

Исследование оптико-электронных систем измерения деформаций элементов конструкции радиотелескопа миллиметрового диапазона РТ-70

• Артеменко Ю.Н.¹, Коняхин И.А.², Тимофеев А.Н.²

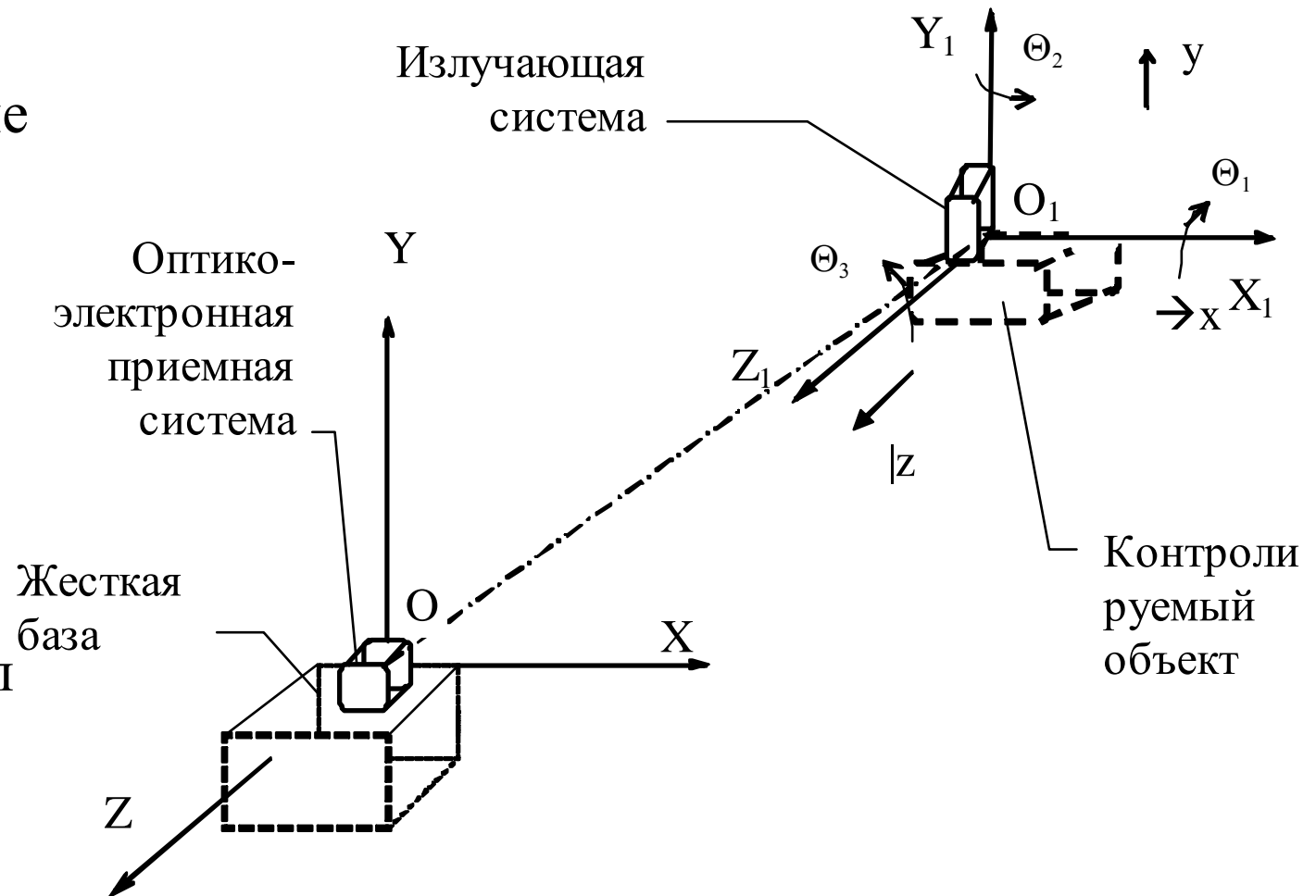
• ¹АКЦ ФИАН

• ²СПБ ГУ ИТМО

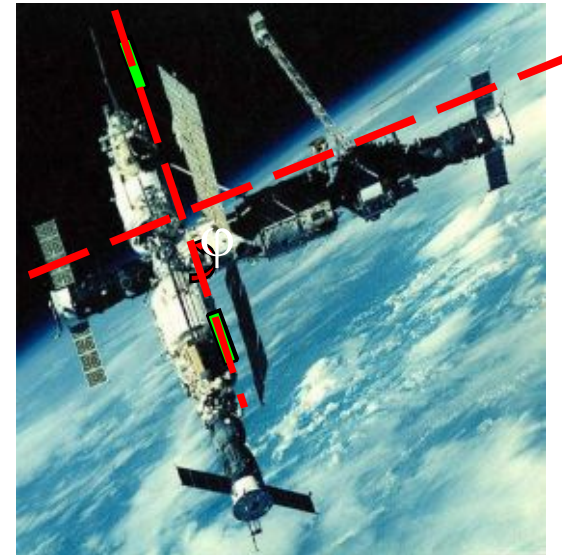
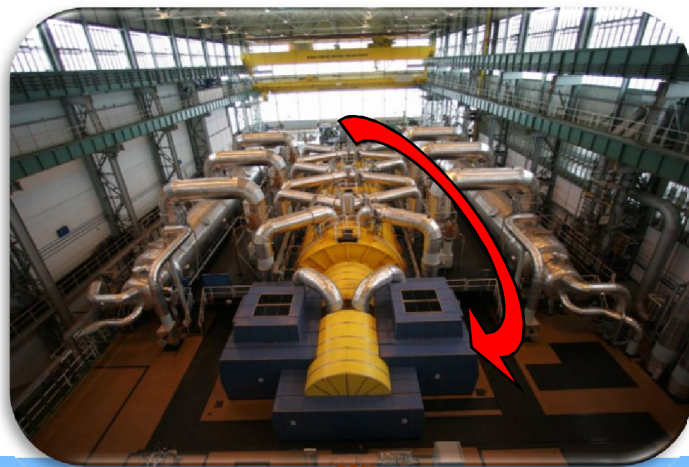
Структура оптико-электронной измерительной системы (ОЭИС)

Свойства

1. Бесконтактные измерения
2. Высокая точность
3. Простая структура
4. Стабильность параметров
5. Низкое энергопотребление



ОЭС эффективны для измерения деформаций крупногабаритных объектов



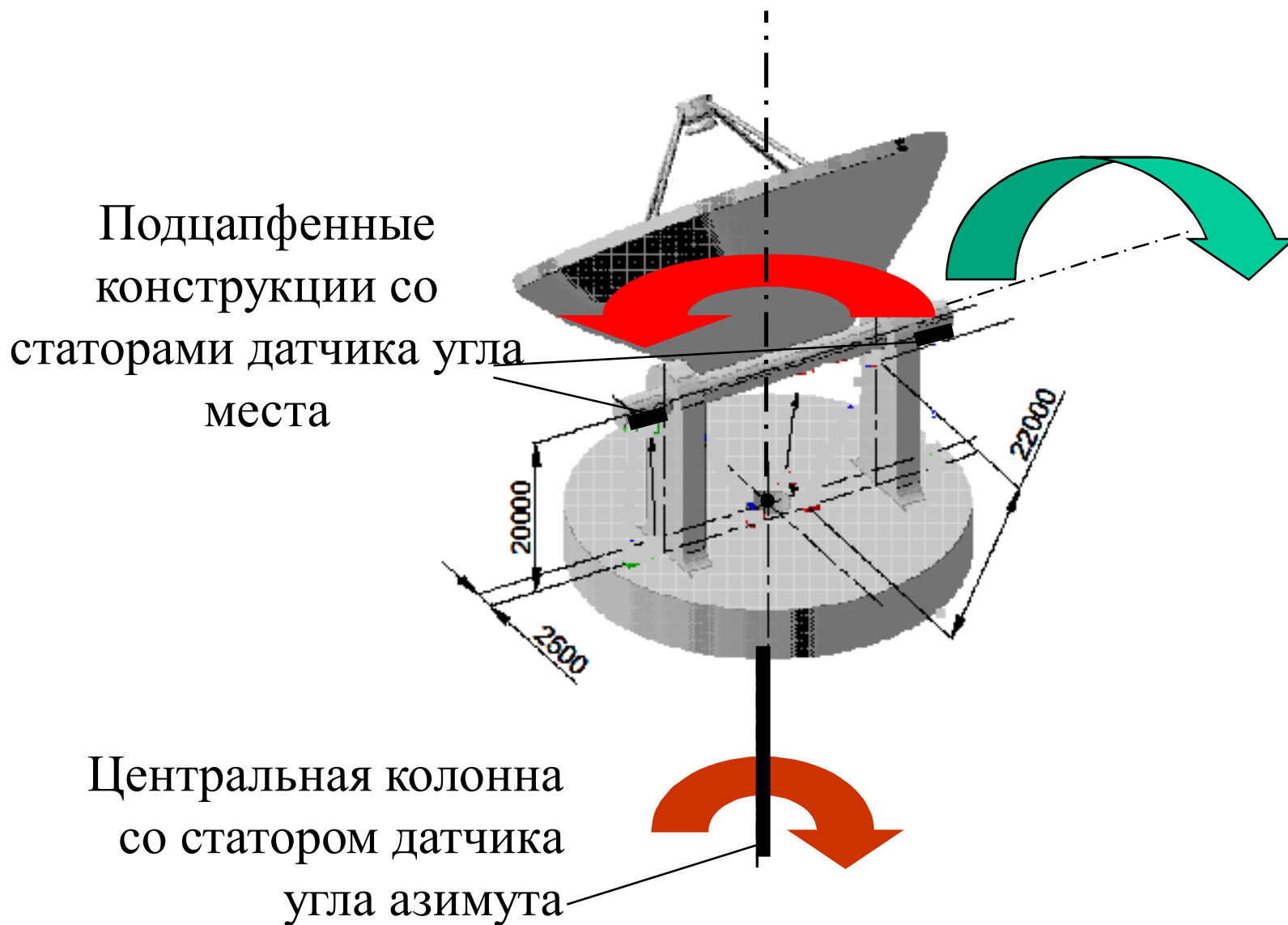
ОЭИС измерения деформаций элементов конструкции по проекту модернизации РТ-70 (Уссурийск)

Цель модернизации – повышение эффективности работы РТ-70 (Уссурийск) на волнах длины 3,5 см и 1,35 см, что предполагает, в частности, уменьшение погрешности наведения РТ до 6''

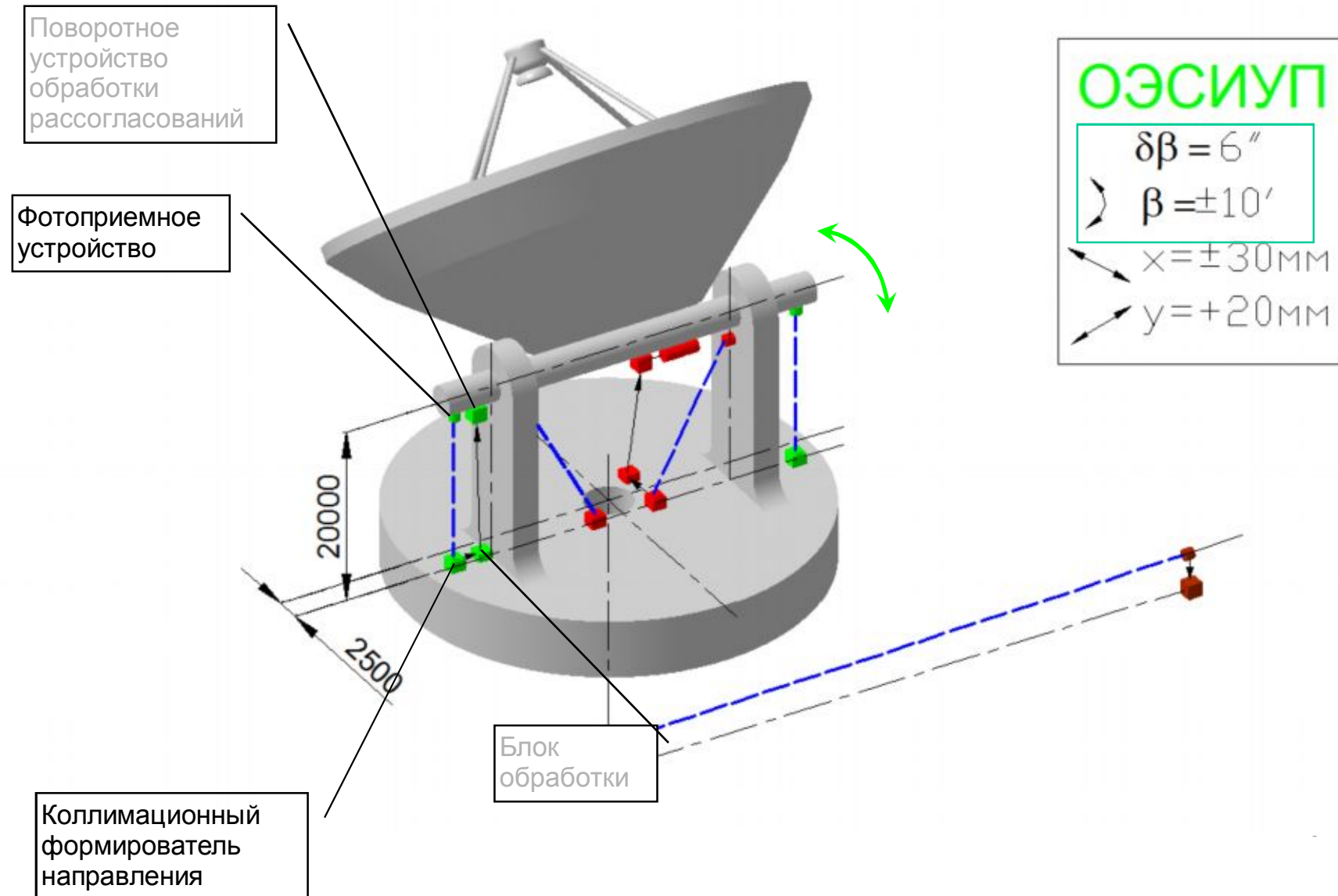


ОЭИС является первичным преобразователем системы компенсации погрешностей наведения, определяемых деформацией элементов РТ

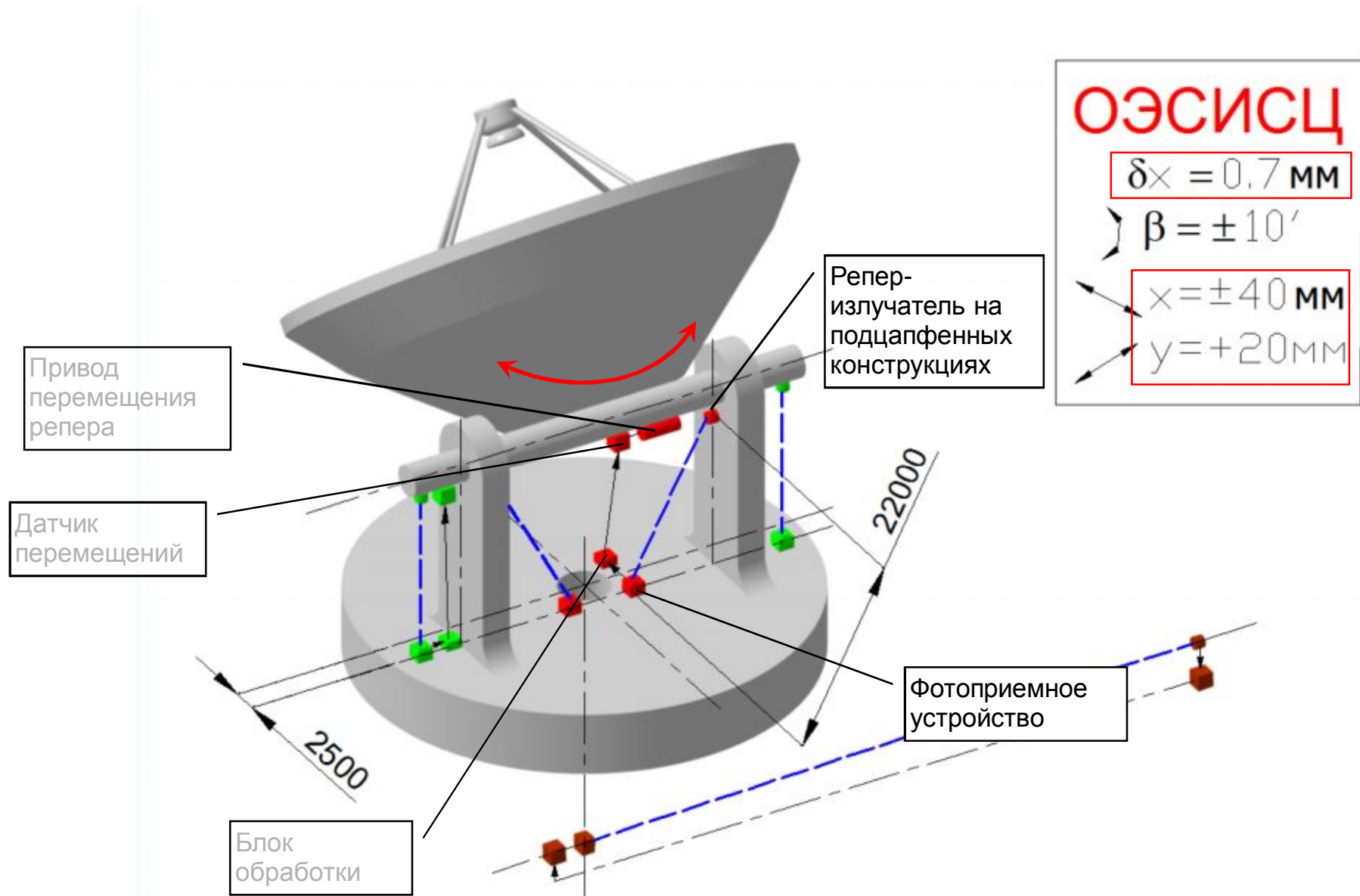
ОЭС измерения деформаций элементов опорно-поворотного устройства (ОПУ) РТ 70 (Уссурийск)



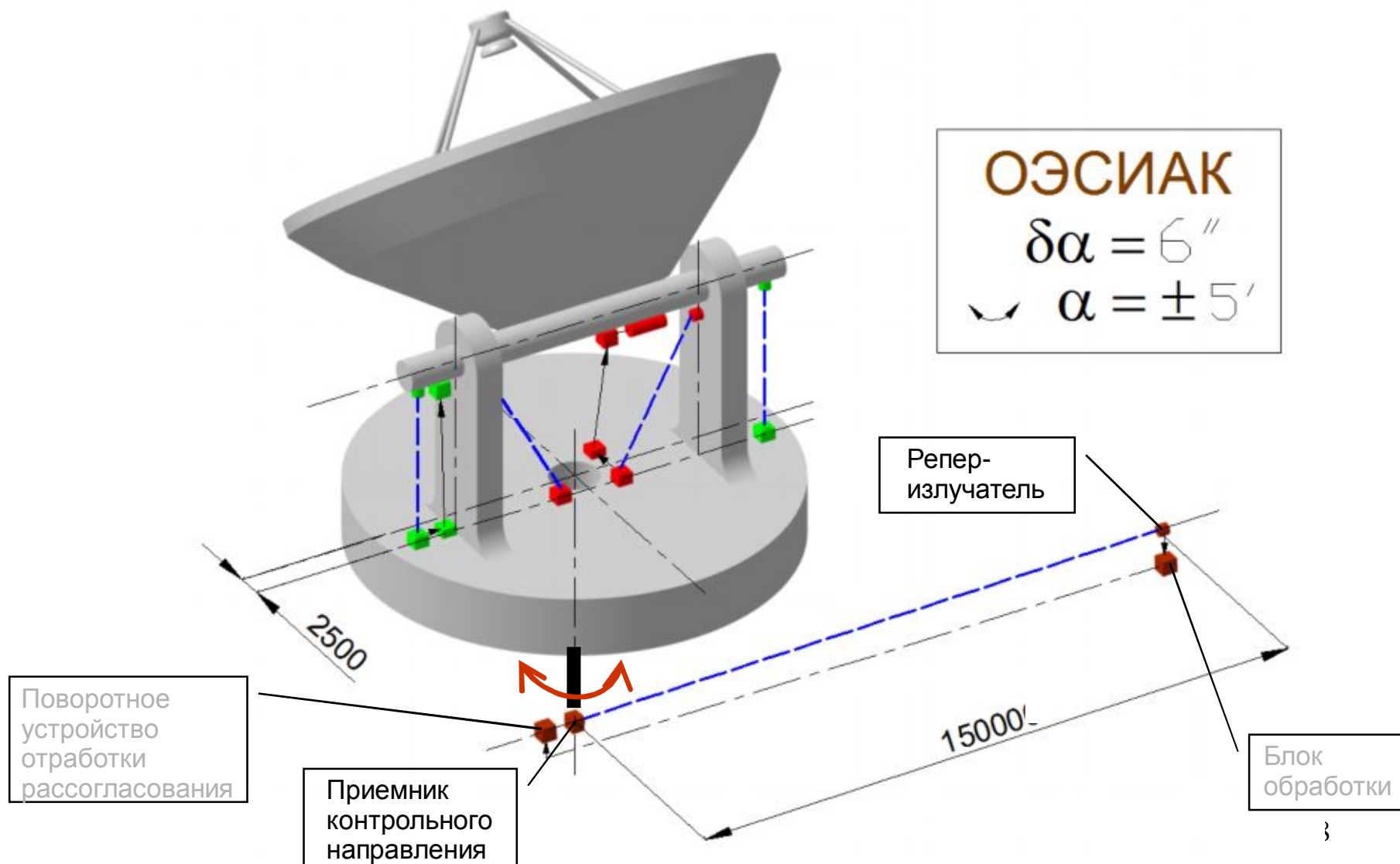
ОЭС измерения разворота подцапфенных конструкций в угломестной плоскости относительно вращающейся части опорно-поворотного устройства (ОПУ)



