

ОАО «Научно-производственная корпорация
«Системы прецизионного приборостроения»
г. Москва, <http://www.npk-spp.ru>



Развитие методов ортокорреляционного астроориентирования применительно к межспутниковой оптической связи

Ю.М.Афанасенков, Д.В.Васильев, А.В.Гапон,
В.Н.Григорьев, В.В.Сумерин, Е.А.Фирсов

Ретранслятор на
Геостационарном КА

Лазерные каналы

Скорость передачи информации –
до 600 Мбит/с

Радиоканалы

НКА

НКА

НКА

(низкоорбитальный КА)

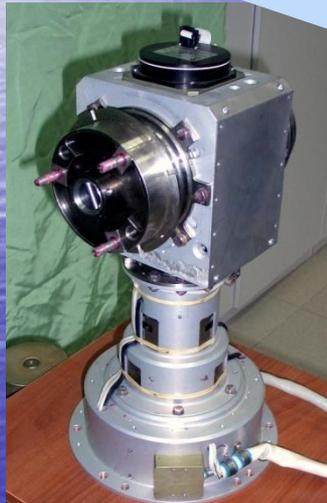
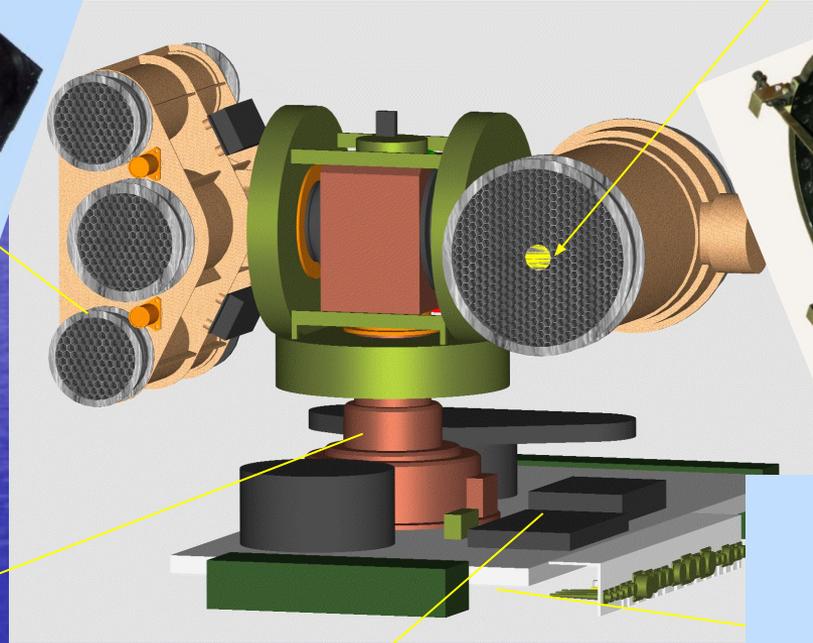
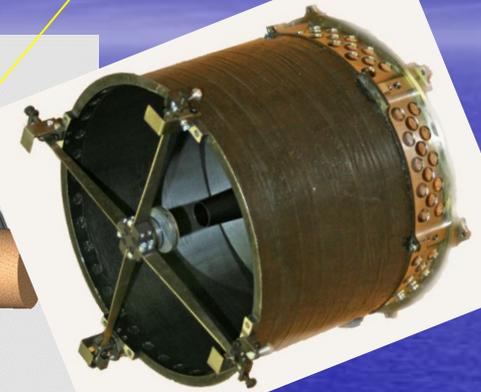


