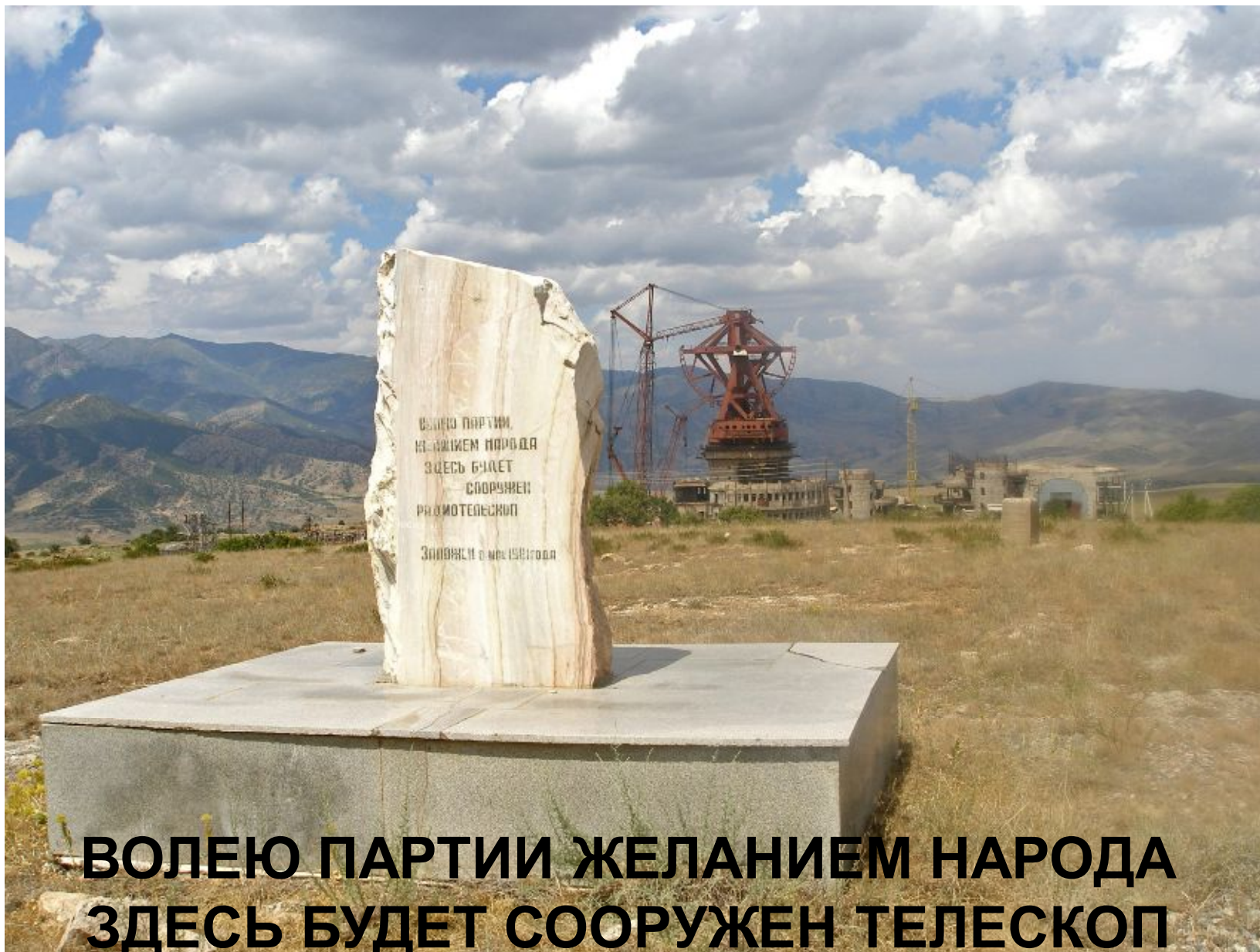


Задачи и проблемы создания адаптивного радиотелескопа мм диапазона на плато Суффа и пути их решения

Артеменко Ю.Н., Гиммельман В.Г., Парщиков А.А.



