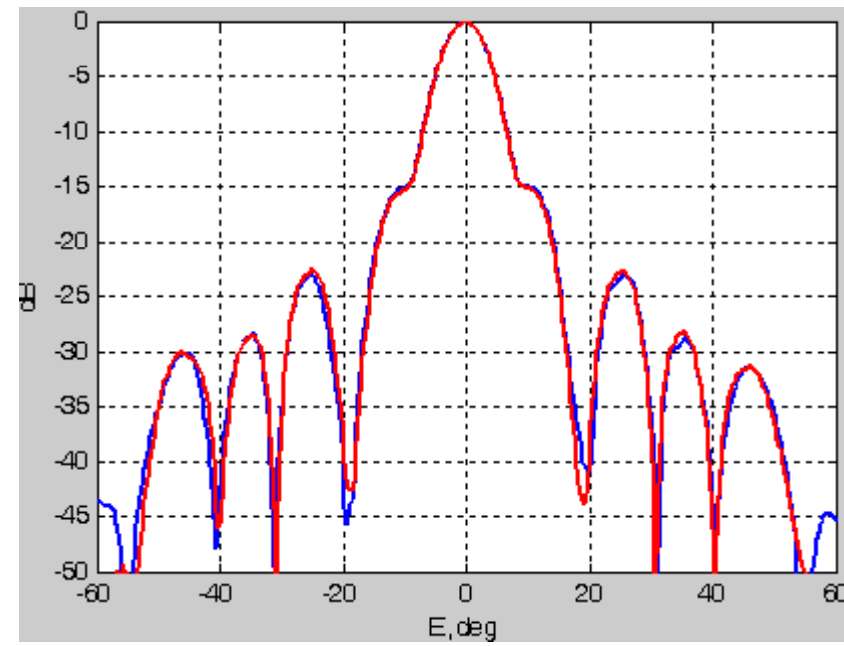
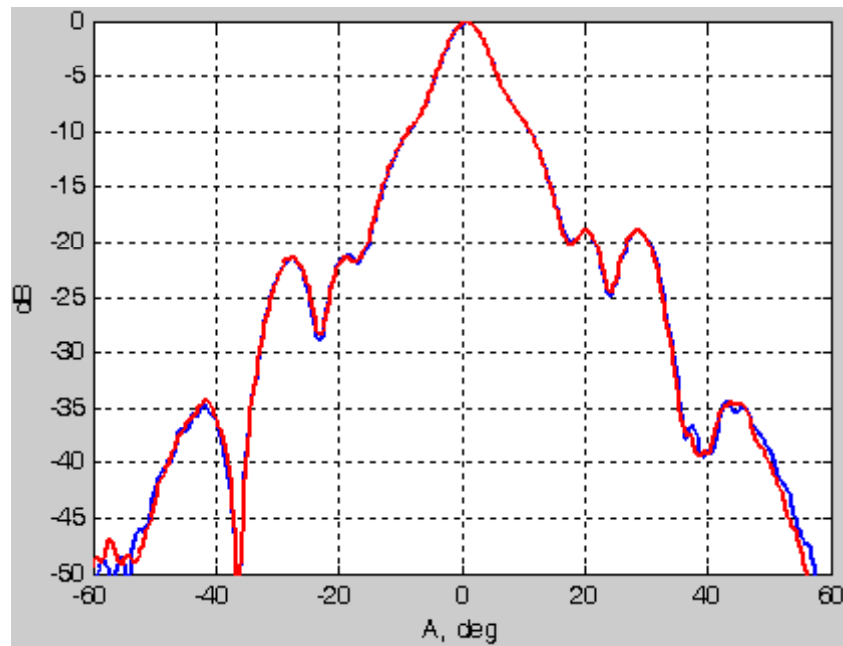
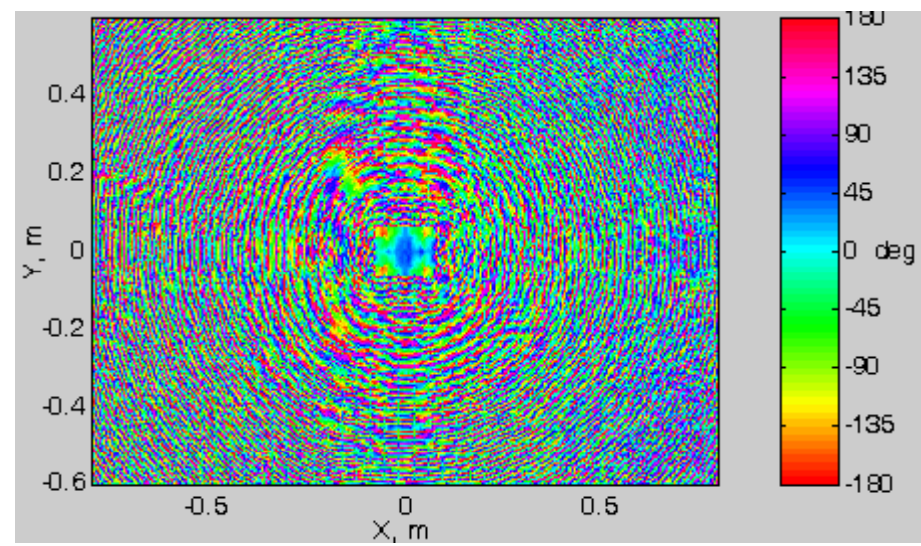
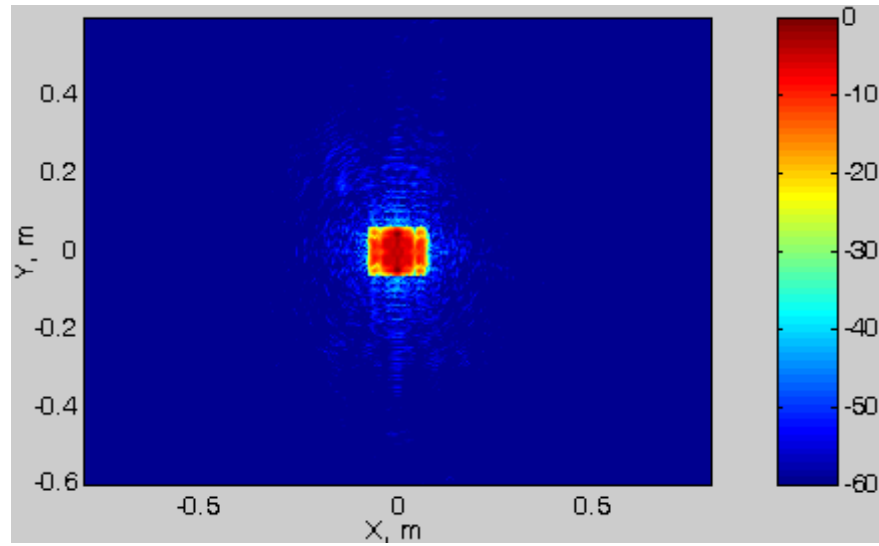