Модуль оптический передающий

Антенны пеленгатора
поиска и захвата и
маяка



Антенна
передатчика



Опорно-
поворотное
устройство

Передатчик



Модуль оптический принимающий

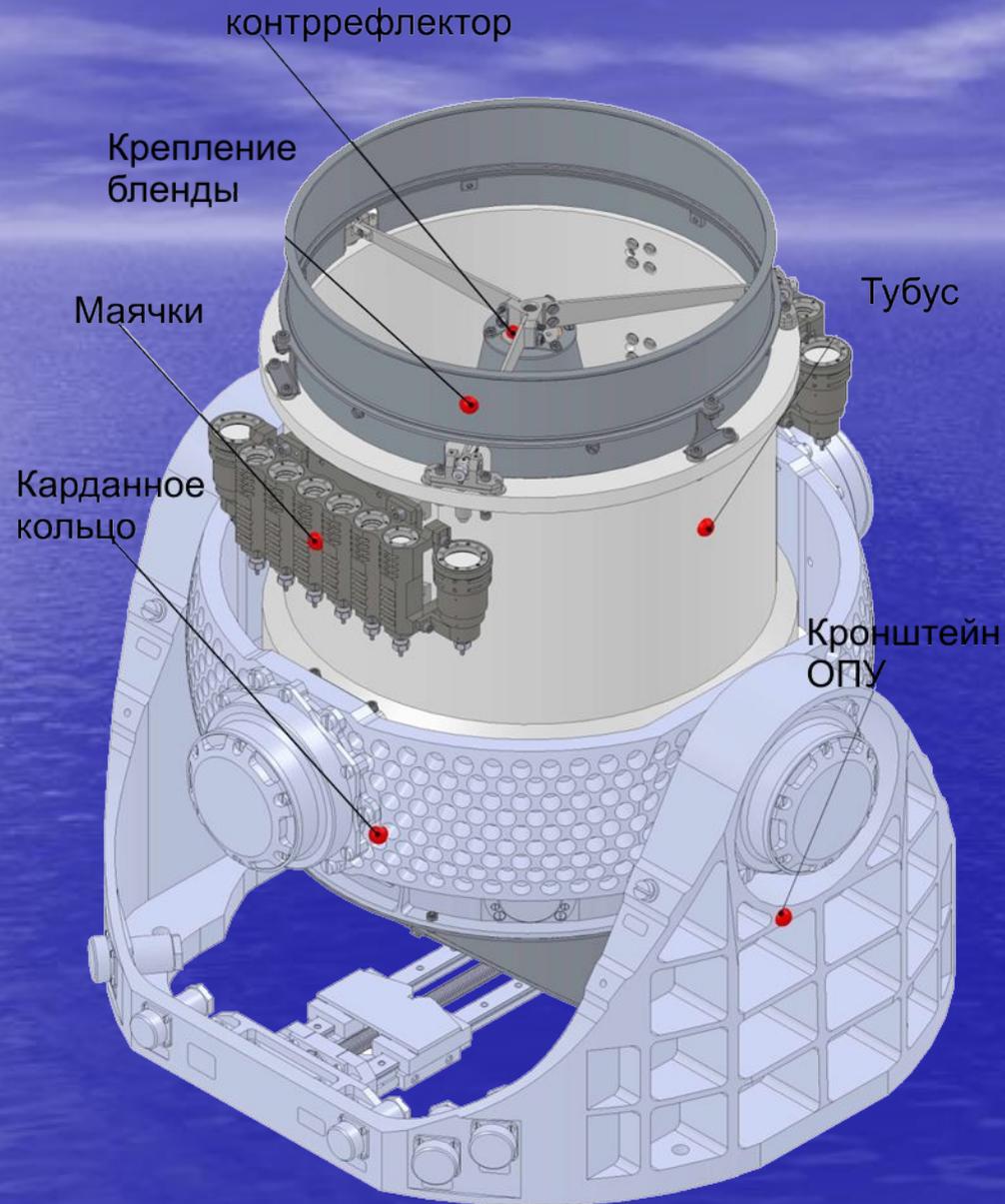
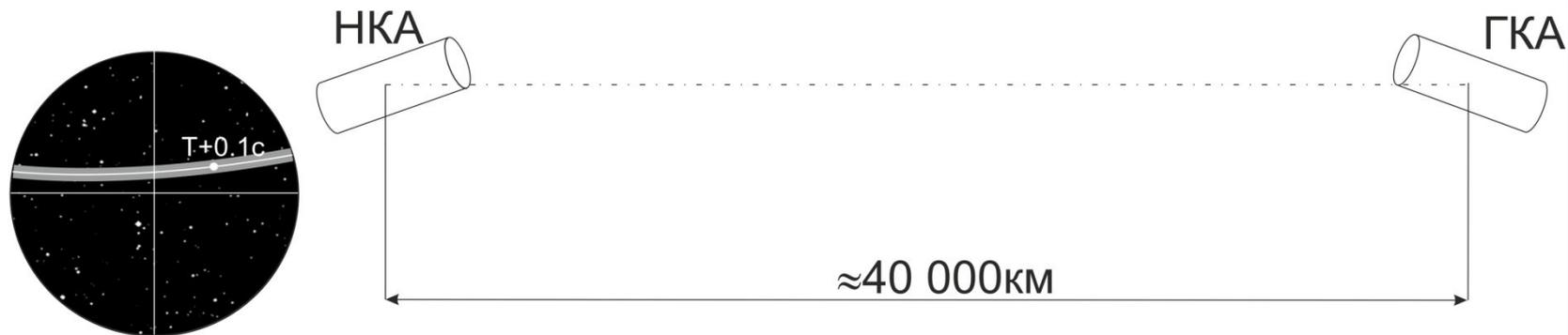


