

**ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ
РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТРА С НЕЗАВИСИМЫМ
ПРИЕМОМ ПО СИГНАЛАМ НАВИГАЦИОННЫХ
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ГЛОНАСС И НАВСТАР**

**Дугин Н.А., Антипенко А.А., Дементьев А.Ф.,
Нечаева М.Б., Тихомиров Ю.В.**

**Научно-исследовательский
радиофизический институт (НИРФИ) г.
Нижний Новгород**

Измерения положения НКА ГЛОНАСС и GPS на интерферометре «Старая Пустынь-Зимёнки»

Цель: отработка РСДБ-методик высокоточного определения координат НКА ГЛОНАСС



Радиотелескопы РТ-14 и РТ-15 оборудованы приёмными системами в диапазонах **327 МГц, 610 МГц, 1660 МГц.**
Длина базы **~69 км.**

Инструмент оснащён системой регистрации ТН-16 собственной разработки, с записью информации на ПК;
стандартами частоты и времени с синхронизацией местных шкал времени по сигналам GPS: водородными VCH-1005, VCH-1006 и рубидиевым VCH-311.



Задача повышения точности глобальных навигационных спутниковых систем

Оперативная часть навигационного сообщения содержит данные о местоположении КА с точностью* :

Составляющая погрешности	СКО погрешности определения			
	местоположения (м)		скорости (см/с)	
НКА	«Глонасс»	«Глонасс-М»	«Глонасс»	«Глонасс-М»
Вдоль орбиты	20	7	0,05	0,03
По бинормали к орбите	10	7	0,1	0,03
По радиус-вектору	5	1,5	0,3	0,2

Данные об элементах орбит всех КА, передаваемые в альманахе, позволяют потребителю производить определение дальности с точностью 0.83 км, а радиальной скорости КА – 0.33 м/с*.

"Возраст" данных альманаха	СКО погрешности определения	
	дальности (км)	радиальной скорости (м/с)
1 сутки	0,83	0,33
10 суток	2,0	0,7
20 суток	3,3	4,2

*Интерфейсный контрольный документ (параметры интерфейса между подсистемой КА и навигационной аппаратурой потребителей), редакция 5.1

Основные параметры, измеряемые в РСДБ

Задержка,

возникающая из-за разности трасс распространения сигнала от источника до двух антенн интерферометра:

$$\tau(t) = \frac{L(t)}{c}$$

$$\tau(t) = \frac{1}{c} [B_X \cos \delta \cos h(t) + B_Y \cos \delta \sin h(t) + B_Z \sin \delta]$$

Измеряется в максимуме корреляционной функции

Частота интерференции,

зависящая от скорости движения источника относительно антенн интерферометра:

$$F_u(t_0) = F_0 \left. \frac{\partial \tau}{\partial t} \right|_{t_0}$$

$$F_u(t) = \frac{1}{c} F_0 \Omega_3 \cos \delta [B_X \sin h(t) - B_Y \cos h(t)]$$

Выражения приведены для источника в дальней зоне интерферометра

Измеряется в максимуме спектра

РСДБ-аппаратура на диапазон 1.6 ГГц

1. Основные технические характеристики генераторов частот (гетеродинов):

рабочие частоты: 1500 и 1420 МГц;

мощность выходного сигнала – не менее 10 мВт;

относительный уровень дискретных составляющих - (- 45) дБ;

относительная СПМ фазовых шумов при отстройке 100 Гц –(-60)дБ/Гц;

частота опорного сигнала - 5 МГц;

минимальный уровень опорного сигнала – 0,5 В.

2. Основные технические характеристики ВЧ-блоков:

диапазон входных частот - (1565 – 1685) МГц;

полоса частот УПЧ - (140-210) МГц;

коэффициент передачи - 50 дБ;

неравномерность коэффициента передачи в рабочей полосе–2 дБ;

динамический диапазон – 35 дБ;

коэффициент собственного шума неохлаждаемых малошумящих входных усилителей (МШУ) ≤ 1 дБ;

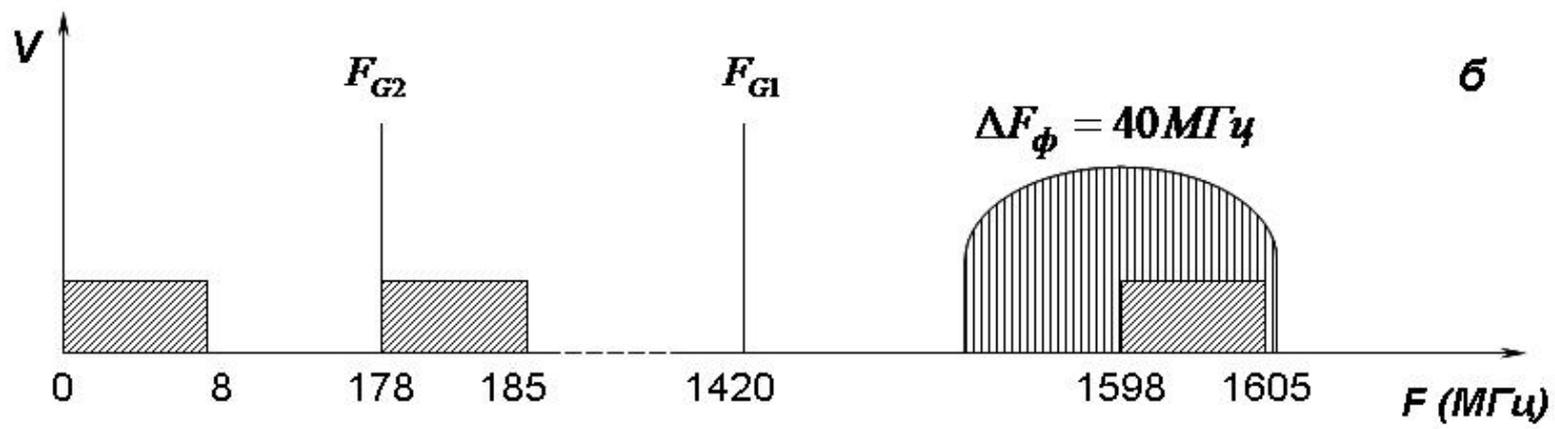
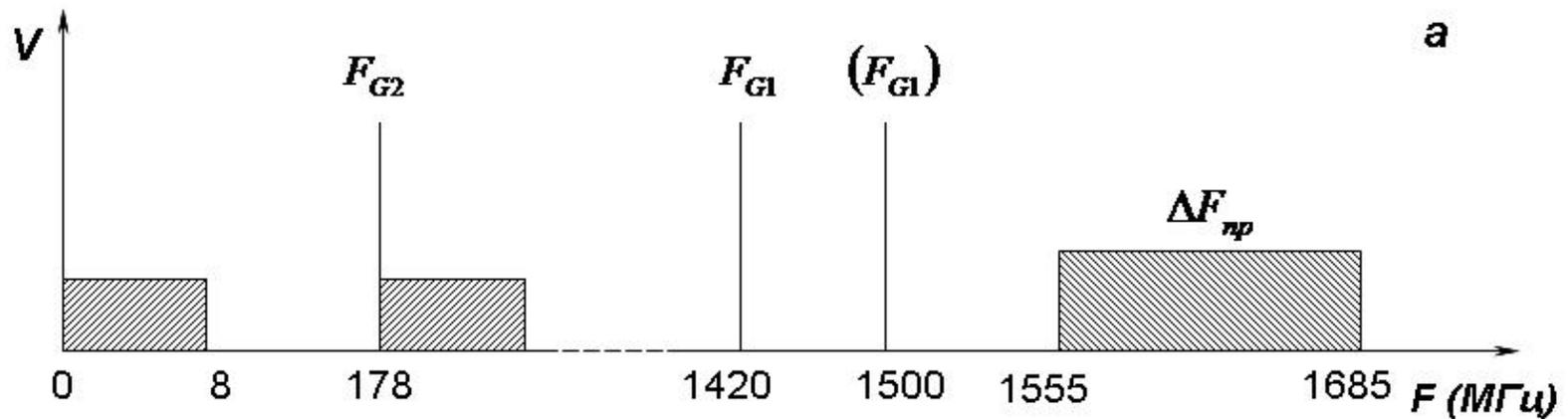
ослабление входного направленного ответвителя – 20 дБ.,

