



ФГУП «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПРЕЦИЗИОННОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»
(ФГУП «НИИ ПП»)

Шаргородский Виктор Даниилович
генеральный конструктор, ДТН, профессор



ЛАЗЕРНАЯ ДАЛЬНОМЕТРИЯ

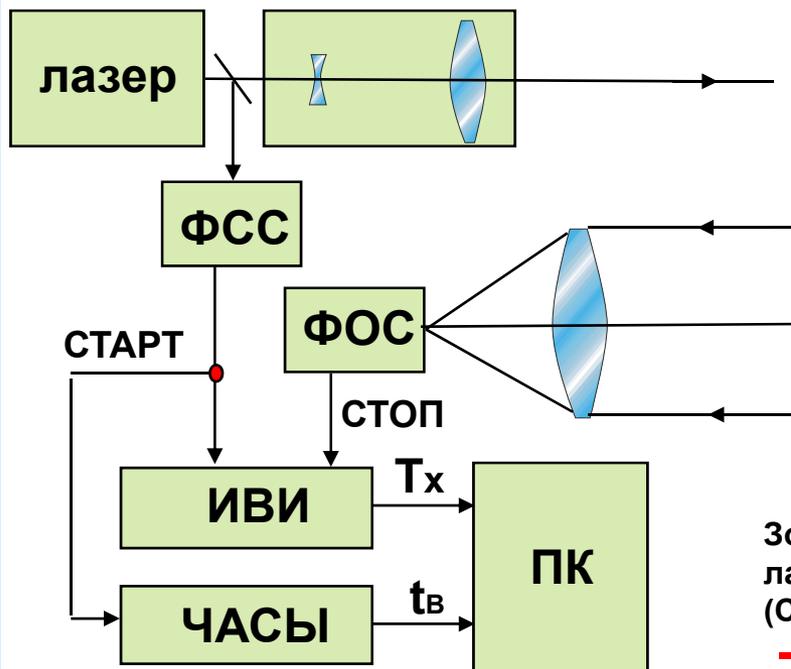


ЗАДАЧИ

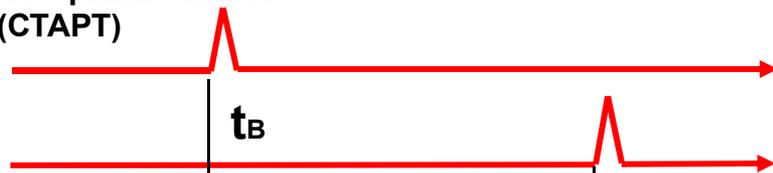
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

ПЕРСПЕКТИВЫ

Принцип действия лазерного импульсного дальномера



Зондирующий
лазерный сигнал
(СТАРТ)



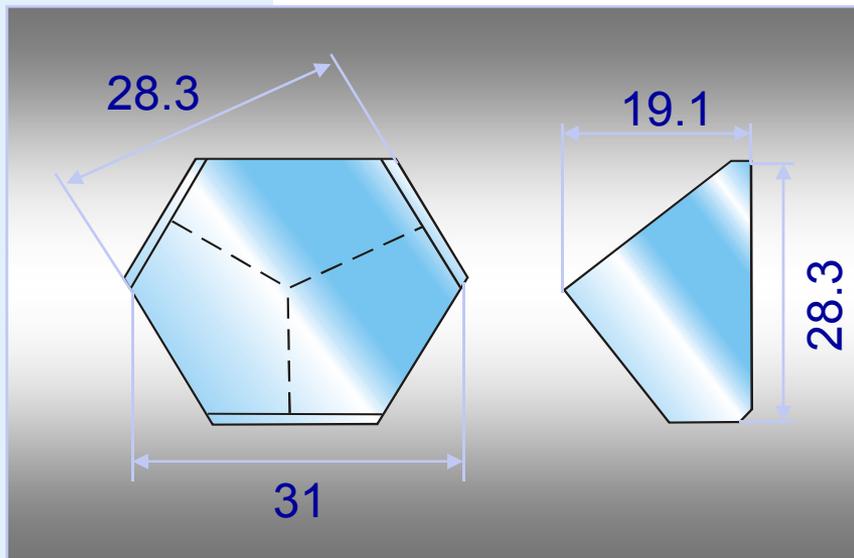
Отраженный
лазерный сигнал
(СТОП)

$$D = \frac{T_x \cdot c}{2} - \Delta D_{\text{АПП}} - \Delta D_{\text{Р}}$$

Основные области применения результатов лазерной дальнометрии КА

- Координатно-временное обеспечение КНС ГЛОНАСС
- Космическая геодезия и навигация
- Калибровка радиотехнических систем на этапе летных испытаний и в процессе эксплуатации
- Определение параметров вращения Земли (ПВЗ)
- Мониторинг движения тектонических плит, в том числе в интересах предсказания стихийных бедствий (землетрясения, цунами)
- Фундаментальные науки о Земле

Угловой отражатель для бортовых ретрорефлекторных систем НИИПП

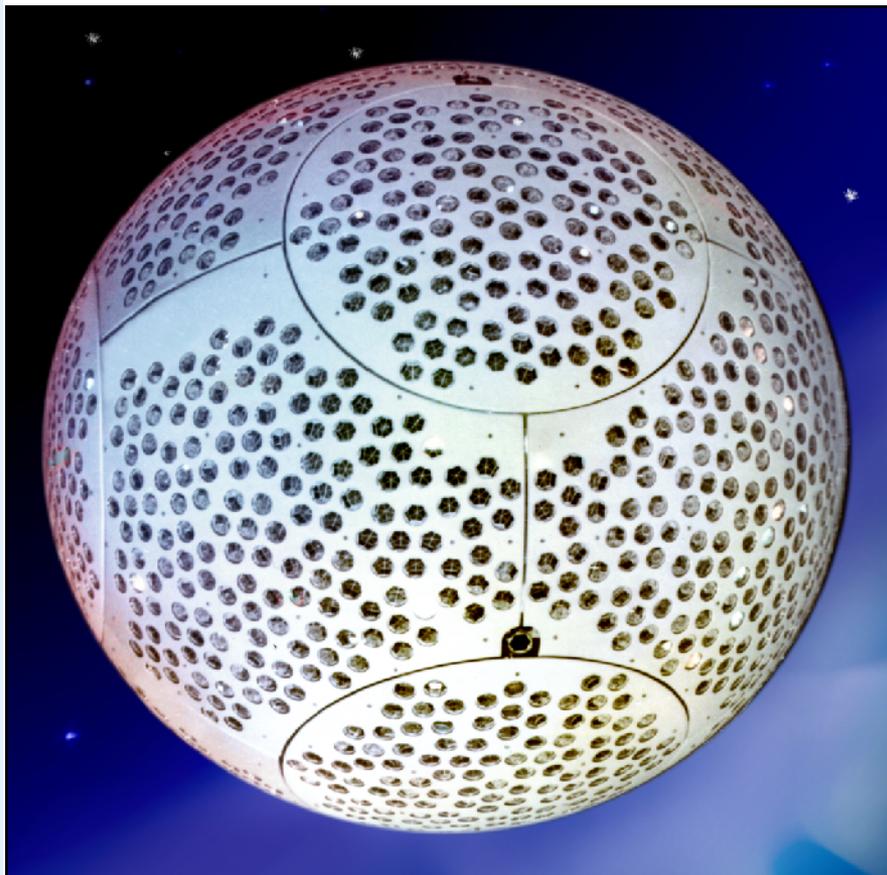


чертеж



внешний вид

Наиболее известные лазерные ретрорефлекторные системы производства ФНПЦ ФГУП «НИИ ПП»



Пассивный высокоорбитальный спутник «Эталон»

- два пассивных высокоорбитальных лазерных спутника Эталон-1,-2 для решения прикладных задач навигации;



Наиболее известные лазерные ретрорефлекторные системы производства ФНПЦ ФГУП «НИИ ПП»

- лазерные панели световозвращателей для эталонирования двух КА навигационного комплекса **GPS-35,-36 (США)**;
- лазерная ретрорефлекторная антенна для калибровки германской радиотехнической дальномерной системы **PRARE**;

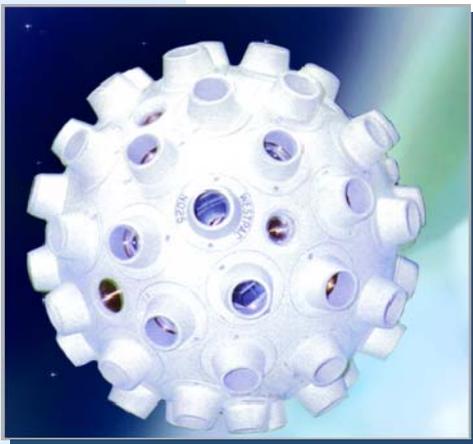


Панели световозвращателей для **GPS-35,-36 (США)**



Лазерная ретрорефлекторная антенна для системы **PRARE**

Наиболее известные лазерные ретрорефлекторные системы производства ФНПЦ ФГУП «НИИ ПП»



Westpac

Нопр = 60

H = 400 км



GFZ -1

Нопр = 60

H = 630 км

- пассивный низкоорбитальный лазерный спутник GFZ-1, изготовленный для Потсдамского Геофизического Центра (Германия), решает задачу измерения высших гармоник гравитационного поля Земли;

- российско-австралийский спутник WESTPAC с рекордной «ошибкой цели» порядка 0,5 мм для изучения гравитационного поля Земли и краткосрочного прогноза землетрясений при помощи высокоточных измерений дальности до КА;