Схема выхода на связь

1. Наведение НКА по априорной информации об орбите ГКА



2. Наведение ГКА на луч маяка

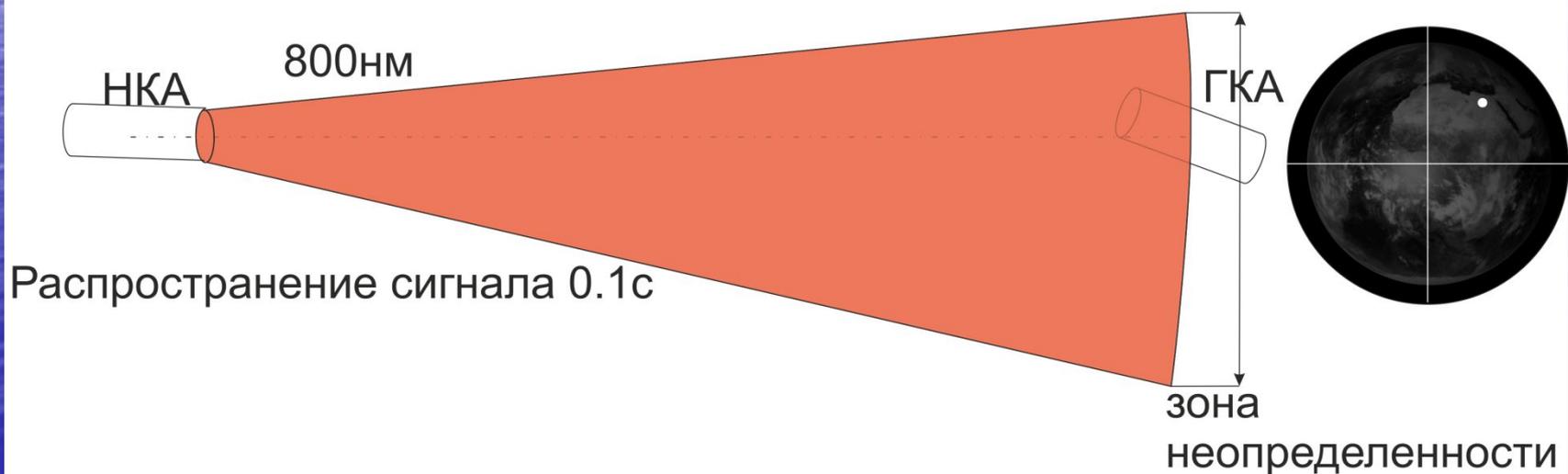
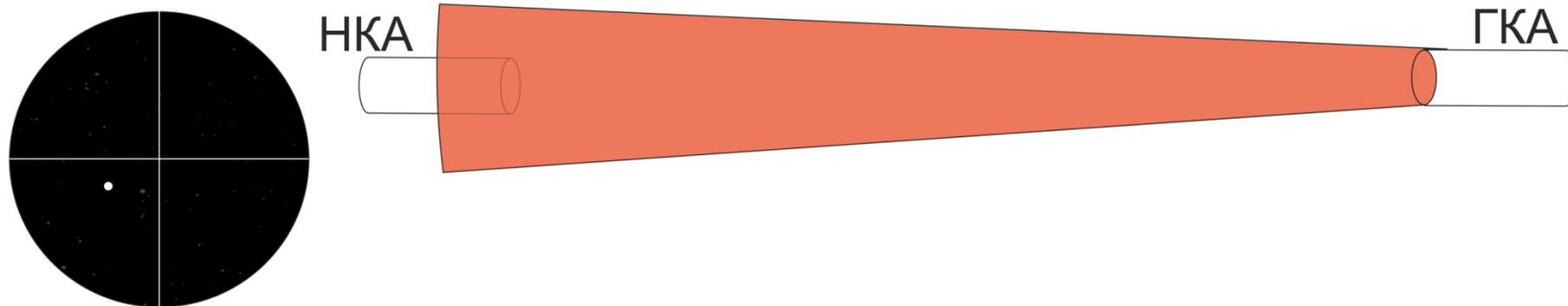
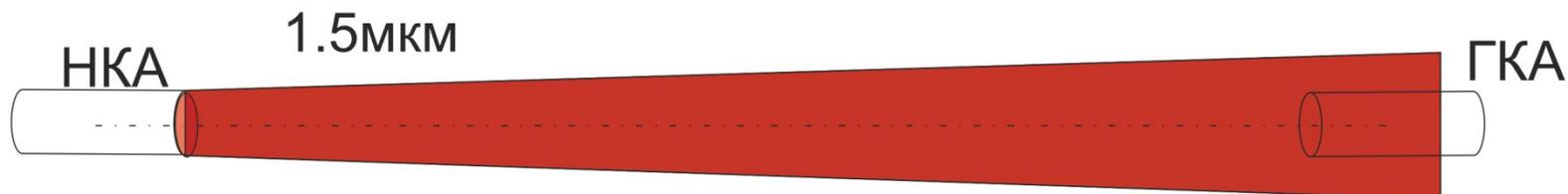


Схема выхода на связь (продолжение)

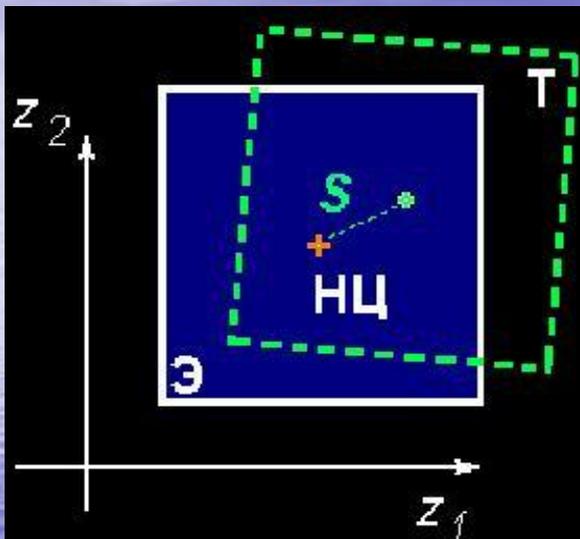
3. Точное наведение на ГКА по лучу маяка