прямые потери НО – не более 0,2 дБ.

Схема преобразования частот в РСДБ-комплексе НИРФИ.

а) общая схема,

б) схема приема сигналов НКА ГЛОНАСС с внешним фильтром

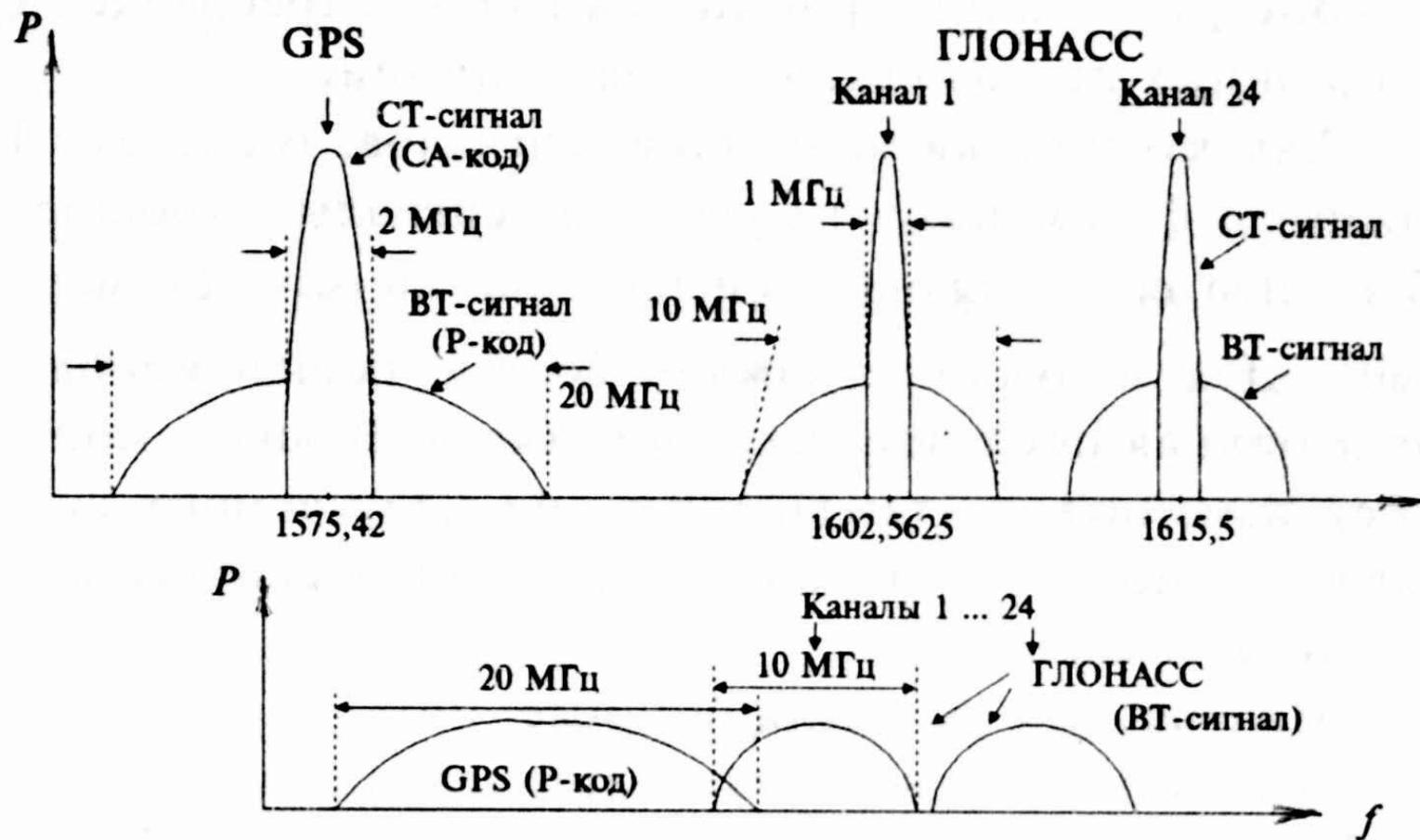


В первых экспериментах работа по мощным сигналам НКА существенно упрощала процедуру определения параметров приемного комплекса.

Были выполнены следующие работы:

- измерение разъюстировки и параметров антенн по Солнцу и НКА;
- отработка методик наблюдений НКА;
- отладка методик обработки РСДБ-данных при приёме радиоизлучения квазишумовых сигналов КА.