$z_2=0.375$ м

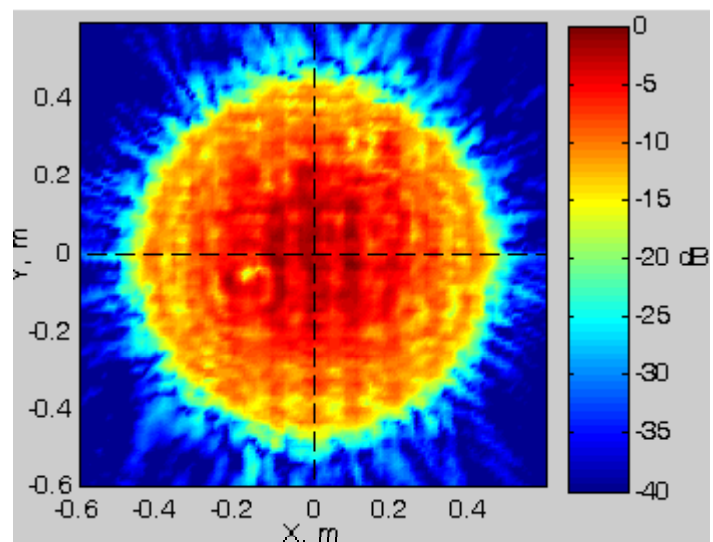
$z_2-z_1=17.5\lambda$



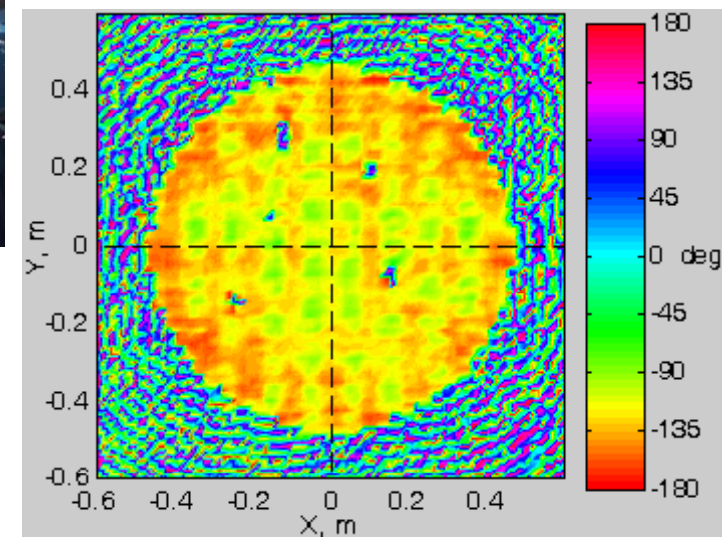
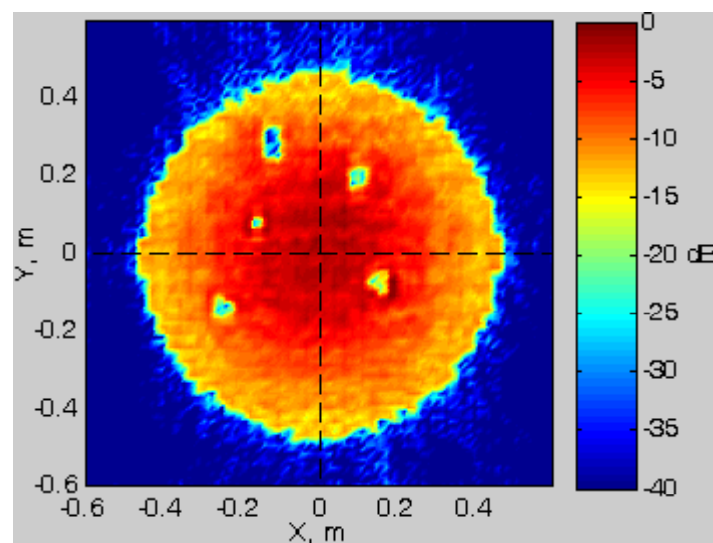
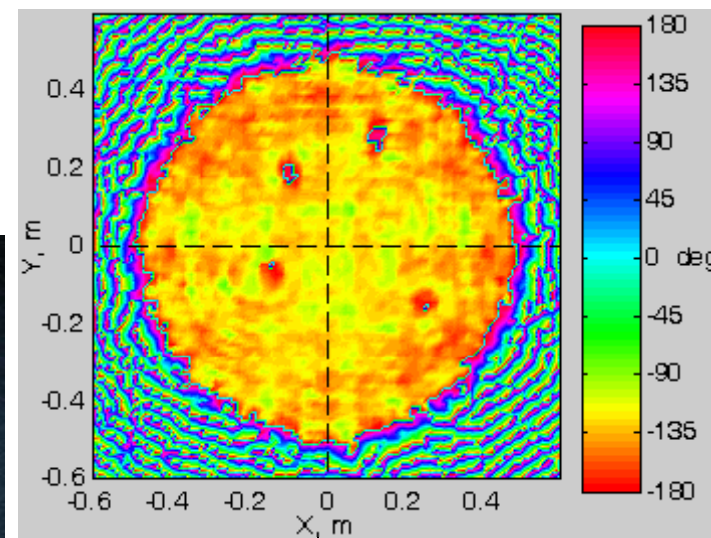
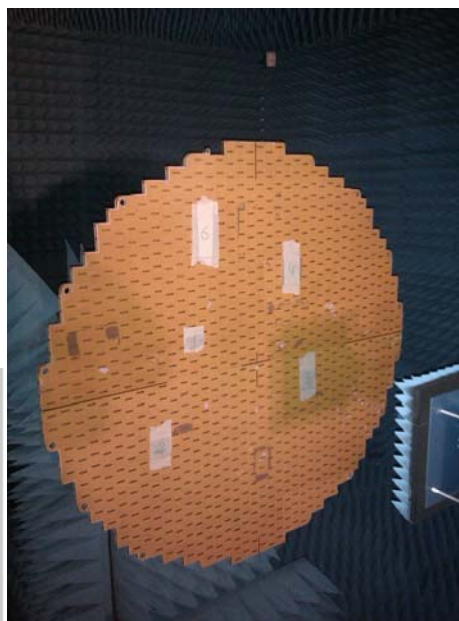
$z=0$ $n=100$