4. Передача информации



Область автозахвата направления в звездном поле



Обозначения

z_1, z_2 - координаты в звездном поле

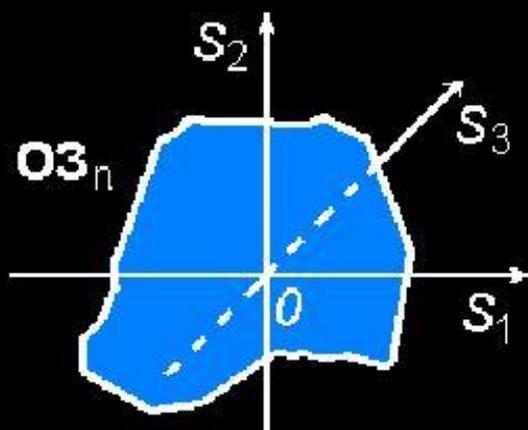
НЦ - направление цели

Э - эталонное изображение

Т - текущее изображение

$S = [S_1 S_2 S_3]$ - вектор сдвигов (ошибка ЦУ)

OZ_n - область захвата для n -ой точки звездного поля в пространстве сдвигов



Система ориентирования луча в заданную точку звездного поля

ФУНКЦИОНАЛЬНО-АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ СХЕМА АВТОЗАХВАТА



Измеримые корреляционные характеристики финитных сигналов как функции аддитивного сдвига

Обозначения:

$$x(t) = x \leftrightarrow \mathbf{H}; \quad x(-t) = \overline{x} \leftrightarrow \mathbf{H}^*; \quad \gamma \leftrightarrow \mathbf{M}$$

$E(f)$ – спектральная плотность энергии сигнала

Автокорреляция:

$$K(s) = \overline{x} \otimes x \otimes \gamma_{\text{четн}} \leftrightarrow \mathbf{H}^* \mathbf{H} \mathbf{M} = E(f)$$

$$\aleph(s) = K(s) / K(0)$$

Идеальная ш/п автокорреляция (АКФ)

при $\gamma_{\text{четн}}(s) = \delta(s) \rightarrow \text{Im } \mathbf{M}(f) = 0$

Взвешенная (измеримая) АКФ

при $\gamma_{\text{четн}}(s) = \gamma_{\text{четн}}(-s) \rightarrow \text{Im } \mathbf{M}(f) = 0$

Коэффициент корреляции (мера схождения)

Ортокорреляция:

$$R(s) = \overline{x} \otimes x \otimes \gamma_{\text{нечетн}} \leftrightarrow \mathbf{H}^* \mathbf{H} \mathbf{M} = \frac{jf}{|f|} E(f)$$

$$\rho(s) = R(s) / R'(0)$$

Идеальная ш/п ортокорреляция (ОКФ)