Частотный диапазон глобальных навигационных систем



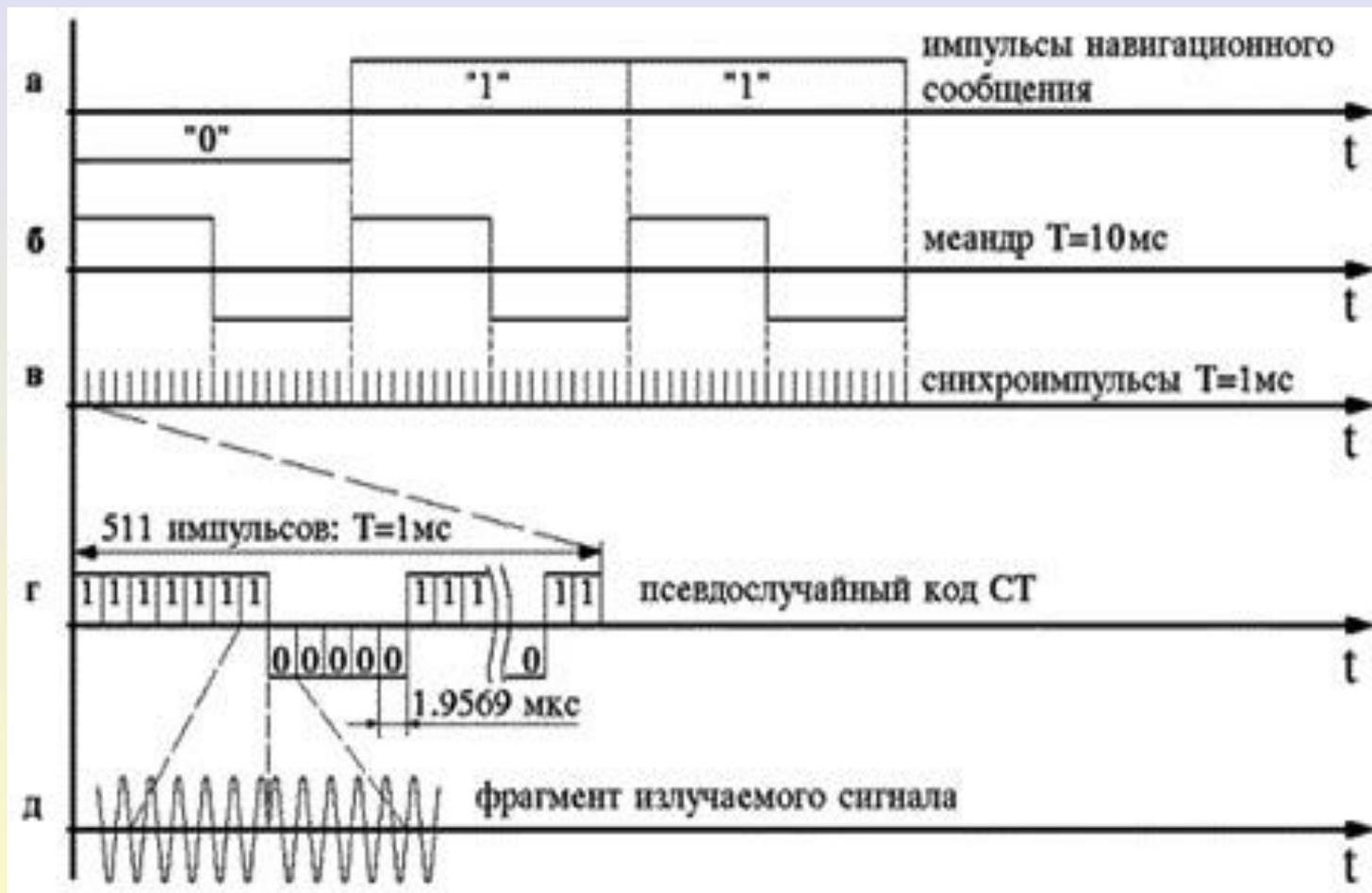
Анализ структуры сигналов передатчиков НКА СРНС ГЛОНАСС и GPS (НАВСТАР)

Суперкадр имеет длительность 2,5 мин и состоит из 5 кадров длительностью 30 с. Каждый кадр состоит из 15 строк длительностью 2 с. В пределах каждого суперкадра передается полный объем неоперативной информации (альманах) для всех 24 НКА системы ГЛОНАСС. В пределах каждого кадра передается полный объем оперативной ЦИ для данного НКА и часть неоперативной ЦИ. Навигационные кадры с первого по четвертый идентичны.

Т.о. при достаточно грубом рассмотрении передаваемая информация делится на переменную и постоянную части, что приводит к частичной когерентности сигналов, излучаемых в разное время.

Основная особенность кодовой посылки с точки зрения РСДБ обработки – повторение кодирования через 1 мс. Поскольку сигналы синхронизируются от бортовых стандартов частоты и времени, то сигнал нельзя считать шумовым в классическом понимании, даже если спектр квазишумовой.

Структура сигнала КА ГЛОНАСС

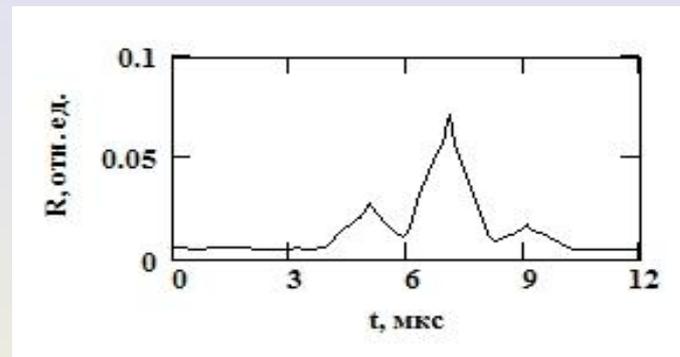
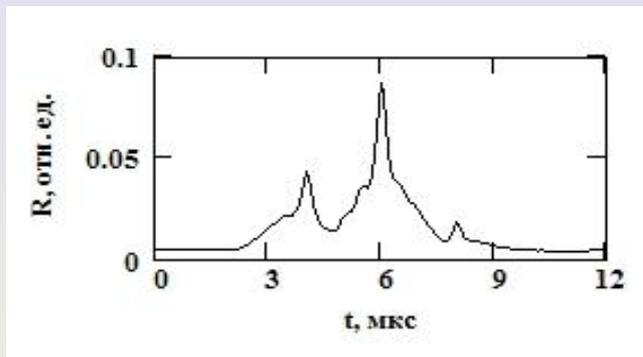