**ВОЛЕЮ ПАРТИИ ЖЕЛАНИЕМ НАРОДА
ЗДЕСЬ БУДЕТ СООРУЖЕН ТЕЛЕСКОП
ЗАЛОЖЕН в мае 1981 года**



РТ-70 на плато СУФА





СМ-214

Евпатория

**Введена в эксплуатацию
в 1978 г.**



Центр дальней космической связи. Евпатория

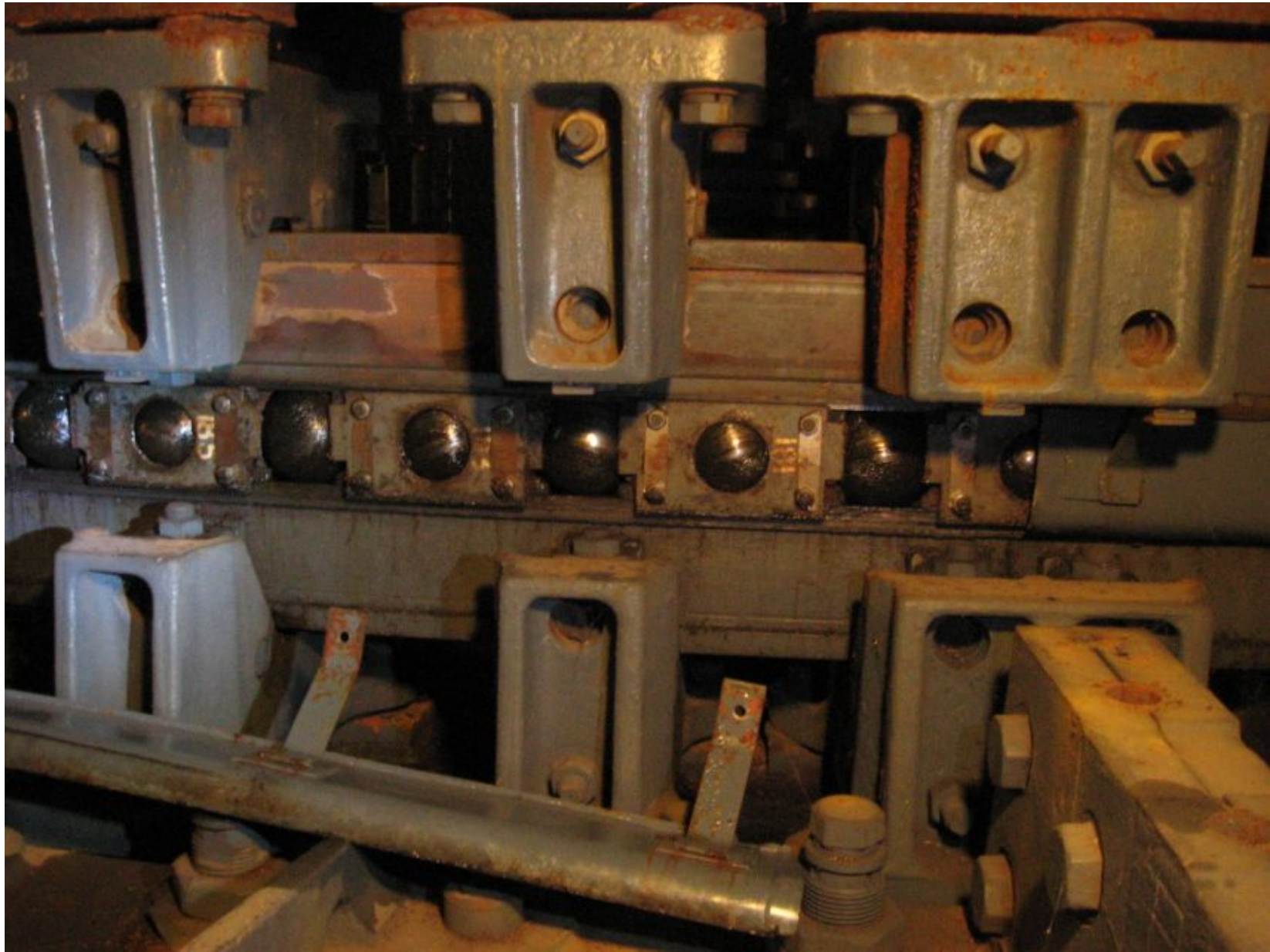


СМ-214

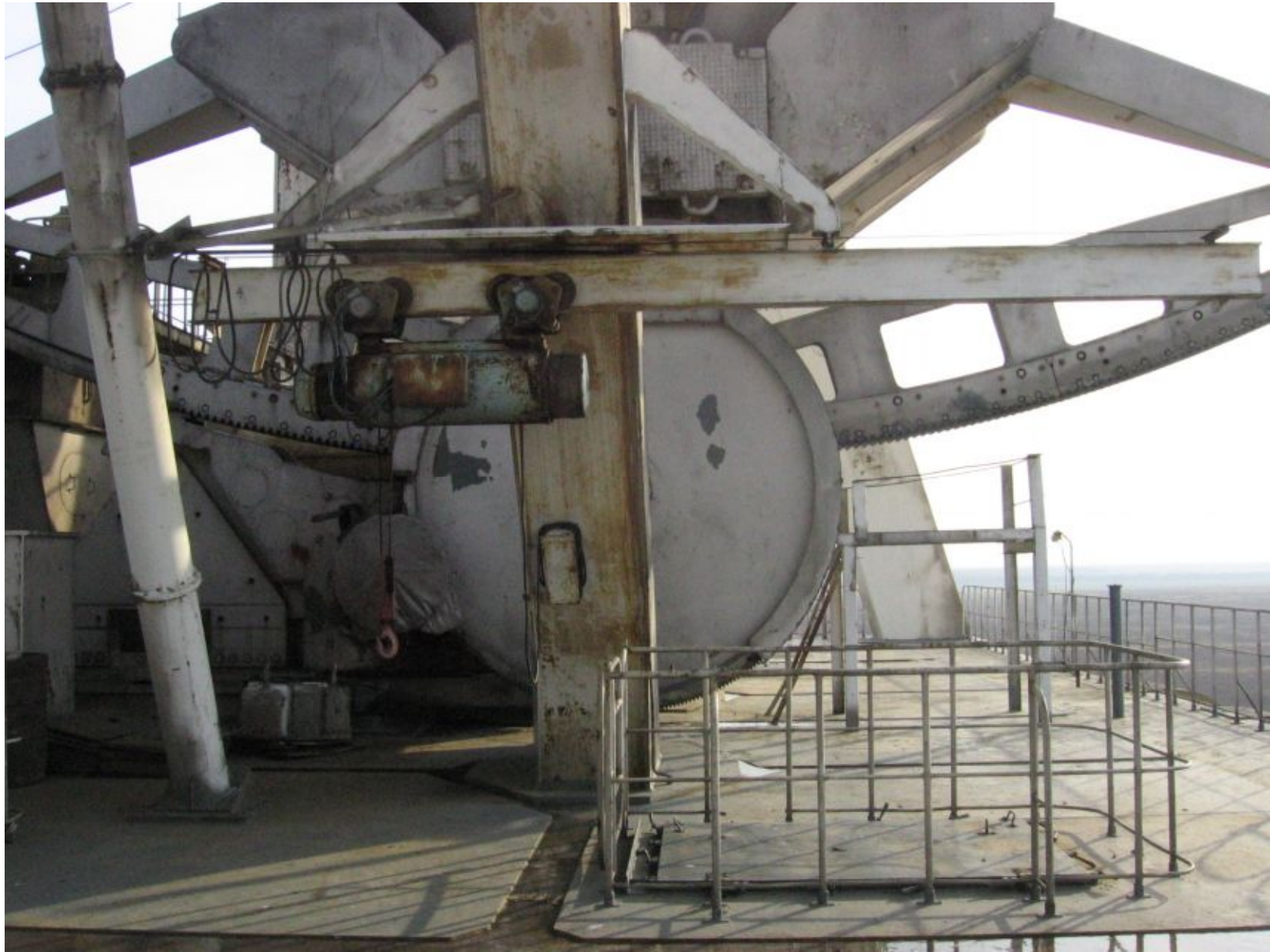
Уссурийск

**Введена в эксплуатацию
в 1985 г.**















**Диаметр
зеркала 100м
Бонн
Германия**

ЗС представляет собой систему трех зеркал (Рис.5.1).

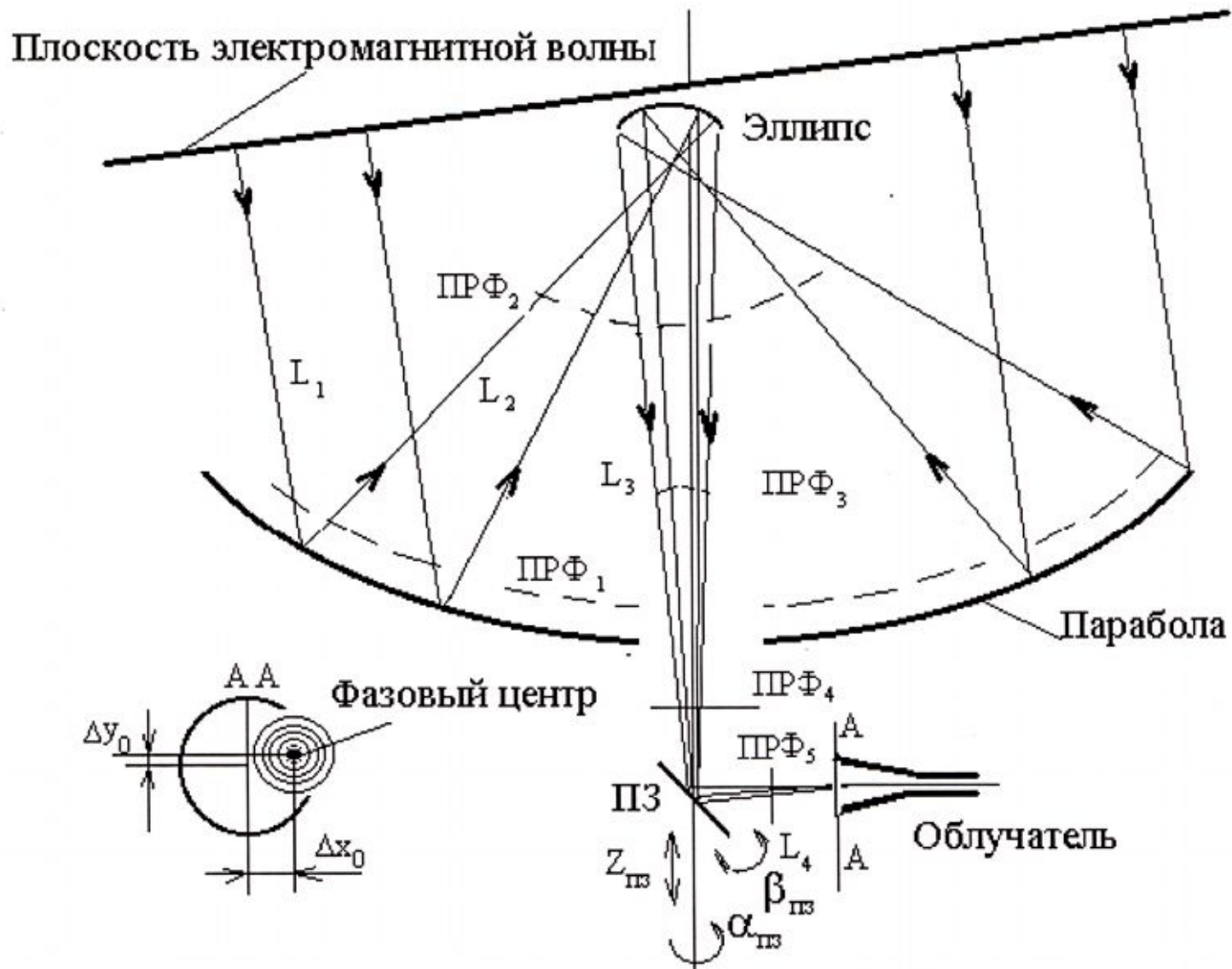
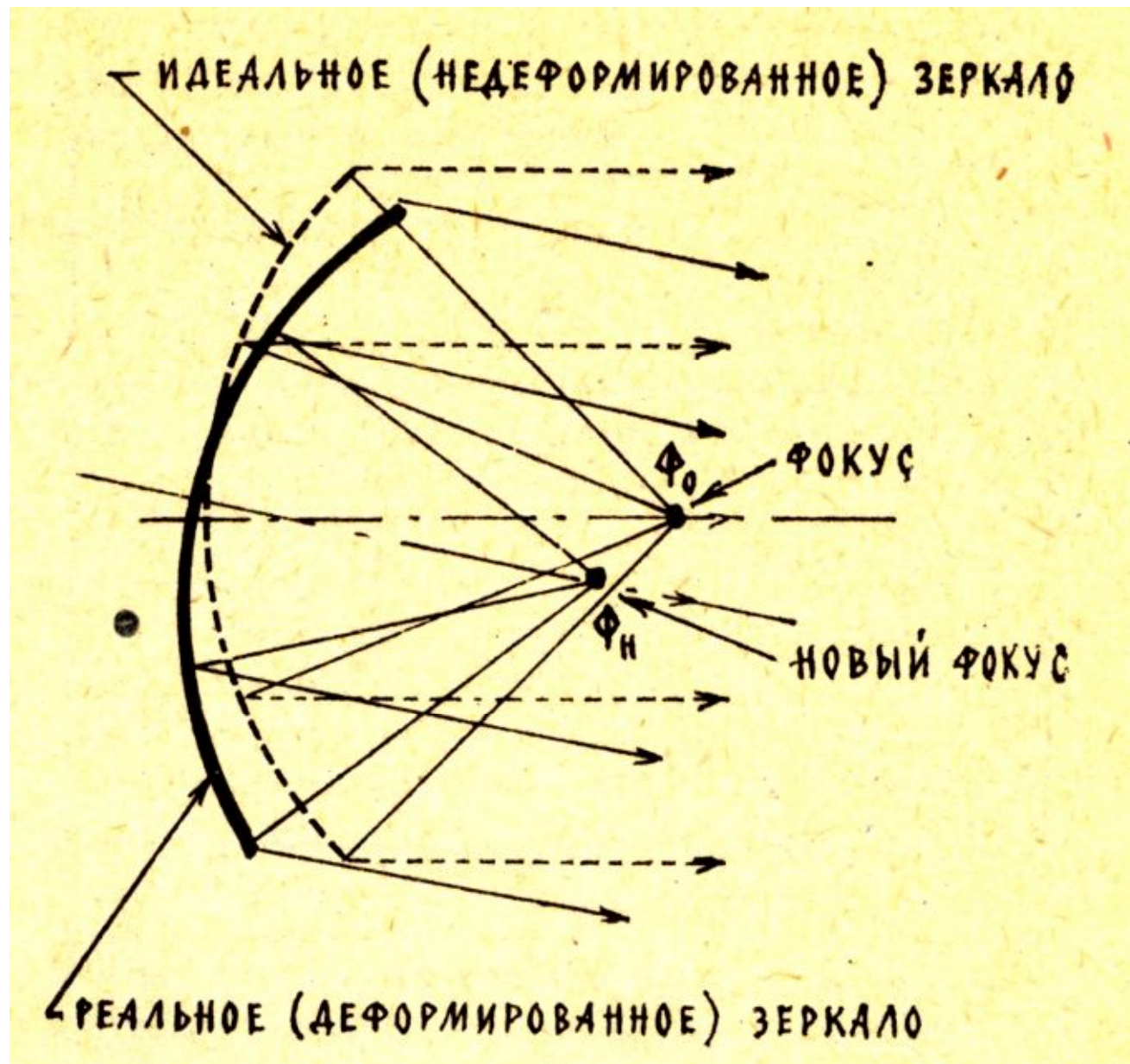