Пассивный низкоорбитальный лазерный спутник



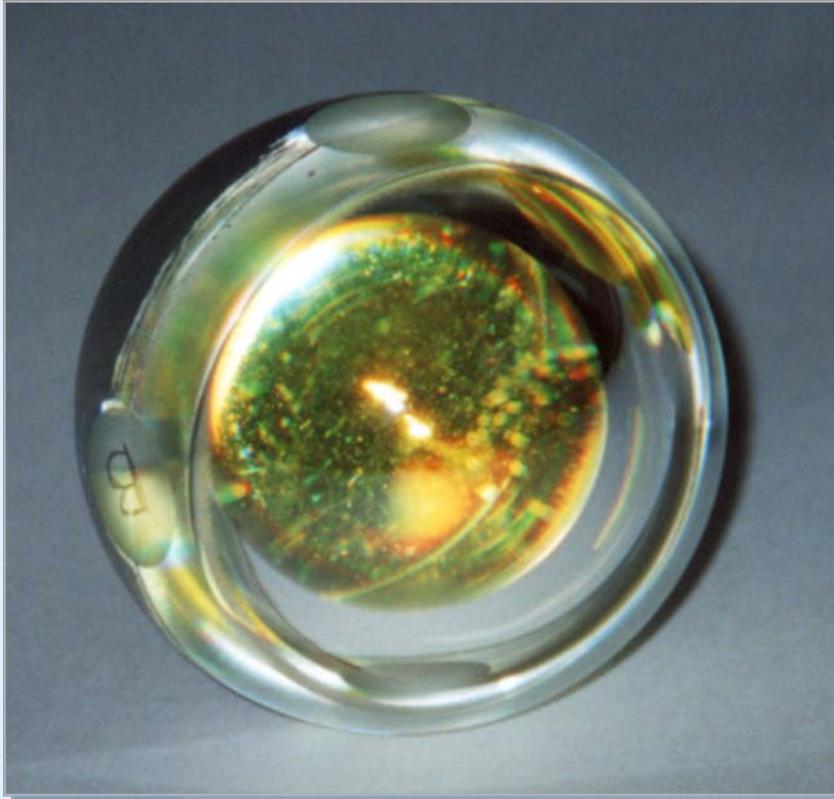
Министр обороны Сергей Иванов представляет президенту РФ Владимиру Путину и президенту Франции Жаку Шираку прецизионный лазерный спутник «Ларец»

Ларец



Высота орбиты 690 км
Используется для решения научных и прикладных задач в интересах геодезии и геодинамики

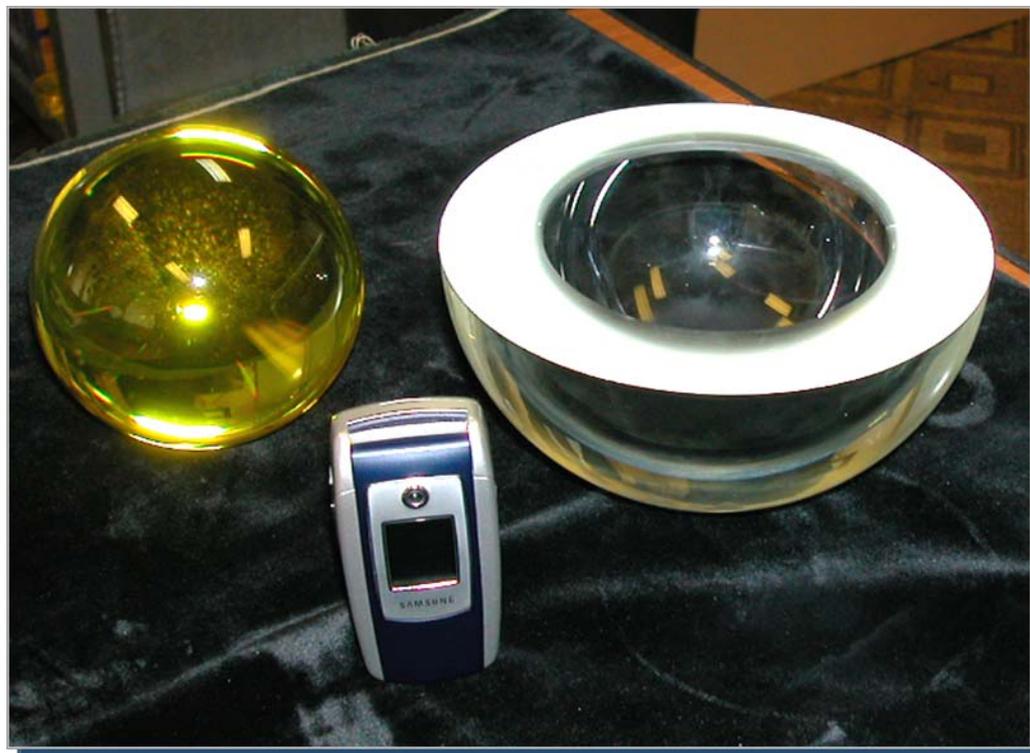
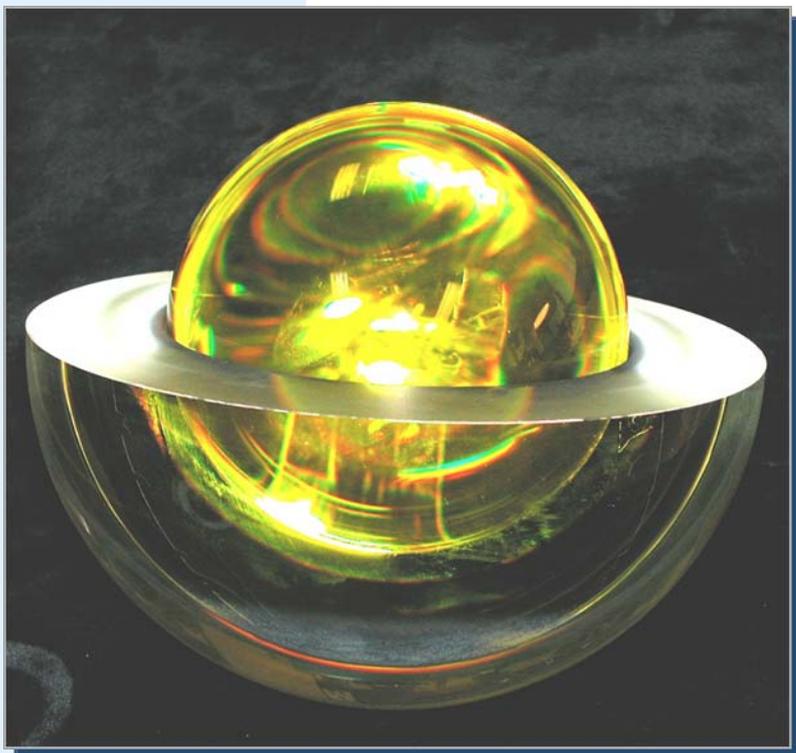
Наиболее известные лазерные ретрорефлекторные системы производства ФНПЦ ФГУП «НИИ ПП»



**Внешний вид сферического
ретрорефлектора**

- начаты работы по созданию новейшего поколения пассивных лазерных мини-спутников. Разработан, изготовлен на собственном оптическом производстве и запущен в космос первый в мире сферический стеклянный лазерный ретрорефлектор $\varnothing 60$ мм с «ошибкой цели» 0,1 мм.

Автономный сферический спутник-ретрорефлектор (в процессе сборки)

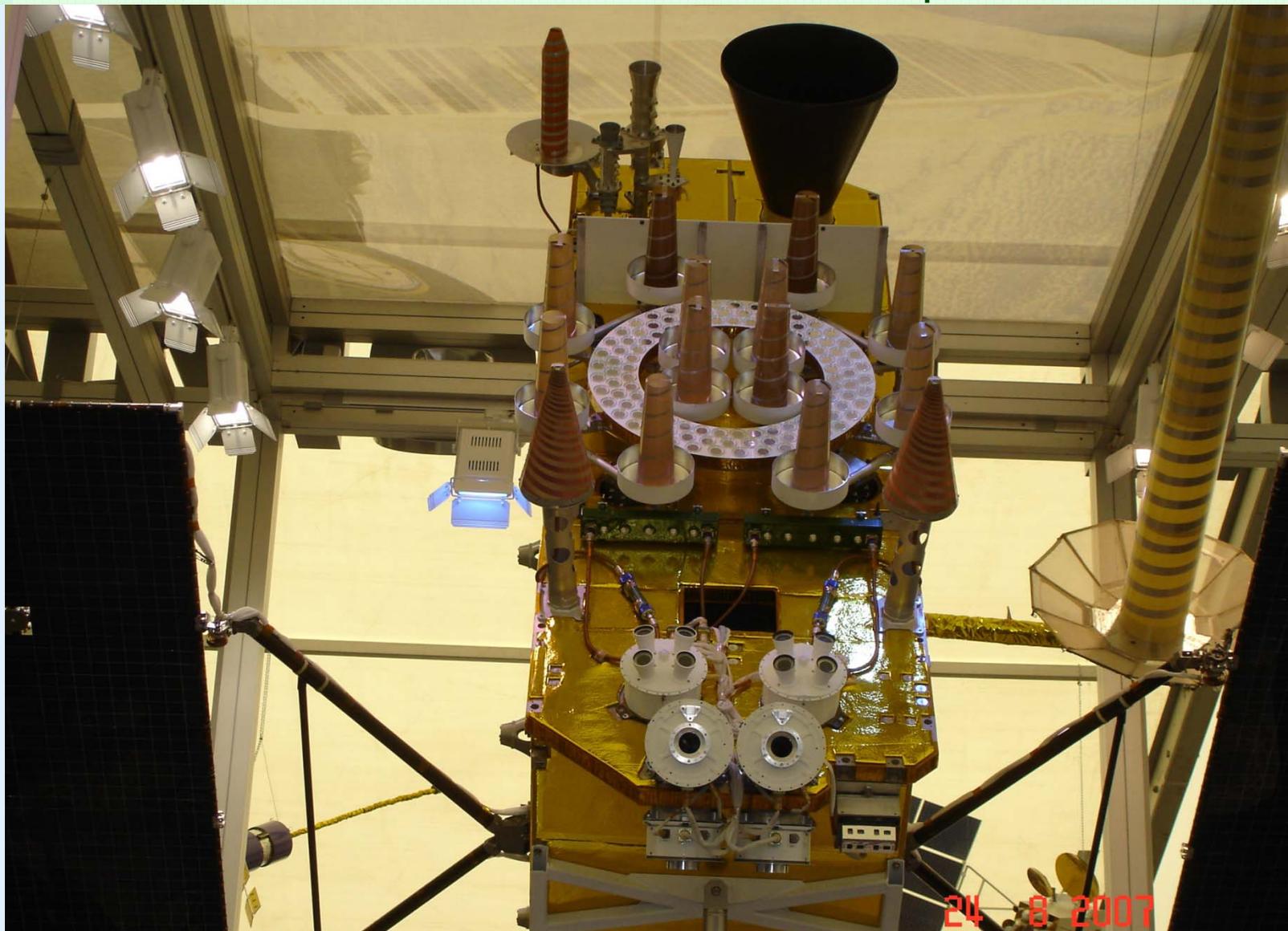


Ретрорефлекторные оптические системы разработки ФГУП «НИИ ПП», установленные на КА