ОЭС измерения разворота подцапфенных конструкций в горизонтальной плоскости

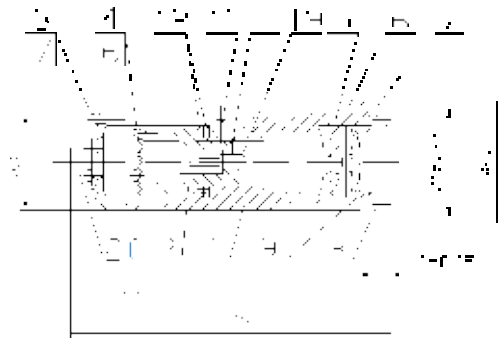


ОЭС измерения разворота центральной колонны по азимуту

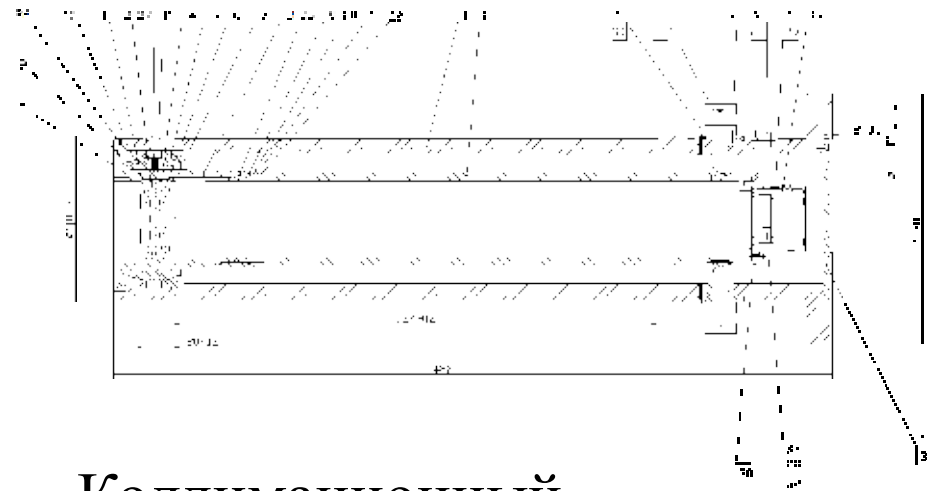


Типовые блоки ОЭС измерения деформаций элементов опорно-поворотного устройства (ОПУ) РТ 70 (Уссурийск)

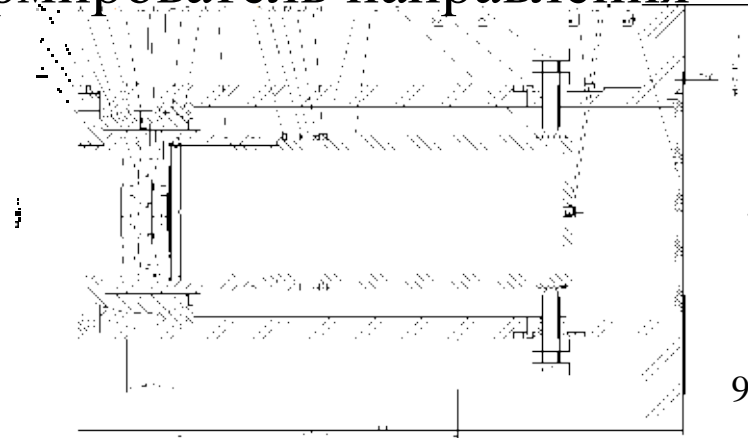
Излучающий репер



Фотоприемное устройство

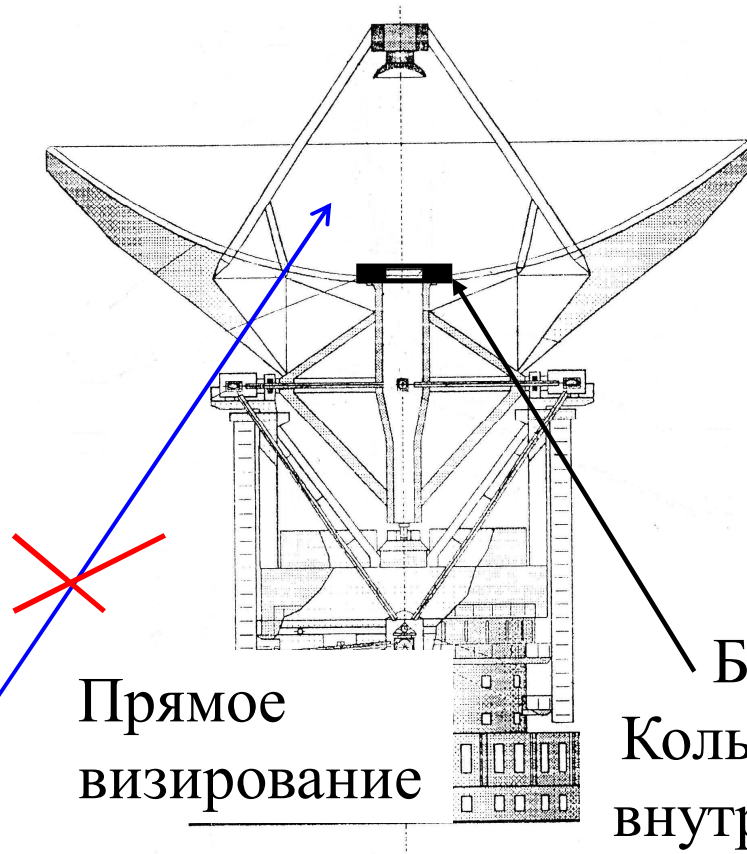


Коллимационный формирователь направления



Полноповоротный радиотелескоп миллиметрового диапазона РТ-70 (Суффа); выбор базы

Консоль вторичного зеркала



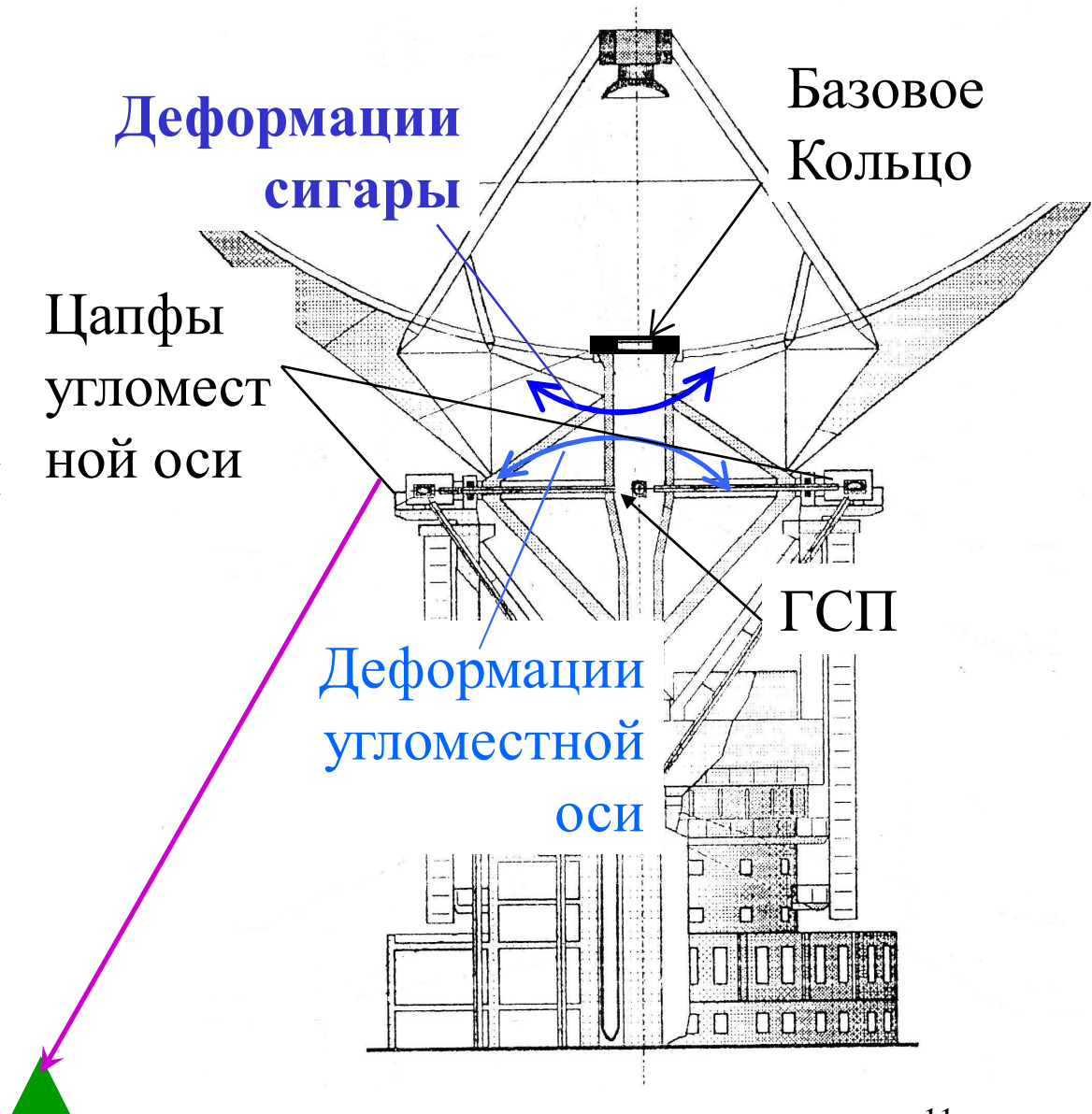
Прямое
визирование

Базовое
Кольцо как
внутренняя
база

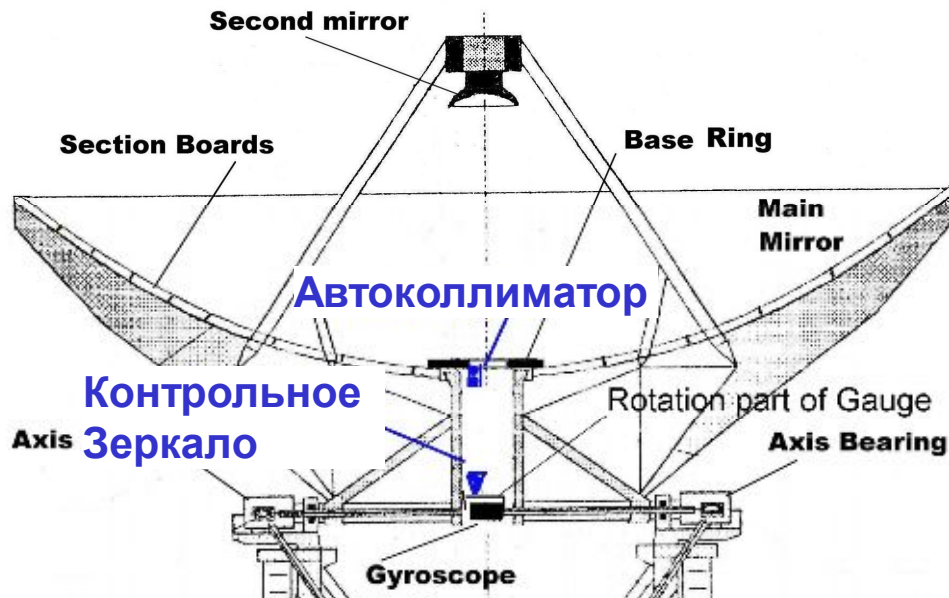
Внешняя (наземная база)

Угловые деформации элементов конструкции РТ-70 (Суффа)

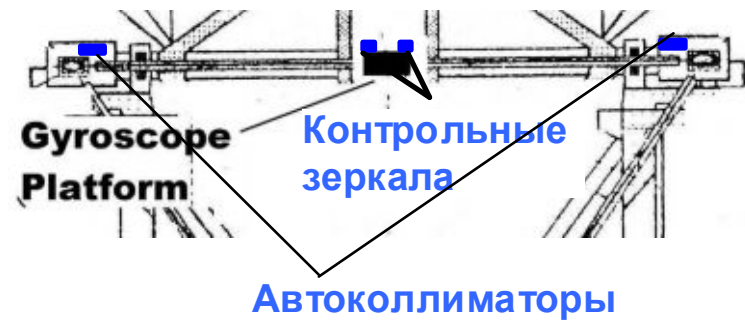
Величины углов Места и Азимута снимаются с датчиков Гиростабилизированной платформы (ГСП), расположенной в точке пересечения угломестной оси и оси зеркальной системы



Оптико-электронные системы измерения угловых деформации элементов конструкции РТ-70 (Суффа)



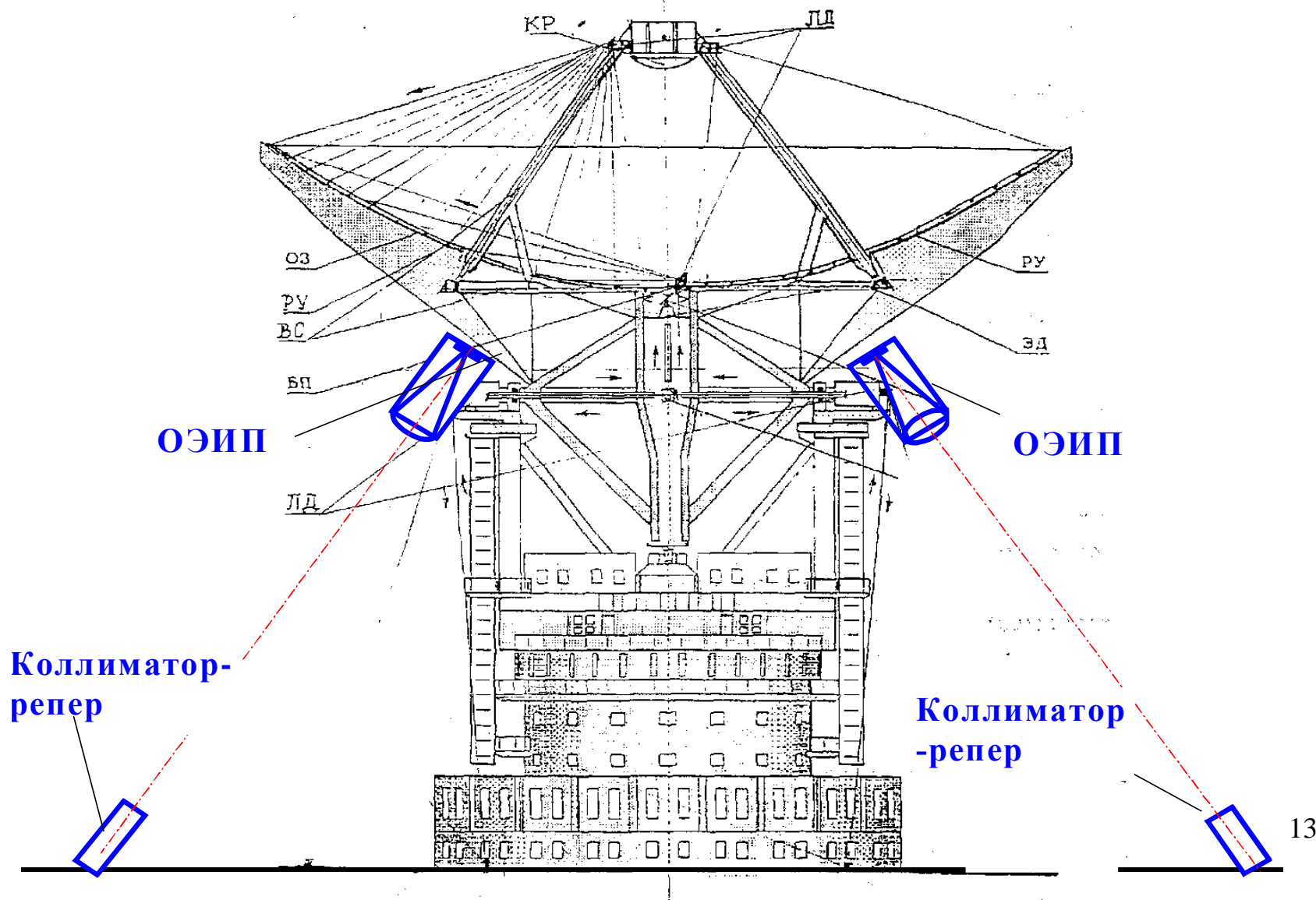
ОЭС измерения углового положения Базового Кольца (деформаций сигары)



ОЭС измерения положения цапф относительно ГСП (деформаций угломестной оси)

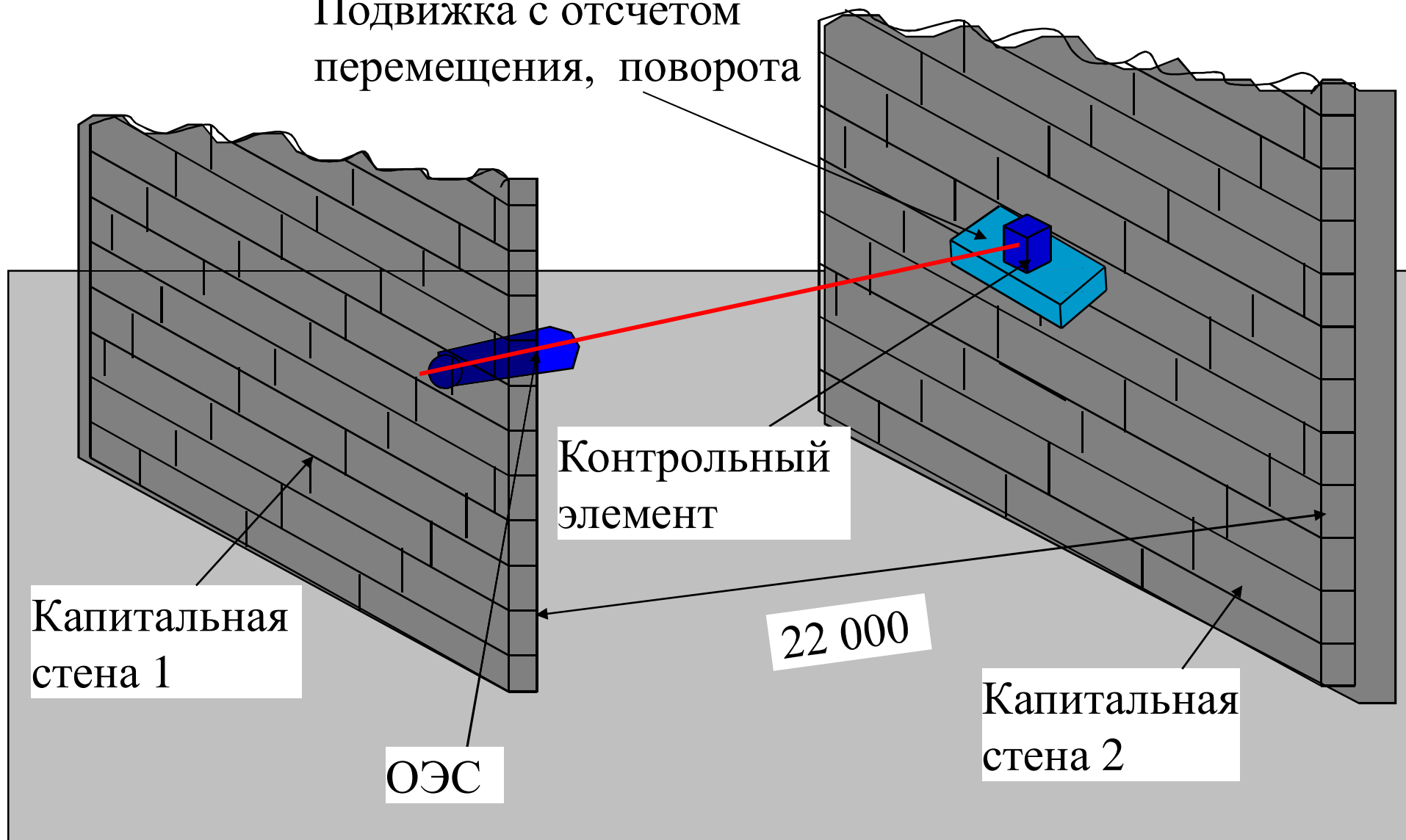
Погрешность измерения 1...2 угл. сек, диапазон измерения 10 угл.мин.