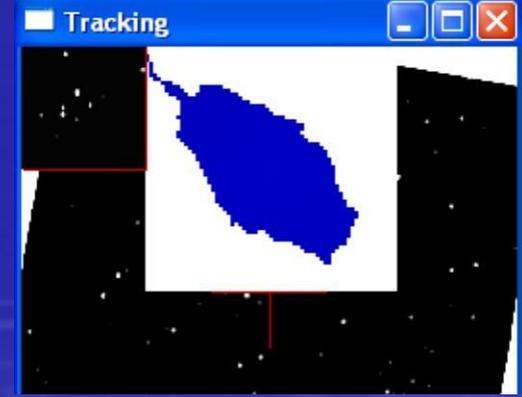
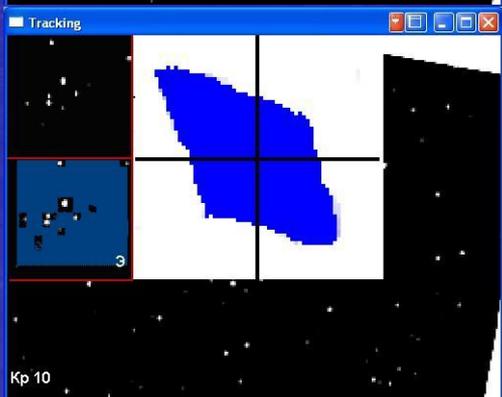
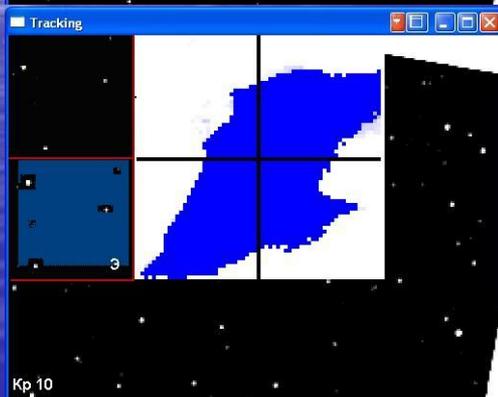
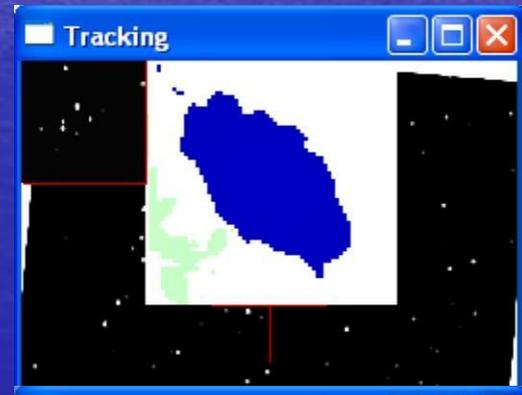
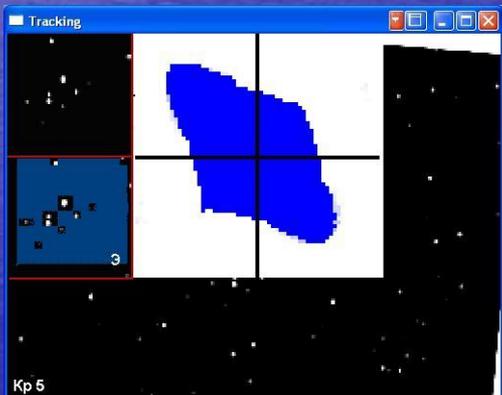
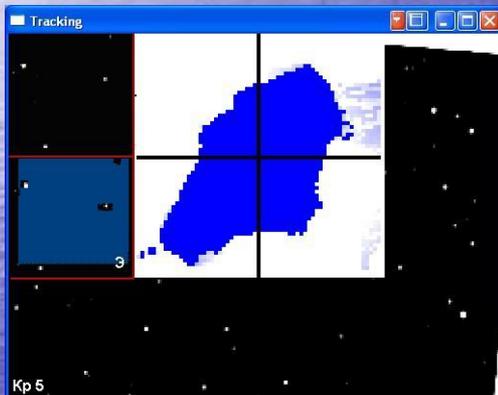
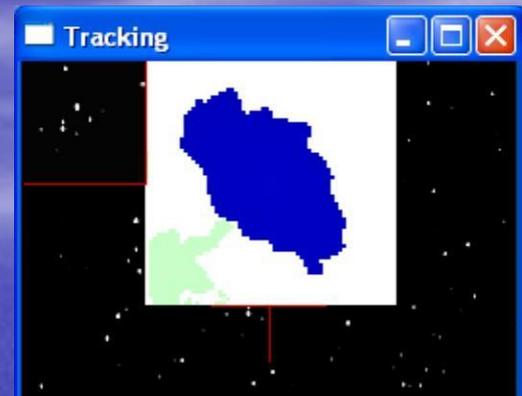
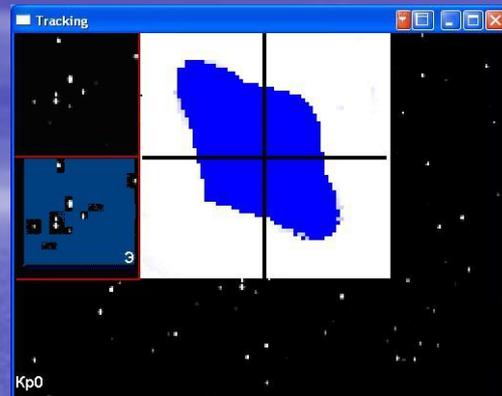
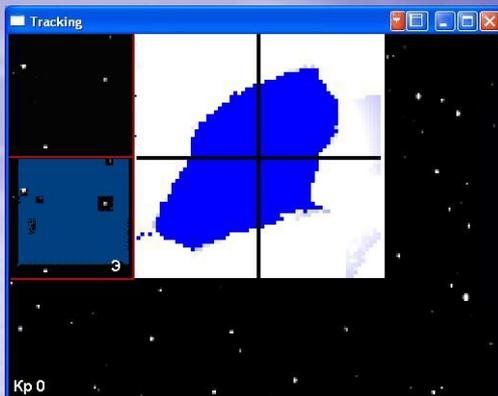
при $\gamma_{\text{нечетн}}(s) = 1/s \rightarrow \text{Re } \mathbf{M}(f) = 0$