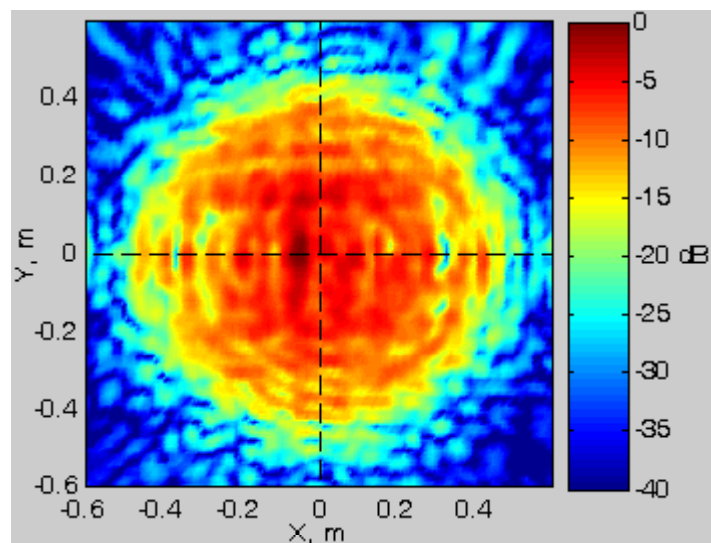
Восстановление АФР в раскрыве



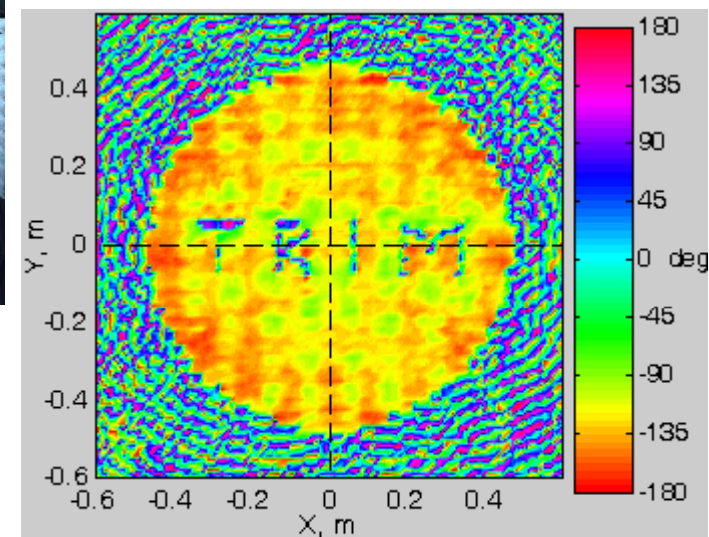
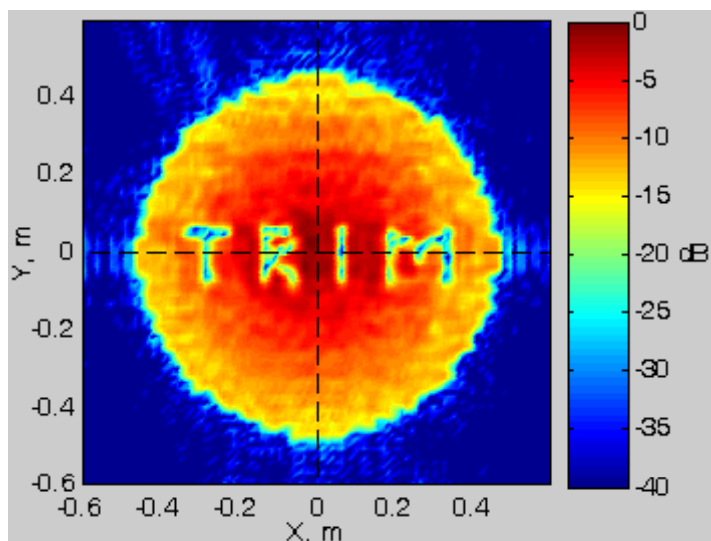
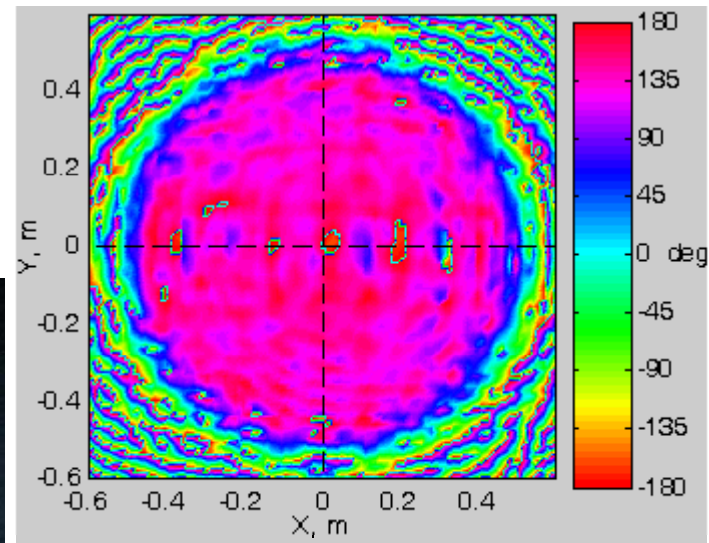
$d=10$ см