Оптико-электронные датчики системы коррекции угла азимута ГСП (измерения положения цапф угломестной оси относительно наземной базы)

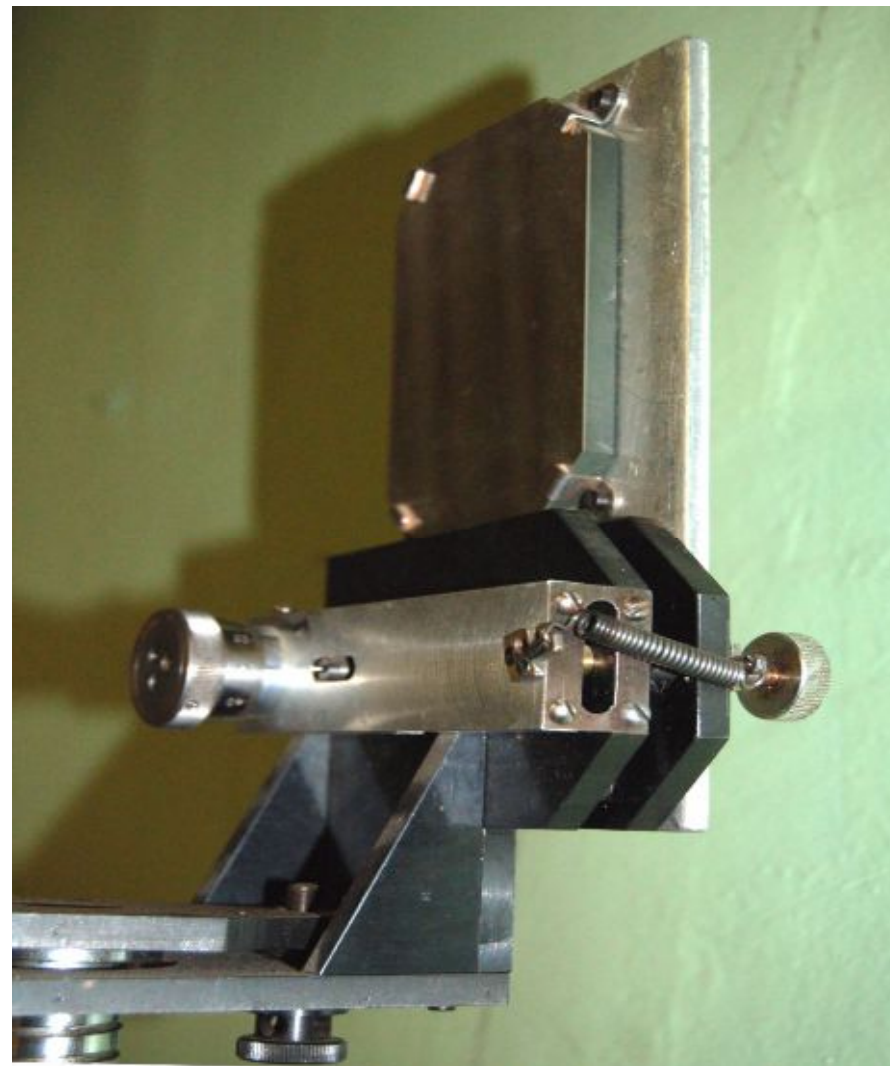
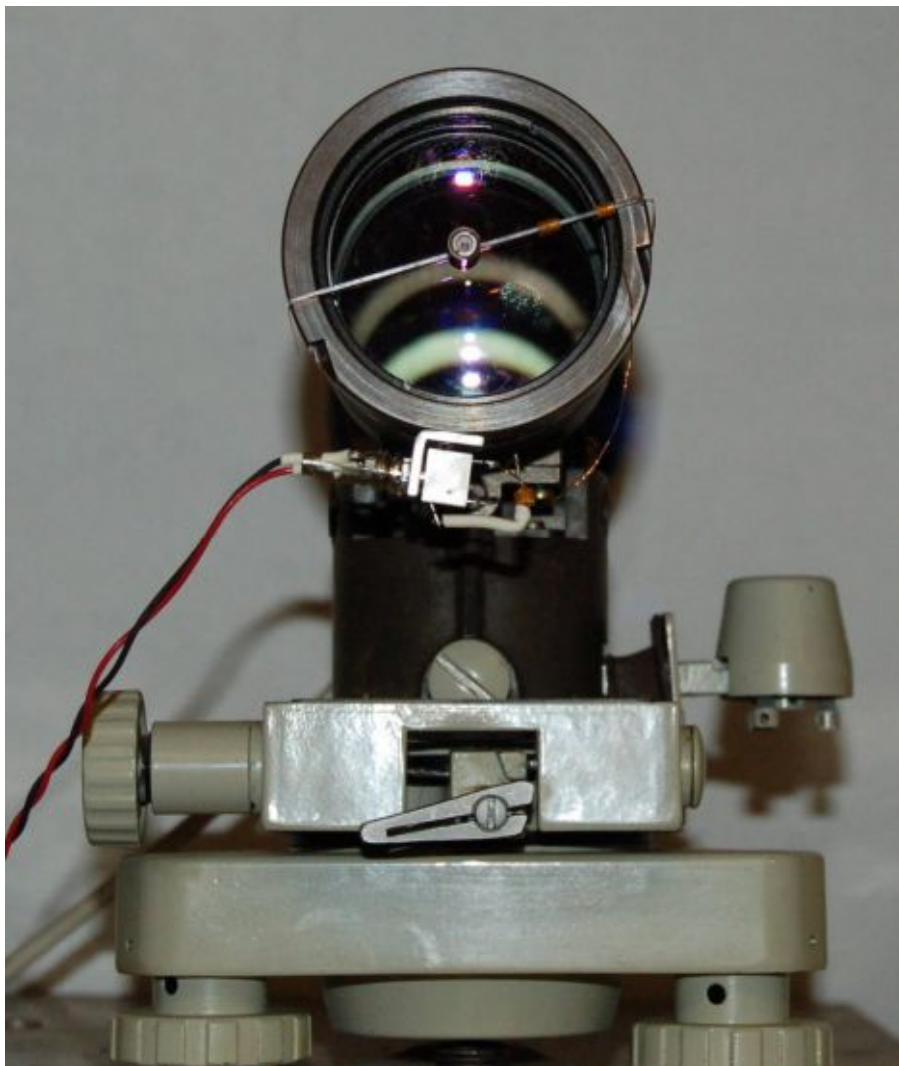


Полигон для испытаний каналов опто-электронных измерительных систем

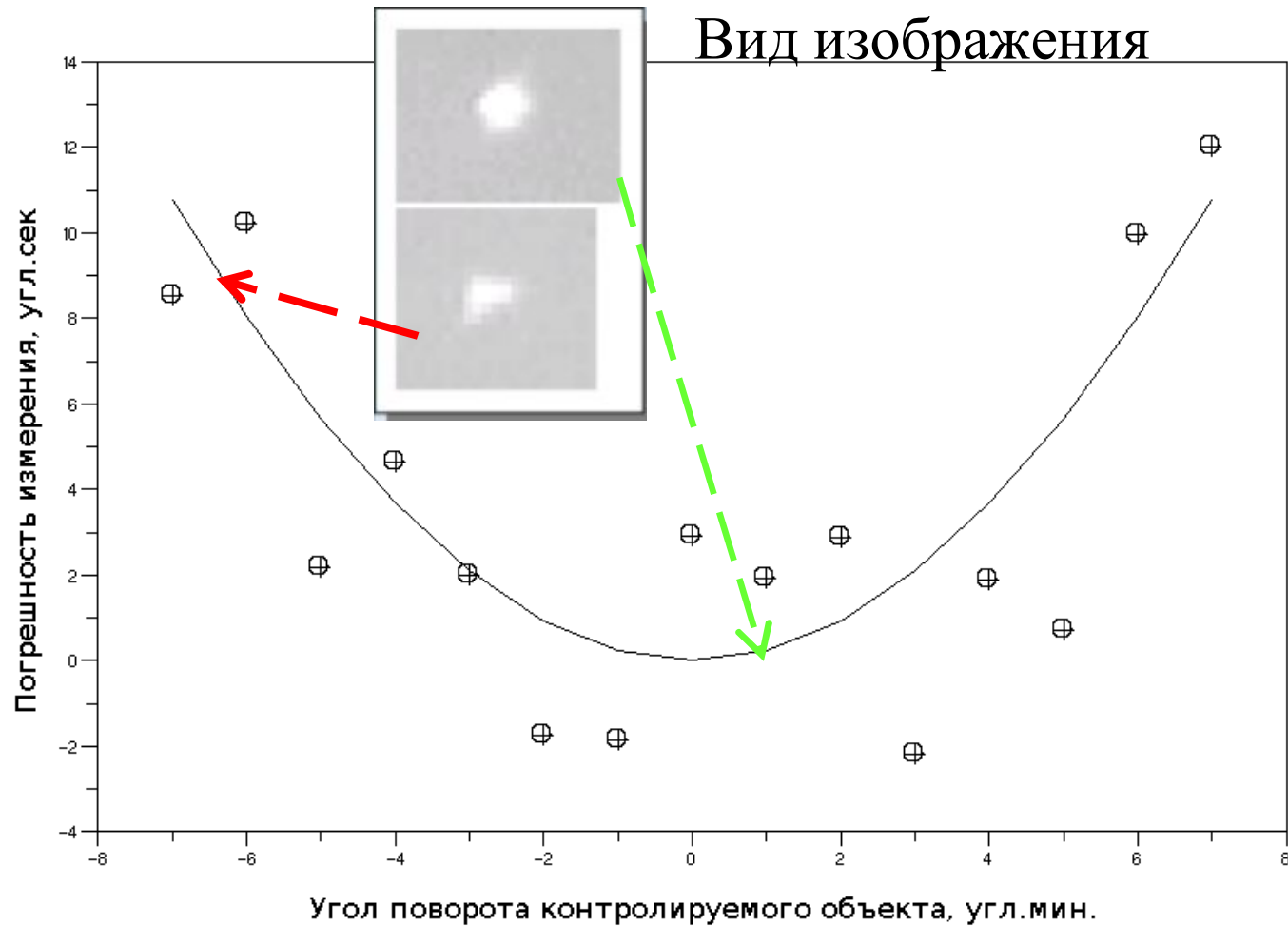
Подвижка с отсчетом перемещения, поворота



Автоколлиматор и контрольное зеркало



Погрешность измерения угла поворота до и после компенсации. Дистанция 22,5 метра



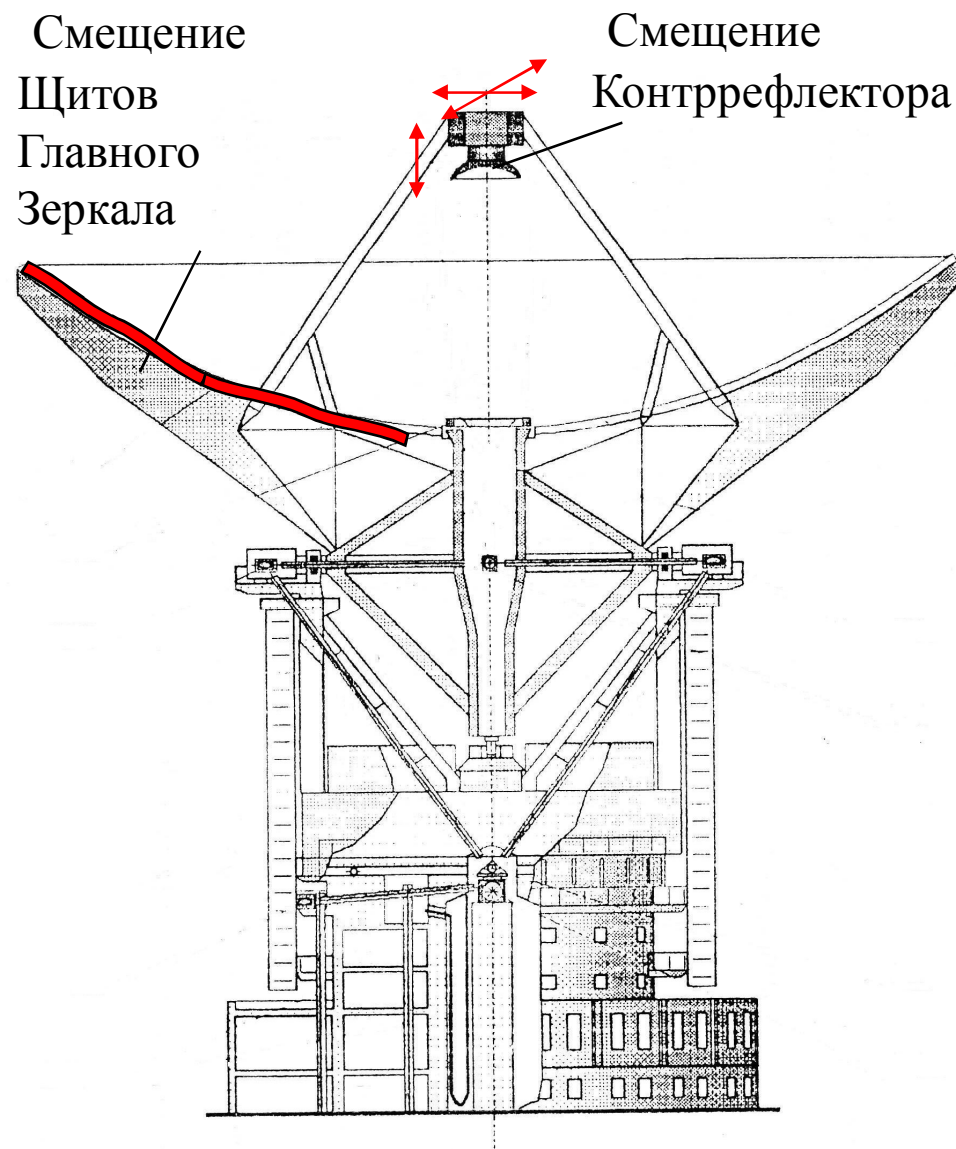
С.К.О.

Случайной
составляющей
2,3 угл.сек

Линейные деформации элементов конструкции РТ-70 (Суффа)

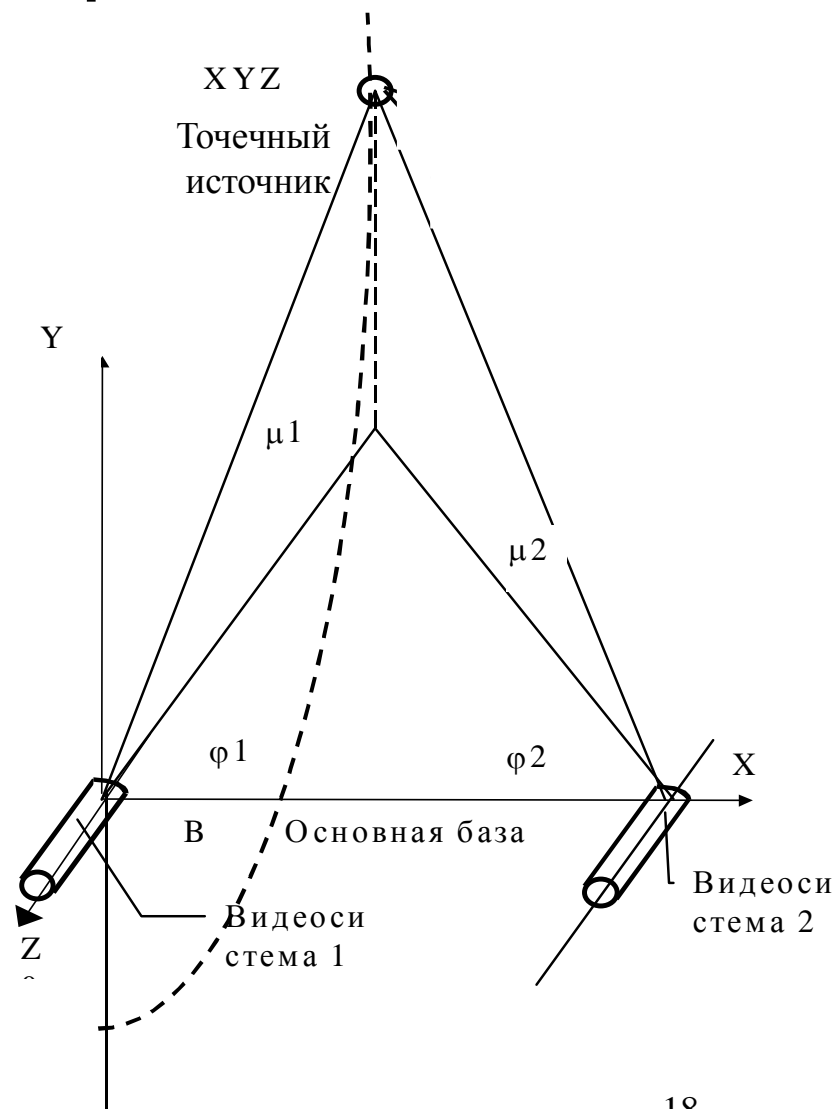
Весовые и температурные деформации приводят к смещениям контррефлектора на величину до 40 мм и Щитов Отражающей поверхности главного зеркала на величину до 30 мм.

ОЭС используются как первичные преобразователи автоматизированной системы коррекции положения Контррефлектора и системы коррекции поверхности Главного Зеркала



Измерительный канал определения координат контрольной точки на контррефлекторе

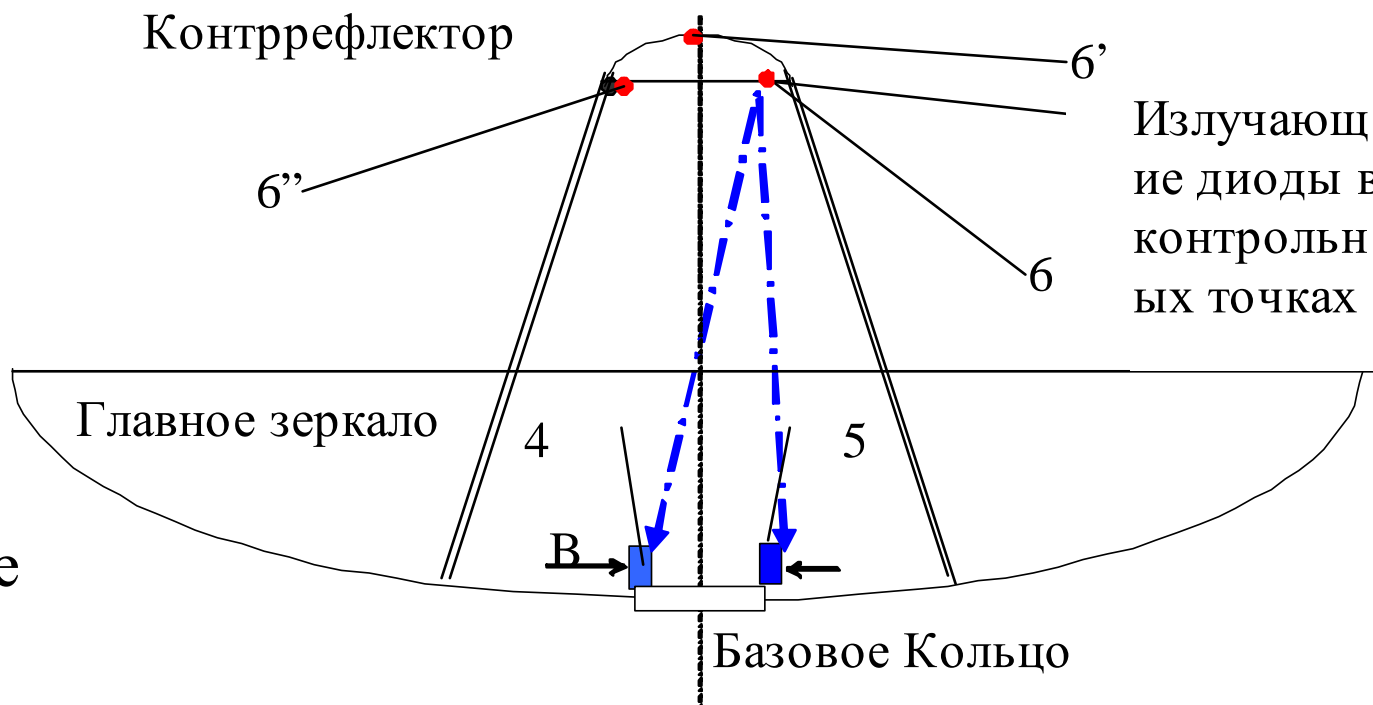
- Измерение координат контрольной точки выполняется триангуляционным методом.
- В контрольной точке расположен точечный источник излучения.
- Две видео-системы расположены на **жесткой** базе В.
- Измеряются углы визирования $\mu_1, \mu_2, \varphi_1, \varphi_2$ контрольной точки.
- Определяются X, Y, Z координаты контрольной точки.

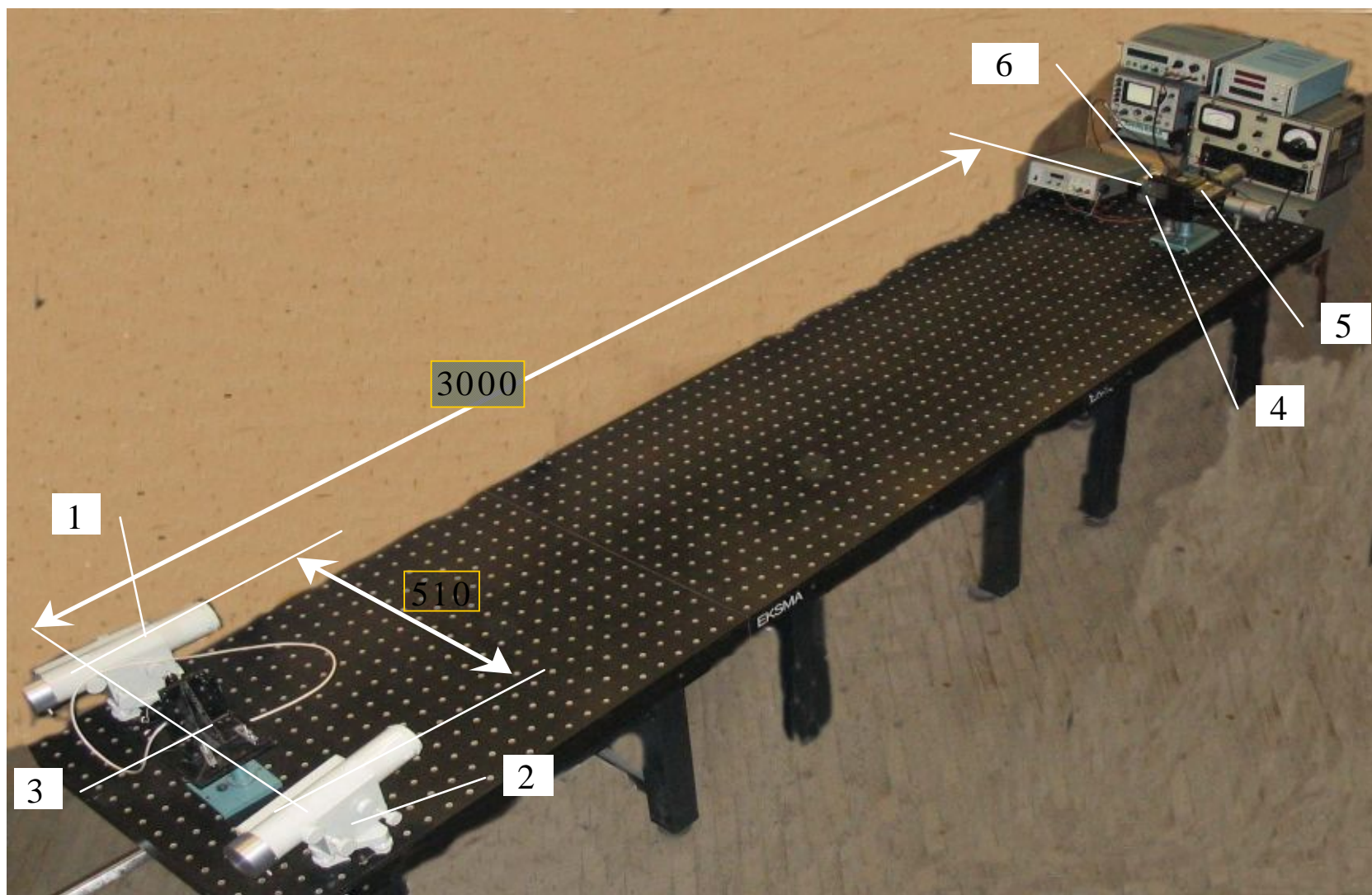


Оптико-электронная система измерения пространственного положения Контррефлектора

Включает три идентичных измерительных канала, определяющих смещения трех контрольных точек на Контррефлекторе