Рис.5.1. Схема трехзеркальной системы РТ-70



Гомологический закон распределения деформаций зеркала¹⁷

Некоторые фактические характеристики СМ-214

Ветровые деформации при ветре 15..20 м/с наклон по углу места деформации каркаса главного зеркала	2' 10 мм
Низшая частота собственных колебаний при угле места 0 при угле места 90°	1,35 Гц 1,47 Гц
Минимальная скорость плавного вращения по Аз	5"/с
Весовые деформации каркаса главного зеркала	30 мм
Отклонение от аппроксимирующего параболлоида	0,8 мм
Остаточное снижение коэффициента усиления при оптимальном перемещении КР при заторможенном КР	3...4% 30%

ОСНОВНЫЕ СООТНОШЕНИЯ

Коэффициент усиления антенны

$$G = 4 \frac{\pi}{\lambda^2} \nu S \eta, \quad \text{где } \lambda - \text{длина волны}$$

ν - коэффициент направления

S - площадь антенны

η - коэффициент эффективности

η - коэффициент эффективности

Ширина диаграммы направленности по половинной мощности

$$\theta_{0,5} = \frac{\lambda}{D}, \quad \text{где } D - \text{диаметр антенны}$$

$$\text{для } \lambda = 214 \text{ м } \theta_{0,5} = 2,5'$$

$$\text{для } \lambda = 70 \text{ м } \theta_{0,5} = 3''$$

Отклонение поверхности зеркала от теоретического профиля

$$\tau = \frac{\lambda}{40} \text{ для } 10\% \text{ отклонения}$$

$$\tau = \frac{\lambda}{25} \text{ для } 20\% \text{ отклонения}$$

$$\text{для } \tau = 0,8 \text{ мм } \Rightarrow \frac{\tau}{60}$$

$$\text{для } \tau = 0,07 \text{ мм } \Rightarrow \frac{\tau}{14}$$

Погрешность наведения

$$\Delta = (0,1 \dots 0,2) \theta_{0,5}$$

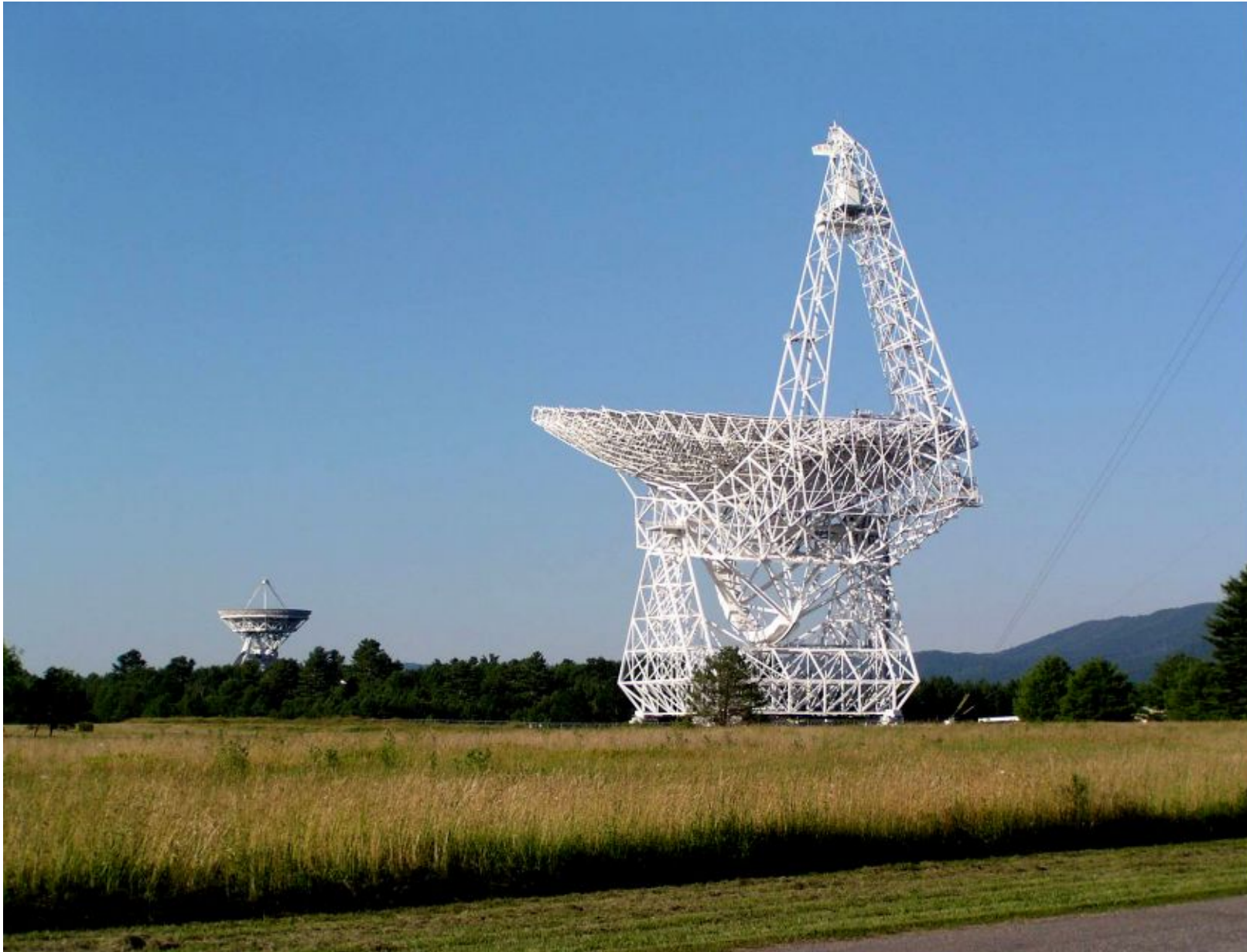
$$\text{для } \lambda = 214 \text{ м } \Delta = 15'' \Rightarrow 0,1 \theta_{0,5}$$

$$\text{для } \lambda = 70 \text{ м } \Delta = 1,5'' \Rightarrow 0,5 \theta_{0,5}$$