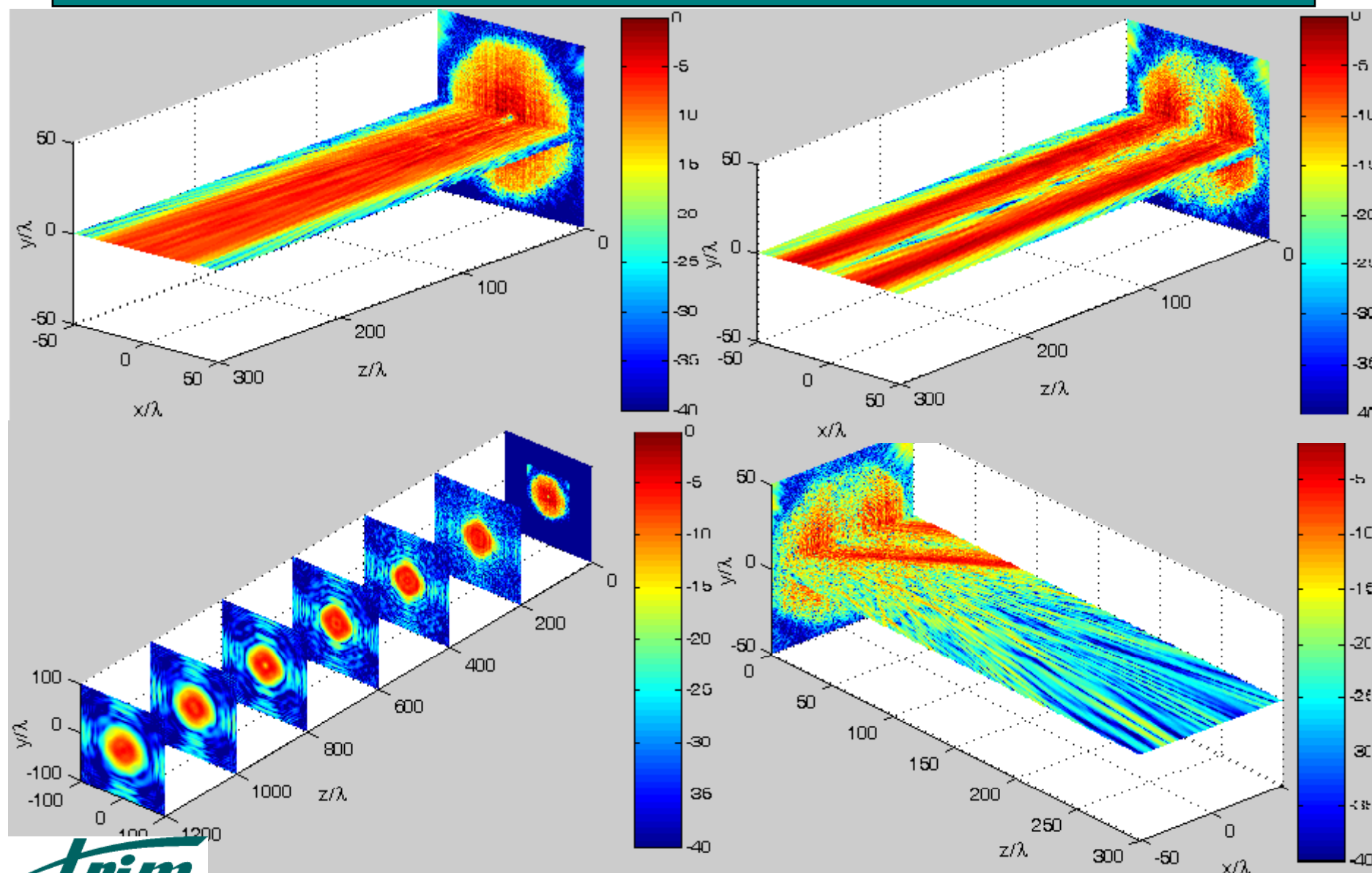
Восстановление АФР в раскрыве



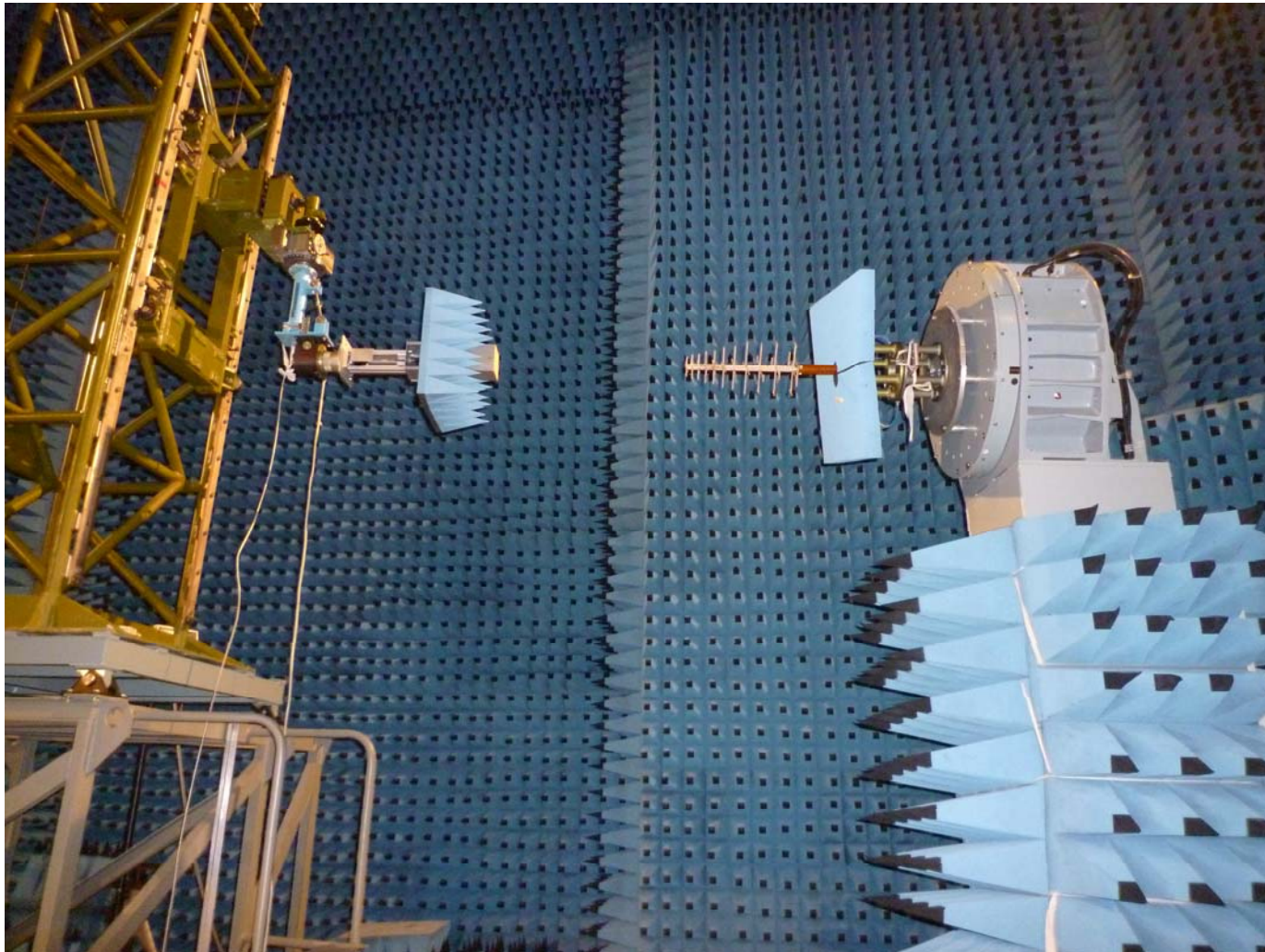
$d=40$ cm