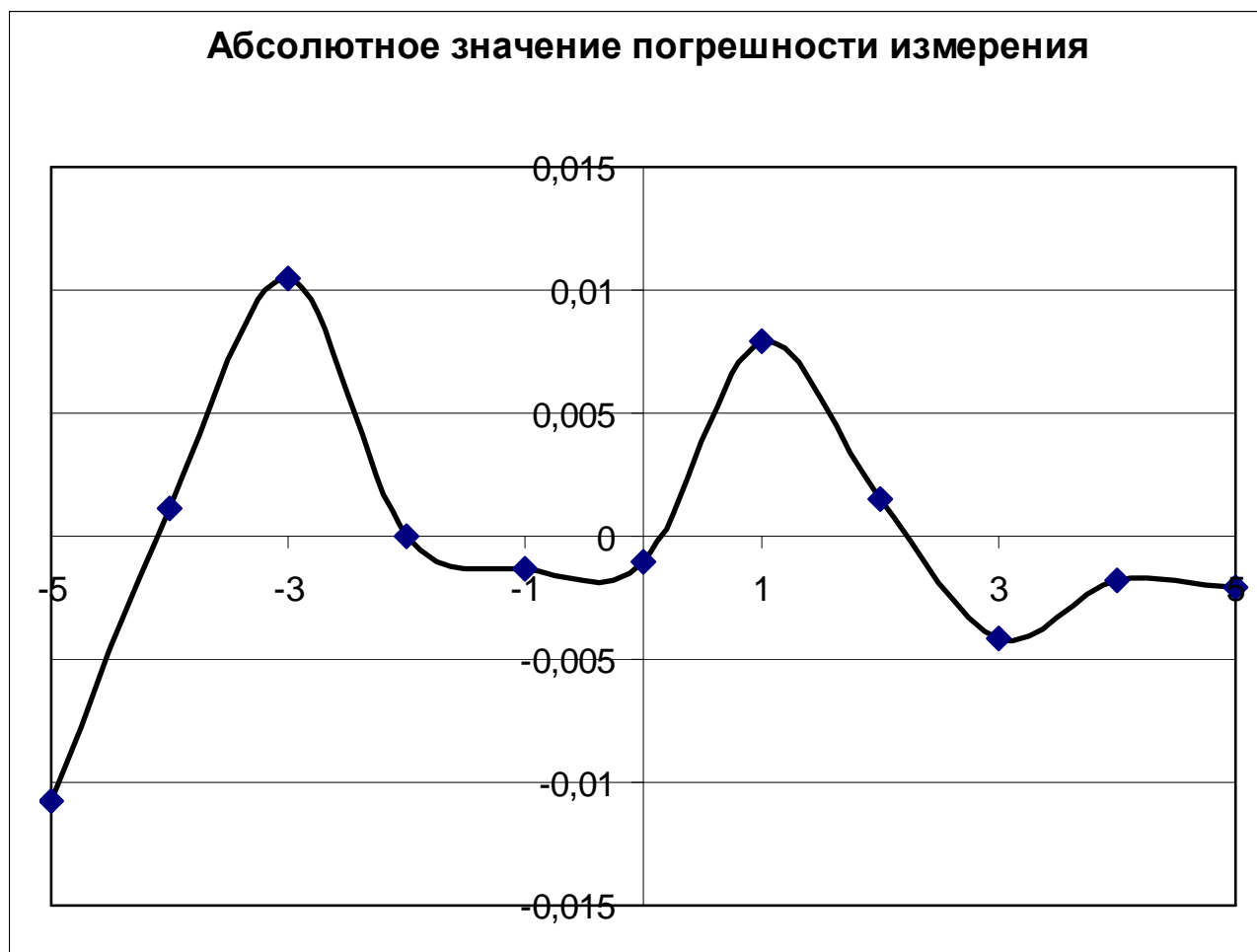
Погрешность измерения не более 0.08 мм



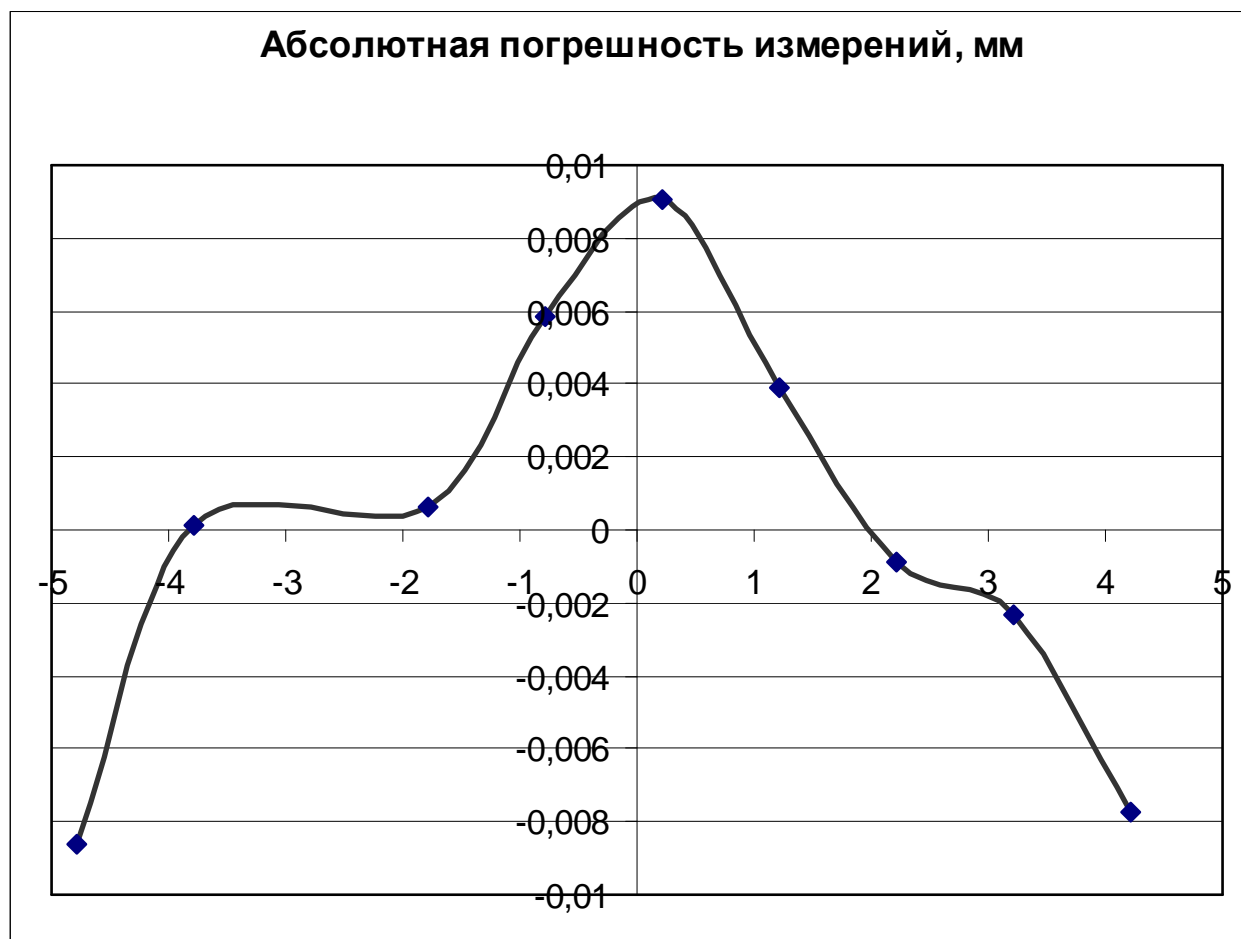


Общий вид макета физической модели ОЭИК

Выборочные значения абсолютной погрешности измерения, ось ОХ,
СКО 0,006 мм, L = 3 м



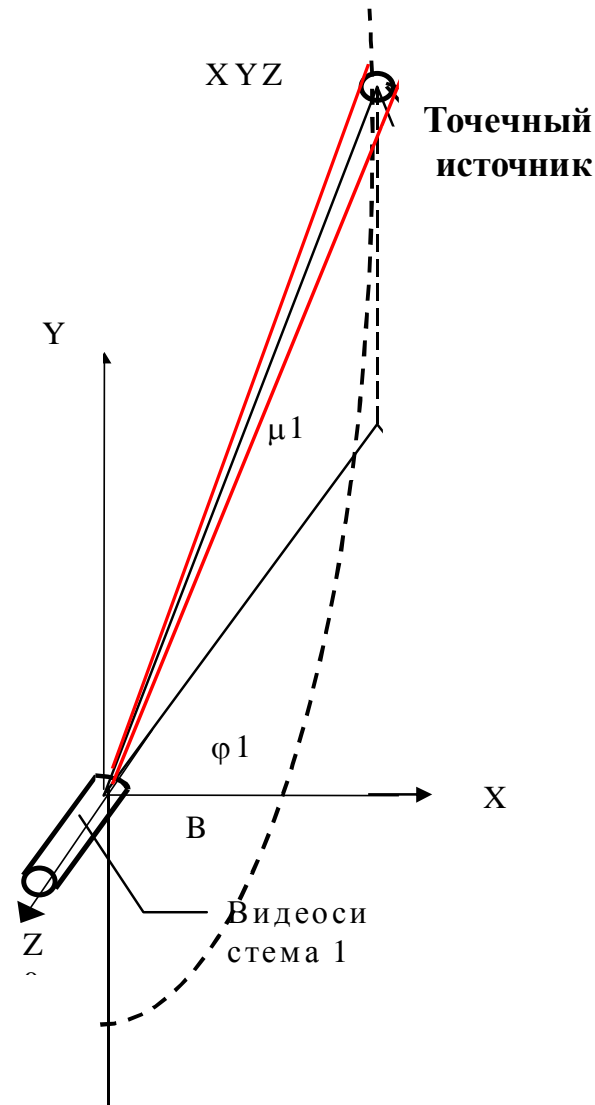
Выборочные значения абсолютной погрешности измерения, ось ОУ, СКО 0,007 мм



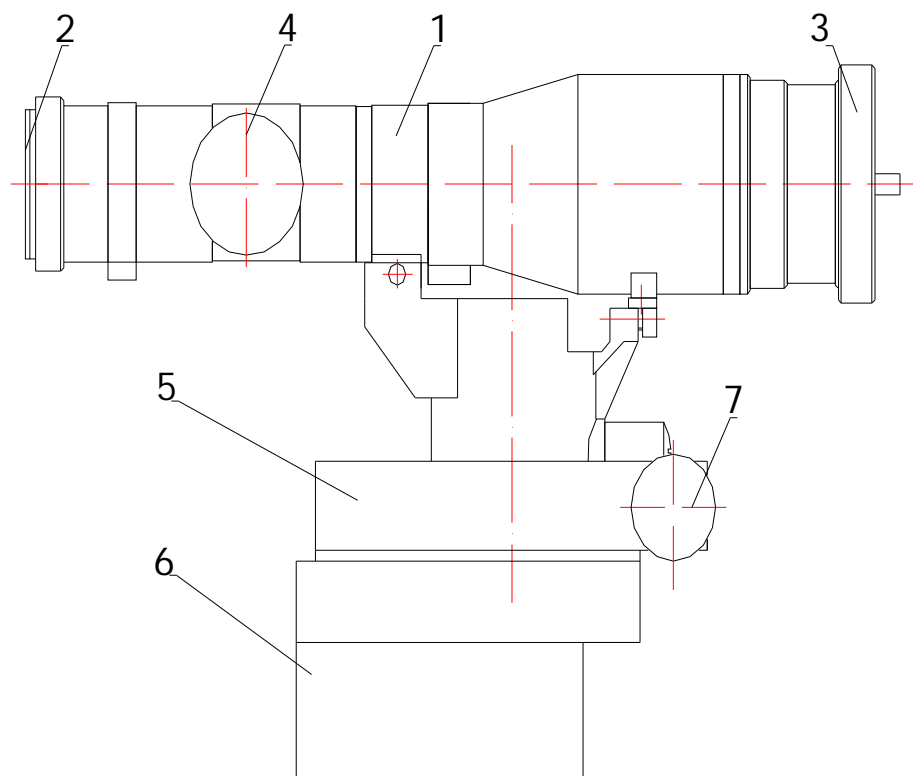
Канал измерения ОЭС

координат одной контрольной точки на поверхности зеркала

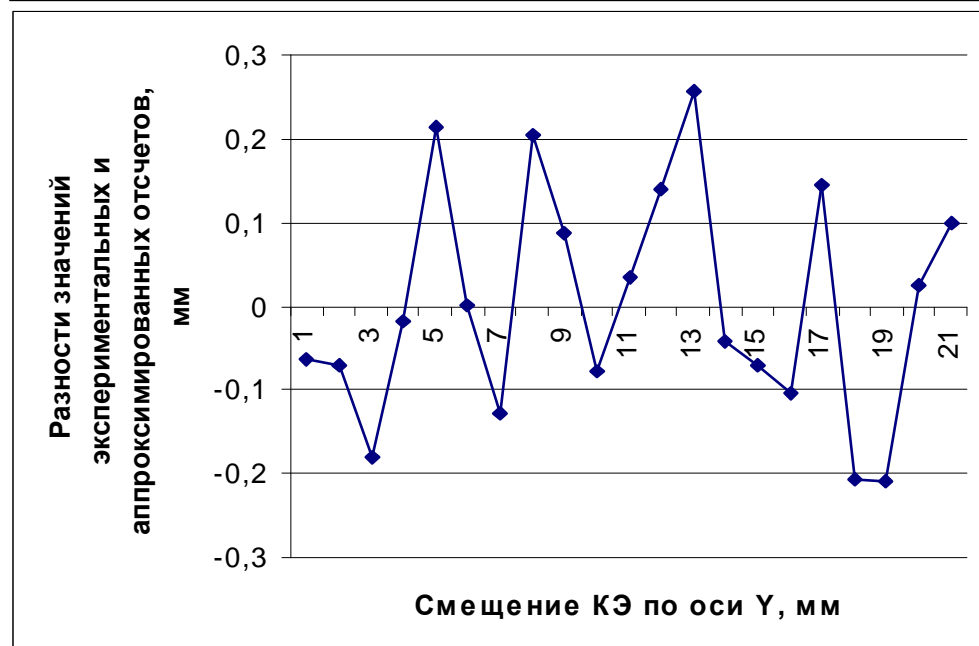
- Измерение *изменения* координат контрольной точки выполняется **методом визирования**.
- В контрольной точке расположен точечный источник излучения.
- Одна видео-система расположена на **жесткой** базе В.
- Измеряются *приращения* углов визирования μ_1, φ_1 контрольной точки.
- Определяются *изменение* X, Y координат контрольной точки.
- Погрешность измерения 0.05 мм



Приемный блок и точечный источник излучения (в устройстве перемещения)



Результаты эксперимента. Дистанция 45 м



Среднеквадратическое значение погрешности измерения смещения по оси X : $\sigma_X = 0,06$ мм,
по оси Y :
 $\sigma_Y = 0,12$ мм (влияние турбулентности)

Схема 3D контроля положения точек отражающей поверхности в различных поясах

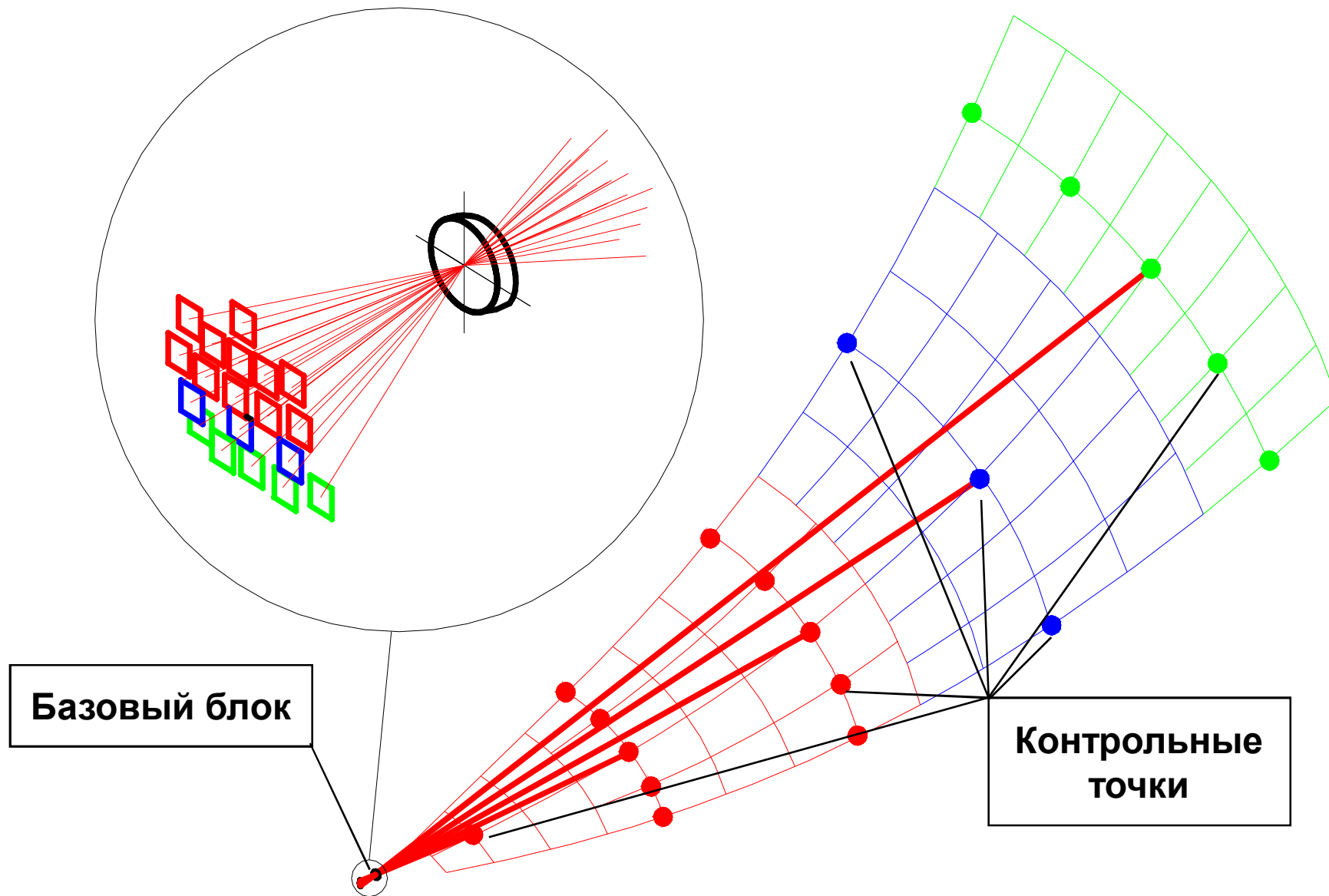
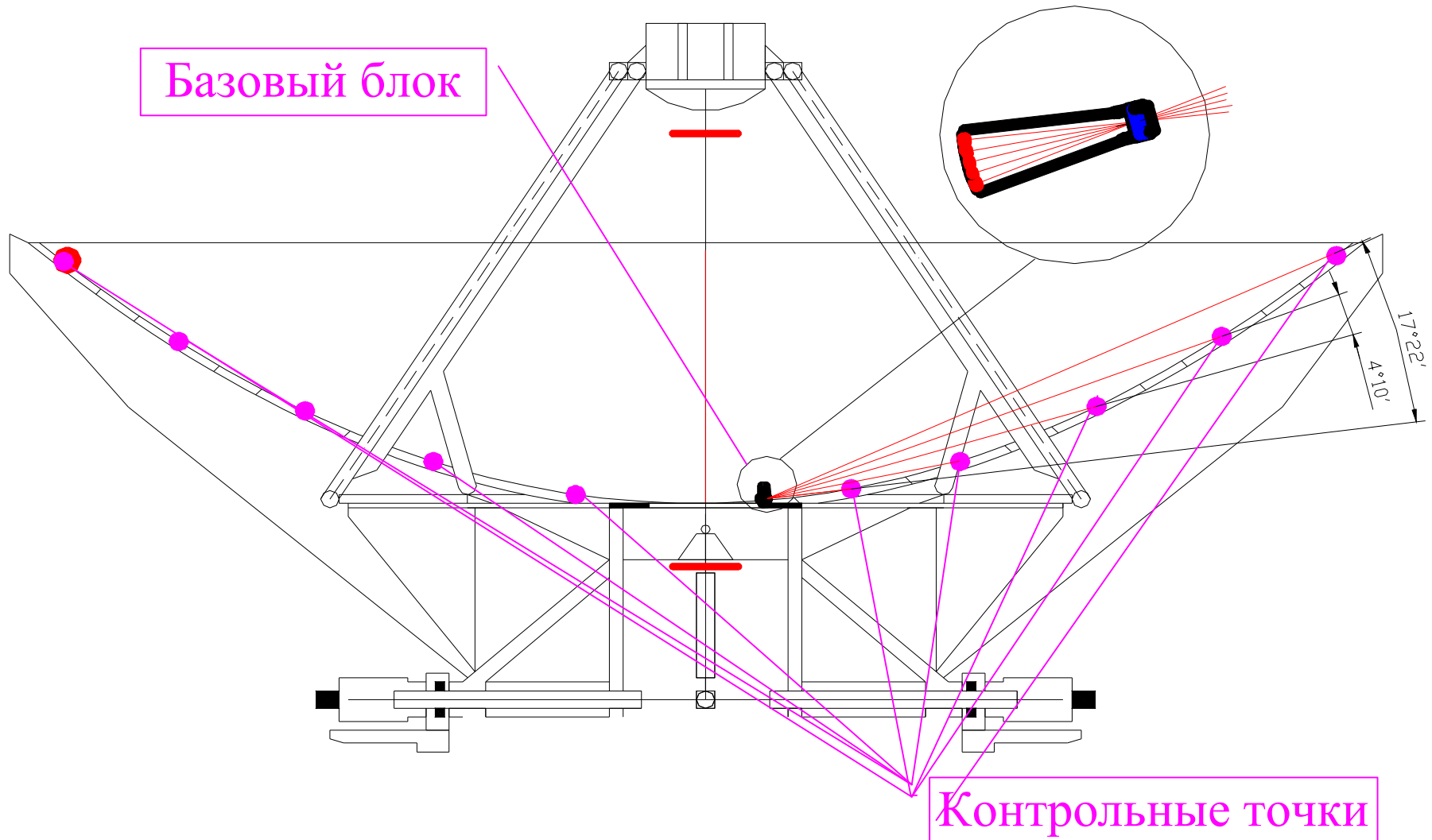
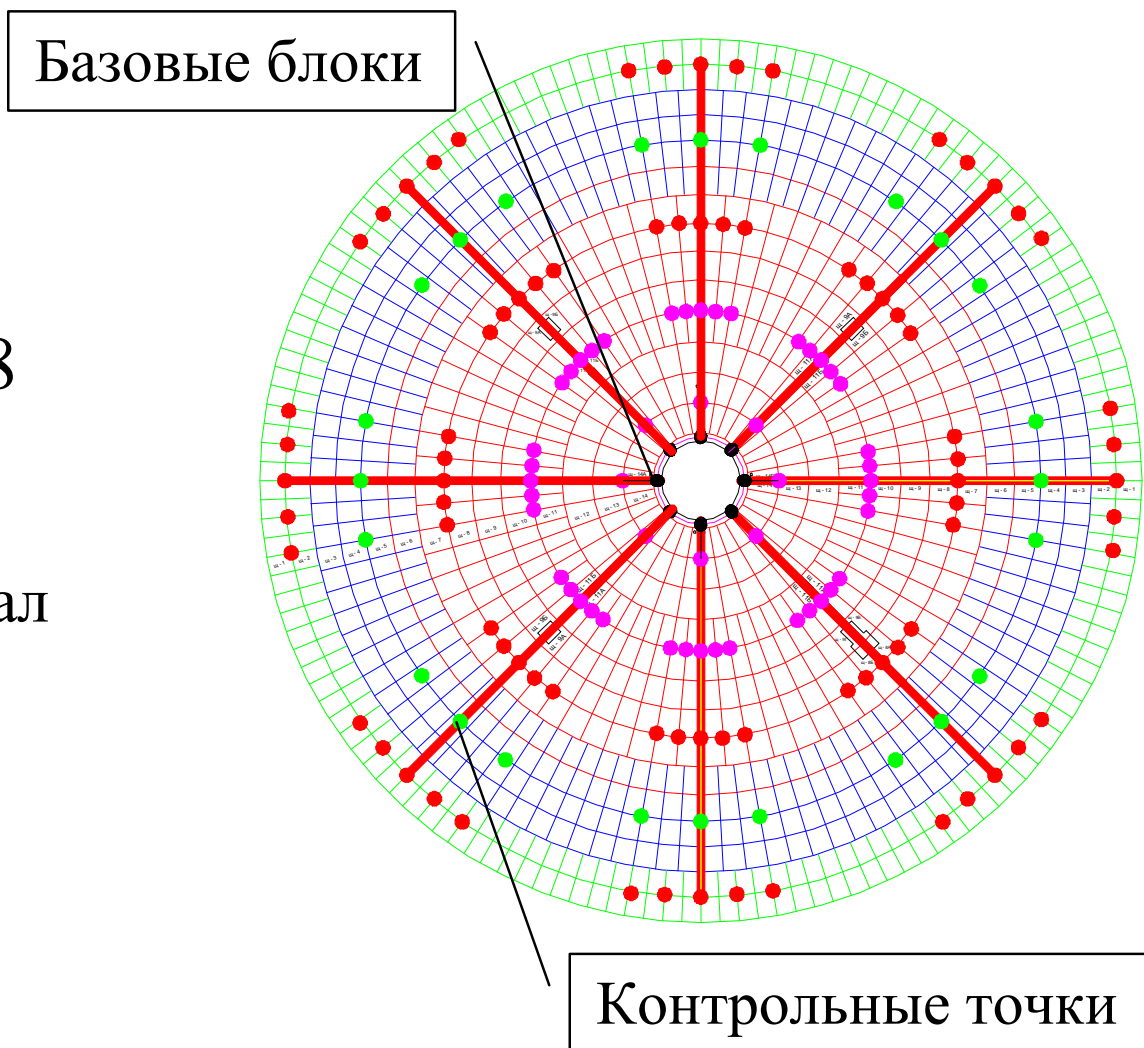