Тип КА	Высота орб. км	Год запуска	Кол. КА	Кол. СВ на КА	Размер системы ретрорефлт.,мм
Салют – 4 (Россия)	350	1975	1	42	184x168x47
Цикада – 11,-13 (Россия)	1 000	1976	2	280	235x145x110
Метеор – 1 (Россия)	950	1976	2	70	Ø585x210
Молния – 1С (Россия)	40 000	1976	1	70	504x318x510
Радуга (Россия)	40 000	1976	2	50	306x255x248
ГЕОИК (Россия)	1 500	с 1981 г. по н. вр.	12	396	Ø ₁ 1960 - Ø ₂ 1410 (кольц. зона)
ГЛОНАСС (Россия)	20 000	с 1981 г. по н. вр.	>50	692	1330x1010
Эталон - 1, -2 (Россия)	620	1989	2	2142	Ø1294
Ресурс – 0 (Россия)	620	1992	1	2	200x160x90
Метеор – 2 (Россия)	950	1993	1	3	196x66x96
GPS - 35, - 36 (США)	20 000	1993/1994	2	32	239x194x50
Метеор-3 (Россия - Германия)	1 200	1994	1	24	Ø280x100
GFZ-1 (Германия)	400	1995	1	60	Ø215
Зея (Россия)	475	1997	1	20	Ø968
WESTPAC (Австралия)	835	1998	1	60	Ø245
ГЛОНАСС-М (Россия)	19 100	2000	1	132	Ø ₁ 660-Ø ₂ 380
Рефлектор (Россия - США)	1 020	2002	1	32	1445x620x560
Сферический ретрореф-лктор на КА Метеор-3М-1	1 020	2002	1	-	Ø88x64
ГЛОНАСС 14Ф17	19 100	2002	1	124	804x804(крест. зона)
Ларец	690	2003	1	60	Ø215
Можаец	690	2003	1	6	Ø88x64
ГЛОНАСС М2	19 100	2003	1	112	Ø ₁ 510-Ø ₂ 311
ГЛОНАСС	19 100	2003	2	132	Ø ₁ 660-Ø ₂ 380

Космический аппарат «ГЛОНАСС - М»

с установленными на нем 112 ретрорефлекторами
с общей ЭПР ≈ 80 млн.м²



Терминал межспутниковой лазерной навигационно-связной системы для КА «Глонасс-М».



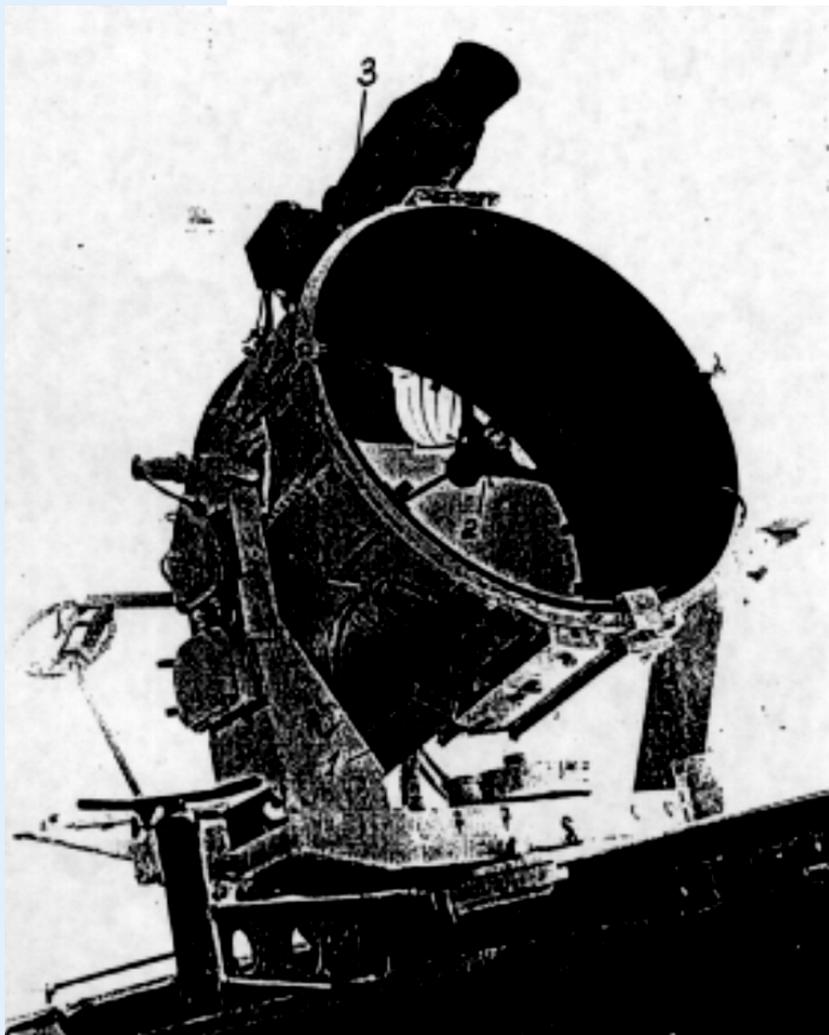
Терминал может быть использован в качестве основы при создании оптического метрологического средства для БИС

*Дата запуска: 2008 г.
(39 блок)*

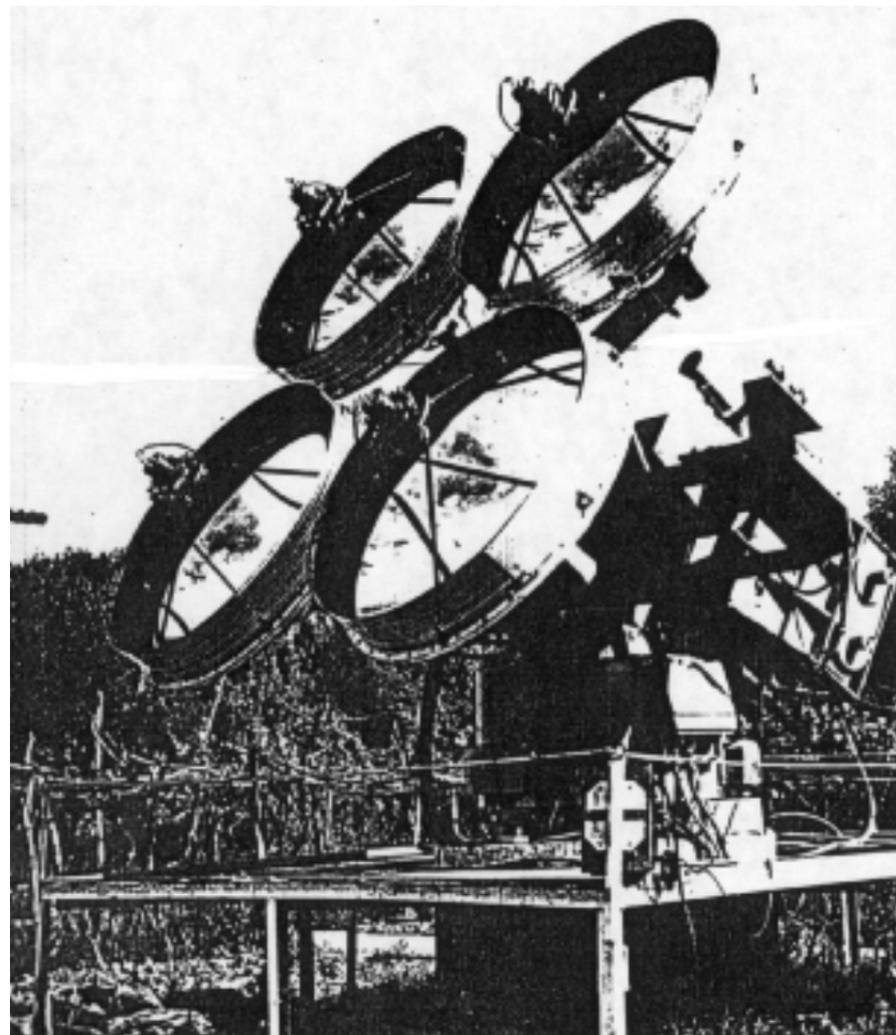
Характеристика изделия	Параметр
Дальность действия	от 300 до 55 000 км
Погрешность измерения дальности	не более 10 см
Погрешность определения относительных сдвигов между приборными шкалами времени двух космических аппаратов	не более 1 нс
Скорость передачи информации	50 кБит/с
Зона перенацеливания	полусфера
Погрешность пеленгатора	не более 15"
Ширина диаграммы направленности лазерных передатчиков информационного / маяка	не более 5'/2°
Погрешность взаимного наведения терминалов МЛНСС	не более 1'
Скорость программного перенацеливания	~ 10 /с по каждой координате
Масса серийного образца	не более 18 кг
Длительность цикла проведения сверки БШВ всех КА системы	не более 2,5 мин

ЭТАПЫ СОЗДАНИЯ ЛАЗЕРНЫХ ДАЛЬНОМЕРОВ

1967 г.



