

**БАЛТИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. И. КАНТА  
(БФУ им.И.Канта),  
ЗАО НИЦ «РЕЗОНАНС»**

**236041, г.Калининград, А.Невского, 14.**

**Моб.тел. 8909-781-89-75.**

**E-mail : VPakhotin@kantiana.ru**

**ТЕМА: ОЦЕНКА УГЛА МЕСТА В СИСТЕМАХ ЛОКАЦИИ МЕТРОВОГО  
ДИАПАЗОНА.**

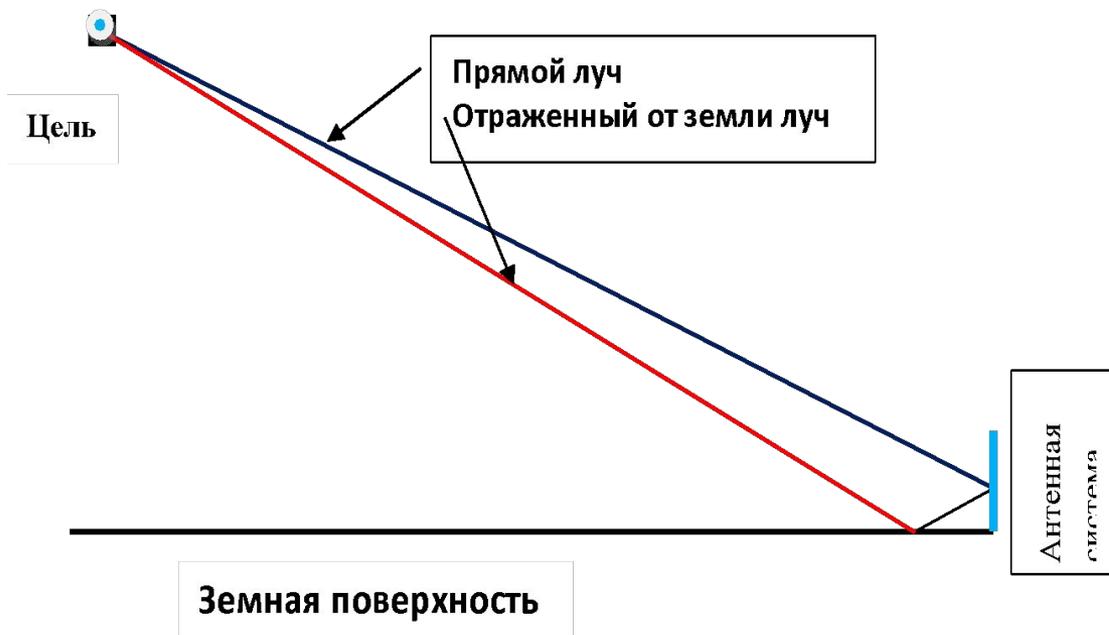
**ОСНОВНАЯ ЦЕЛЬ: ПРЕДСТАВЛЕНИЕ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ  
РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОЦЕНКИ УГЛА МЕСТА В СИСТЕМАХ ЛОКАЦИИ  
МЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА**

**Авторы: Прищеп Д.В., Пахотин В.А., Власова К.В.,  
Симонов Р.В.**

**Калининград. 2018 г**

# Схема приема прямого и отраженного от поверхности земли лучей

2



Прямой и отраженный лучи интерферируют и значения оценок углов места искажаются. Для уменьшения этих искажений уменьшают ширину диаграммы направленности. Однако в метровом диапазоне в угломестной плоскости создать узкие диаграммы направленности технически сложно и полного подавления луча, отраженного от поверхности земли достигнуть не удастся.