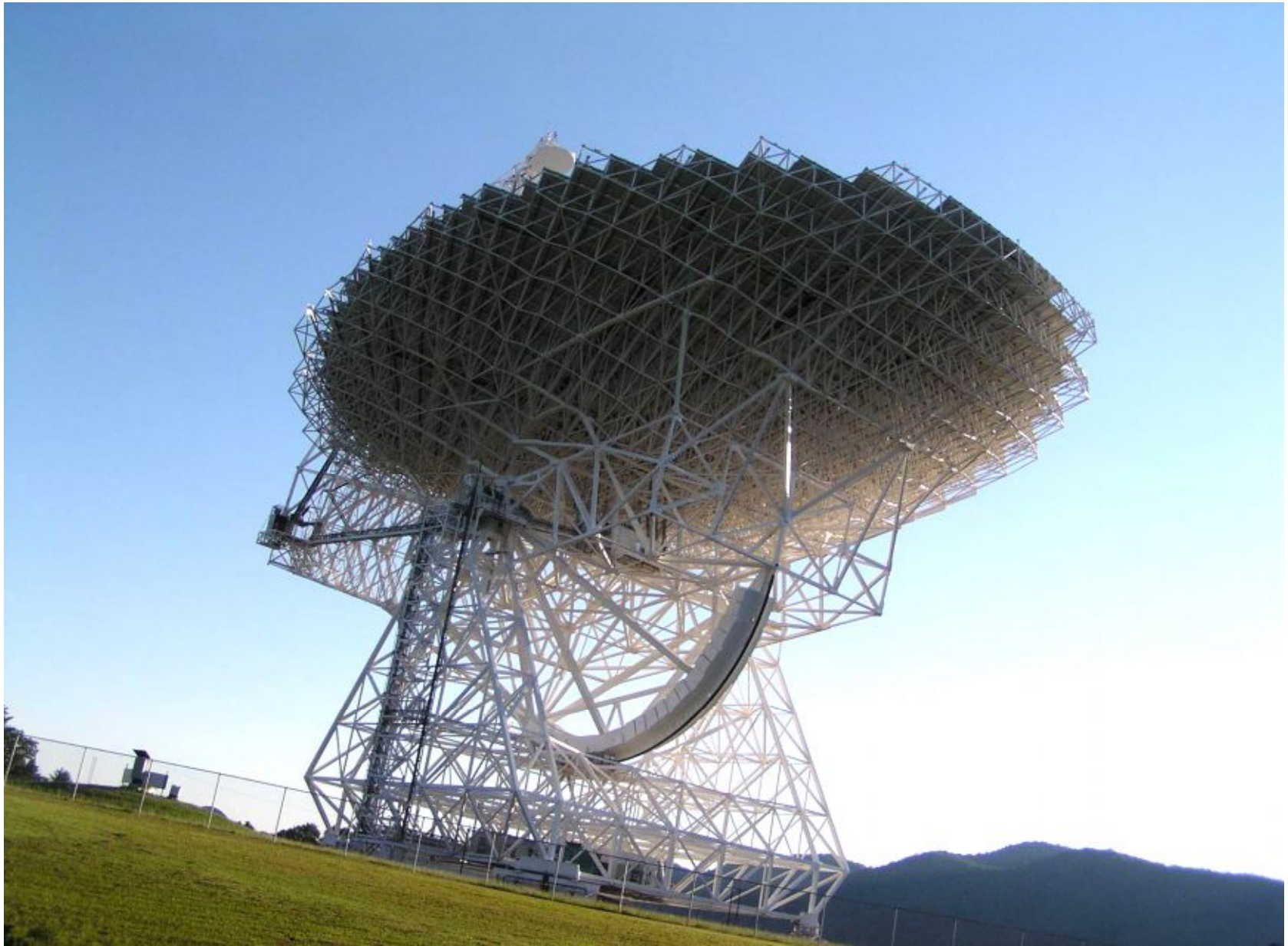
**О с н о в н ы е к о н с т р у к т и в н ы е и
 э к с п л у а т а ц и о н н ы е
 х а р а к т е р и с т и к и С М 214 и Р Т 70**

	СМ-214	РТ-70
Тип монтажа	Азимутально-угломестная	
Тип зеркальной системы	Двухзеркальная по системе Грегори	
Диаметр основного зеркала	70 м	
Диаметр контррефлектора	7 м	3 м
Углы поворота по азимуту по углу места	±270° от 4°30' до 95°30'	
Скорости наведения по азимуту по углу места	от 2,5"/с до 30'/с от 2,5"/с до 15'/с	
Высота над уровнем моря	0	2500м
Сейсмичность	-	8 баллов
Рабочая скорость ветра для мм диапазона длин волн	до 18м/с	до 10м/с до 2м/с

	СМ-214	РТ-70
Диапазон длин волн	(5...8)см дециметры	(1...4)мм (0,8...3)с М
Ширина диаграммы направленности	2,5'	3"
СКО отработки ЭСП программных координат при скоростях ветра:		
> 10м/с	20"	
до 10м/с	15"	5"
до 2м/с	5"	1,5"
Разрядность датчиков угла	18(5")	22(0,3")
СКО отклонения отражающей поверхности от теоретического профиля		
основного зеркала	0,8 мм Евп. 1,3 мм Уссур.	0,07 мм
контррефлектора	0,4 мм	0,1 мм

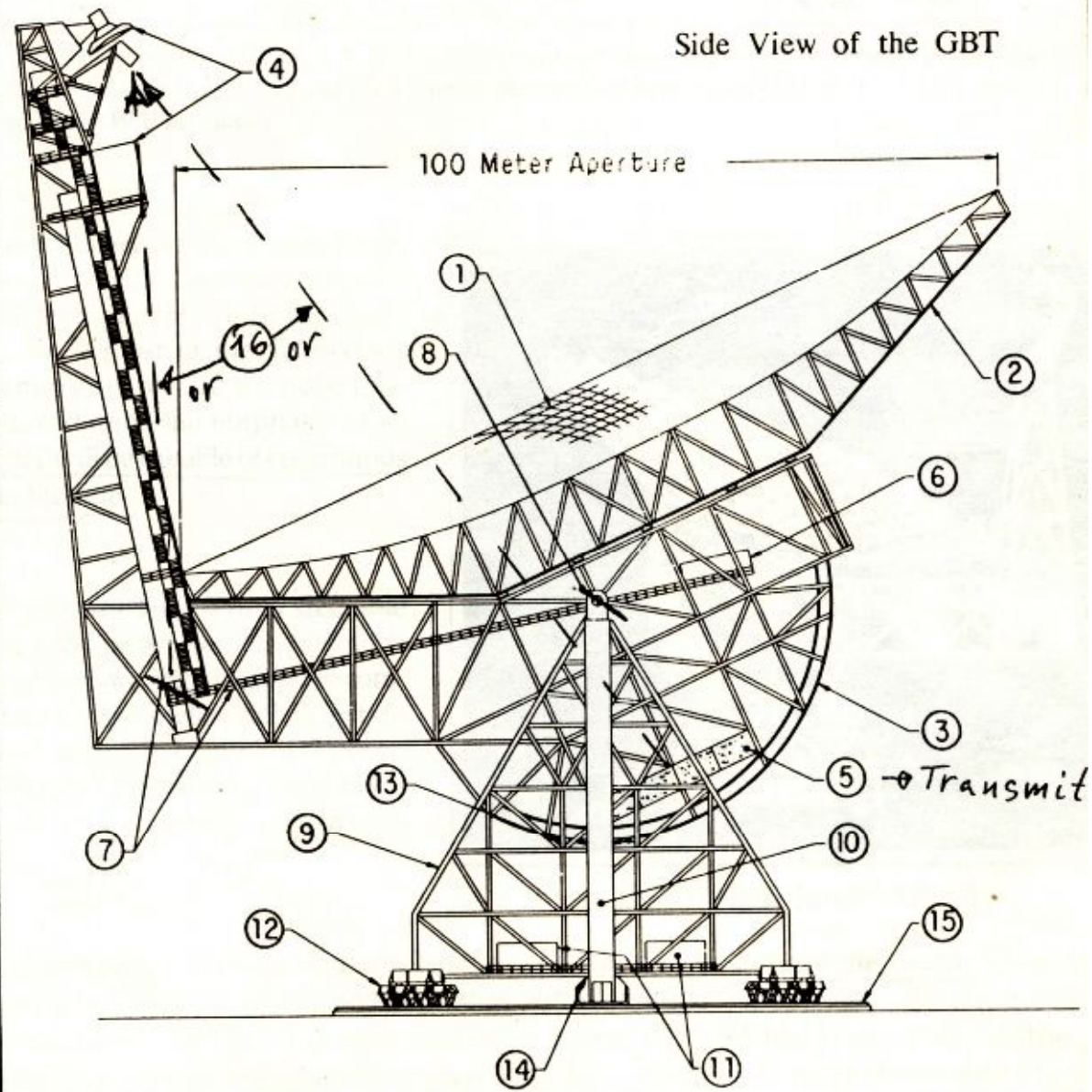


Диаметр антенны 100 м. Грин Бэнк, США $\lambda = 3 \text{ мм}$ ²²



Key to Diagram

1. Primary Reflector Surface
2. Reflector Support Structure
3. Elevation Wheel
4. Secondary Reflector
Receiver Room
5. Counterweight *→ Transmitter*
6. Active Surface Control Room
7. Access Way to Focal Point
8. Elevation Bearing
9. Alidade
10. Elevator
11. Equipment Rooms
12. Azimuth Trucks and Drives
13. Elevation Drives
14. Pintle Bearing
15. Azimuth Track
16. Beam of radiation
→ Transmitter