ЛД «СКОЛ-1» (г. Евпатория)



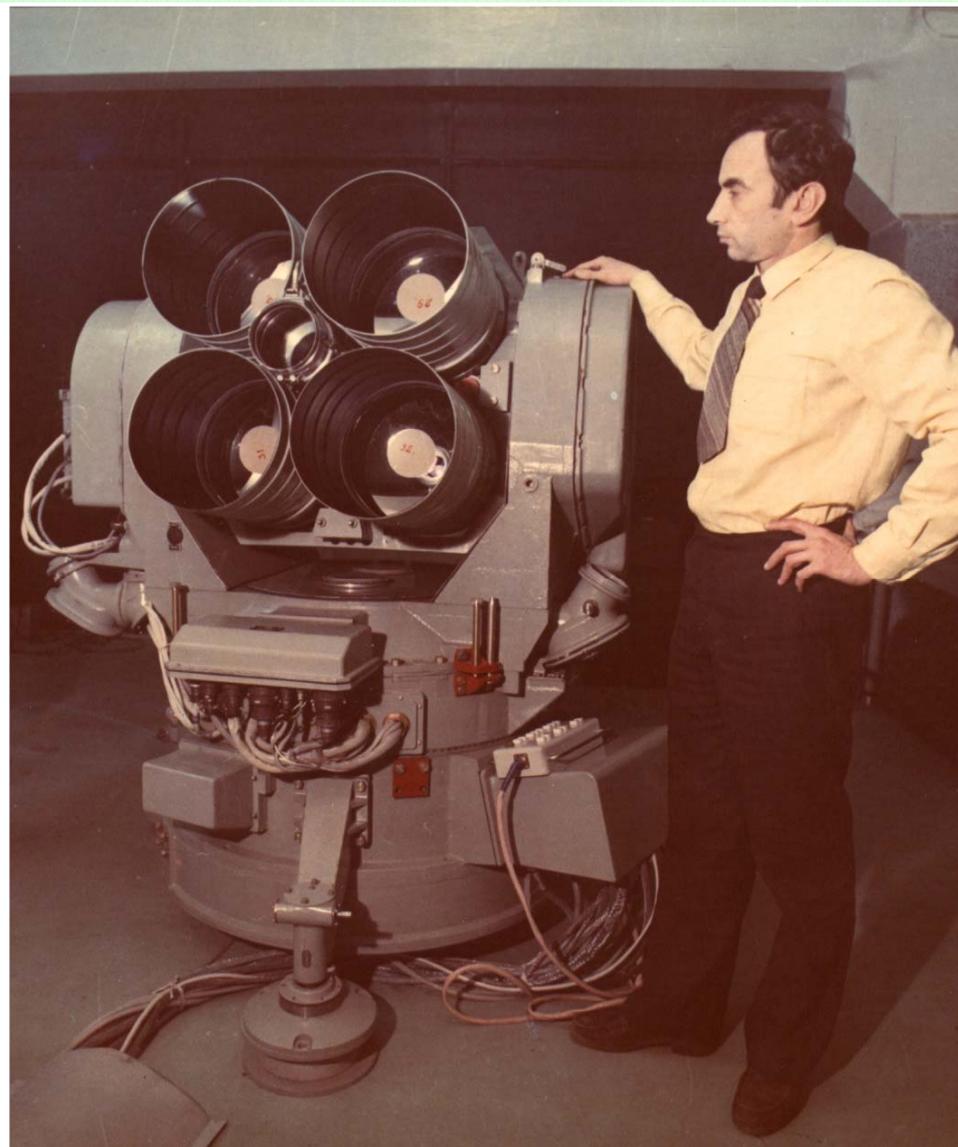
ЛД «СКОЛ-2» (г.Китаб)

Оптическая антенная установка ЛД «САЖЕНЬ-2» космического геодезического комплекса ГЕОИК (1980 г.)

Наклонная дальность – до 3000 км

Погрешность измерения – 20 см

Изготовлено 25 комплектов



Квантово-оптическая система «САЖЕНЬ-С»



Телескоп траекторных измерений
 $\varnothing 0,5\text{м} \times 2$

Техническое сооружение



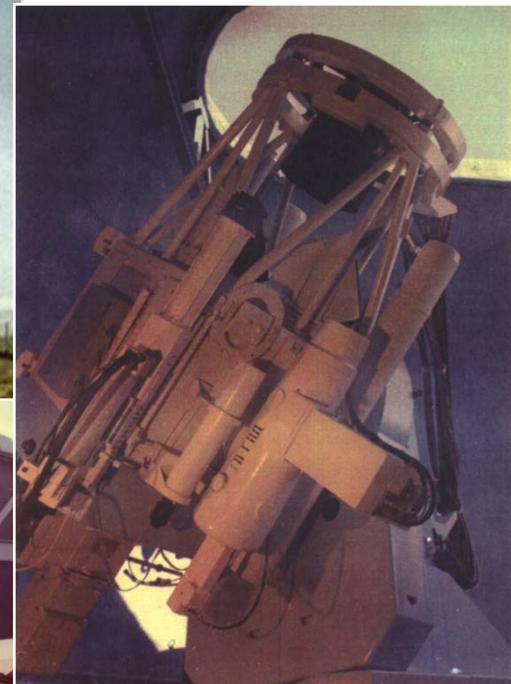
СТАНЦИЯ ЛАЗЕРНОЙ ДАЛЬНОМЕТРИИ НА ГОРЕ МАЙДАНАК (Узбекистан)

Внешний вид станции «Майданак»

Высота над уровнем моря 2750 м.



Внешний вид
телескопов $\varnothing 1,1\text{м} \times 2$
Введена в 1980 г.



Унифицированная квантово-оптическая система «Сажень-Т»

Стационарный вариант исполнения системы



Телескоп траекторных измерений



Укрытие телескопа траекторных измерений



Оперативный центр. Рабочие места операторов

Дальность	Угловые координаты	Фотометрия
<p>Высота орбит КА: до 36000 км</p> <p>СКО нормальных точек: 0,5 – 1 см</p>	<p>Видимая звездная величина не слабее: 14^m</p> <p>СКО измерений: 1 – 2 угл.с.</p> <p>для КА с угл. скоростями до 40 угл.с./с</p>	<p>Видимая звездная величина не слабее 13^m</p> <p>СКО определения яркости: не более 0,2^m</p>

УНИФИЦИРОВАННАЯ ТРАНСПОРТИРУЕМАЯ КВАНТОВО-ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

«САЖЕНЬ-ТОС»

Количество обслуживающего персонала: 6 чел.

Система в нерабочем положении (в укрытии)



Система в рабочем положении



Рабочая площадка с установленным на ней оборудованием, контейнерами и телескопом

Дальность	Угловые координаты	Фотометрия
<p>Высота орбит КА: до 36000 км</p> <p>СКО нормальных точек: 0,5 – 1 см</p>	<p>Видимая звездная величина не слабее: 14^m</p> <p>СКО измерений: 1 – 2 угл.с.</p> <p>для КА с угл. скоростями до 40 угл.с/с</p>	<p>Видимая звездная величина не слабее 13^m</p> <p>СКО определения яркости: не более 0,2^m</p>

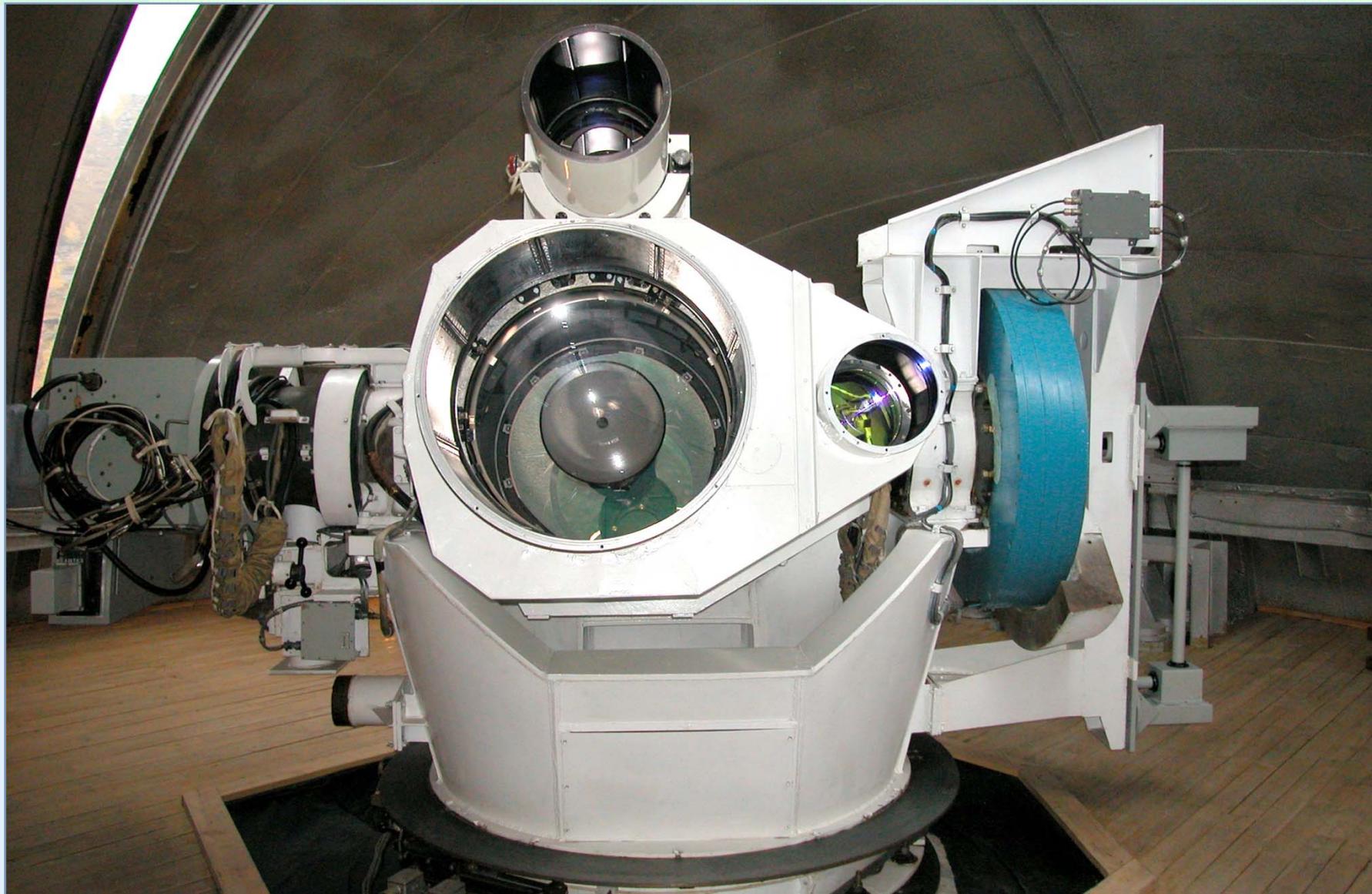
Алтайский оптико-лазерный центр (АОЛЦ)

Алтайский край, Змеиногорский район, село Саввушка.
Среднегодовое количество рабочих ночей: 178. Нижняя площадка,
расположена на высоте 300 м, на ней размещена наземная оптико-лазерная
система (НОЛС) с 60 см телескопом траекторных измерений (ТТИ).