Схема контроля положения точек отражающей поверхности на основе многоматричного канала

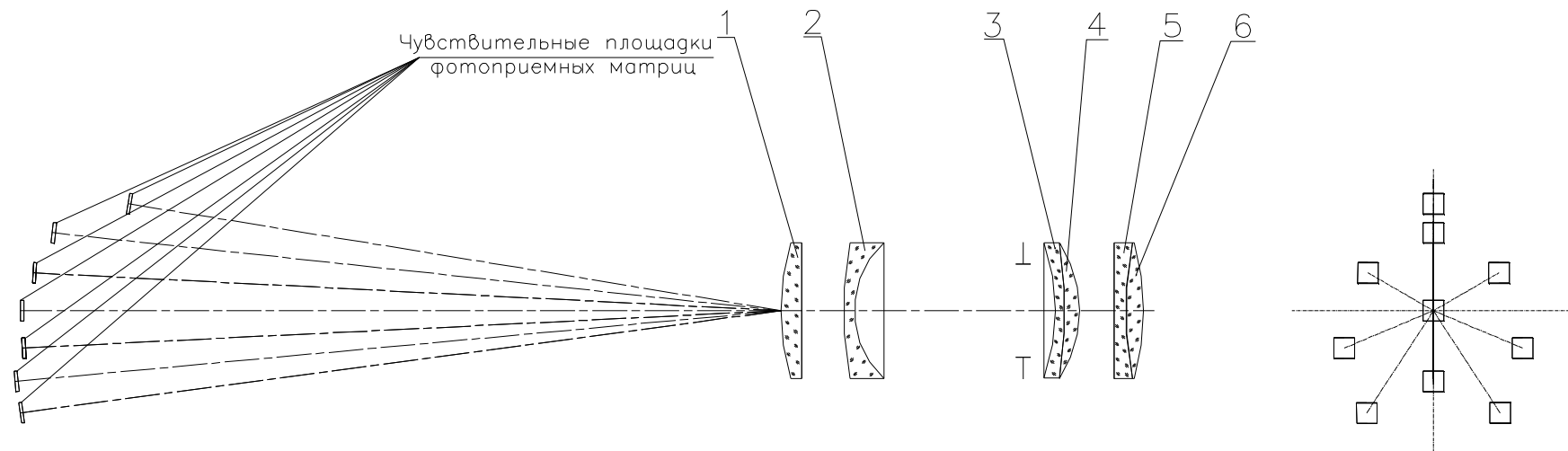


ОЭС с единым объективом и многоматричной структурой поля анализа

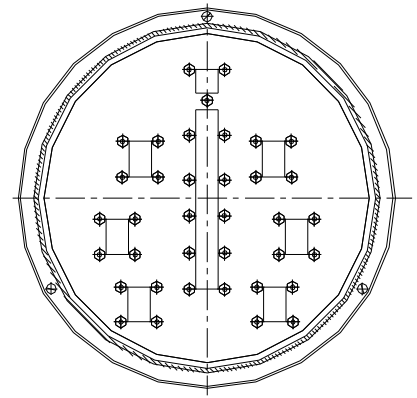
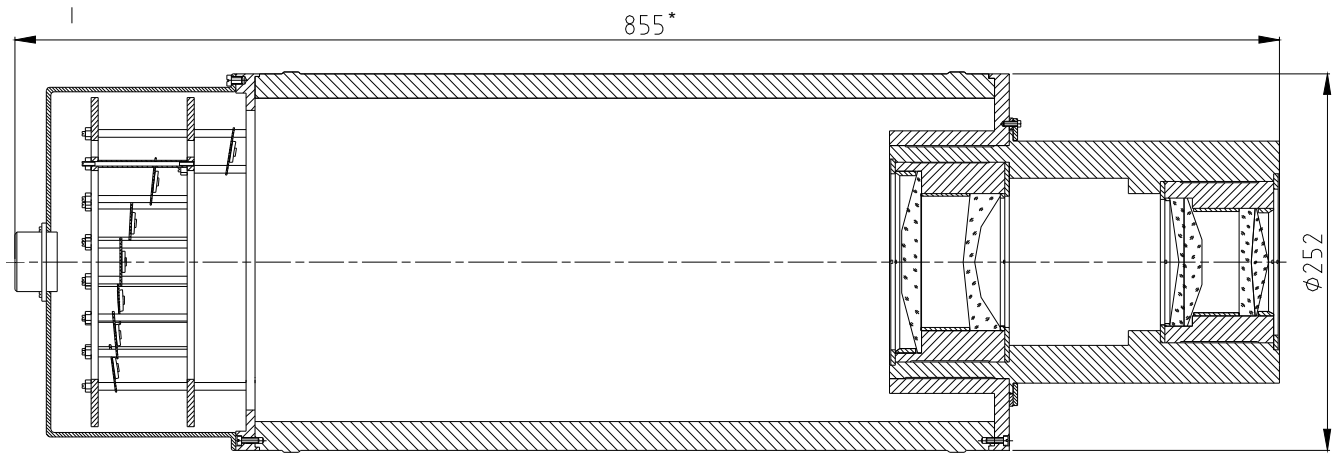
- Система включает 8 измерительных каналов
- Измерительный канал определяет X, Y координаты в 19 контрольных точках. Всего 152 точки.



Оптическая схема многоматричной системы контроля положения точек отражающей поверхности



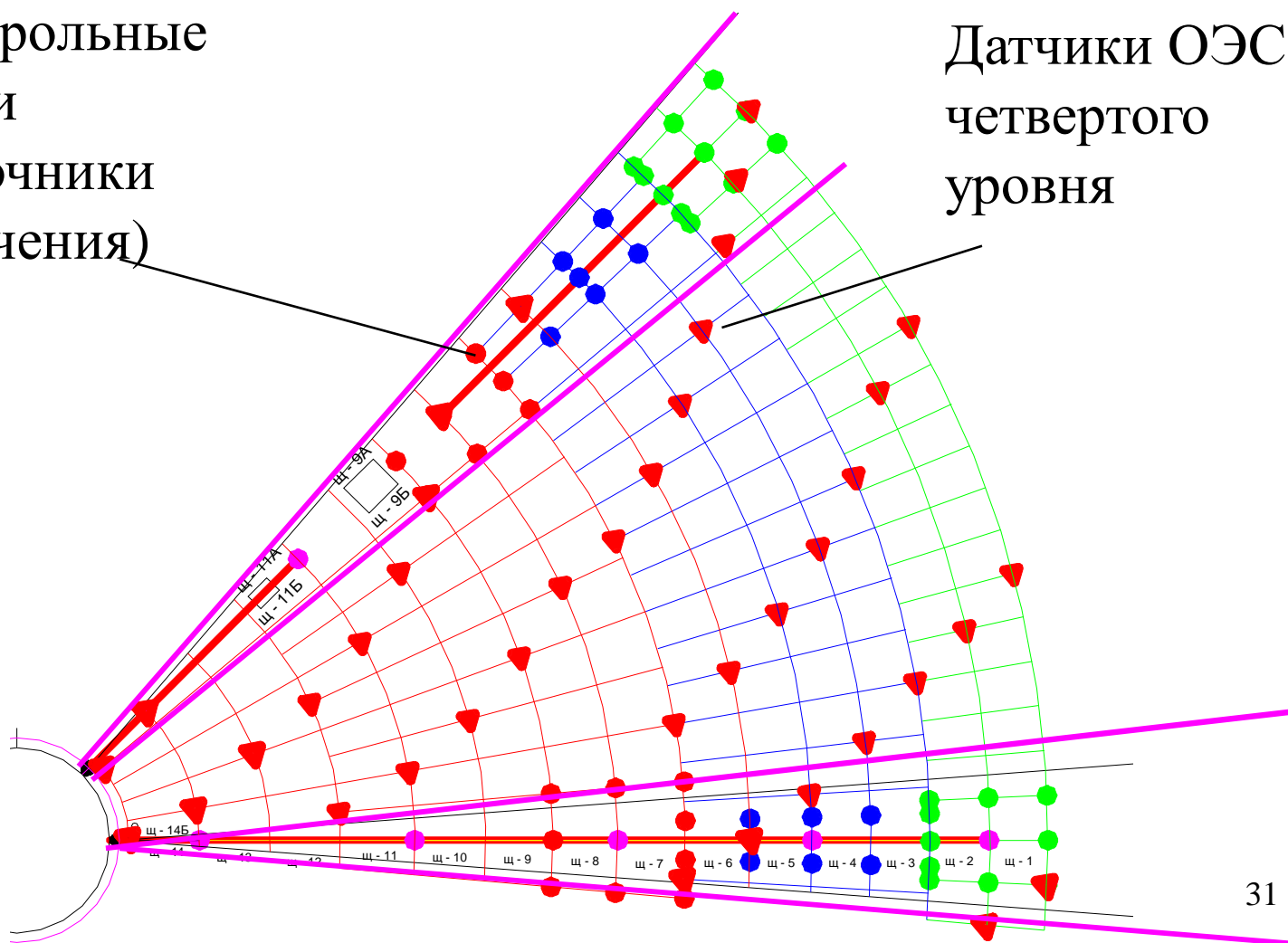
Вариант конструктивного решения базового блока системы контроля положения точек отражающей поверхности



Кустовая ОЭС контроля положения промежуточных точек Главного Зеркала

Контрольные точки
(источники излучения)

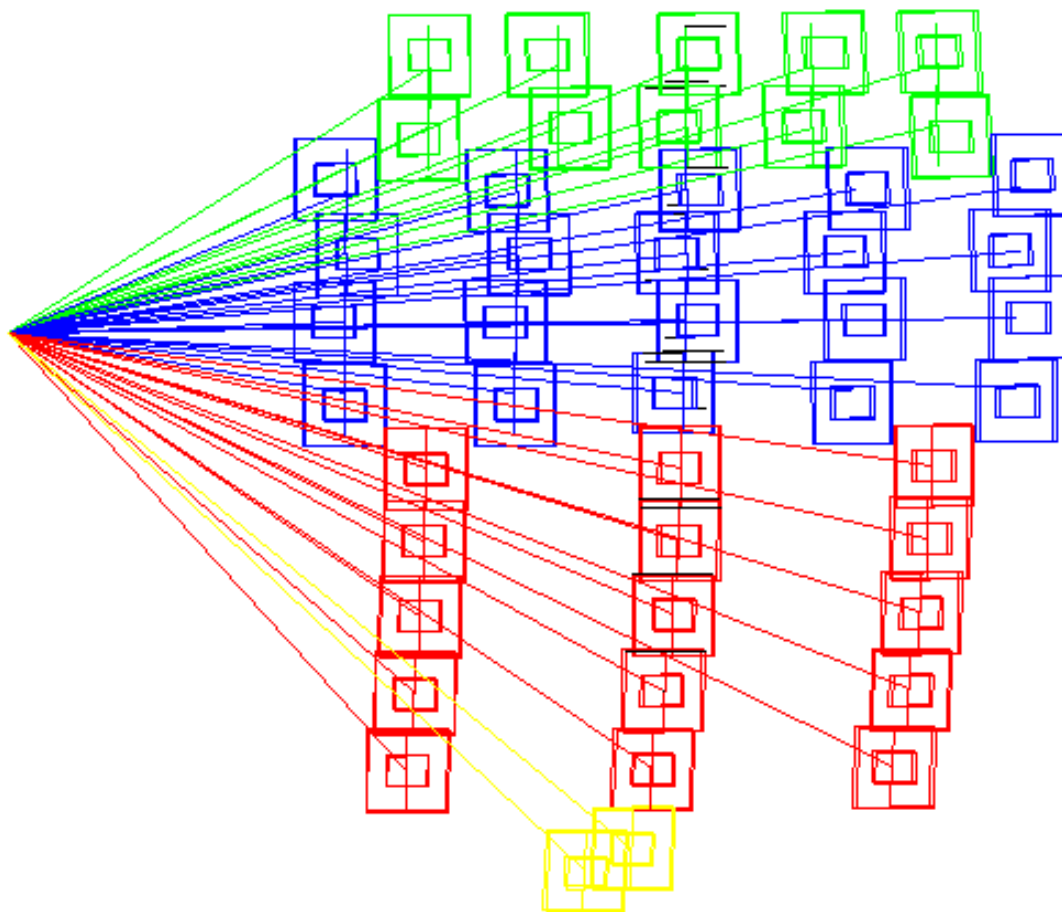
Датчики ОЭС
четвертого уровня



Алгоритм контроля и коррекции поверхности Главного Зеркала



Оптическая схема приемной части
мультиматричной измерительной системы (47
контрольных точек)