# РЛС «НЕБО-У»

## Технические параметры.

Антенна - крестообразная ФАР

Высота антенны - 43 м

Количество элементов ФАР:

дальномера - 27 x 6

высотомера - 6 x 24

Мощность передатчика:

- импульсная мощность - 500 кВт

Дальность обнаружения

максимальная - 700 км

Разрешающая способность:

- по дальности - 800 м)

- по азимуту - 200 угл.мин

- по углу места - 200 угл.мин)

Частотный диапазон  $f=35\div 75$

МГц. (Длины волн  $\lambda=8.57\div 4$  м.)



# Основы теории (1)

4

$$\hat{E}_x = \frac{\hat{E}_0}{\cos(\beta)} (e^{-ik_0 x \sin(\beta)} + \hat{F} e^{-ik_0 x \sin(\beta)})$$

Логарифм функции правдоподобия

$$En(L(\hat{A}', \hat{B}', \beta')) = \frac{-1}{2\sigma^2 \tau_k} \int_0^X \left| \hat{E}_x e^{-ik_0 x \sin(\beta')} - \hat{A}' e^{-ik_0 x \sin(\beta')} - \hat{B}' e^{-ik_0 x \sin(\beta')} \right|^2 dx$$

Принятое сообщение

$$\hat{A}' = \frac{\hat{E}_0}{\cos(\beta')} \quad \hat{B}' = \frac{\hat{E}_0 \hat{F}}{\cos(\beta')}$$

$$\hat{A}'(\beta') = \frac{\overline{\hat{E}_x e^{ik_0 x \sin(\beta')}} - \hat{R} \overline{\hat{E}_x e^{ik_0 x \sin(\beta')}}}{1 - |\hat{R}|^2}$$

Решения уравнений правдоподобия

$$\hat{B}'(\beta') = \frac{\overline{\hat{E}_x e^{ik_0 x \sin(\beta')}} - \hat{R} \overline{\hat{E}_x e^{ik_0 x \sin(\beta')}}}{1 - |\hat{R}|^2}$$

# Основы теории (2)

5

Преобразованный функционал правдоподобия

$$\Delta(\beta') = \int_0^X \left| \hat{E}_x \right|^2 dx - \int_0^X \left| \hat{A}'(\beta') e^{-ik_0 x \sin(\beta)} + \hat{B}'(\beta') e^{ik_0 x \sin(\beta)} \right|^2 dx$$

Дисперсии Рао-Крамера

$$D_A = D_B = \frac{\sigma^2}{N(1 - |\hat{R}|^2)} \qquad D_A = D_B = \frac{\sigma^2}{N(1 - |\hat{R}|^2)}$$

Коэффициенты корреляции

$$D_A = D_B = \frac{\sigma^2}{N(1 - |\hat{R}|^2)} \qquad D_A = D_B = \frac{\sigma^2}{N(1 - |\hat{R}|^2)}$$