Черная гора, высота 4660 м









Диаметр зеркала 50 м. Черная гора, Мексика $\lambda = 0,9 \text{ мм}$ ²⁹

IRAM: Институт радиоастрономии миллиметрового диапазона



Три государства: Германия,
Франция и Испания

Две обсерватории:

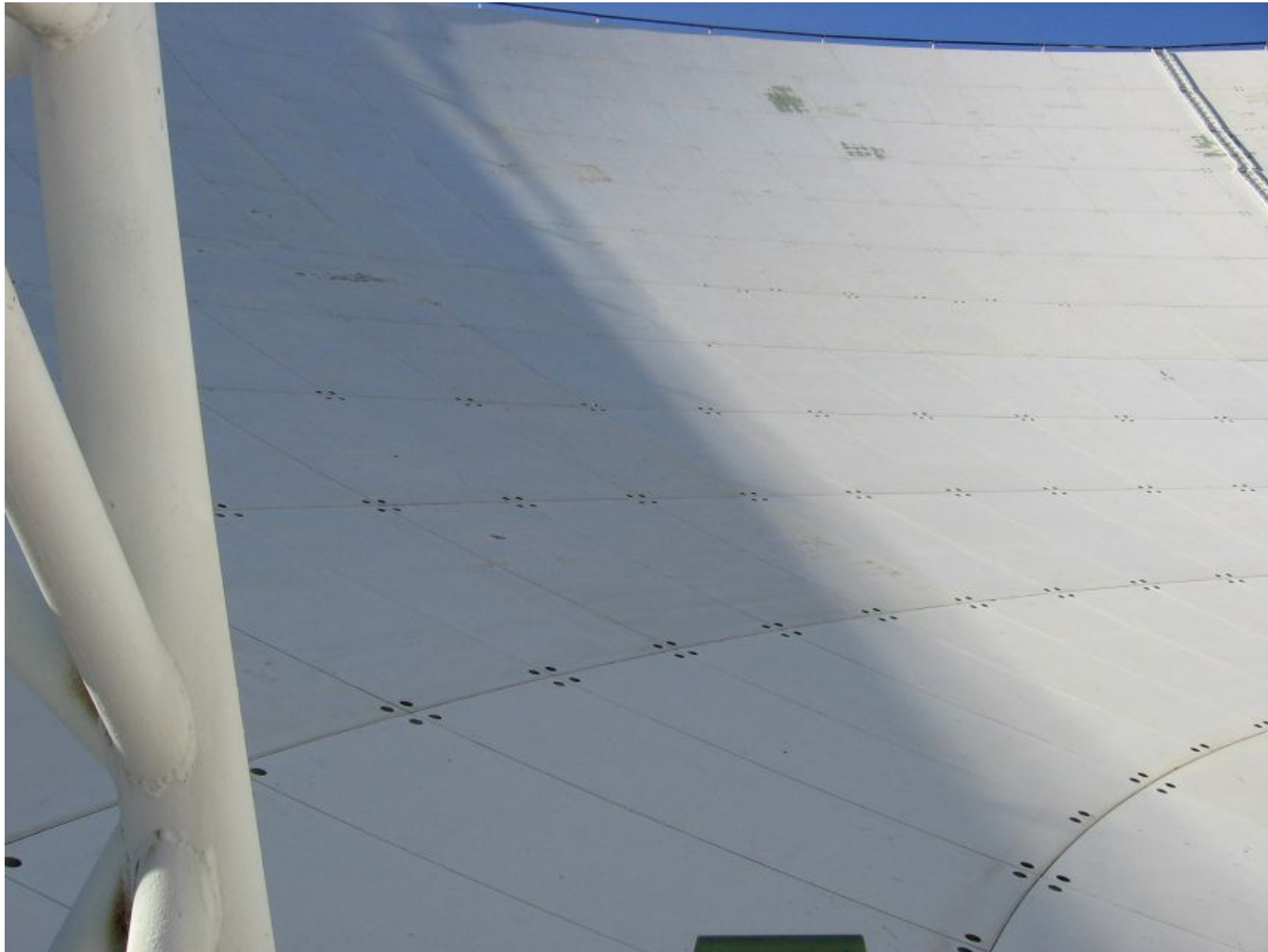
интерферометр на плато
Бурэ во Франции

зеркальная антенна в Пико
Велета в Испании

Высота	2904,0 м
--------	----------



- Диаметр 30 м
- Гиперболический контррефлектор 2 м
- Фокусное расстояние 10,5 м
- Нецентральность 1,0746
- Усиление Кассегрена 27,8
- Количество панелей (сотоя) 420
- Вес 800 тонн
- Диапазон по азимуту от 60° до 460°
- Диапазон по углу подъёма от 0° до 90°
- Максимальная скорость 1°/сек
- Общая среднеквадратич. погр. 60 мкм
- Максимальная скорость ветра 200 км/ч
- Изготовлено из стали
- Гомологичная конструкция
- Оптика Кассегрена
- Длина волны 0,87 мм