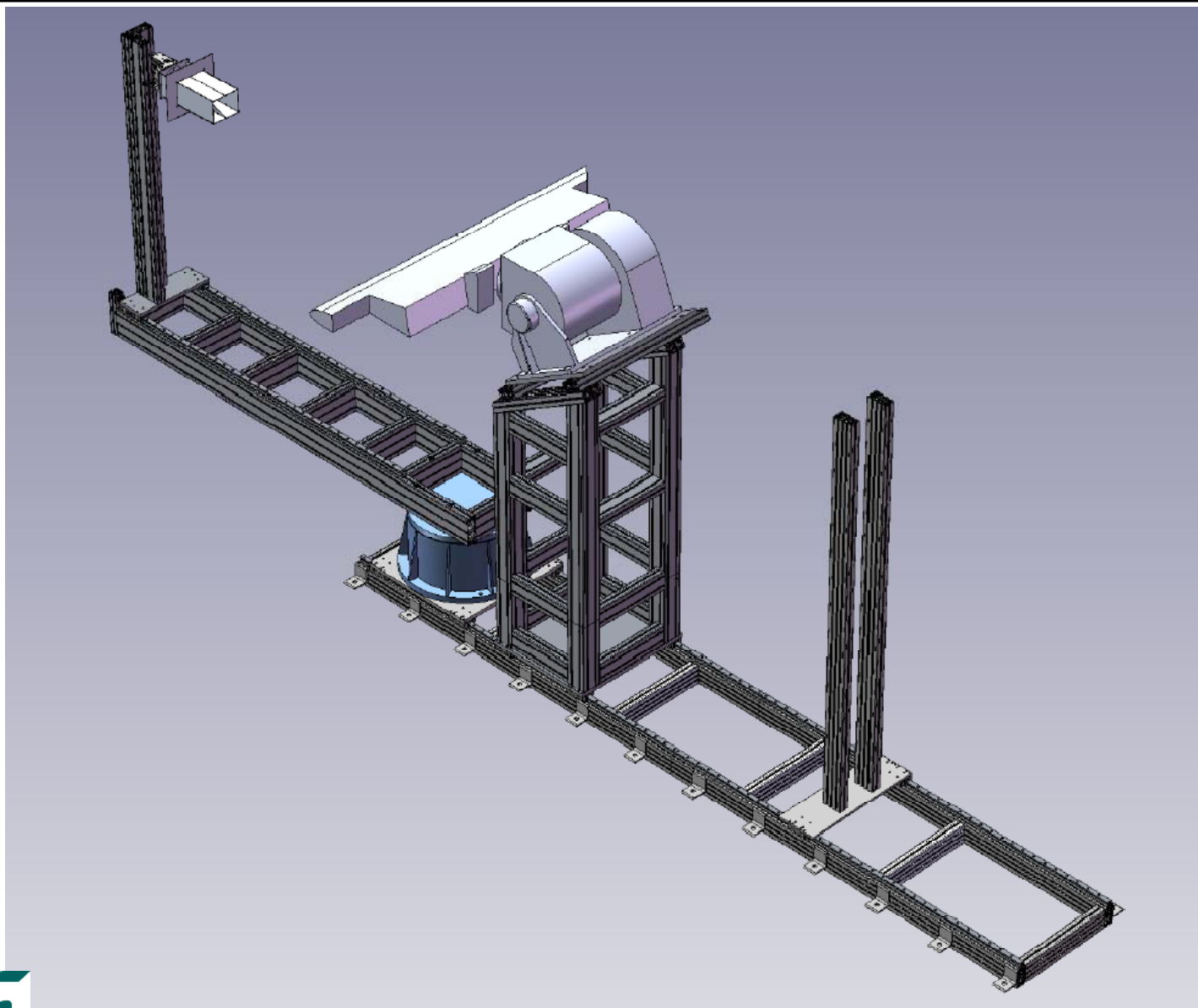
Распространение ближнего поля



Измерения в ближней зоне (сферическое сканирование)