Зависимость амплитуды корреляционной функции от задержки при точной компенсации задержки (а), при сдвиге на -1 мс от точной задержки (б), при сдвиге на -2 мс от точной задержки (в)

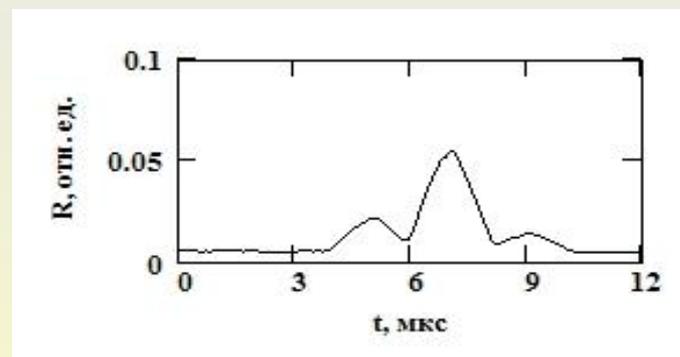
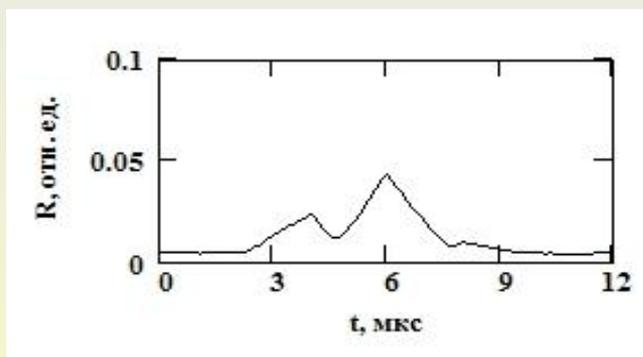
Космос 36402

Навстар 26690

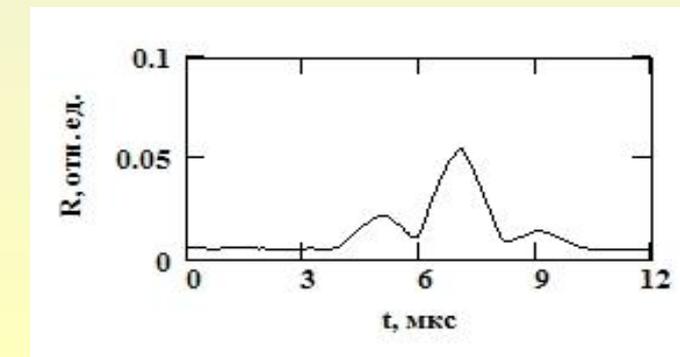
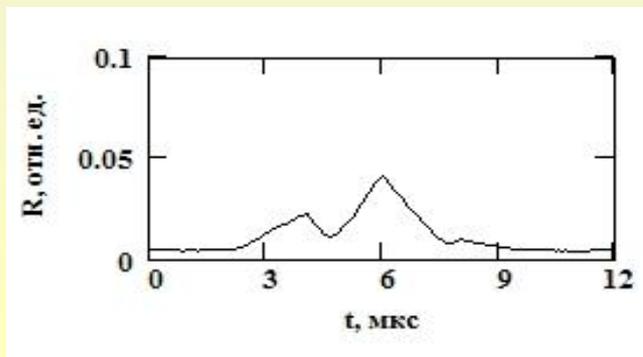
а



б



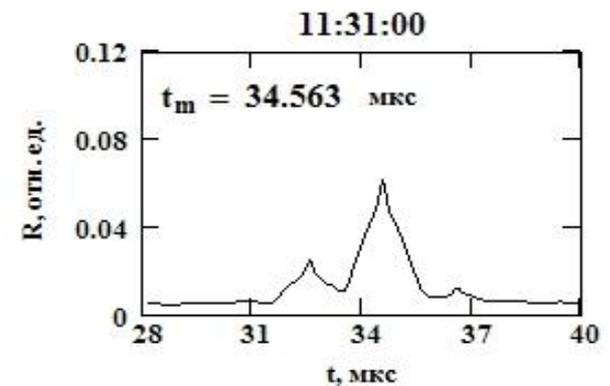
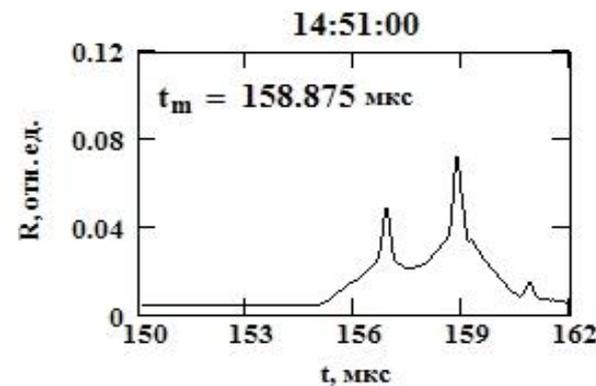
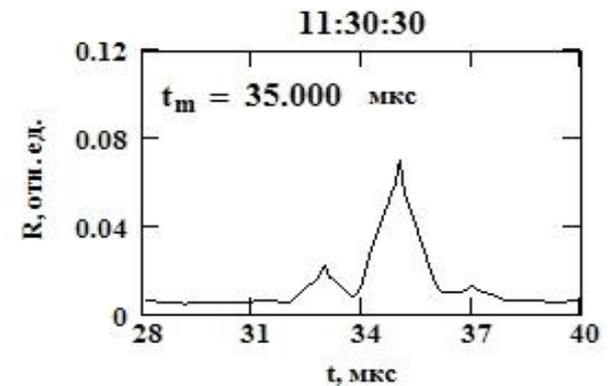
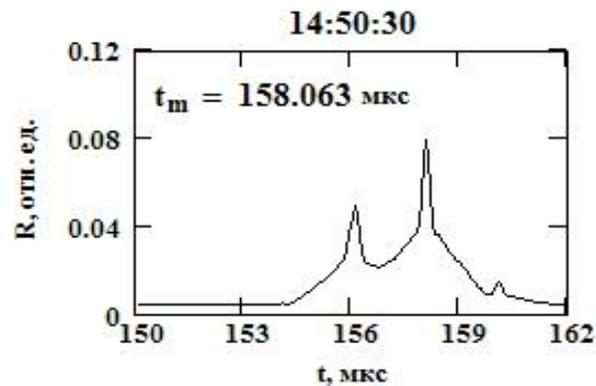
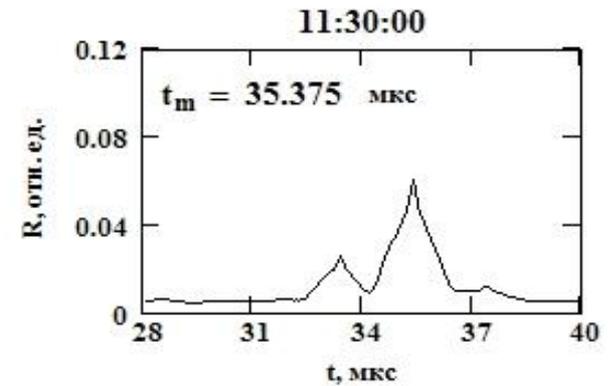
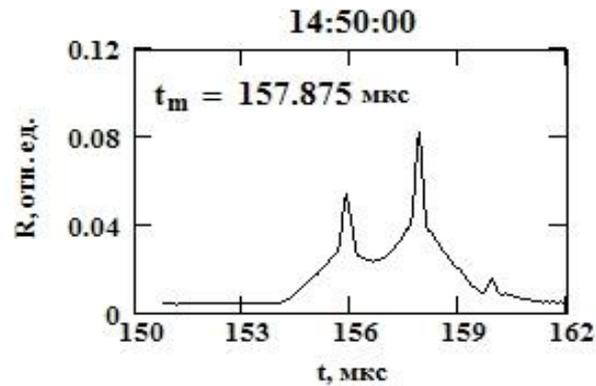
в