# Преобразованный функционал правдоподобия

6

$$D_A = D_B = \frac{\sigma^2}{N(1 - |\hat{R}|^2)}$$

Вертикальная и горизонтальная поляризация

Диаграмма направленности прямой волны



Функционал правдоподобия

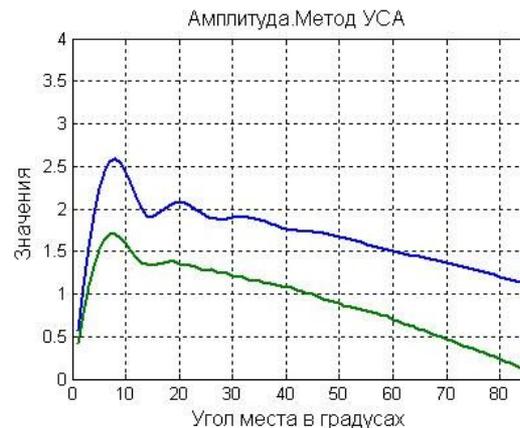
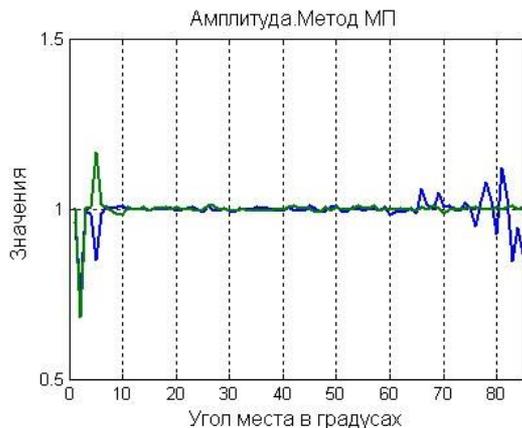
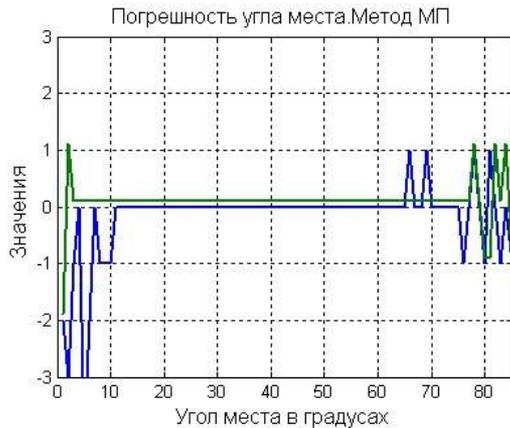


Сравнение при угле места 20 градусов диаграмм направленностей (верхней рисунок) и функционалов правдоподобия. Отношение сигнал/шум 20 дБ.