Отражающая поверхность АУ СМ-214. Уссурийск ³²

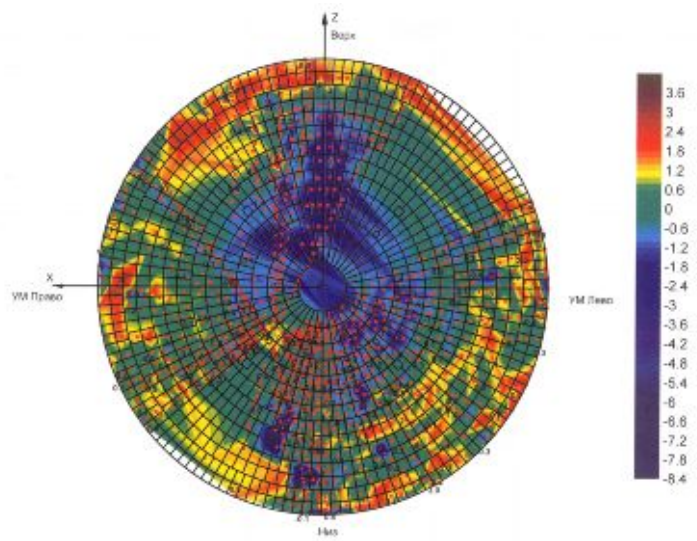


Отражающая поверхность АУ СМ-191. Уссурийск ³³

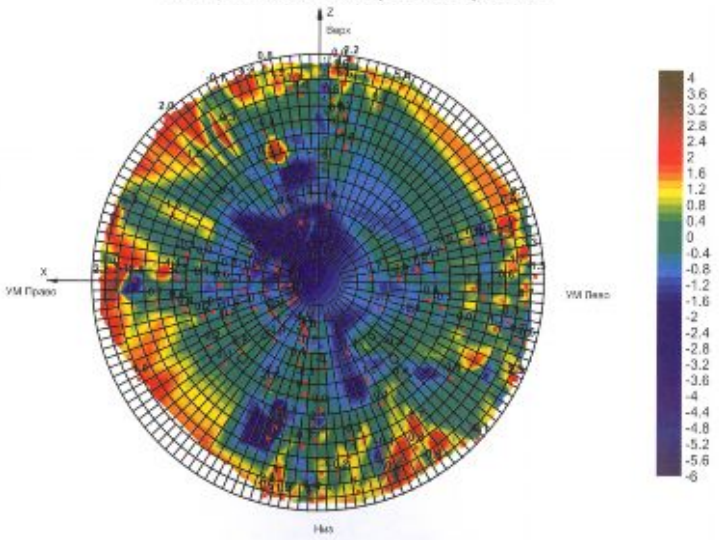


Щиты для РТ-70





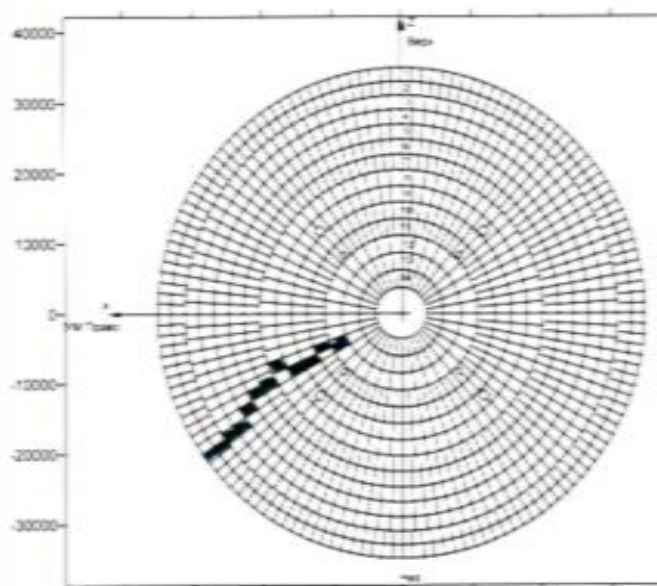
Картограмма отклонений поверхности реального рефлектора SM-214 AU от теоретической модели.
 Дневной сеанс наблюдений. SKO=1.11 мм.
 Линии равных отклонений проведены через 0.2 мм



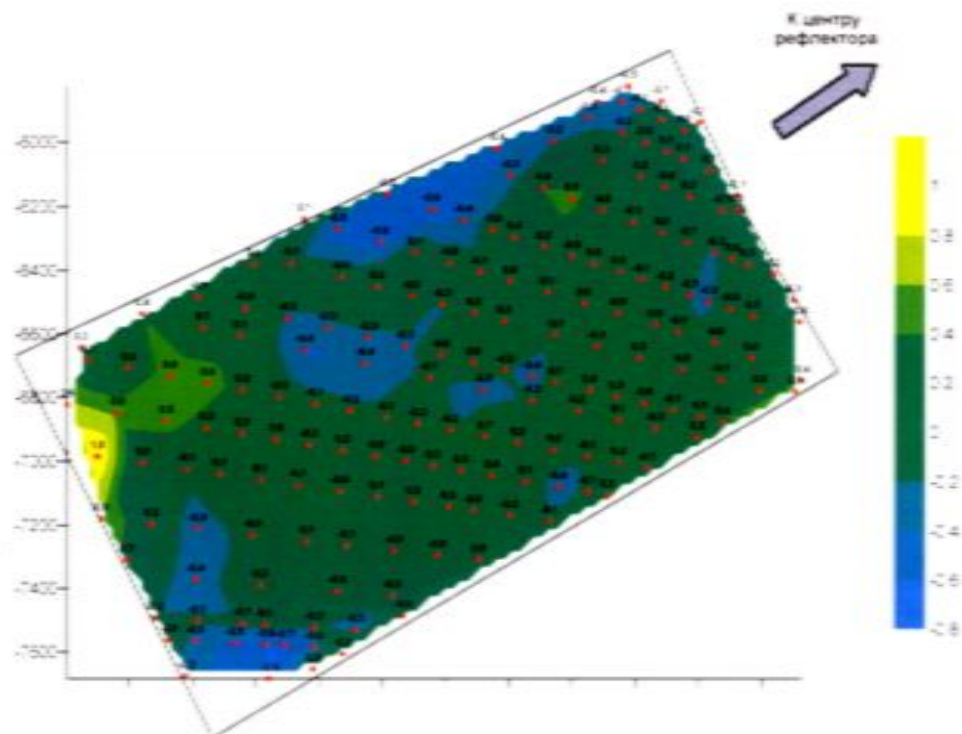
Картограмма отклонений поверхности реального рефлектора SM-214 AU от теоретической модели.
 Ночной сеанс наблюдений. SKO=1.26 мм.
 Линии равных отклонений проведены через 0.2 мм

Результаты измерений поверхности АУ SM-214 в Уссурийске. Октябрь 2006 г.

Результаты измерений щитов АУ СМ-214 в Уссурийске. Октябрь 2006 г.



3.6.3 Картограмма отклонений фактической поверхности щита 19 покса от теоретической поверхности главного зеркала РТ-70



Картограмма построена по 190 точкам замера.

Среднее квадратическое отклонение поверхности: 0,27 мм.

Максимальное значение отклонения: 1,02 мм.

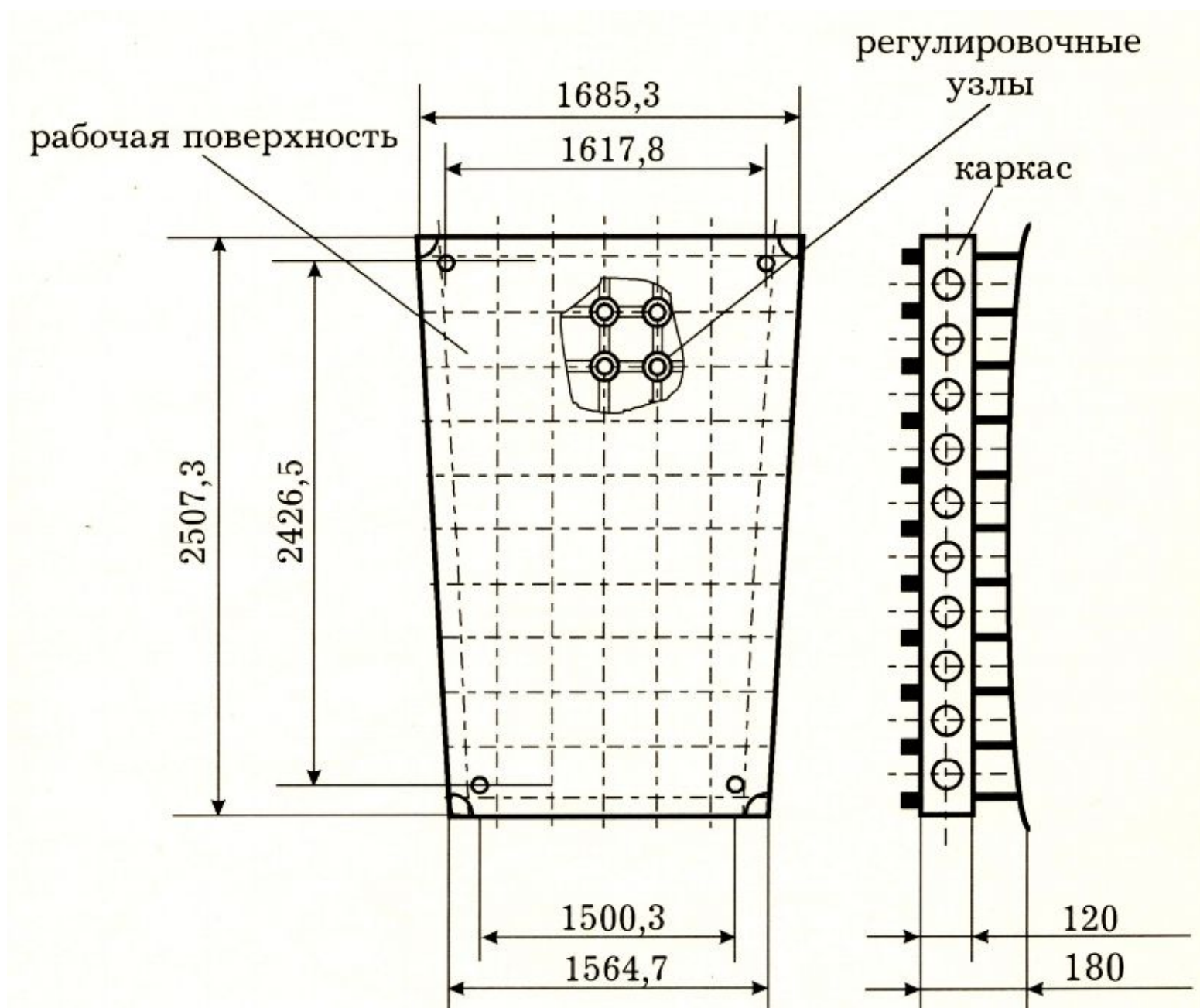
Минимальное значение отклонения: -0,72 мм.