Взвешенная (измеримая) ОКФ

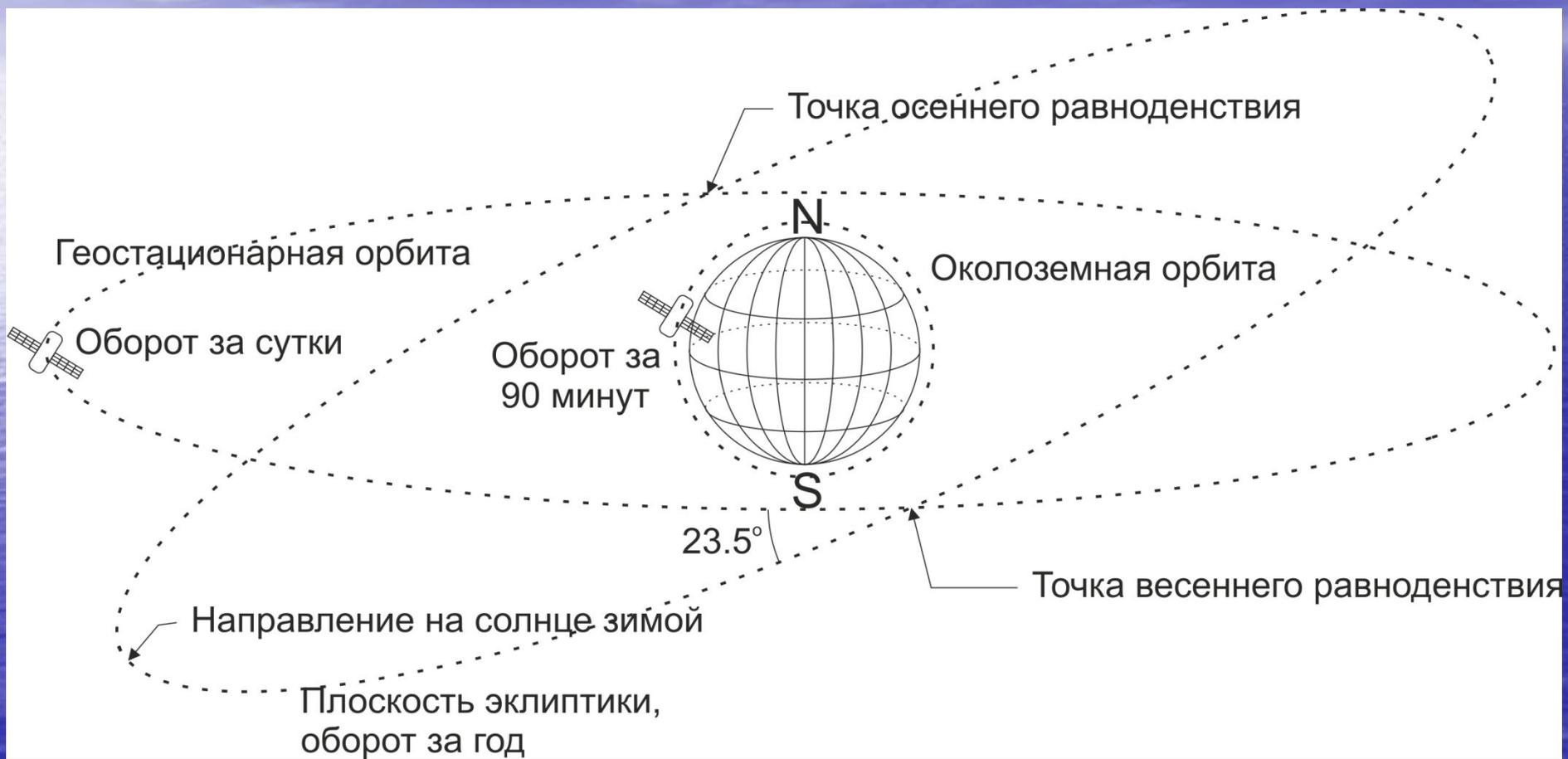
при $\gamma_{\text{нечетн}}(s) = -\gamma_{\text{нечетн}}(-s) \rightarrow \text{Re } \mathbf{M}(f) = 0$

Коэффициент ортокорреляции (мера различия)

Оценка областей захвата при наличии трехмерных сдвигов



Астрономическая ситуация



Неравенство, определяющее необходимый уровень сигнала

$$3 \times 10^{-6} \times 2.5^{-m} \times \frac{\pi}{4} k D^2 \times k_1 K \times t_{\text{эксп}} > \left(\frac{S}{N} \right)_{\text{необх}} \times n$$

где:

m – визуальная звездная величина,

k – коэффициент пропускания оптики,

D – диаметр объектива,

k_1 – поправка на размазывание изображения во время экспозиции, а также (возможно) из-за попадания пятна по нескольким пикселям;

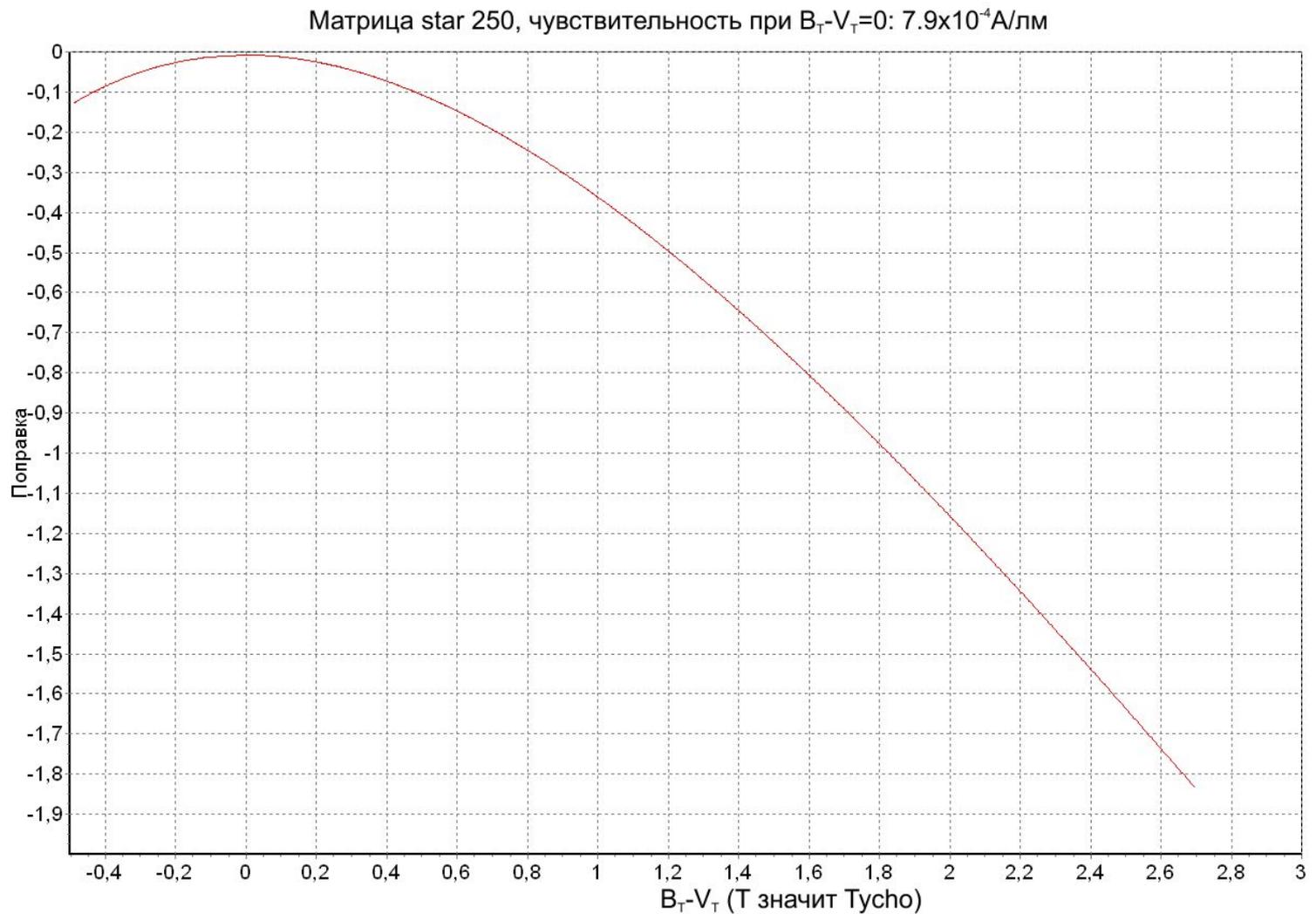
K – чувствительность матрицы (эл/лм) к свету звезды с данным спектральным классом;