Преобразованный функционал правдоподобия

# Сравнение оценок углов места для двух поляризации: метод МП и метод УСА

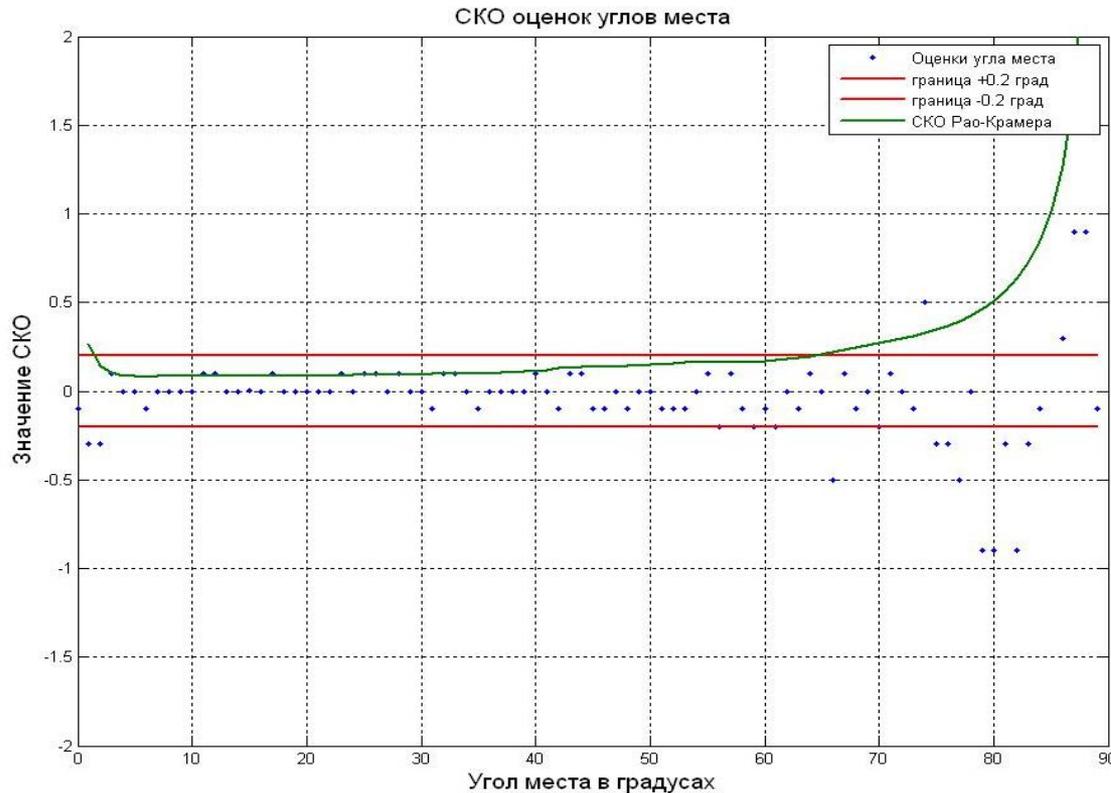
7



Расчет методом максимального правдоподобия (МП) с исключением земной волны и методом углового спектрального анализа.(УСА). Частота 35 МГц, сухая земля, линейная поляризация под углом 45 градусов к плоскости падения. Поляризационные составляющие равны 1 и 1. Отношение сигнал/шум равно 20 дБ.

# Оценка углов места методом МП

8

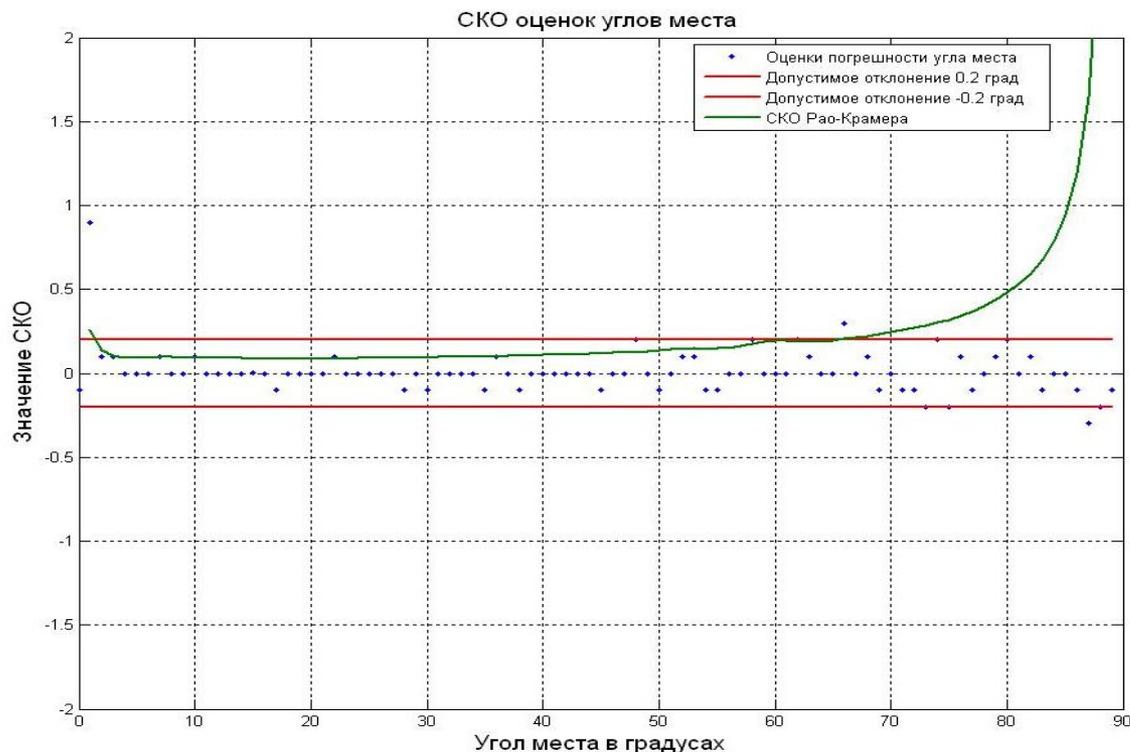


Статистика отклонений оценок углов места в диапазоне  $0 \div 90$  градусов по независимым реализациям шума. Отношение сигнал/шум равно 20 дБ. Красными линиями отмечен допустимый интервал отклонений углов места от заданного в модели. Зеленым цветом отмечена зависимость СКО углов места по Рао-Крамеру.