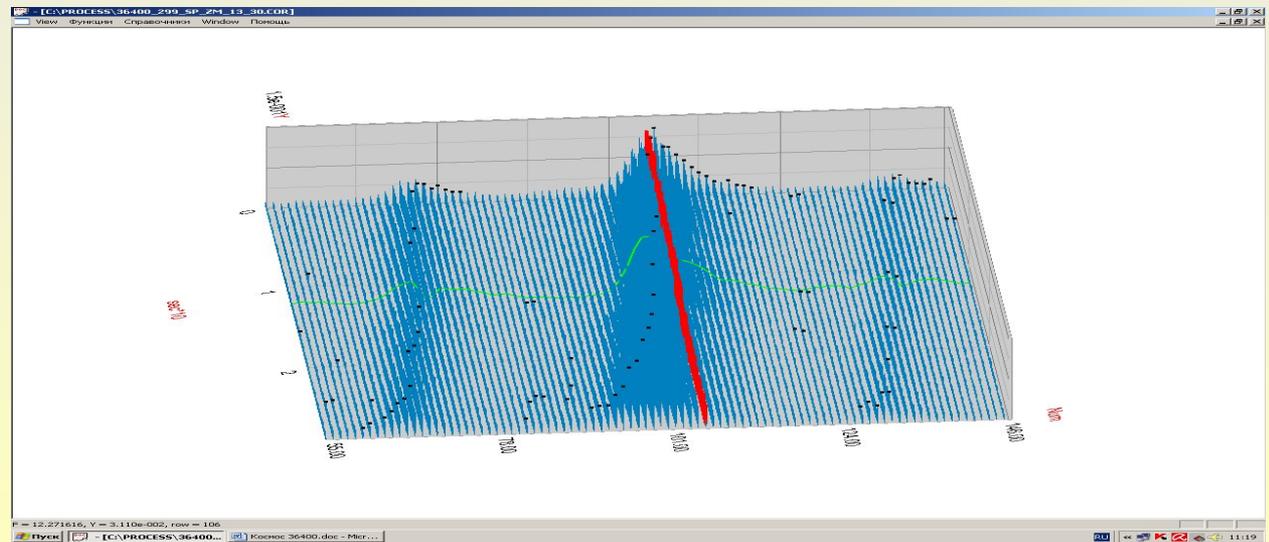
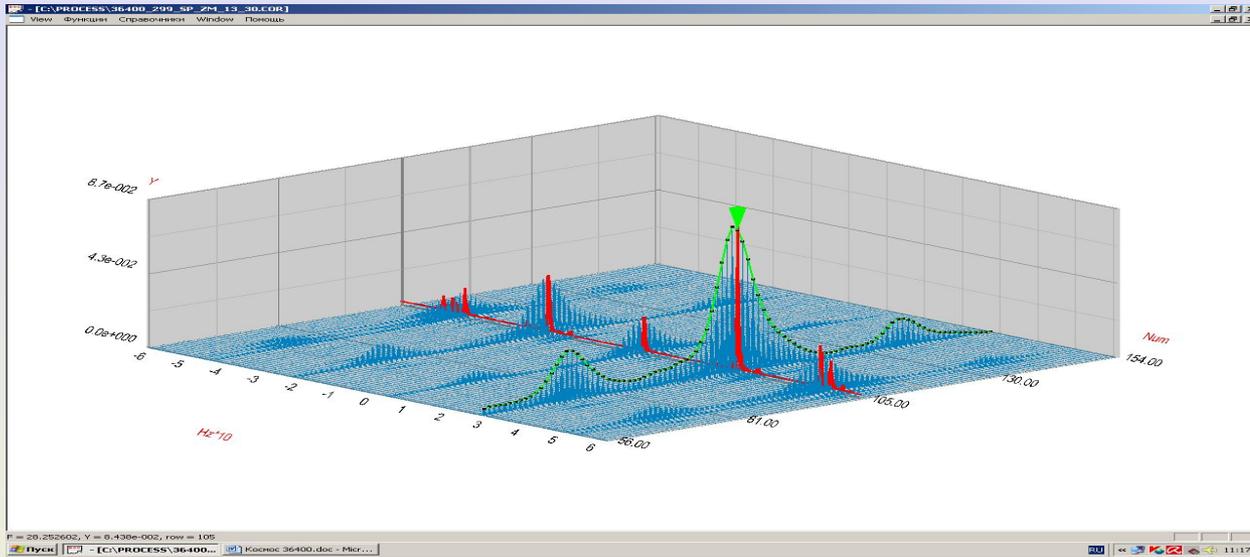
Космос 33467