$t_{\text{эксп}}$ – время экспозиции;

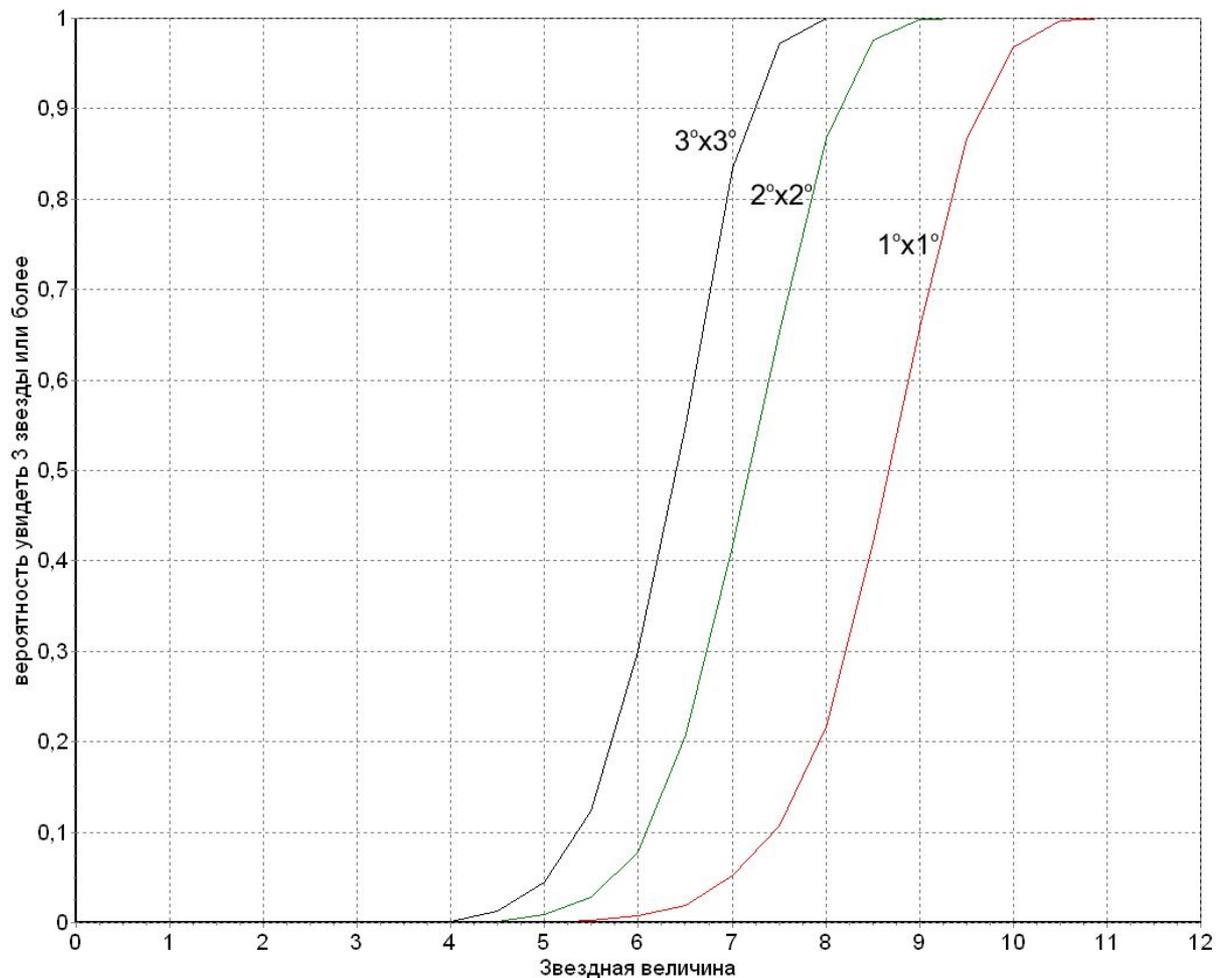
$\left(\frac{S}{N} \right)_{\text{необх}}$ – необходимое для правильной работы соотношение сигнал/шум;

n – шум матрицы (в электронах)