НИЖНЯЯ ПЛОЩАДКА АОЛЦ

Телескоп траекторных измерений в укрытии



Получение видовой информации о низкоорбитальных КА адаптивной оптической системой



Aura
14.08.05
00.42mck
УМ 67
Д 720 км

Lacrosse2
14.08.05
21.22mck
УМ 51
Д 816 км

Uars
14.08.05
01.43mck
УМ 71,8
Д 675 км

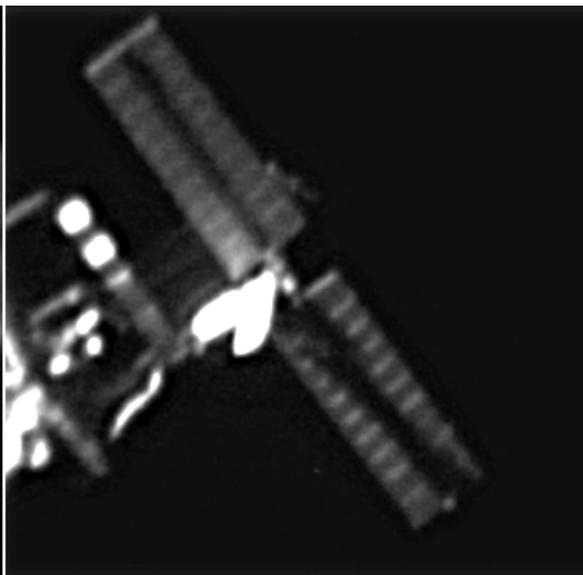
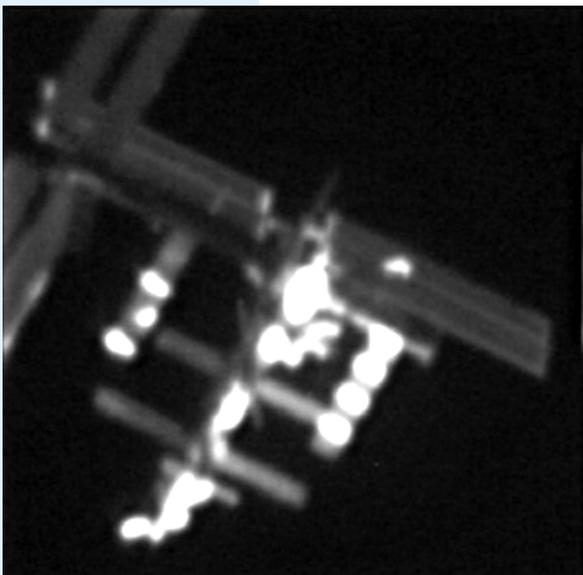
Terra
14.08.05
20.22mck
УМ 85,5
Д 712 км

Cosmos 2084
04.08.05
23.56mck
УМ 70,9
Д 548 км

ERS2
02.08.05
20.09 mck
УМ 78,5
Д 823 км

Cosmos 1975
14.08.05
23.42mck
УМ 71
Д 623 км

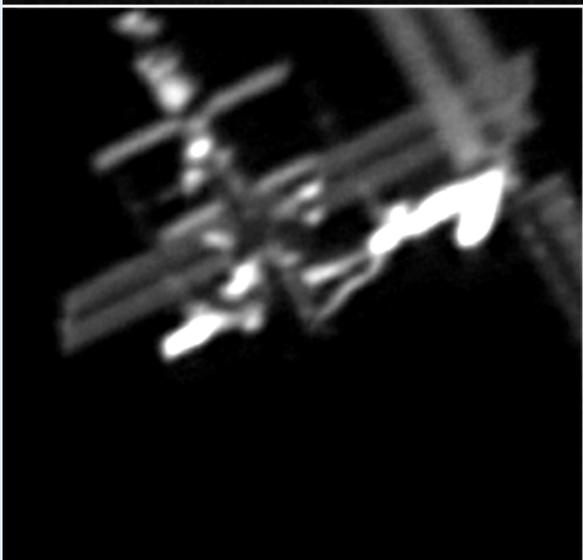
Результаты наблюдений международной космической станции с использованием штатного образца 28-канальной адаптивной системы, полученные на НОЛС ТТИ АОЛЦ



26. 10. 2006 г.

Дальность в
кульминации

450 км



Высота в
кульминации 45°

ОБЩИЙ ВИД ВТОРОЙ ОЧЕРЕДИ АОЛЦ (проект)

Количество технического персонала: 20 чел.



Верхняя площадка на высоте 650 м, на которой размещена НОЛС с телескопом информационным ($D=3.12$ м).

Малогабаритная модульная квантово-оптическая система (ММКОС) «Сажень-ТМ»

Применена модульная конструкция, состоящая из:

базовой части, включающей:

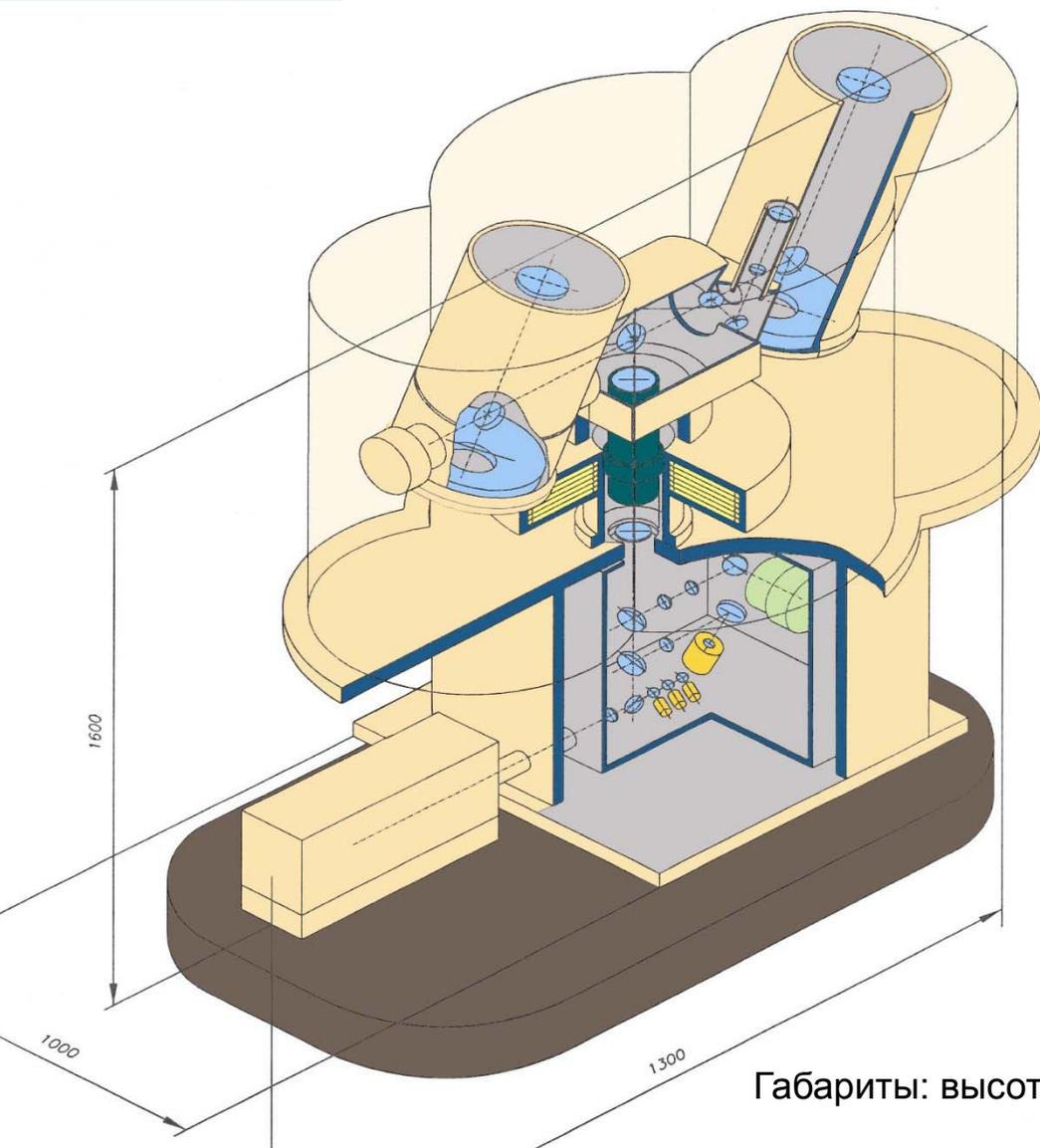
- унифицированное опорно-поворотное устройство (ОПУ)
- систему наведения на базе моментных двигателей
- вычислительно-управляющий комплекс
- СЕВ на базе «дисциплинированного» СЧВ
- аппаратуру передачи данных
- метеоаппаратуру

переменной части, включающей набор измерительных модулей которые определяют три основных варианта исполнения системы:

- видеотеодолит
- лазерный локатор КА
- многофункциональная модульная КОС для полигонов и космодромов

Для всех вариантов исполнения: время разворачивания и подготовке к работе не более 1 часа; вес каждой составной части в штатной упаковке не более 50 кг; общий вес аппаратуры не более 300 кг; объем аппаратуры – один автомобильный кунг; количество обслуживающего персонала – 2 человека.