Навстар 27663

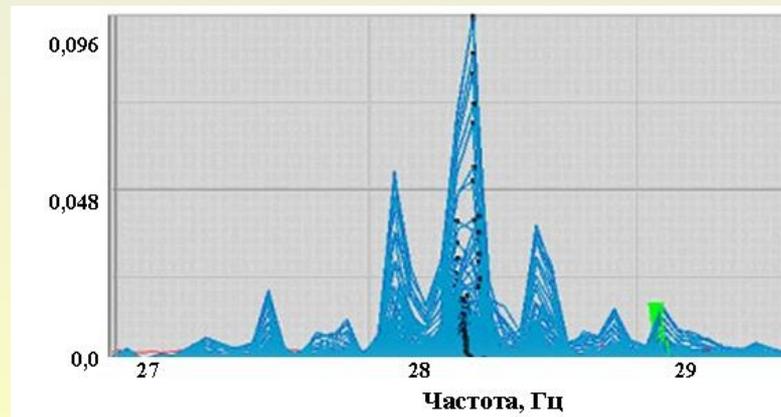
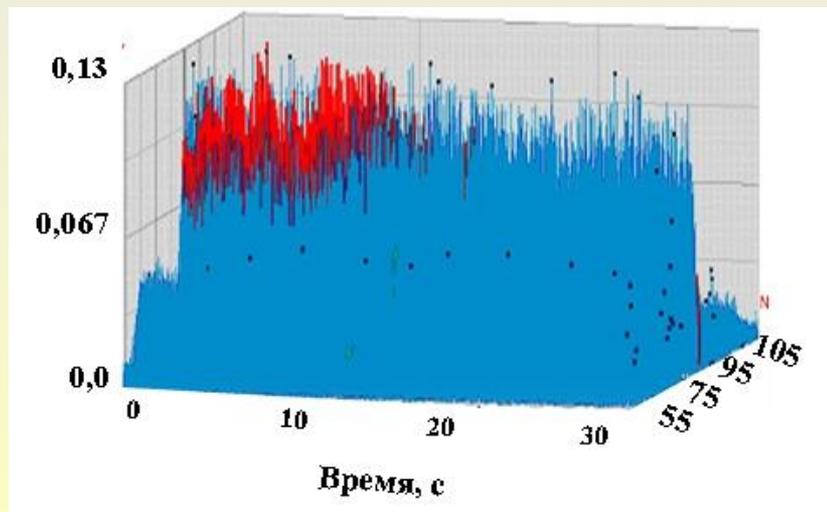
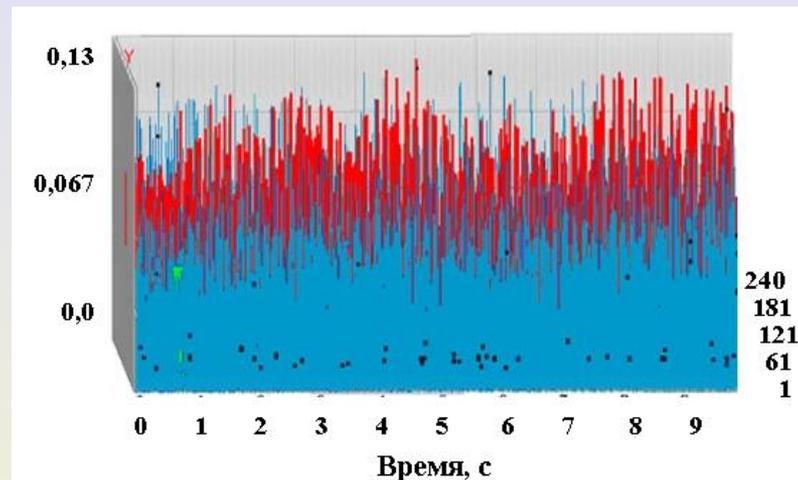
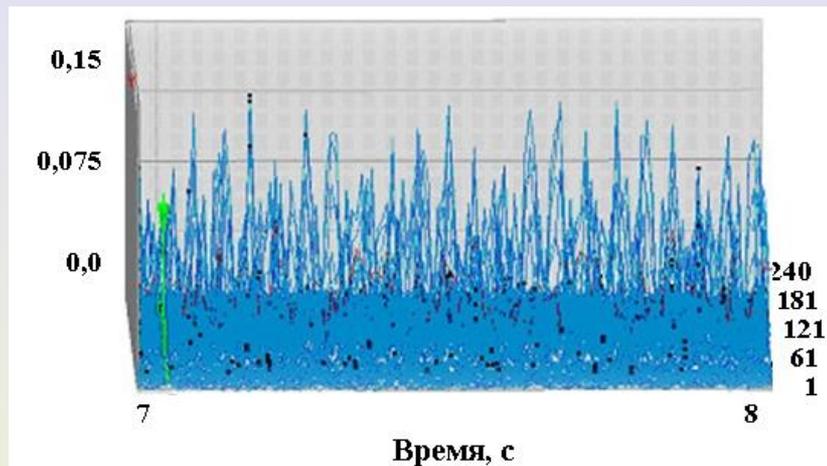
Корреляционная функция в зависимости от задержки для нескольких последовательных временных интервалов записи.



Визуализация результатов обработки



Зависимость амплитуды корреляционной функции от времени за 4 минуты пролета НКА СЗ6400 с дискретом 8 мс для выяснения влияния на результат обработки структуры кадра (30 с) и суперкадра (2,5 мин)