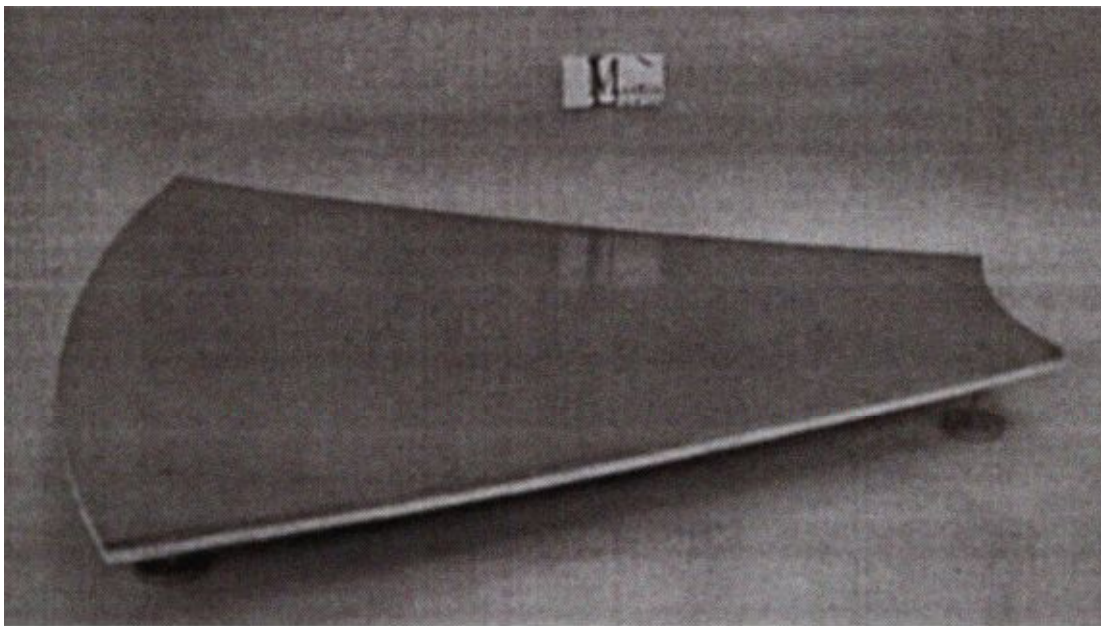
Смещение фактического положения от оптимального:

$$dx = -0,6 \text{ мм} \quad R_x = 359,995^\circ$$

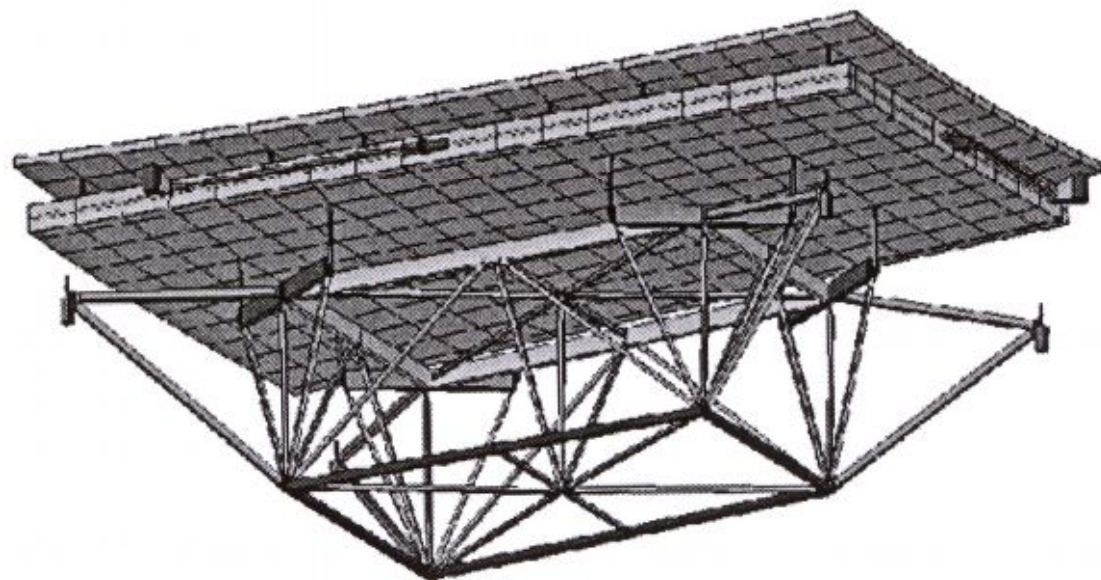
$$dy = 4,9 \text{ мм} \quad R_y = 0,002^\circ$$

$$dz = 0,6 \text{ мм} \quad R_z = 359,980^\circ$$



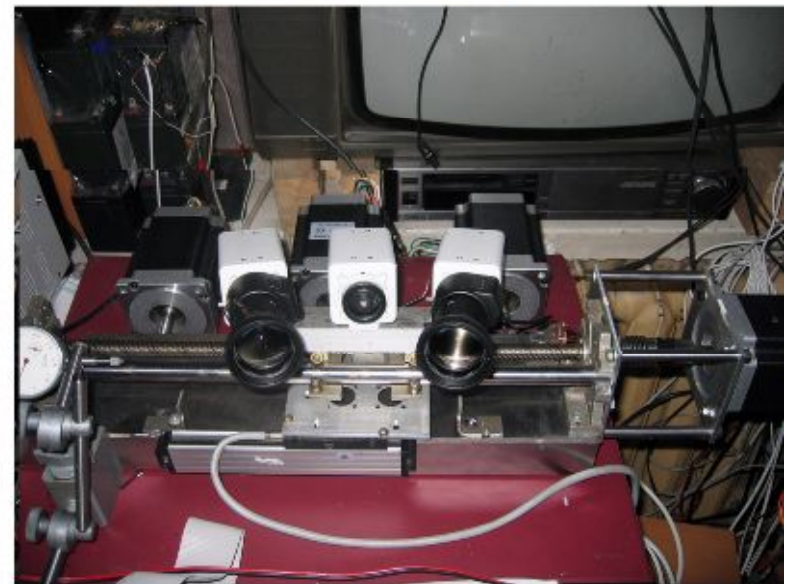
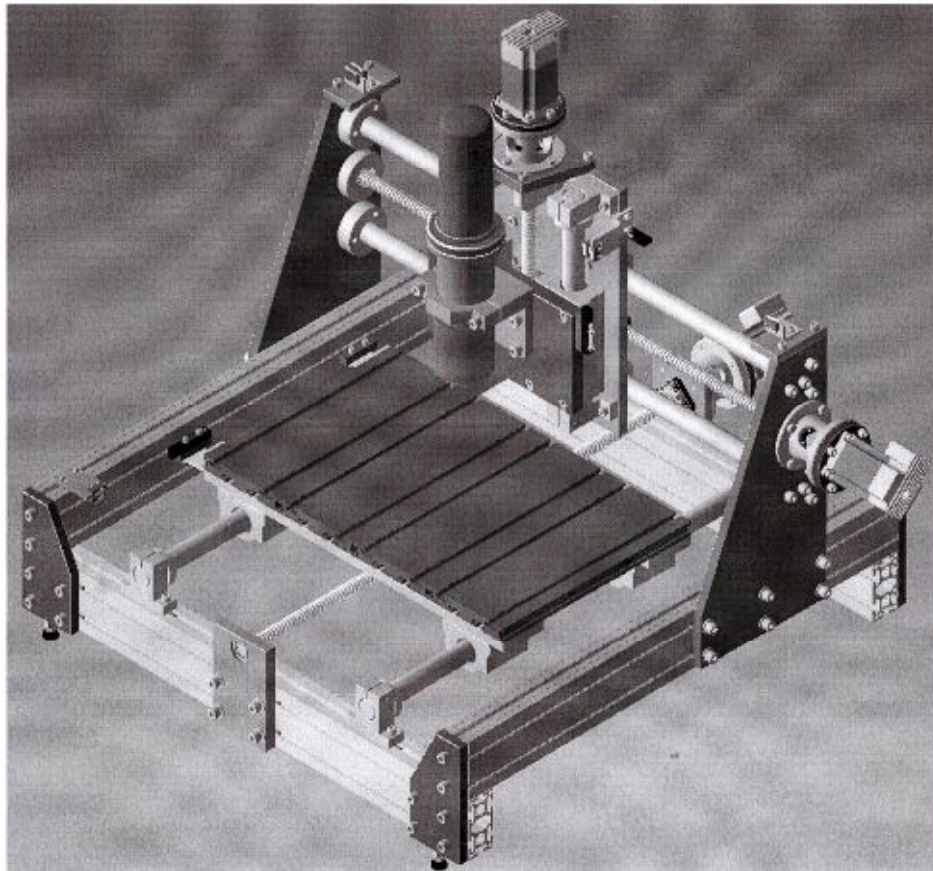