Вариант исполнения: лазерный локатор



СКО нормальных точек при измерении дальности до КА с высотами орбит ночью от 400 до 23 000 км, днем до 6000 км

**не хуже
1 см**

СКО измерений угловых координат освещенных солнцем КА при их блеске ярче 14 зв.вел. (в зависимости от угловой скорости сопровождения КА).

**1–2
угл.с**

СКО измерений уровня отраженного от КА солнечного излучения при блеске КА ярче 10 зв.вел

**не
более
0,2 зв.
вел**

Габариты: высота – 1,6 м; длина – 1,3 м; ширина – 1,0 м

Квантово-оптическая система «Сажень-ТМ». Вариант исполнения: лазерный локатор.

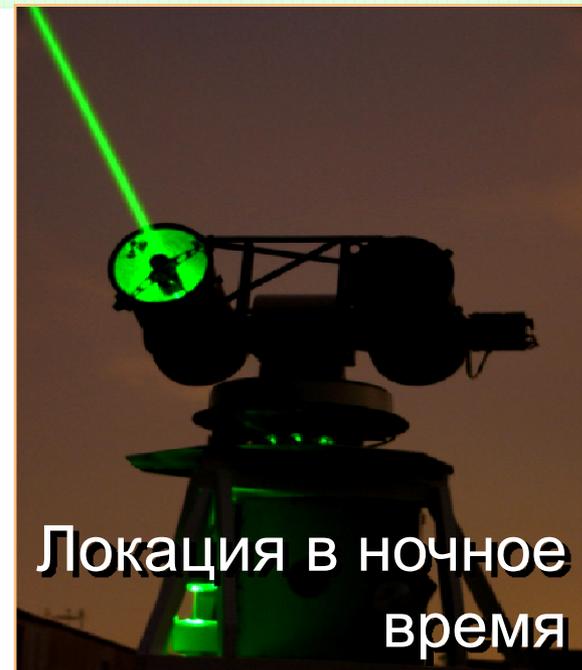


Дальность	Угловые координаты	Фотометрия
<p>Высота орбит КА: до 23000 км, СКО нормальных точек: 0,5 – 1 см</p>	<p>Видимая звездная величина не слабее: 12^m СКО измерений: 1 – 2 угл.с. для КА с угл. скоростями до 40 угл.с./с</p>	<p>Видимая звездная величина не слабее 11^m СКО определения яркости: не более 0,2^m</p>

Малогабаритная модульная КОС «Сажень-ТМ»



Локация в дневное время



Локация в ночное время

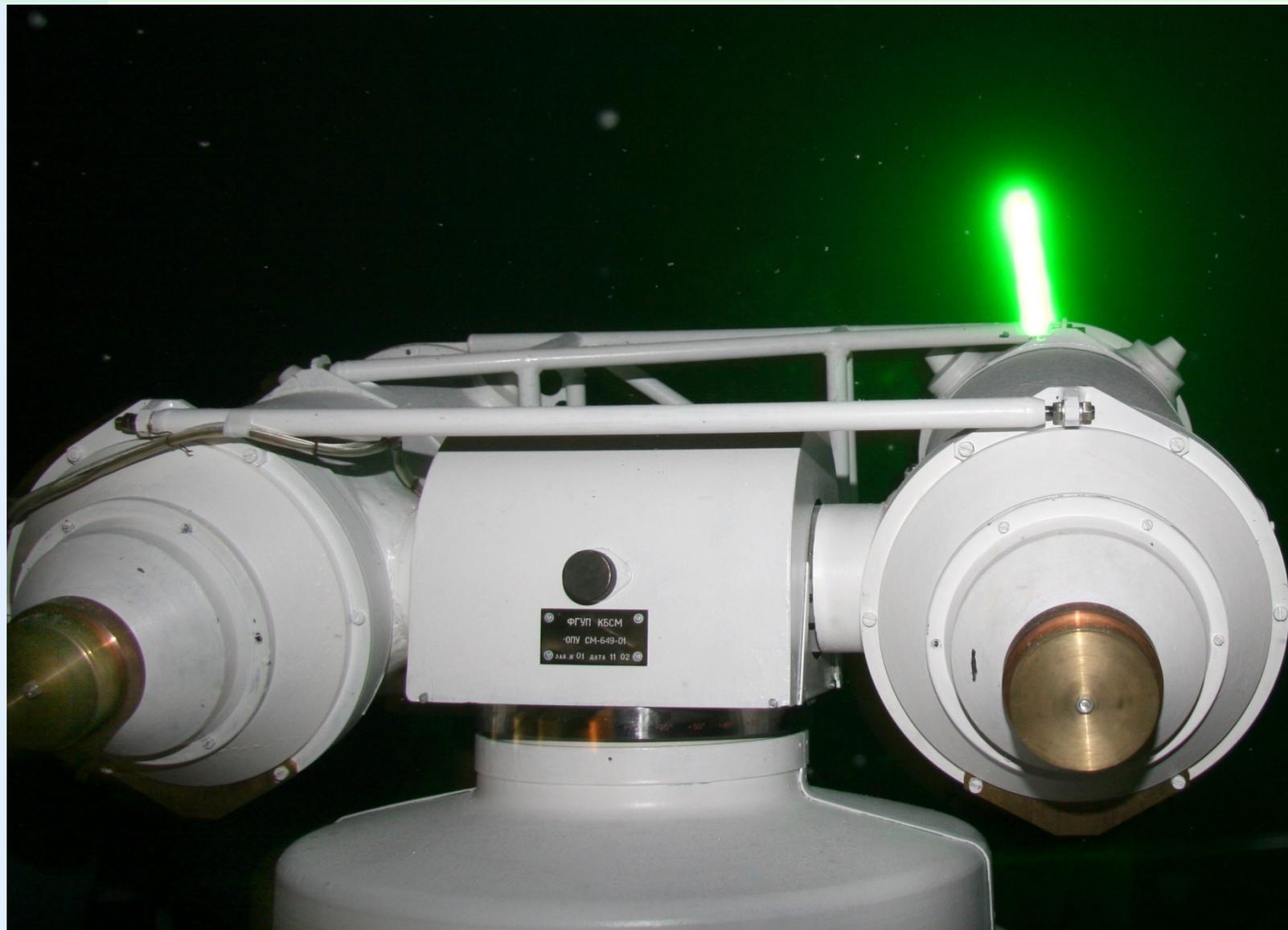


Укрытие

Частота зондирования	300 Гц
Длительность импульса	150 пс
Энергия в импульсе	2,5 мДж
Расходимость излучения	5 угл.с
Диаметр приемной апертуры	2x25 см
СКО измерения дальности	3 см
СКО измерения угловых координат	2 угл.с

Квантово-оптическая система «Сажень-ТМ».

Вариант исполнения: лазерный локатор.

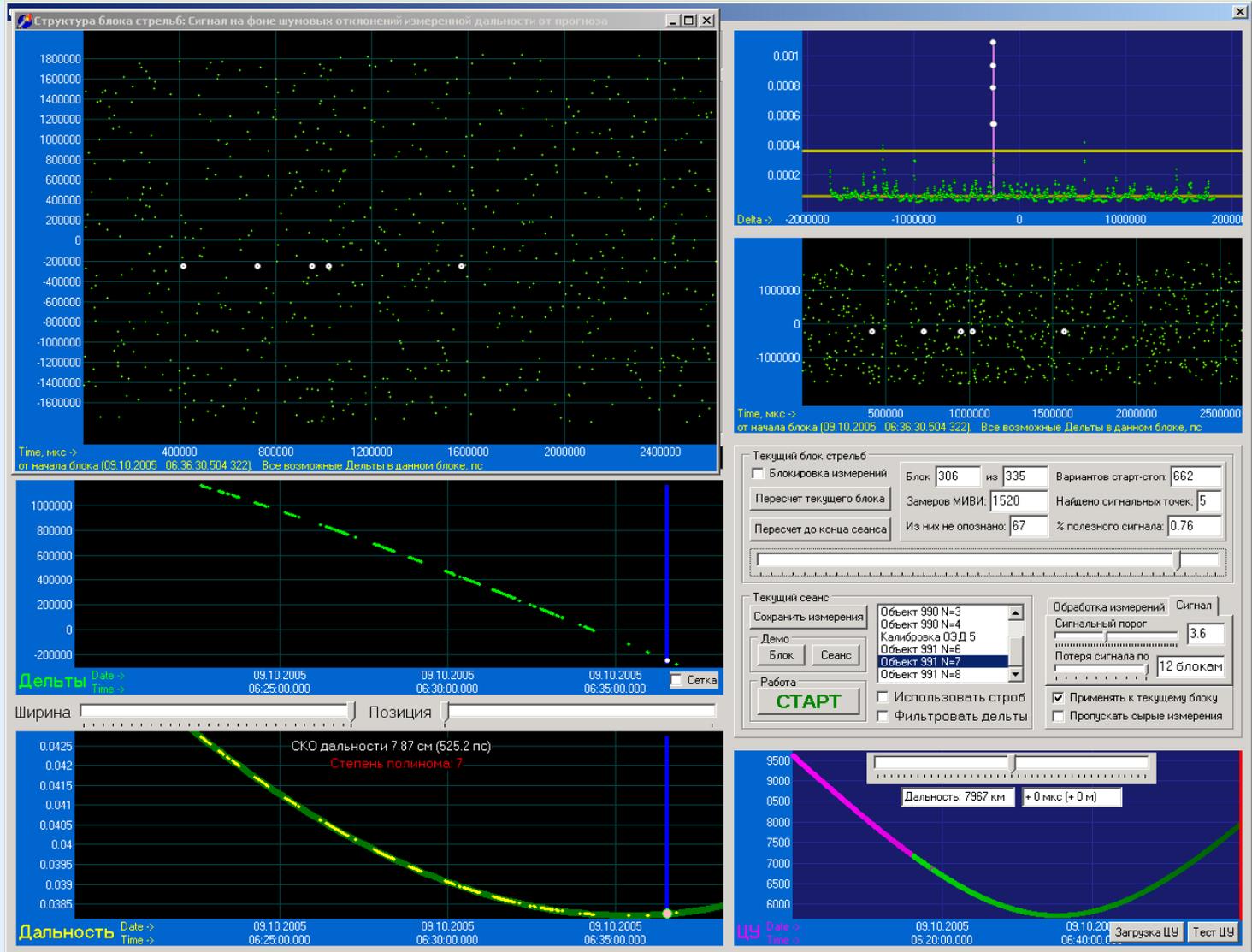


ММКОС «Сажень-ТМ», вариант исполнения: лазерный локатор. Электронная аппаратура.