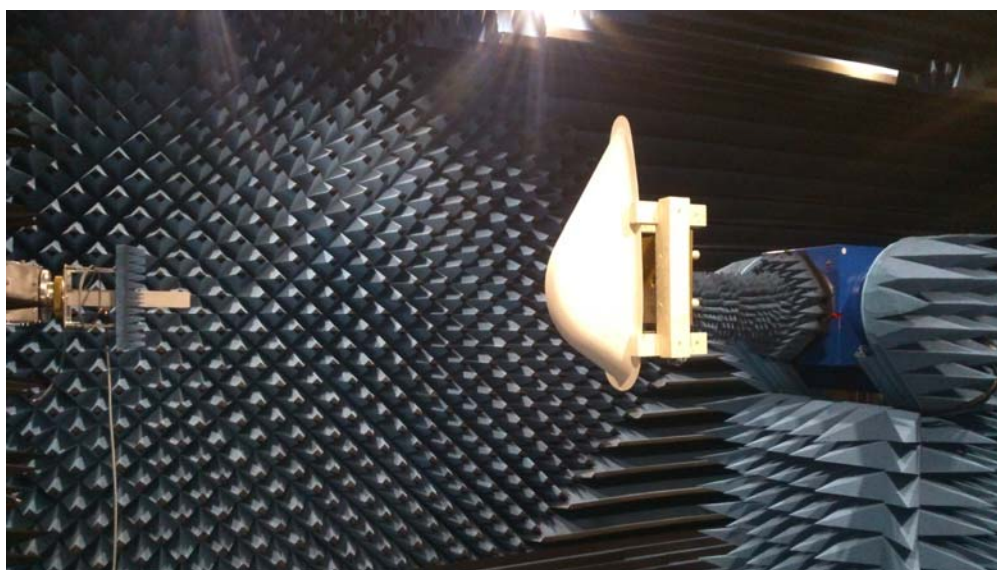
Вариант сферического сканера



Измерение ФАР с обтекателем



Измерение антенны с обтекателем



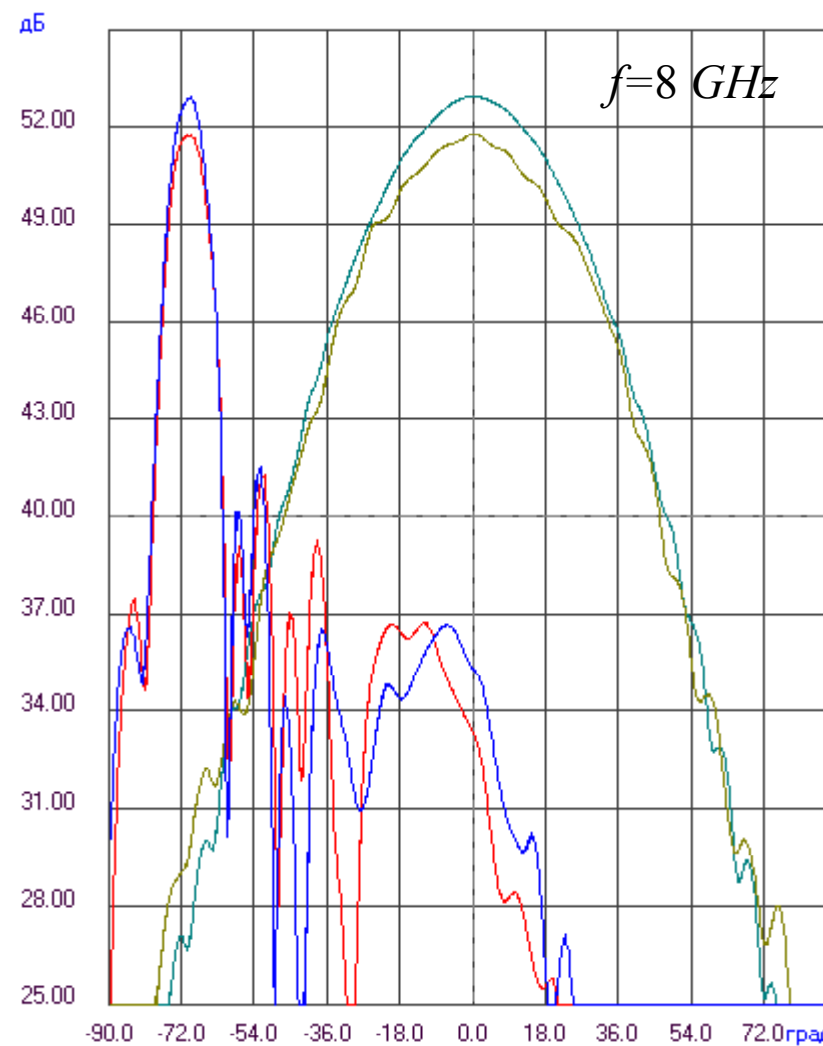