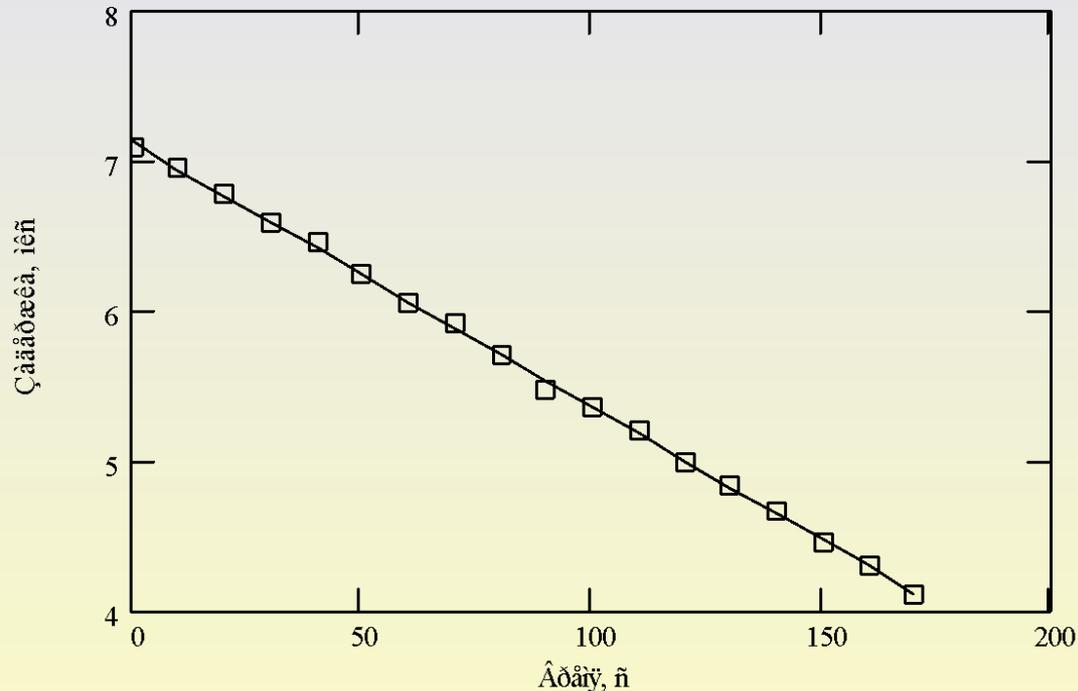
Результаты калибровки интерферометра

Объект	Время UT	Задержка τ , мкс	Расч.задержка τ , мкс	Разность, мкс
N 23953	10:10:00	+190.31	+172.92	17.39
N 26690	12:30:00	-152.50	- 169.83	17.33
N 27663	11:30:00	+ 35.38	+19.33	16.05
N 28474	10:30:00	+197.31	+179.73	17.58
N 29486	11:10:00	-132.75	- 146.82	14.07
N 29601	9:30:00	-41.69	- 59.92	18.23
N 34661	10:50:00	+23.44	+6.60	16.84
N 35752	9:50:00	+18.63	+0.21	18.42
C 33467	14:50:00	+157.88	+139.66	18.22
C 36402	14:10:00	-25.88	- 44.53	18.65
C 36400	13:30:00	+6.06	- 10.43	16.49
C 36111	13:51:00	-161.75	- 179.50	17.75

Есть постоянный временной сдвиг около 17.3 мкс (среднее значение), обусловленный инструментальной задержкой – рассинхронизацией временной привязки

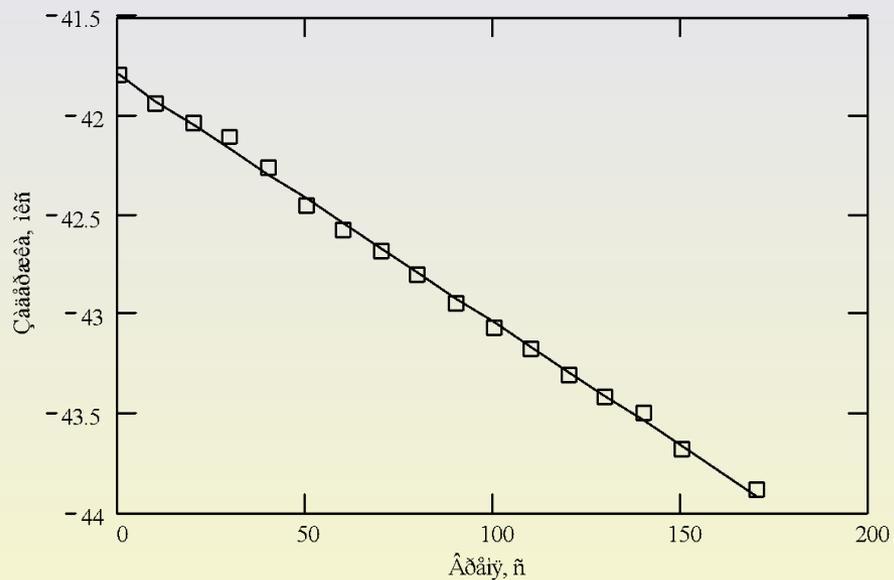
Зависимость изменения задержки от времени при наблюдении НКА "Космос 36400" (квадратами показаны значения задержки с точностью до одного дискрета, сплошной линией – уточненные аппроксимацией).

Идентификатор = " 36400, время: 13:29:00, задержка: 4.64 нс "

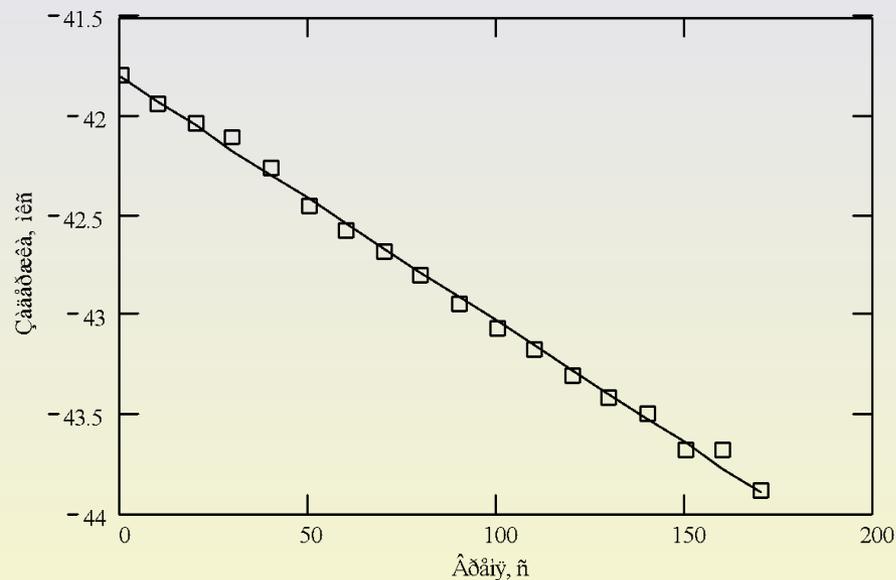


Погрешность измерения (дисперсия аппроксимации данных линейной функцией при числе точек 18) составила 4.64 нс или 1.4 м.

Зависимость изменения задержки от времени при наблюдении НКА «НАВСТАР 29601» (квадратами показаны значения задержки уточненные аппроксимацией).