Угловое поле базового блока

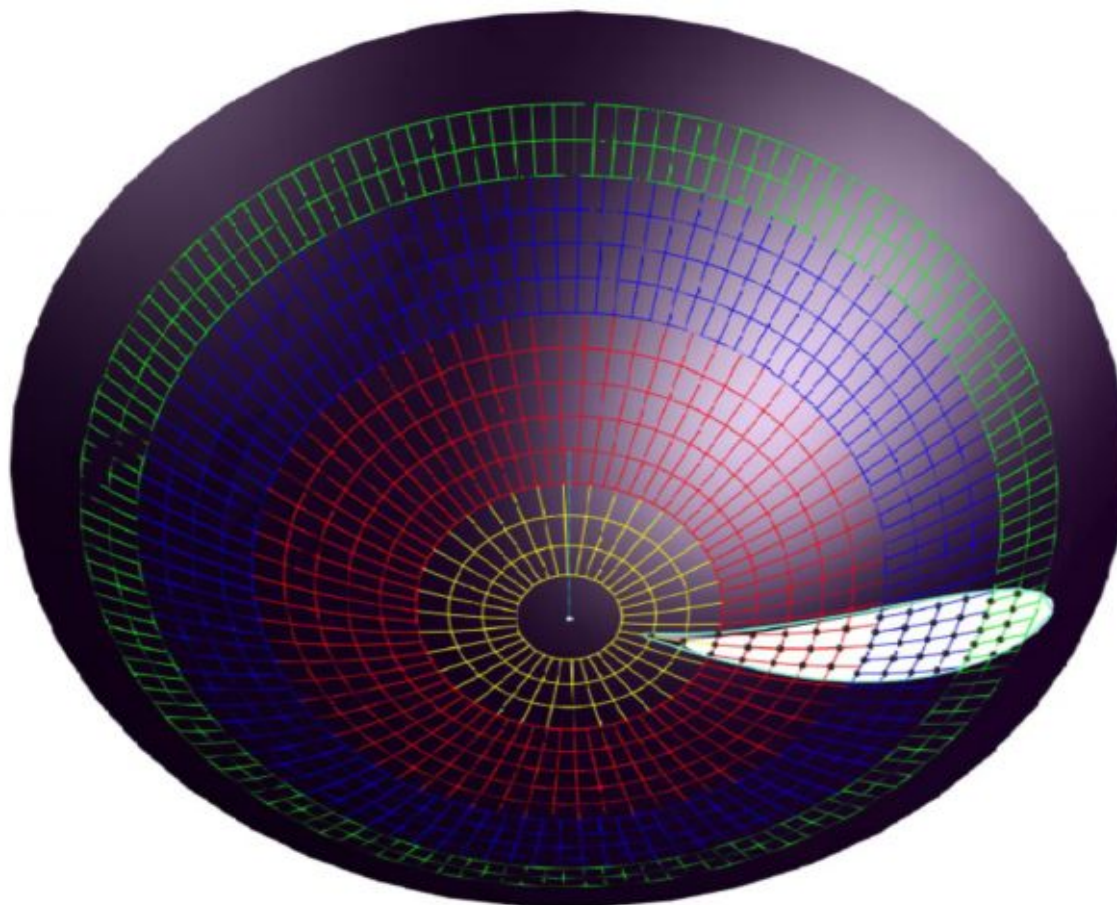
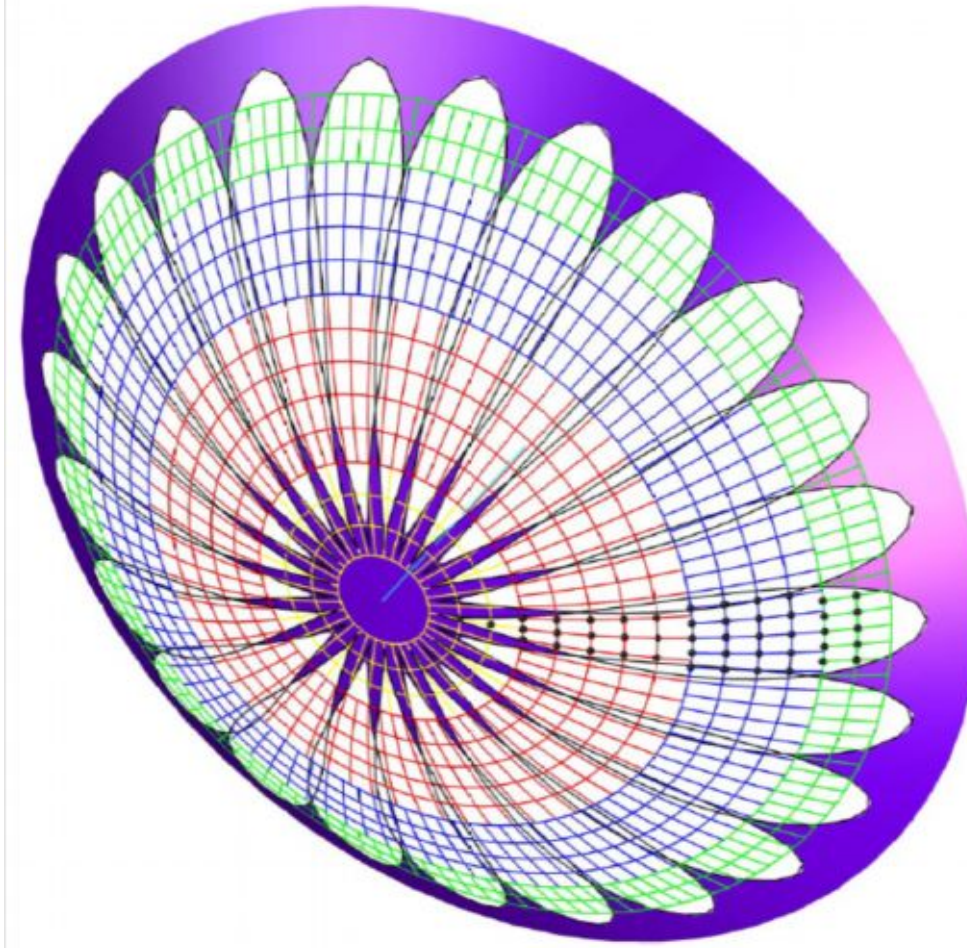
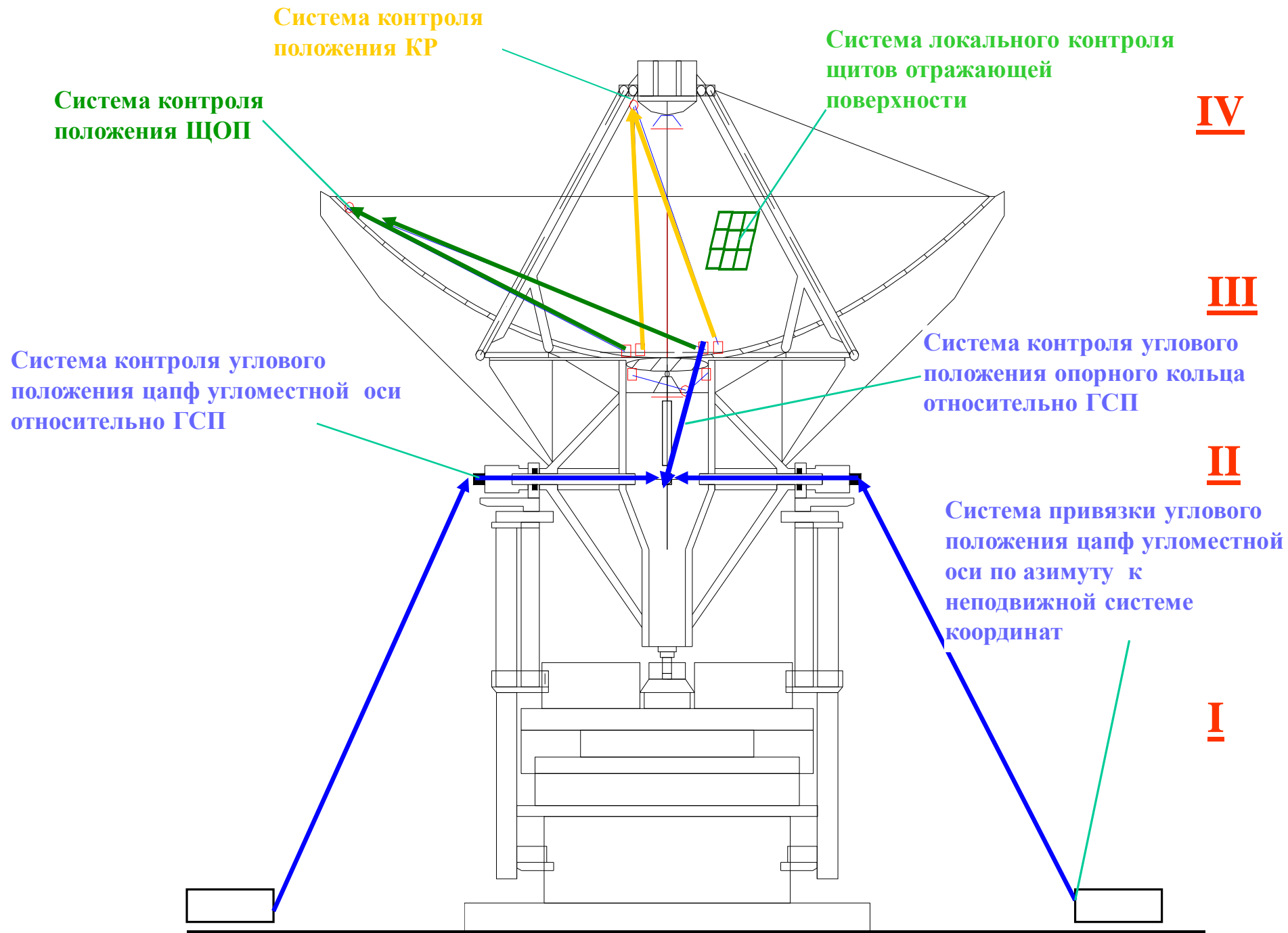


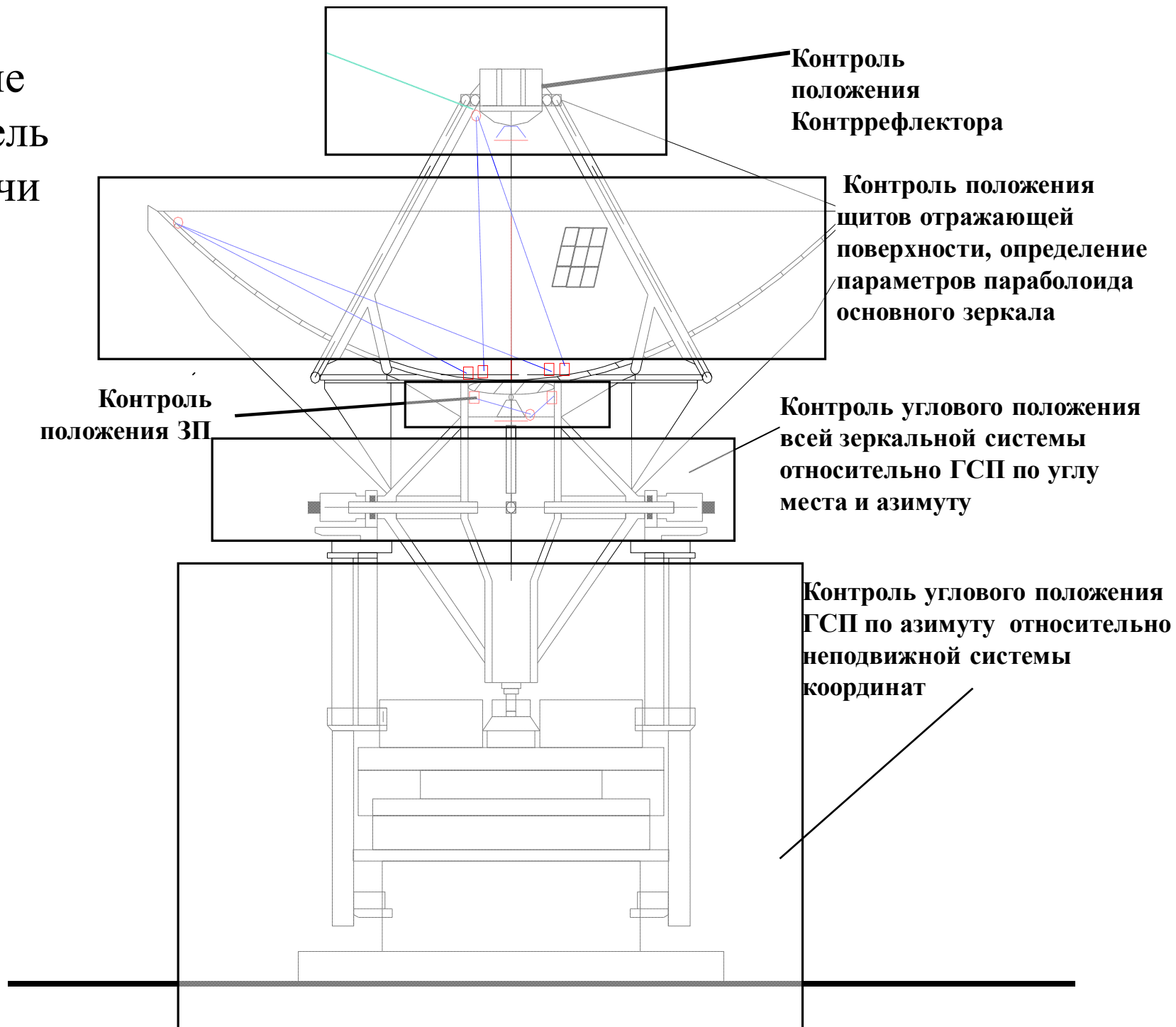
Схема контроля положения точек отражающей поверхности на основе 24 мультиматричных систем



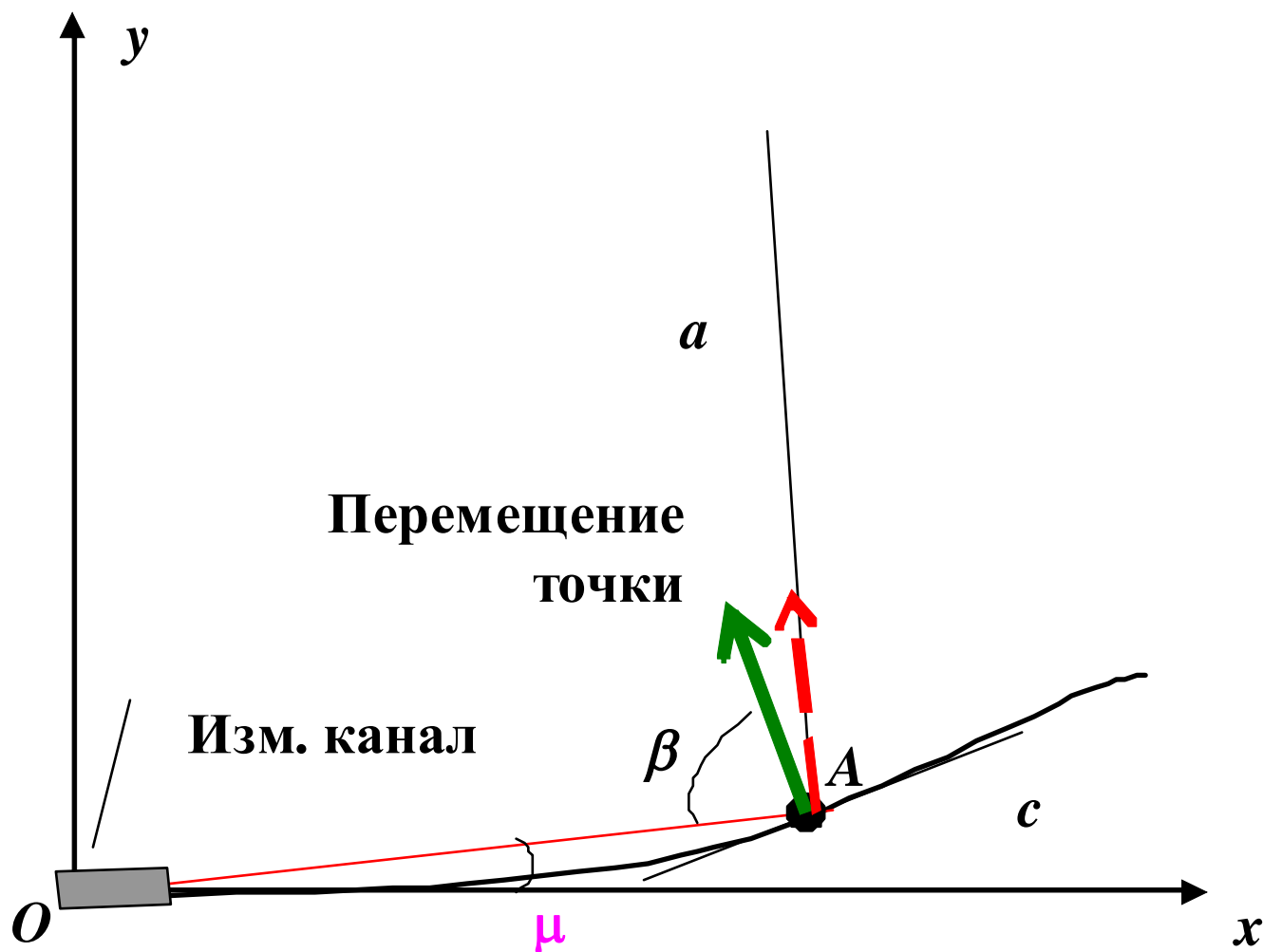


Спасибо
за внимание

**Основные
измерительные
задачи**



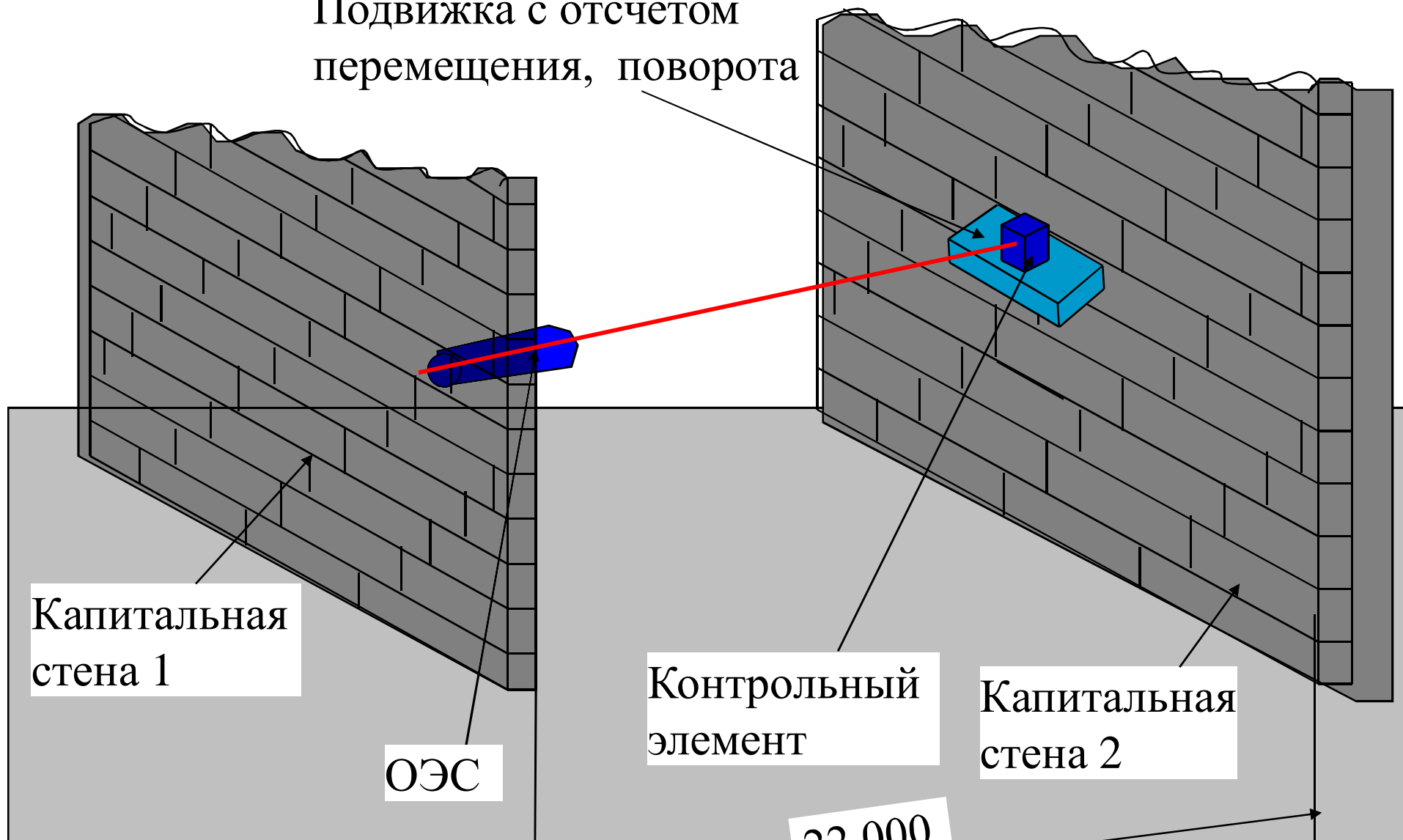
Угловые параметры параболы в точке визирования A



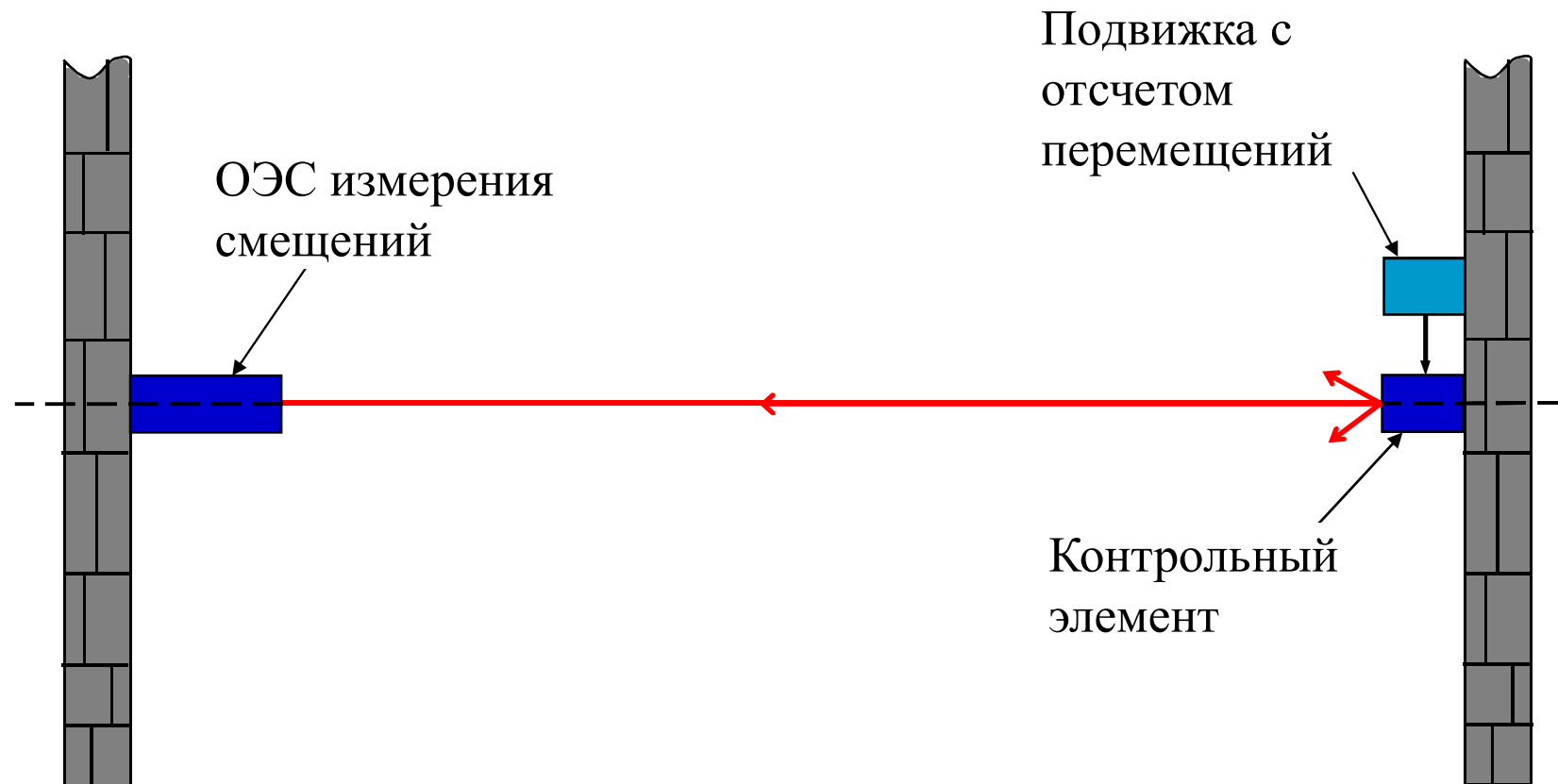
a - нормаль к касательной c в точке визирования A , OA - линия визирования,
 β - угол между прямой a и линией визирования,
 μ - угол визирования, ε - угол между осью ординат и линией визирования