Виртуальная панель управления лазерным дальномером. Локация в дневное время. Спутник Лагеос



Обеспечение высокоточного наведения

- СКО наведения навесной аппаратуры на цель составляет 2 - 40 угл. с в зависимости от скорости сопровождения;
- в системе наведения используются высокомоментные двигатели (с максимальными моментами 5Н/м по УМ приводу; 14Н/м по АЗ приводу) и цифровой электросиловой привод;
- в контуре управления используется датчик угол-код выполненный на индуктосине ВТ-100 и 21-разрядном цифровом преобразователе с разрешением 0,6 угл.с. В настоящее время ведутся работы по переходу на использование оптического датчика угол-код.

Российская сеть лазерных станций (2007г.)



- КОС 14Ц25 г.Щелково, Московская обл.
- КОС 14Ц213 г.Комсомольск-на-Амуре
- КОС 14Ц218 г.Змеиногорск, Алтай
- КОС 14Ц214 г. Байконур, Казахстан (мобильный комплекс)
- КОС 14Ц212 п.Нижний Архыз, Сев.Кавказ (новая разработка)
- КОС «Сириус» , гора Майданак, Узбекистан (по межправительственному соглашению)

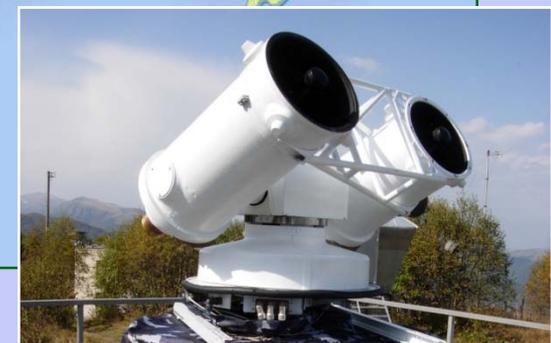
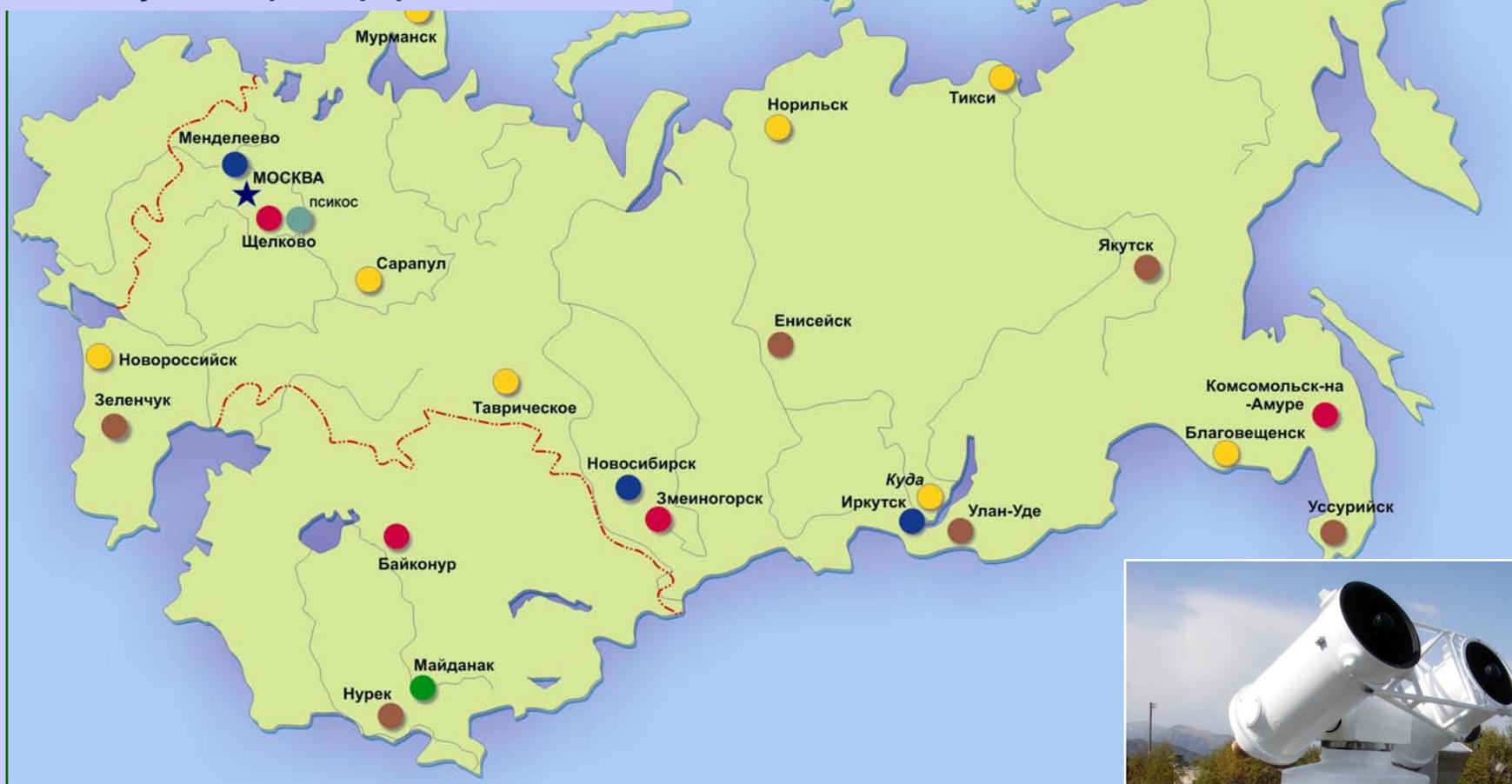
На ближайшие 5 лет запланировано изготовление около 17 комплектов ММКОС 14Ц212, в том числе 6 комплектов для нужд Федерального космического агентства

РОССИЙСКАЯ СЕТЬ ЛАЗЕРНЫХ СТАНЦИЙ

(2011г.)

- - КОС, эксплуатирующиеся в настоящее время
- - КОС для оснащения АГП
- - КОС, заказанные ФКА для НКУ «ГЛОНАСС»
- - КОС, заказанные Госстандартом
- - Пункт сбора информации от КОС