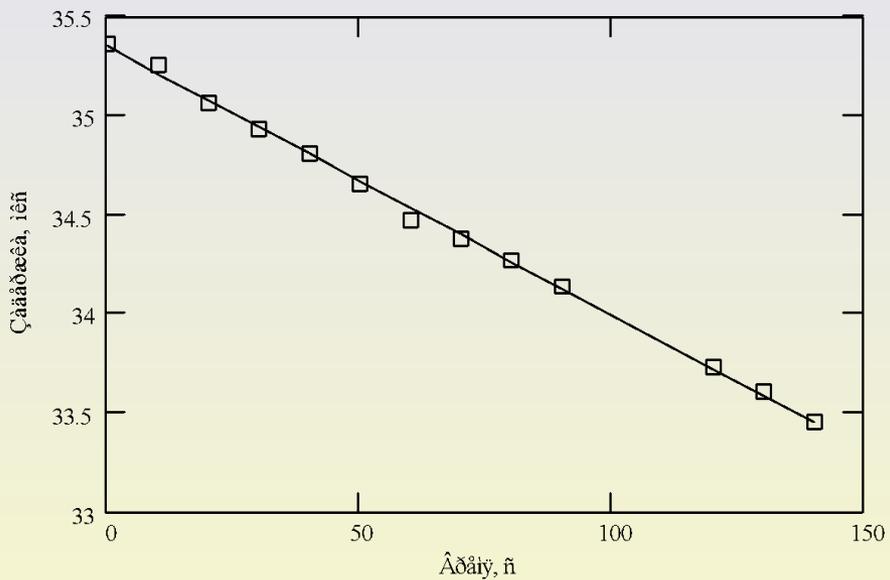


Время: 09:30:00, СКО 6.36 нс

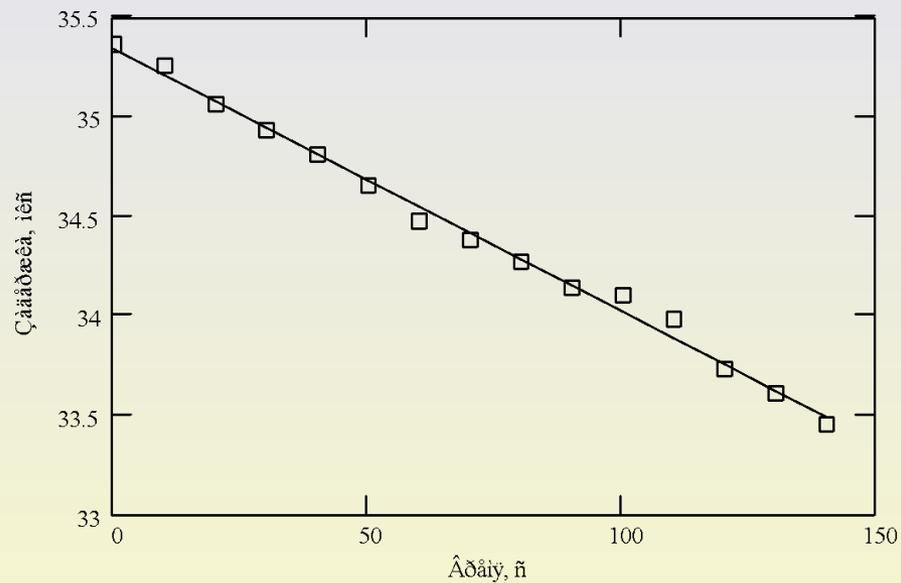


Время: 09:30:00, СКО 8.27 нс

Зависимость изменения задержки от времени при наблюдении НКА «НАВСТАР 27663» (квадратами показаны значения задержки уточненные аппроксимацией).



Время: 11:30:00, СКО 6.17 нс



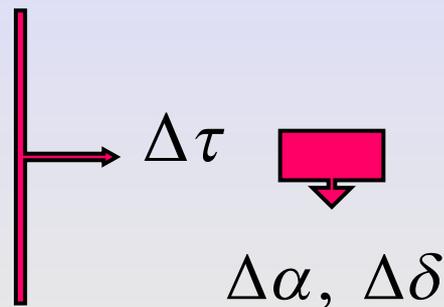
Время: 11:30:00, СКО 10.98 нс

Измерения координат НКА:

дифференциальный РСДБ-метод

$$\tau = \frac{1}{c}(\vec{R} \cdot \vec{B}) + \Delta t + \gamma(t - t_0) + \tau^{атм} + \tau^{аб} + \tau^{ант} + \tau^{зр}$$

$$\tau_{КА} = \frac{1}{c}(\vec{R}_{КА} \cdot \vec{B}) + \tau_{sf} + \Delta t + \gamma(t - t_0) + \tau_{КА}^{атм} + \tau_{КА}^{аб} + \tau_{КА}^{ант} + \tau_{КА}^{зр}$$

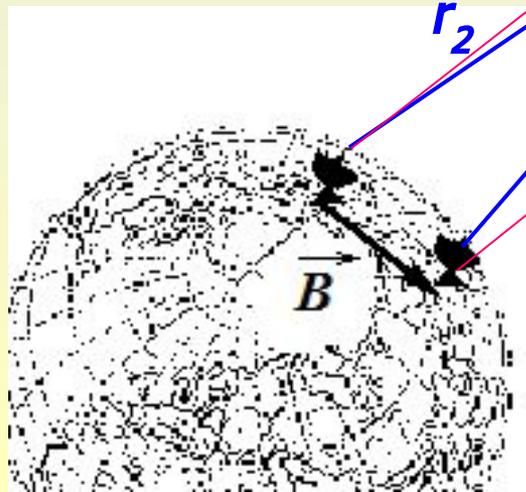


Точность

определения угловых
координат КА $< 0.01''$

(единицы метров для НКА)

 α, δ *International Celestial Reference Frame 2*



Дифференциальный метод – последовательное наблюдение КА и внегалактического источника, находящегося от КА на небольшом угловом расстоянии и привязанного к системе координат ICRF.

При обработке данных выполняется **определение угловых координат КА относительно положения опорных источников с точно известными координатами**

Поскольку данные о положении КА в РСДБ можно получить практически в реальном времени (10-15 минут), а влияние атмосферы нивелируется одновременным приемом на две антенны (флуктуации сигнала на близких трассах распространения примерно одинаковы), то метод РСДБ можно считать наиболее точным и эффективным методом определения положения КА.

Выводы

- Эксперименты, проведенные на РСДБ НИРФИ, показали, что сигналы НКА СРНС имеющие квазишумовой характер, позволяют проводить точные измерения задержки и частоты интерференции, несмотря на определенные особенности их структуры.
- Сигналы НКА СРНС можно использовать для высокоточного и оперативного определения ряда параметров приемной РСДБ аппаратуры и калибровки инструмента в целом.
- Радиоинтерферометры с независимым приемом могут эффективно использоваться для определения положения НКА СРНС при использовании полной полосы излучаемых сигналов.