Полигон для испытаний каналов опто-электронных измерительных систем

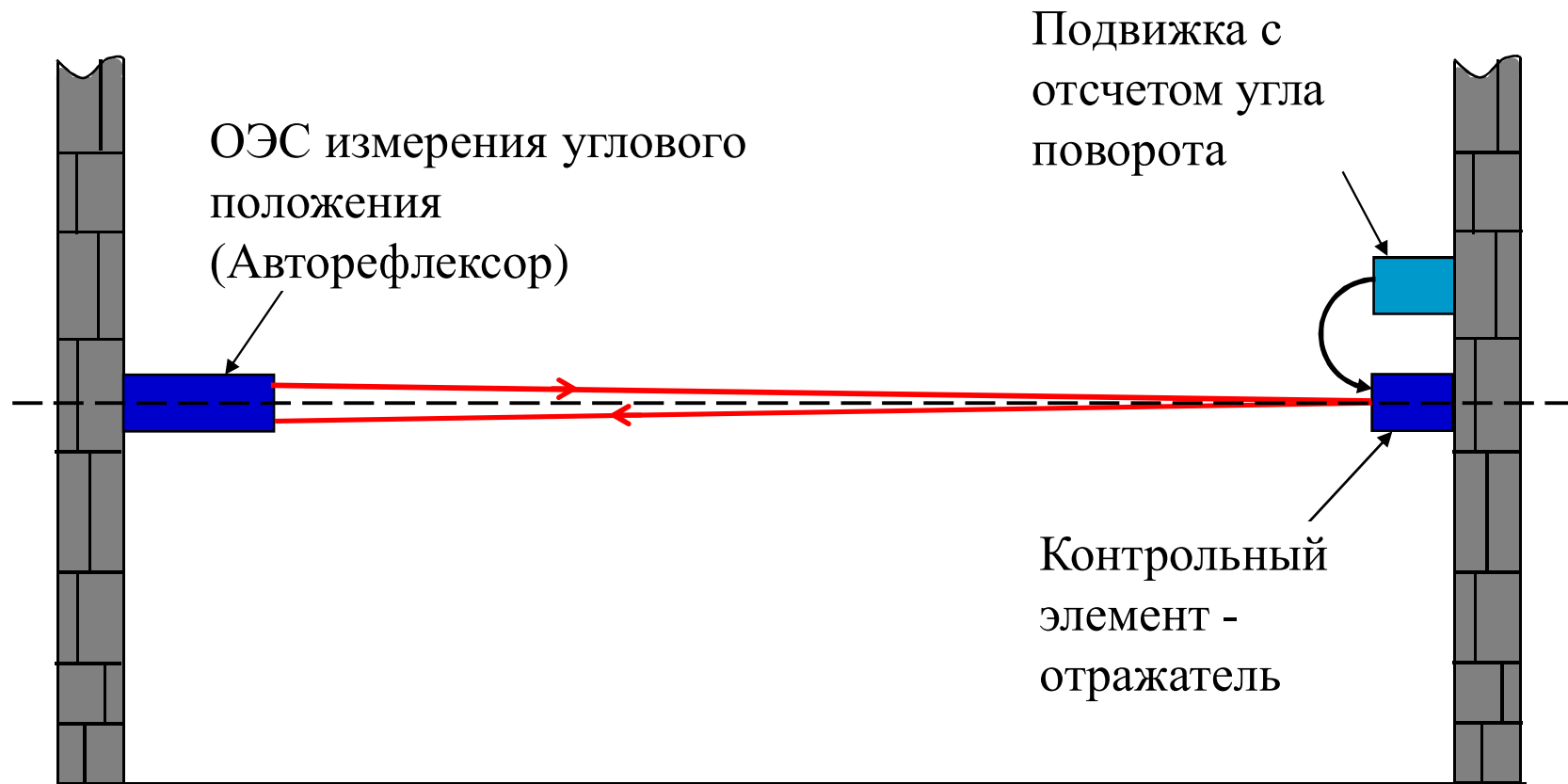
Подвижка с отсчетом перемещения, поворота



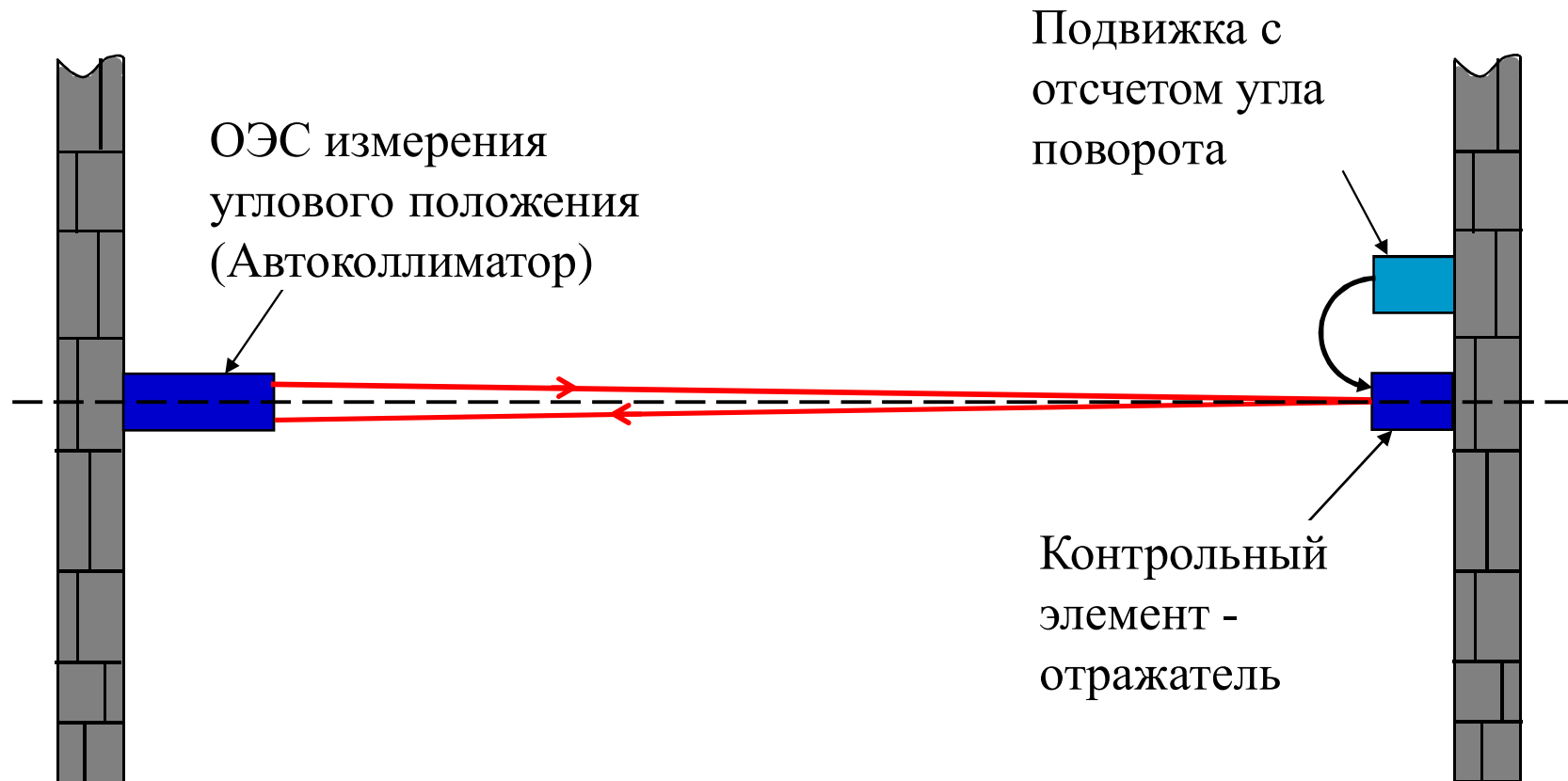
Полигон для испытаний каналов опто- электронных измерительных систем



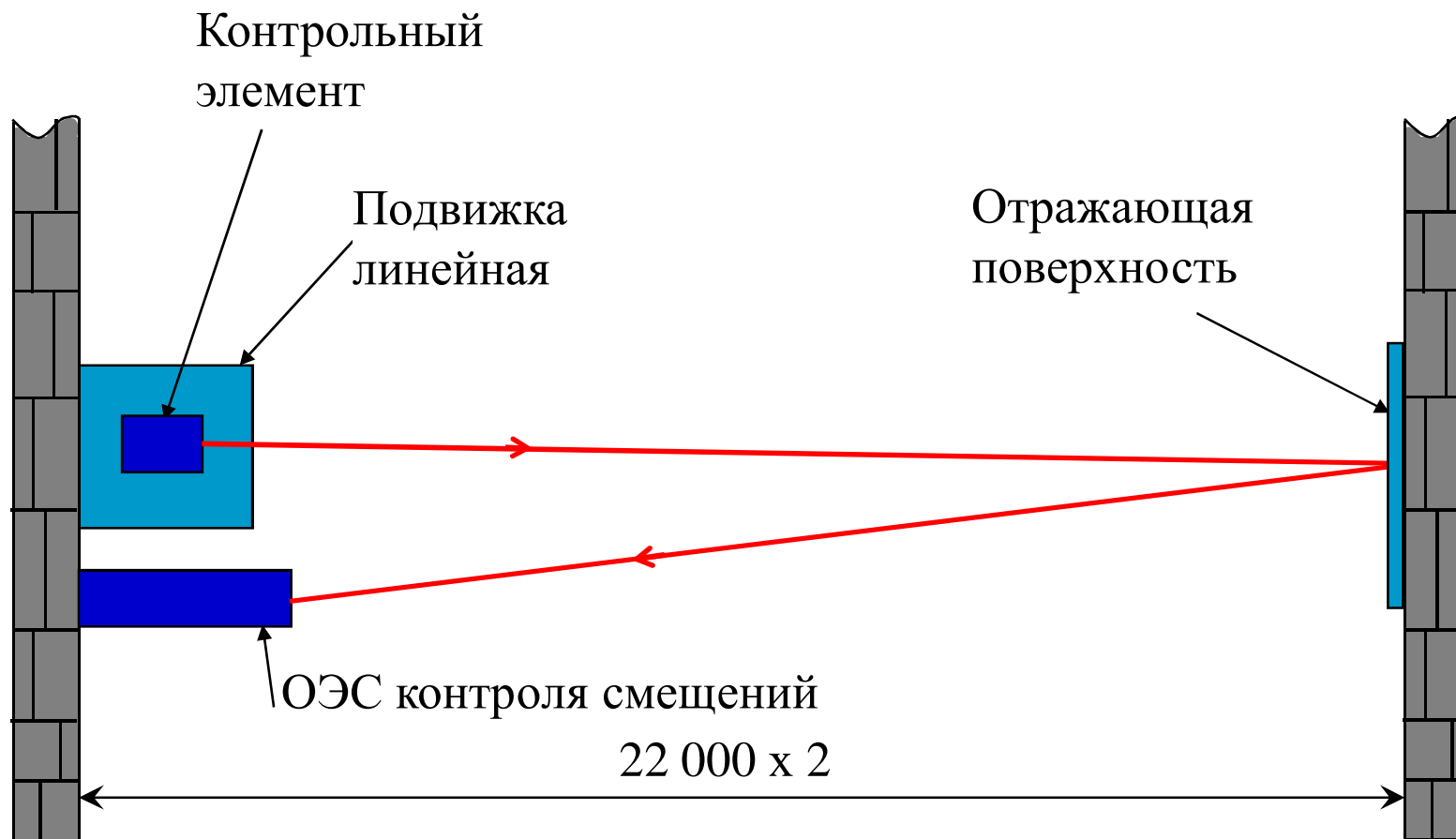
Полигон для испытаний каналов оптико-электронных измерительных систем



Полигон для испытаний каналов опто-электронных измерительных систем

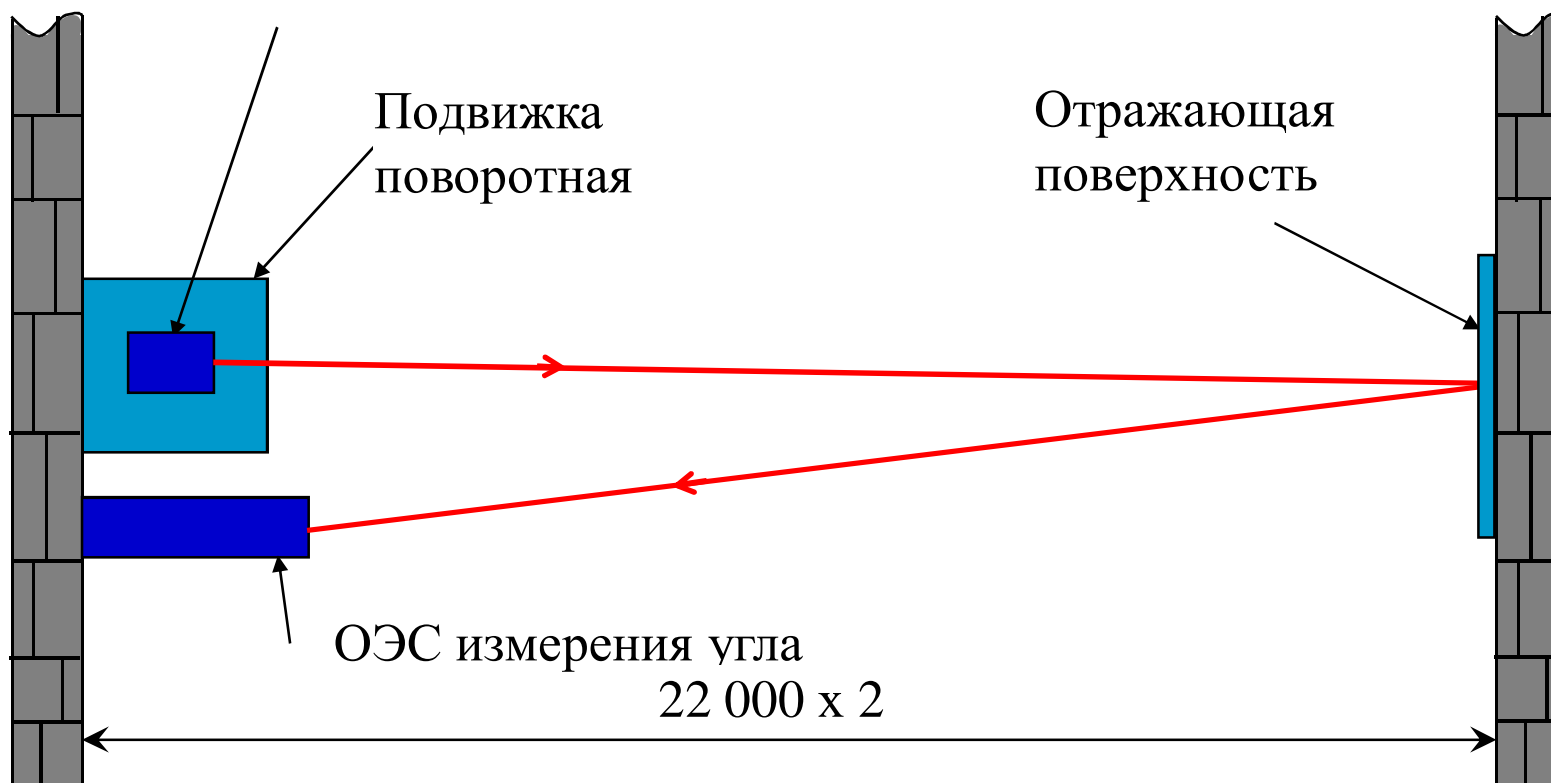


Полигон для испытаний каналов опто-электронных измерительных систем



Полигон для испытаний каналов опто- электронных измерительных систем

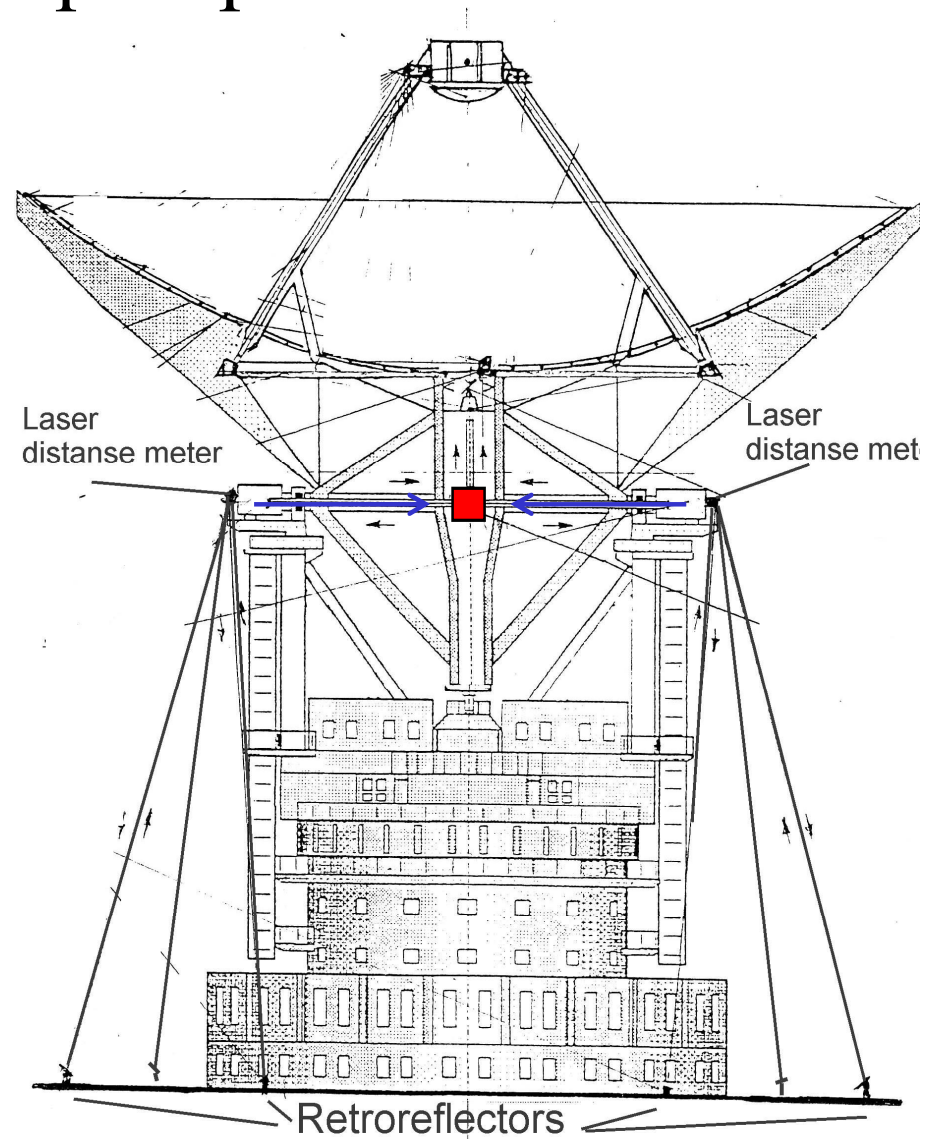
Контрольный элемент Коллиматор



Вариант измерения угла азимута по наземным реперам

Система измерения азимутальных углов поворота главного зеркала с помощью двух дальномеров

- Дальномеры установлены на наружной стороне цапф угломестной оси.
- Система использует метод трилатерации.
- Каждый прибор измеряет расстояние до трех отражателей..



Построения измерительного канала измерения азимутального угла на основе оптико-электронных дальномеров

Требования, предъявляемые к точности измерения расстояния

$$X = \frac{L_1^2 - L_2^2 + B_1}{2B_1},$$

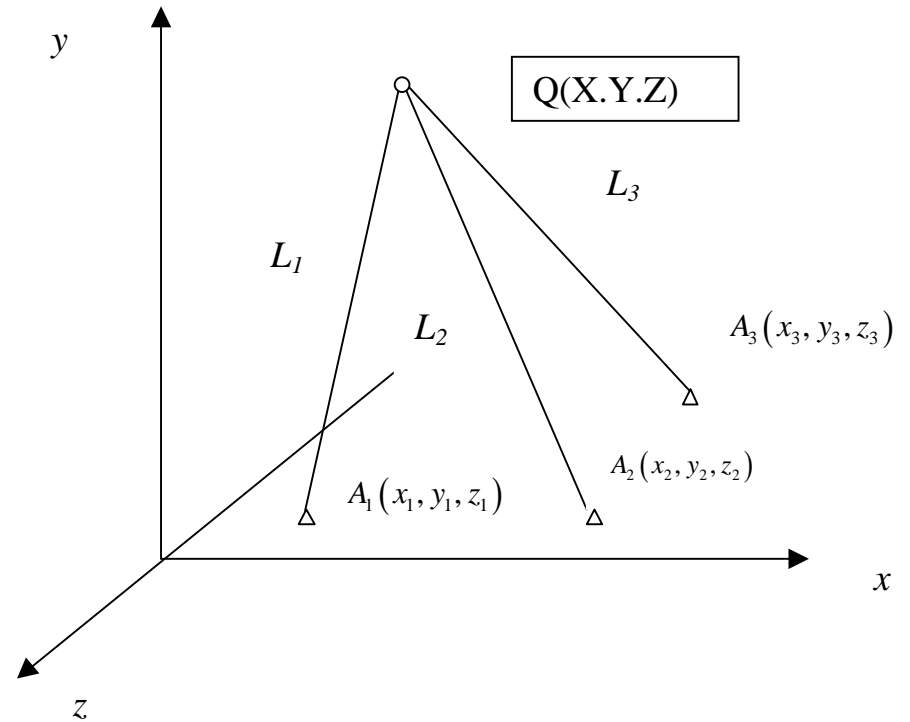
$$Z = \frac{L_1^2 - L_3^2 + B_3}{2B_3},$$
(18)

$$Y = \pm \sqrt{L_1^2 - \left(\frac{L_1^2 - L_2^2 + B_1}{2B_1} + \frac{L_1^2 - L_3^2 + B_3}{2B_3} \right)}.$$

$$\Delta l_1 = \pm \frac{|\Delta X| \Delta_1}{L_1 \alpha_1 + L_2 \beta_1 + L_3 \gamma_3},$$

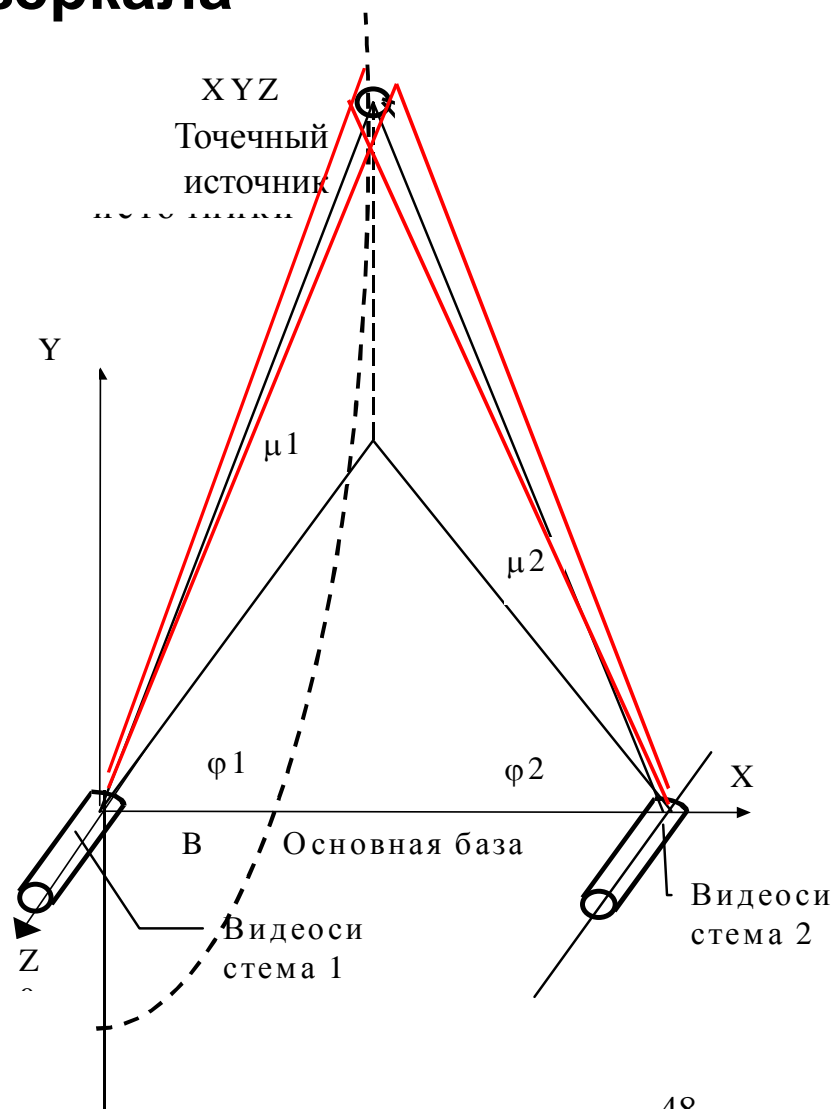
$$\Delta l_2 = \pm \frac{|\Delta Y| \Delta_1}{L_1 \alpha_2 + L_2 \beta_2 + L_3 \gamma_2},$$
(19)

$$\Delta l_3 = \pm \frac{|\Delta Z| \Delta_1}{L_1 \alpha_3 + L_2 \beta_3 + L_3 \gamma_3}.$$