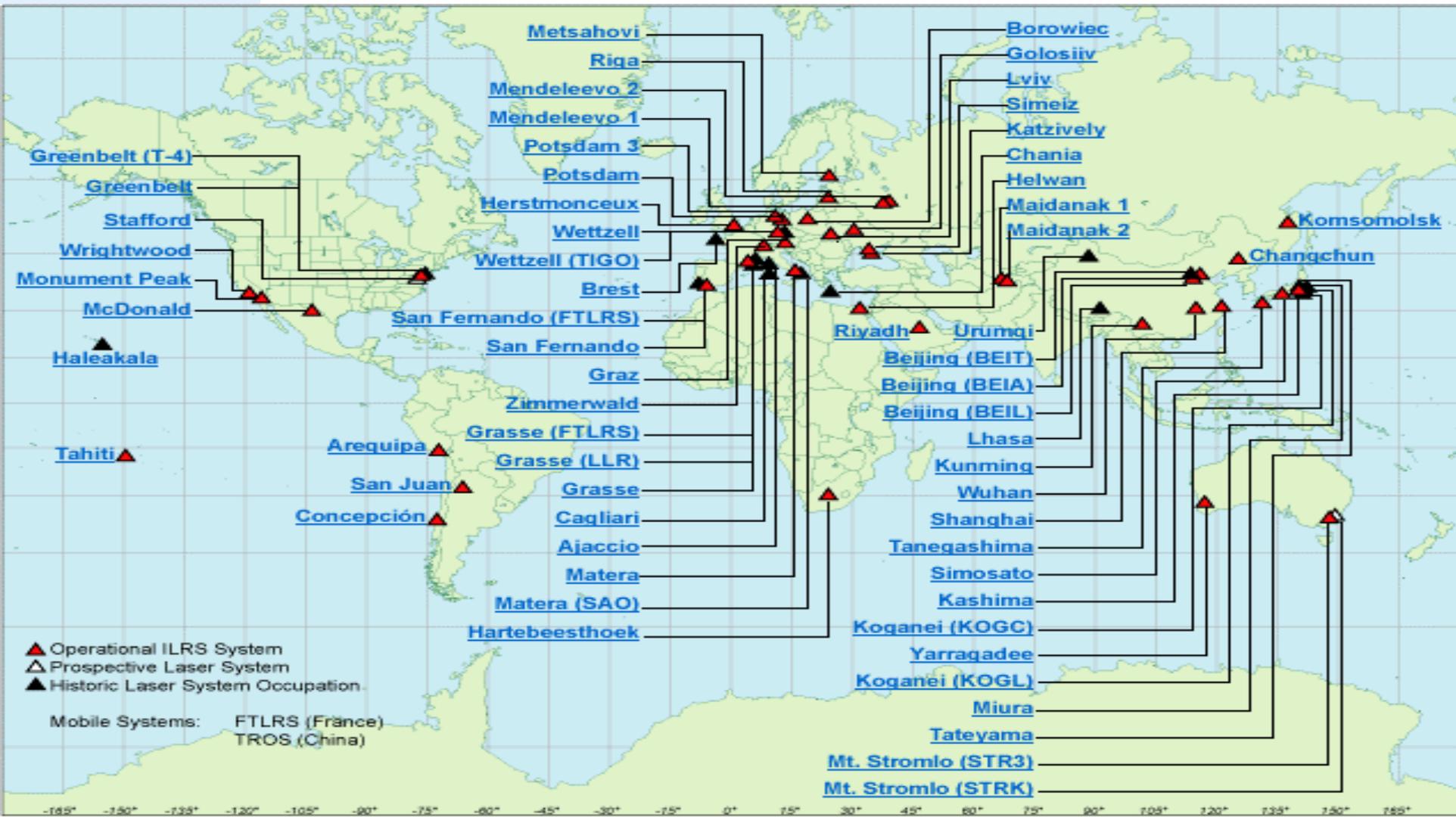
Голицино. Пункт сбора информации от КОС



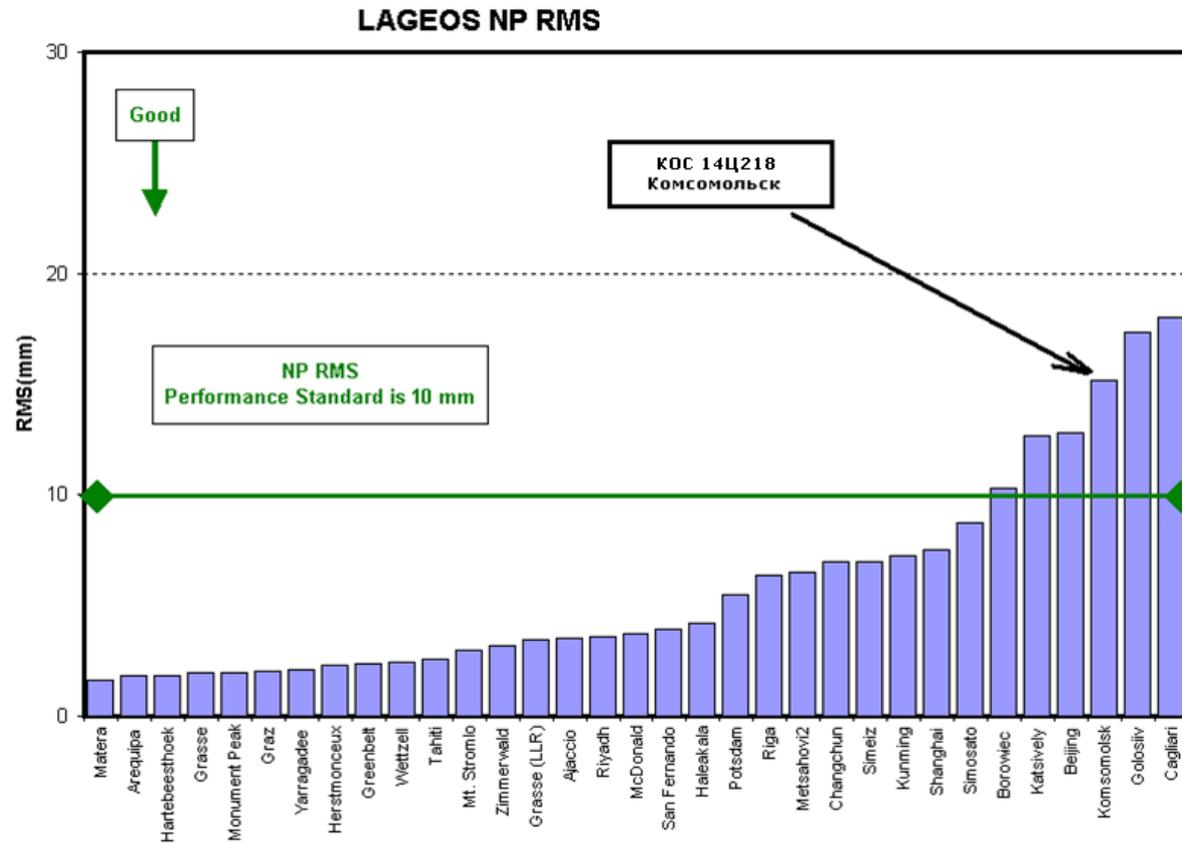
Мировая сеть лазерных станций

- Около 40 лазерных станций объединены в ассоциацию ILRS (международная служба лазерной дальнометрии)
- Россия является членом ILRS и участвует в международных программах по высокоточной лазерной дальнометрии КА
- Обмен информацией в ILRS осуществляется на паритетной (некоммерческой) основе

Мировая сеть лазерных станций

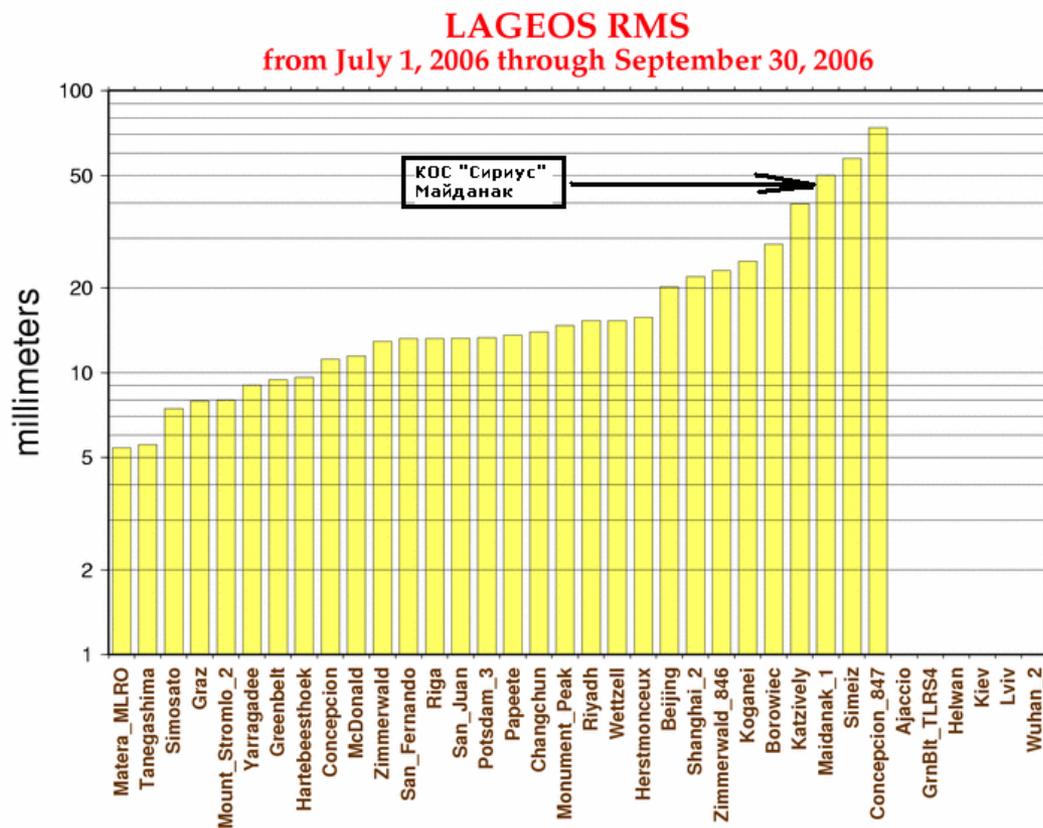


Параметры некоторых станций ILRS



Погрешность усредненных измерений (нормальных точек) по КА LAGEOS

Параметры некоторых станций ILRS



Погрешность одиночных измерений по КА LAGEOS

Требования к основным компонентам лазерной дальномерной системы повышенной точности измерений в (1...3) мм

№	Наименование	Требование по назначению
1	Лазер	<ol style="list-style-type: none"> 1. Длительность импульсов – 30-60 нс 2. Средняя мощность – не менее (600-800) мВт 3. Энергия излучения – (1-2) мДж
2	Фотоприемник отраженного сигнала	<ol style="list-style-type: none"> 1. Чувствительность – режим счета фотонов 2. Квантовая эффективность – 40% 3. Нестабильность времени задержки сигнала – 30 пс
3	Измеритель временных интервалов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Погрешность – не более 30 пс 2. Наличие многостопового режима измерений 3. Временное разрешение – 100нс
4	Пороговый формирователь	Изменение задержки формируемых сигналов в динамическом диапазоне изменения амплитуд входных сигналов (100-200) – не более 30 пс

Требования к основным компонентам лазерной дальномерной системы повышенной точности измерений в (1...3) мм

№	Наименование	Требование по назначению
5	Электронные цепи	Нестабильность времени задержки сигнала – не более 30 нс
6	Канал калибровки	Неисключенная систематическая погрешность калибровки – не более 1 мм
7	Метеодатчики	Погрешности измерений метеопараметров не более: 1. атмосферного давления – 0.5 мм.рт.ст 2. температуры – 0.5 °C 3. относительной влажности воздуха – (5-10)%
8	Опорный генератор	Относительная погрешность по частоте – не более $5 \cdot 10^{-11}$
9	Аппаратура привязки к СЕВ	Погрешность привязки – не более 330 нс
10	Интервал осреднения	300 с – КА ГЛОНАСС 120 с – КА LAGEOS 5-20 с – КА с высотой орбиты менее 1500 км