Влияние на оценку угла места луча, отраженного от поверхности земли полностью исключено

# Дополнение антенной системы горизонтальной линейкой вибраторов

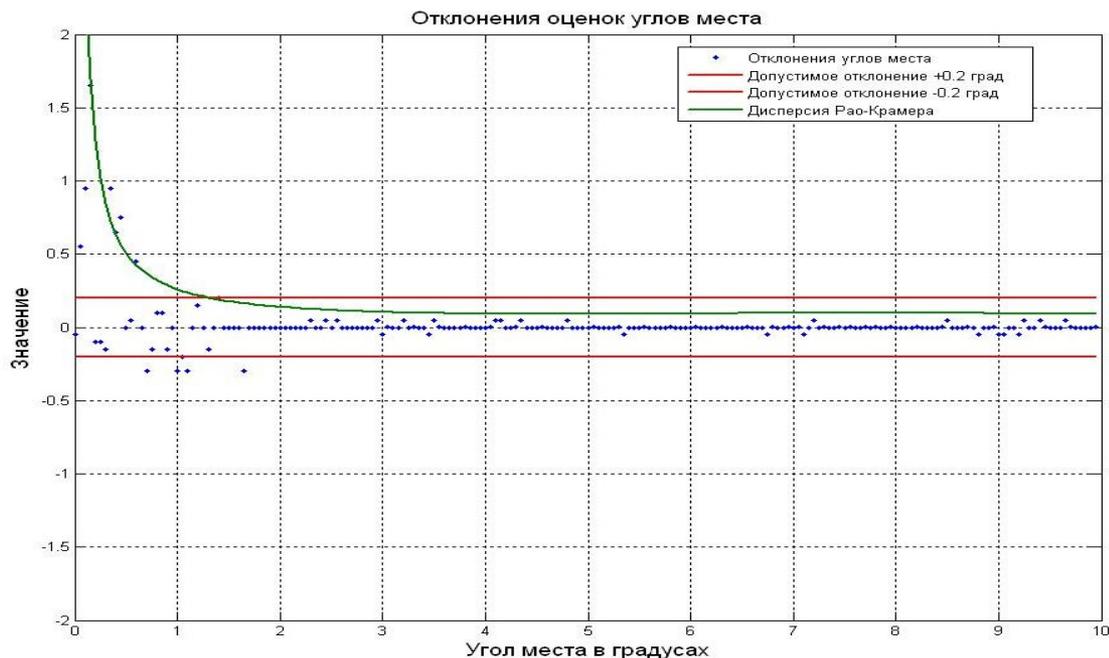
9



. Статистика отклонений оценок углов места от установленных в модели в диапазоне  $0 \div 90$  градусов. Антенная система состоит из 8-ми вибраторов, расположенных по вертикали, и 6-ти вибраторов, расположенных по горизонтали, на высоте 2.5 м.