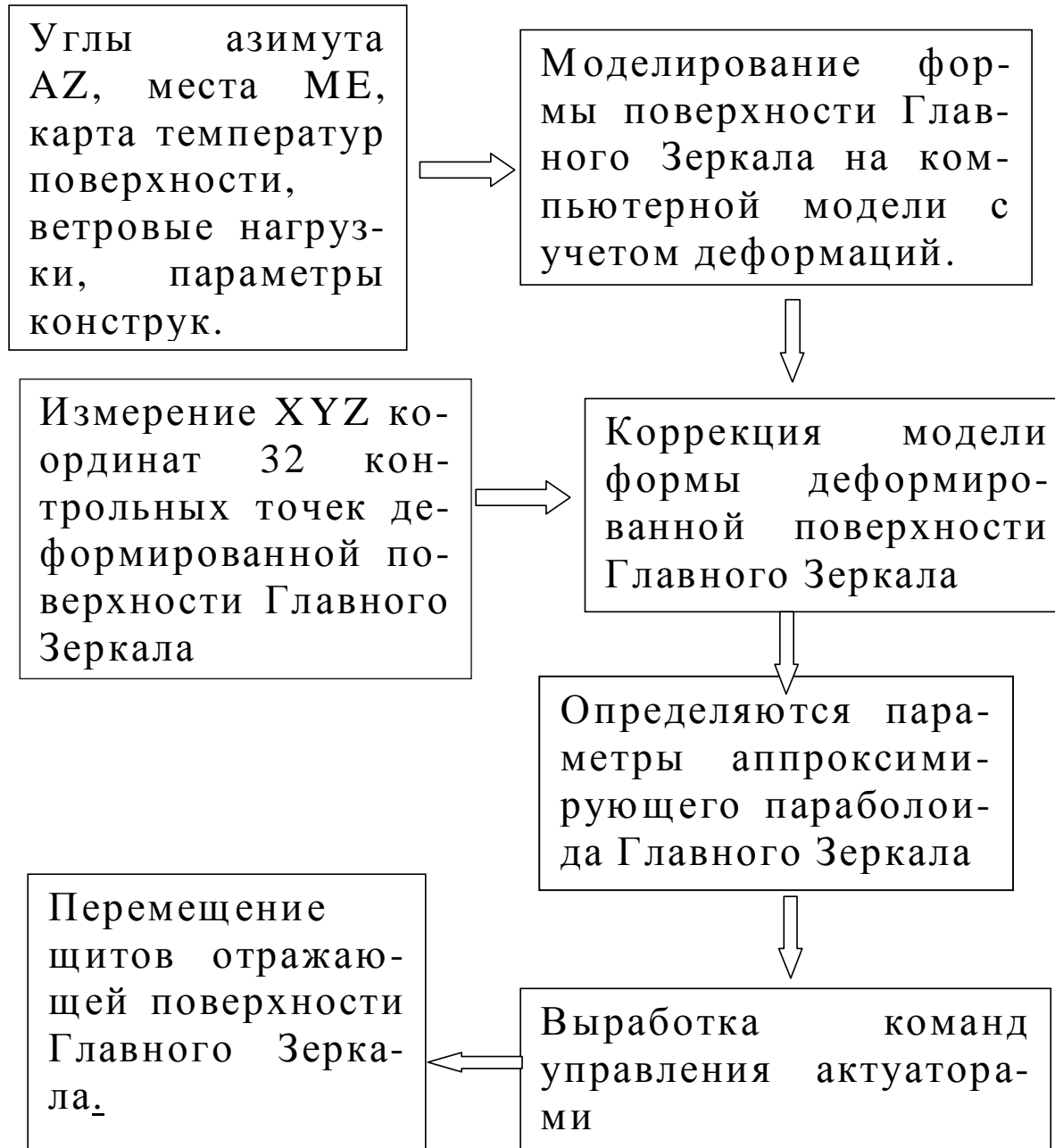


Модель II канала измерения ОЭС определения координат одной точки на поверхности зеркала

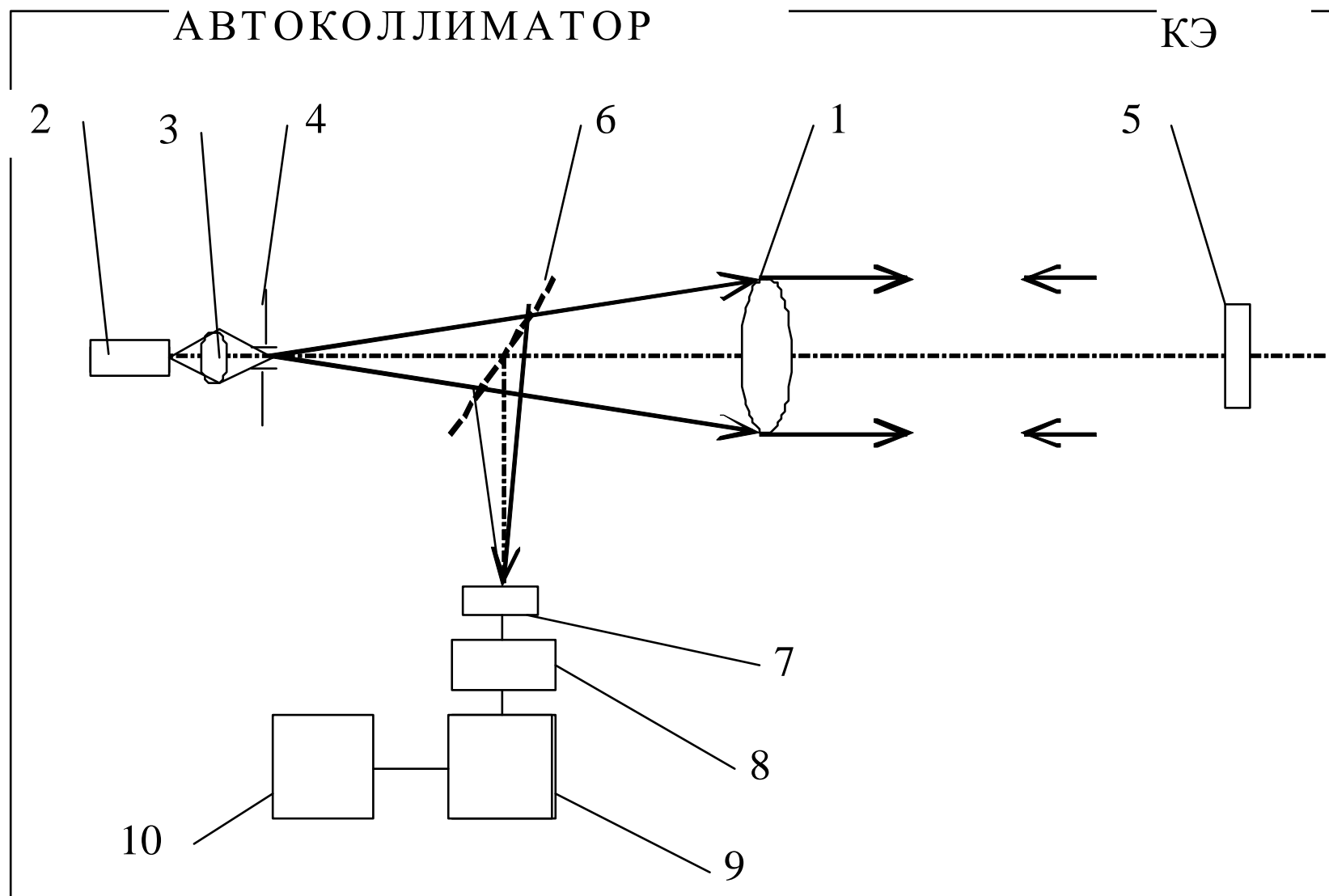
- Измерение *изменения* координат контрольной точки выполняется триангуляционным методом.
- В контрольной точке расположен точечный источник излучения.
- Две видео-системы расположены на **жесткой** базе В.
- Измеряются *приращения* углов визирования $\mu_1, \mu_2, \varphi_1, \varphi_2$ контрольной точки.
- Определяются *изменение* X, Y, Z координат контрольной точки.



Алгоритм контроля и коррекции поверхности Главного Зеркала

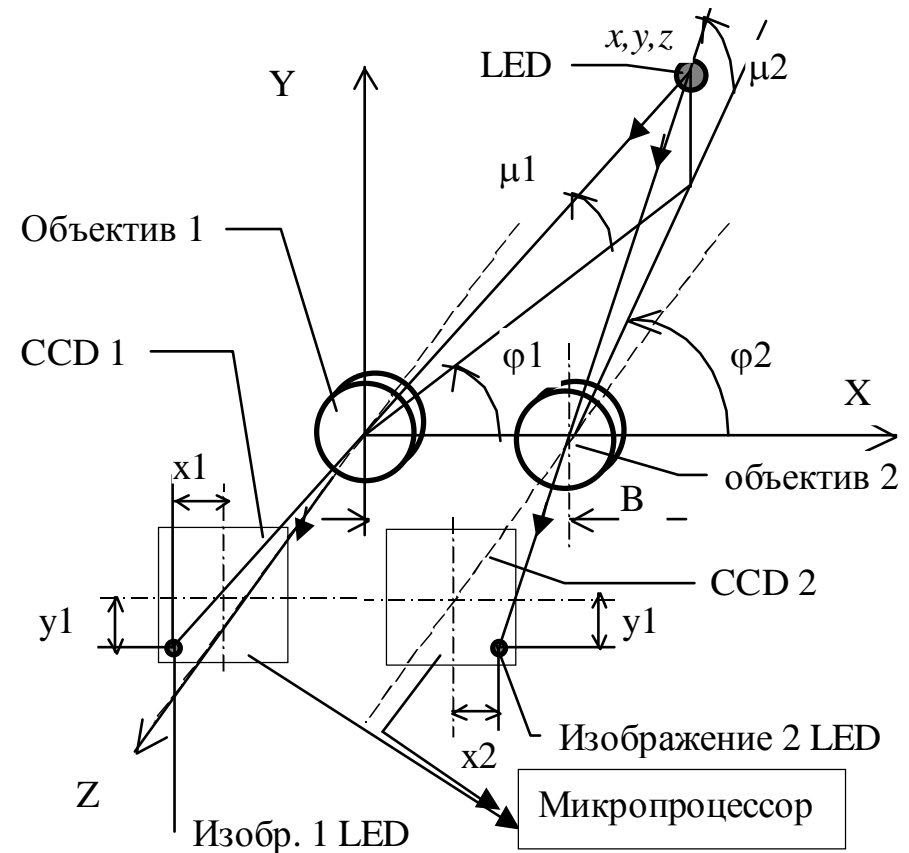


Структурная схема автоколлиматора



Система для измерения смещения по одной контрольной точке, состоит из двух видео камер: Объектив 1 с фотоприемником ССД 1 и Объектив 2 с фотоприемником ССД 2.

- Каждый видео канал измеряет углы φ_1, φ_2 and μ_1, μ_2 в ИК свете излучающего диода (LED)
- Видео кадр ССД и координаты X, Y, Z LED обрабатываются микропроцессором



Углы φ_1, φ_2 в горизонтальной плоскости и углы μ_1, μ_2 в вертикальной плоскости определены из уравнений:

$$\mu_1 = \operatorname{arctg}\left(-\frac{y_1}{f}\right) \quad \mu_2 = \operatorname{arctg}\left(-\frac{y_2}{f}\right)$$

$$\varphi_2 = \frac{\pi}{2} + \operatorname{arctg}\left(\frac{x_2}{f}\right) \quad \varphi_1 = \frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg}\left(\frac{x_1}{f}\right)$$

Где $y_1, x_1; y_2, x_2$ координаты LED's изображения на CCD 1 и CCD2, f фокус объектива 1 или объектива 2.

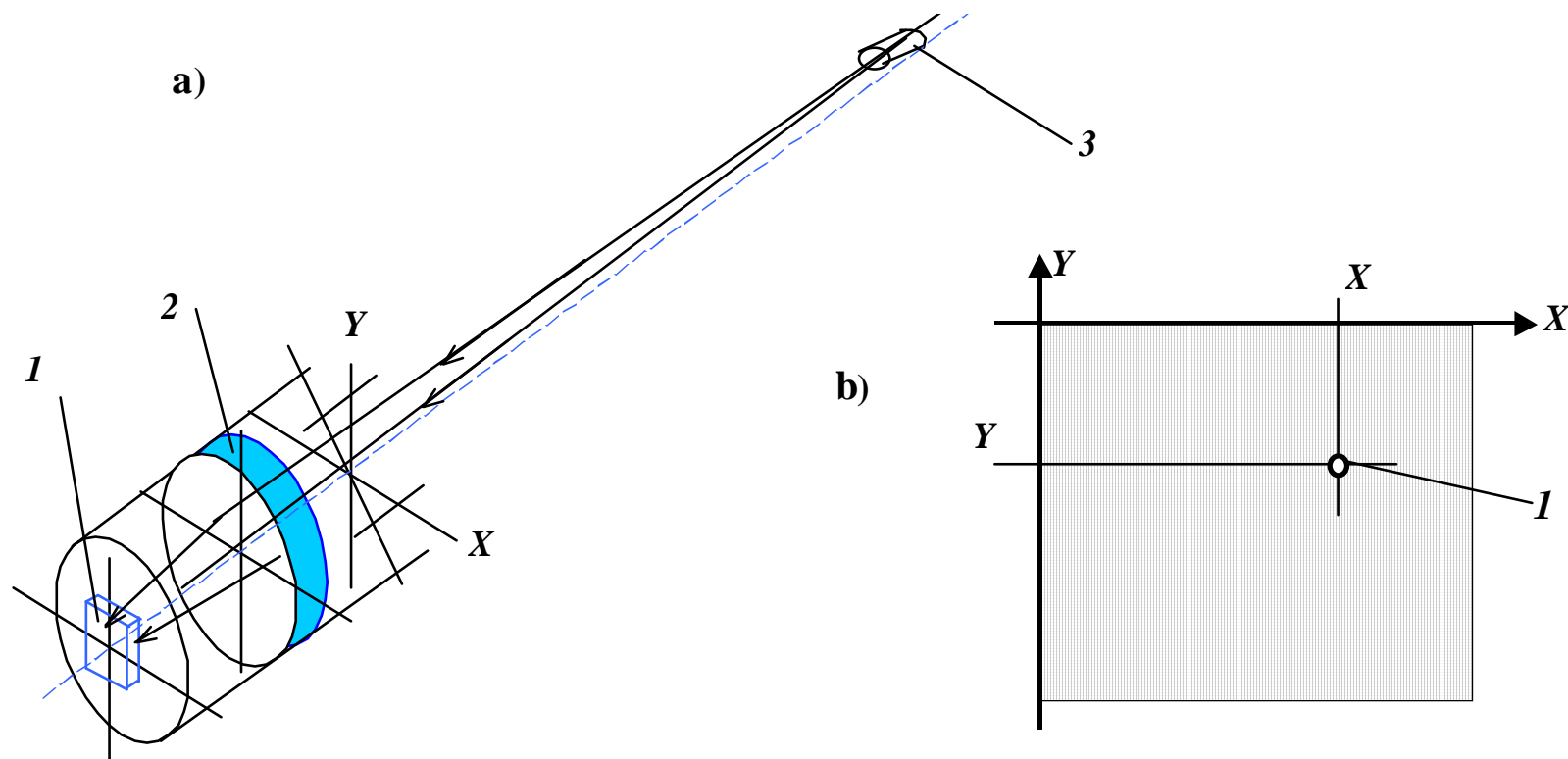
Координаты LED определяются уравнениями:

$$x = \frac{B \cdot \operatorname{tg}(\pi - \varphi_2)}{\operatorname{tg}(-\varphi_1) + \operatorname{tg}(\pi - \varphi_2)}$$

$$z = \frac{B \cdot \operatorname{tg}(-\varphi_1) \cdot \operatorname{tg}(\pi - \varphi_2)}{\operatorname{tg}(-\varphi_1) + \operatorname{tg}(\pi - \varphi_2)}$$

$$y = 0.5 \cdot \sqrt{x^2 + z^2} \cdot \operatorname{tg}(\mu_1) + 0.5 \cdot \sqrt{z^2 + (B - x)^2} \cdot \operatorname{tg}(\mu_2)$$

Универсальная экспериментальная видео-система спроектированная для измерений линейных смещений контрольной точки.



$$X = \frac{\sum_{n=X_{\max}-2}^{X_{\max}+2} nU(n, Y_{\max})}{\sum_{n=X_{\max}-2}^{X_{\max}+2} U(n, Y_{\max})}$$

$$Y = \frac{\sum_{n=Y_{\max}-2}^{Y_{\max}+2} nU(X_{\max}, n)}{\sum_{n=Y_{\max}-2}^{Y_{\max}+2} U(X_{\max}, n)}$$

Схема измерения угла AZ

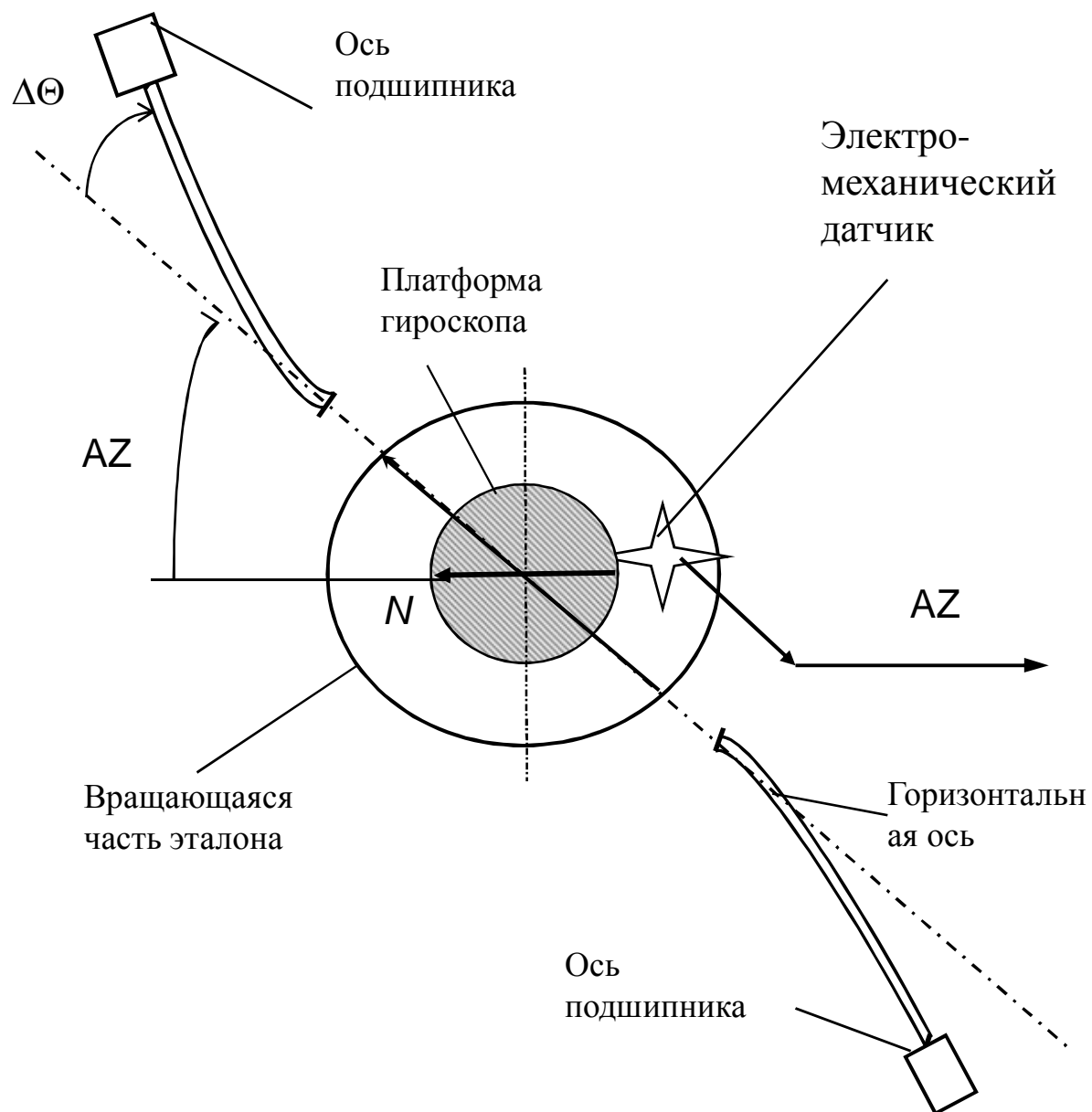


Схема автоколлимационной системы