$$f = 4...18 \text{ GHz}$$

$$R_0 = 1.2 \text{ m}$$

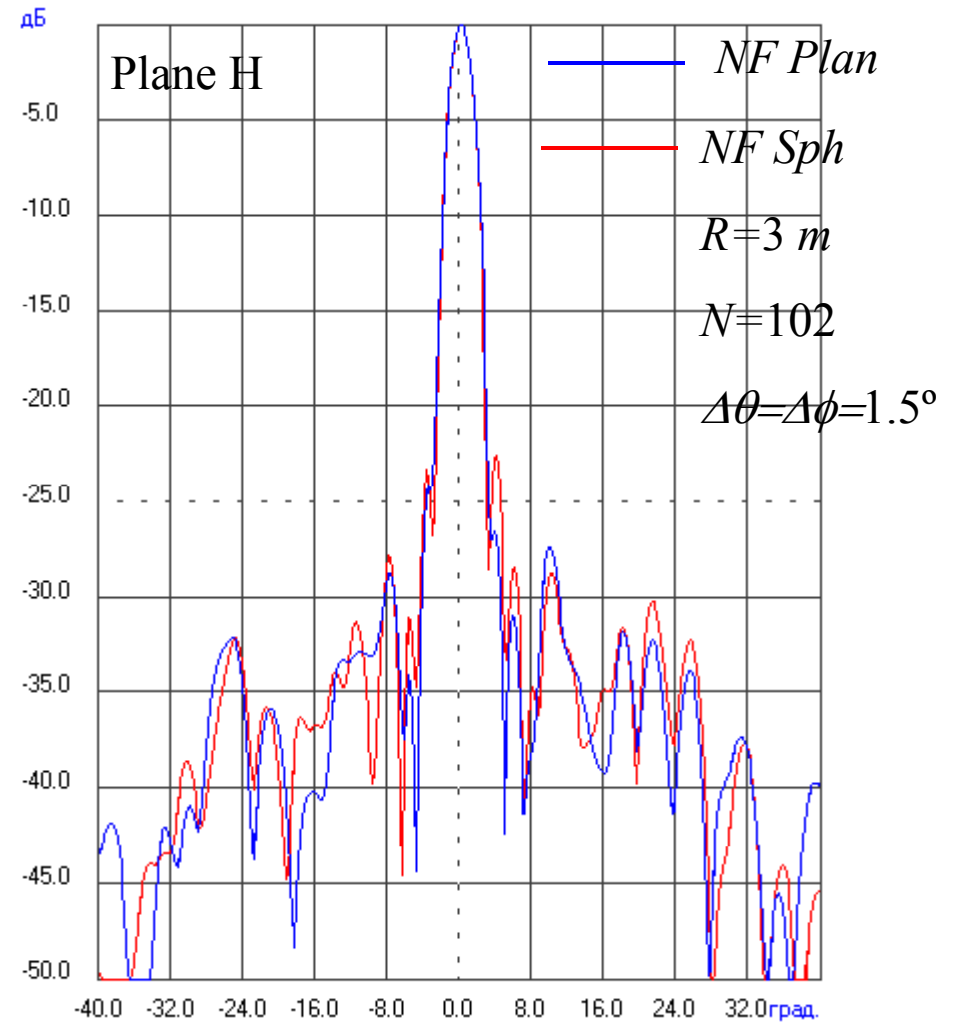
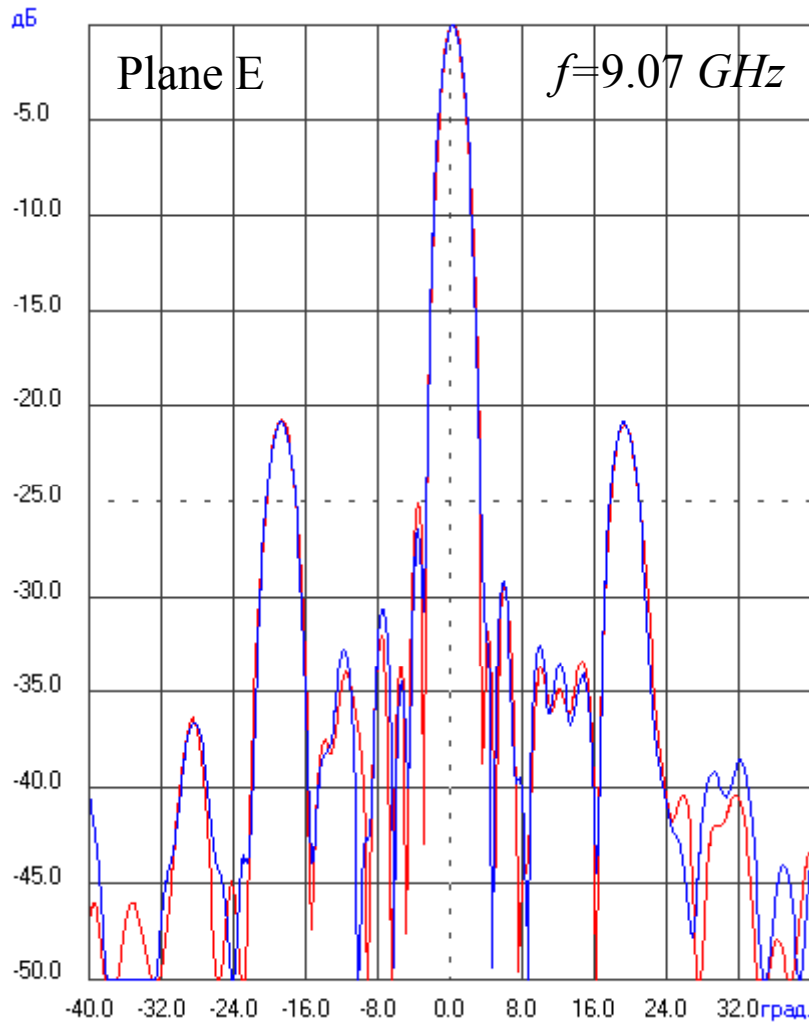
$$\Delta\theta = \Delta\phi = 1.5^\circ$$