# Оценка углов места при малых значениях углов места

10

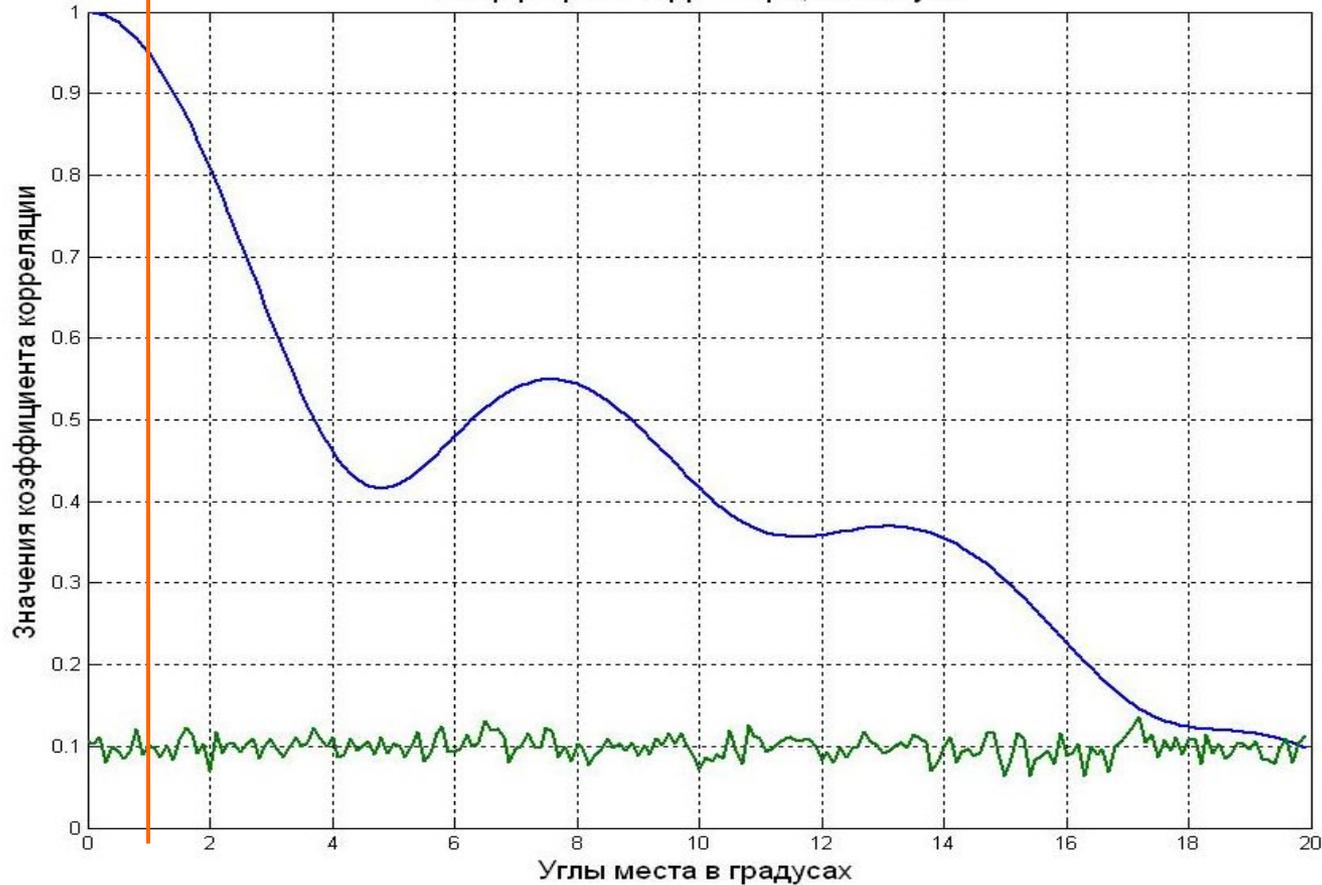


Ограничение снизу значением угла места 1 градус

# Коэффициент корреляции между лучами

11

Коэффициент корреляции, СКО шума



Ограничение  
углового  
диапазона  
оценок углов  
места  
коэффициентом  
корреляции  
между лучами

# Основные результаты

Представлена технология решения задачи оценки углов места в системах радиолокации метрового диапазона, основанная на преобразованном функционале правдоподобия. Ее особенности следующие.

- Технология полностью исключает влияние луча, отраженного от поверхности земли, на точность оценок углов места.
- СКО углов места соответствует СКО Рао-Крамера в средней части углового диапазона и уменьшается с увеличением отношения сигнал/шум .
- При дополнении антенной системы линейкой горизонтальных вибраторов, погрешность в верхней части углового диапазона может быть уменьшена до средних значений.

Спасибо за  
внимание.