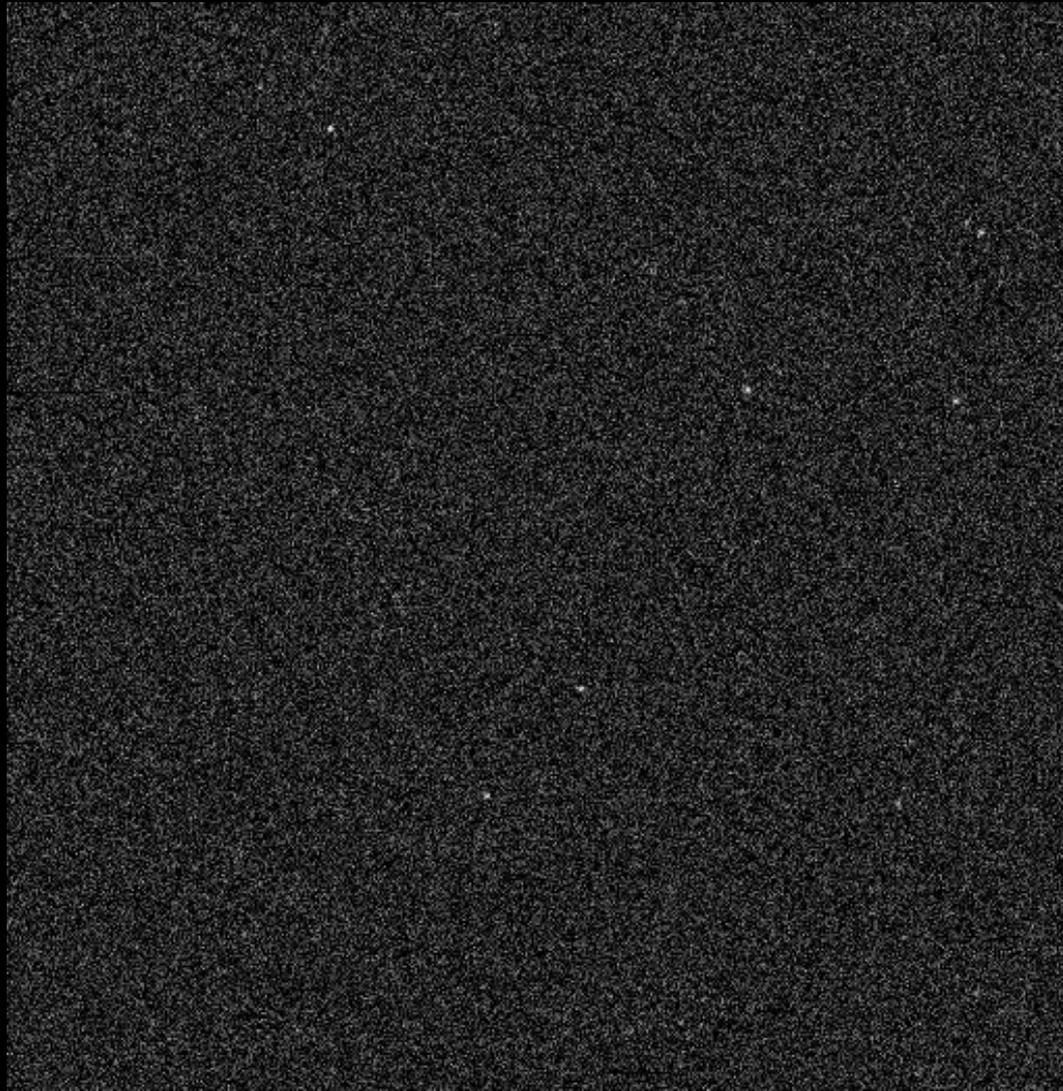
Поправка к звездной величине из-за разных спектральных чувствительностей глаза и матрицы



Вероятность увидеть хотя бы 3 звезды ярче заданной эффективной величины в экваториальной области



Угол зрения $1^\circ \times 1^\circ$, диаметр объектива 80мм, коэффициент пропускания оптики: 1, относительного углового движения нет (применена стабилизация), функция рассеяния точки (ФРТ) является гауссовской кривой с $\sigma=1$, матрица – STAR250, 512x512, время экспозиции: 70 мс, DE: 1° , RA: 1h0m



Выводы:

- Применяя ортокорреляционные измерители сдвигов по двум координатам и крену, хорошо зарекомендовавшие себя в прошлых разработках, а также пересчитанный к спектральной чувствительности матрицы звездный каталог, можно построить астроориентатор, обеспечивающий автоматическое наведение системы оптической связи на геостационарный спутник.
- Использование беспойсковых методов, в частности, ортокорреляционного дискриминатора, позволяет достичь малых вычислительных затрат и занимаемой памяти.
- Благодаря линейности системы, существует возможность накопления данных в течение последовательности кадров, несмотря на значительный уход изображения за время наблюдения, что позволяет обойтись малыми габаритами оптической системы. Однако требуются дальнейшие опытно-конструкторские разработки, чтобы эффективно увязать между собой узлы системы.