$$\theta_{\max} = 90^\circ$$

$$N = 50...105$$



NF Sphere – NF Plane



Алгоритм расчета диаграммы направленности

$$\vec{E}(r, \theta, \phi) = \sum_{smn} T_{smn} \vec{F}_{smn}(r, \theta, \phi) \quad \vec{F}_{smn}(r \rightarrow \infty, \theta, \phi) = \vec{K}_{smn}(\theta, \phi)$$

$$\vec{E}(\theta, \phi) = \sum_{smn} T_{smn} \vec{K}_{smn}(\theta, \phi)$$

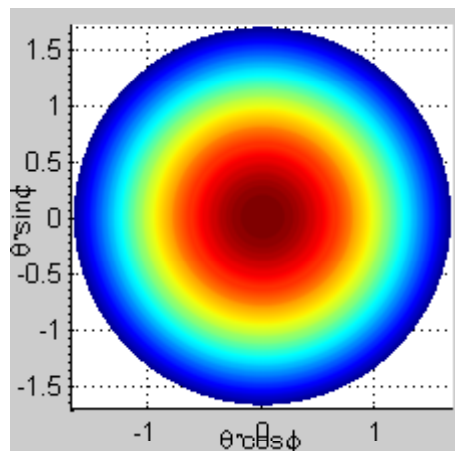
$$\sum_{smn} \equiv \sum_{s=1}^2 \sum_{n=1}^N \sum_{m=-n}^n$$

$$w(A, \chi, \theta, \phi) = \sum_{smn\mu} T_{smn} e^{jm\phi} d_{\mu m}^n(\theta) e^{j\mu\chi} P_{s\mu n}(kA)$$

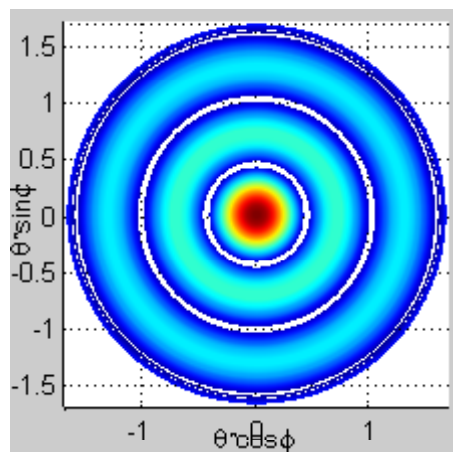
$$P_{s\mu n}(kA) = \frac{1}{2} \sum_{\sigma\nu} C_{\sigma\mu\nu}^{sn}(kA) R_{\sigma\mu\nu}^p$$

Аппроксимация ДН зонда

$\nu = 1$



$\nu = 5$

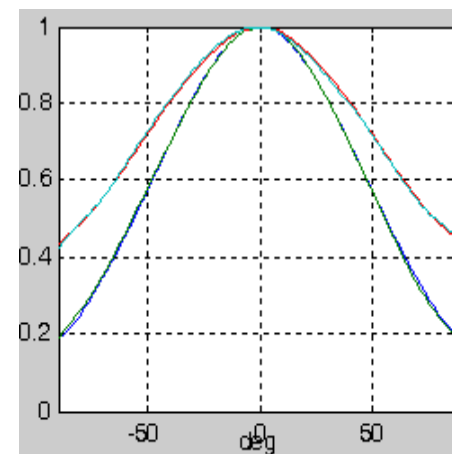
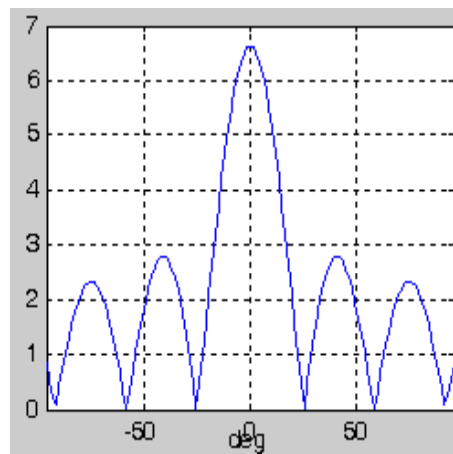
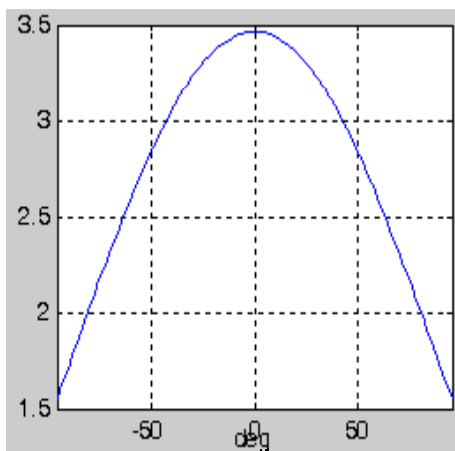


$$\vec{E}^P(\theta, \phi) = \sum_{\sigma\mu\nu} R_{\sigma\mu\nu}^P \vec{K}_{\sigma\mu\nu}(\theta, \phi)$$

$$\sigma = 1, 2$$

$$\mu = \pm 1$$

$$\nu = 1 \dots 5$$



Сравнение методов измерений