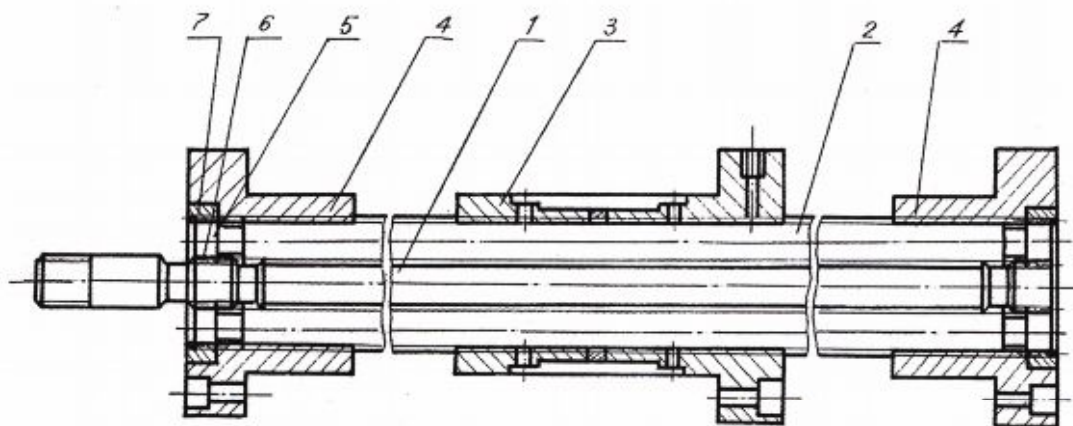
**Щиты Media-Lario
Италия**





Стенд для отработки методики доведения щитов до требуемой кривизны





1 – винт; 2 – резьбовые ролики – спутники; 3 – ходовая гайка; 4 – опорная гайка;
 5 – зубчатые венцы роликов; 6 – зубчатые венцы винта; 7 – зубчатые венцы опорных гаек
 Рисунок 1.20 – Планетарная передача с длинными резьбовыми роликами

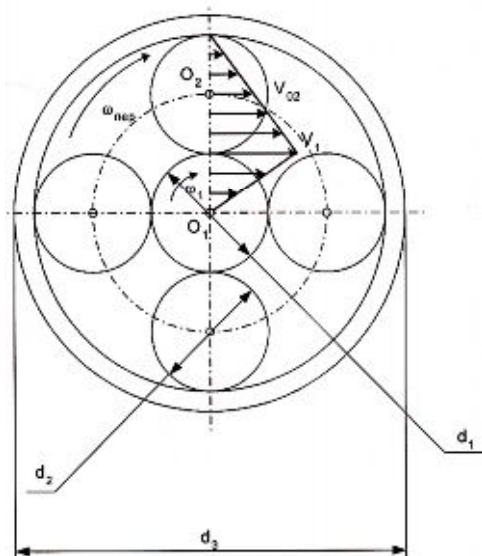


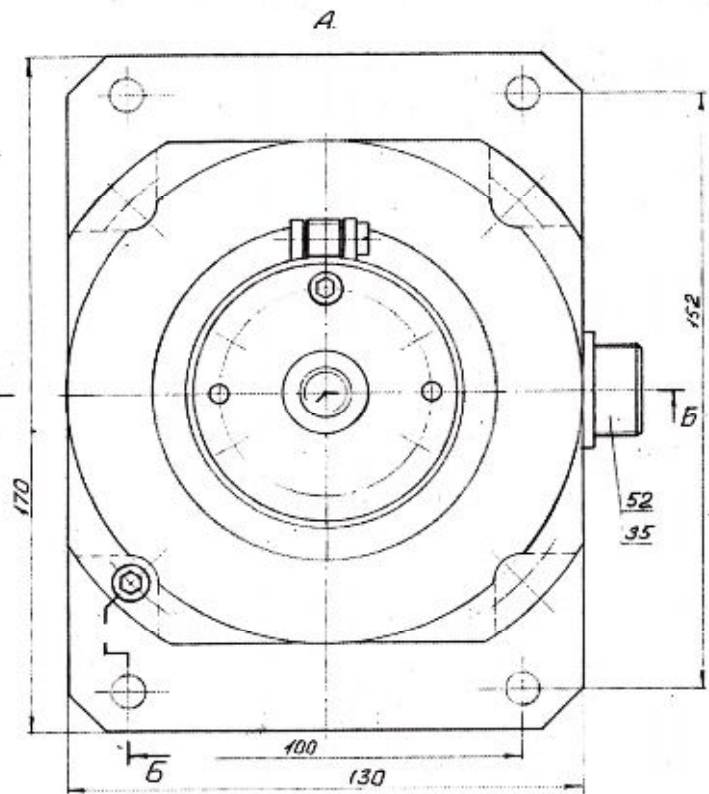
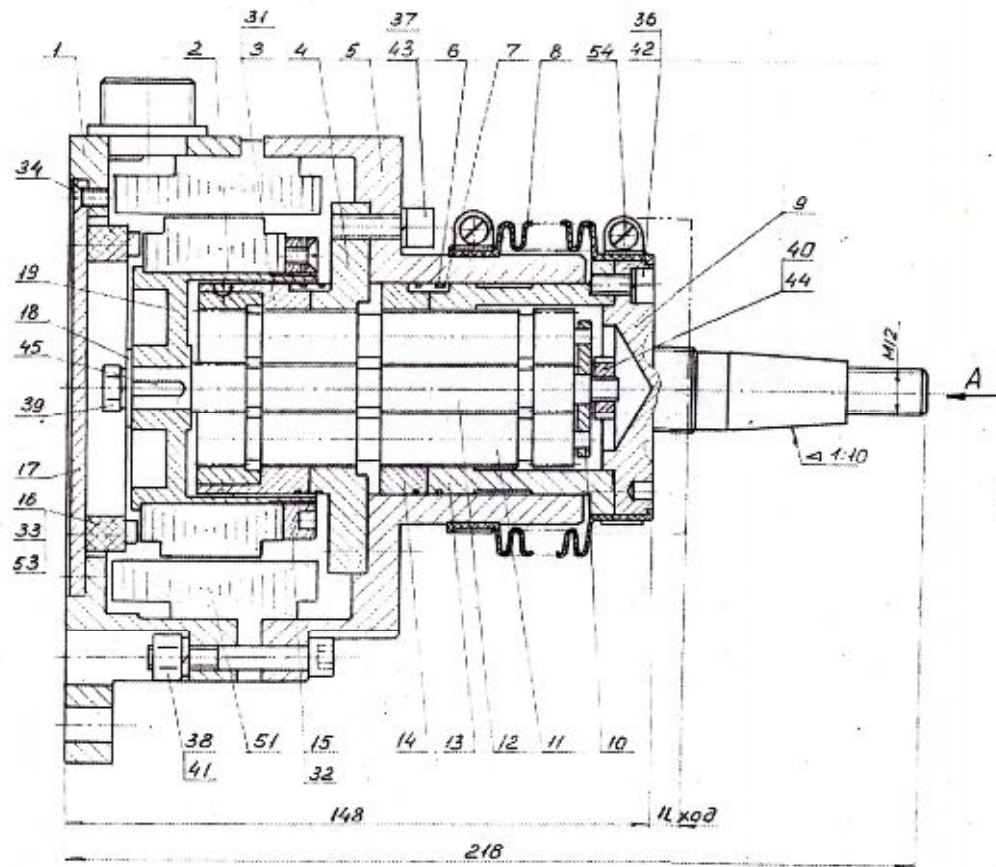
Рисунок 1.17 – Кинематическая схема РВ11

2.1.1 Основные характеристики РВПД 42х1

Для проектирования РВПД 42х1 использована разработанная в течении 30 лет методика проектирования РВПД в виде пакета программ. Результаты расчета:

а) величина перемещения ходовой гайки за оборот винта, мм	0,25
б) максимальная величина перемещения ходовой гайки, мм	10
в) статическая грузоподъемность, Н	19 000
г) долговечность передачи (при эквивалентной осевой нагрузке 1300 Н), млн. обор.	5 700
д) осевая жесткость (при эквивалентной нагрузке 1 300 Н и силе предварительного натяга 500 Н), Н/мкм	170
е) момент инерции передачи, кг*м ²	3,2*10 ⁻⁶
ж) КПД прямого хода	0,55
з) КПД обратного хода	- 0,10
и) вес резьбовых и зубчатых деталей передачи, Н	4,4

Ролико-винтовая передача



1. Смазка передачи Литол
2. При снятии крестовины со штока поз 9 использовать съёмник. Удар не допускается.
3. Питание электродвигателя: ток постоянный, $U=27В$

ТПМ 06.00				Лит.	Масса	Машт.
Изм/Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
Разраб.	Новосёлов	СВ	2023			1:1
Провёр.	Козыров					
Т.конт.						
Н.конт.						
Рисов.	Козырев					
Актуатор				Лист 1 / Листов 1		
				ВГУ ТПМ		

Актуатор

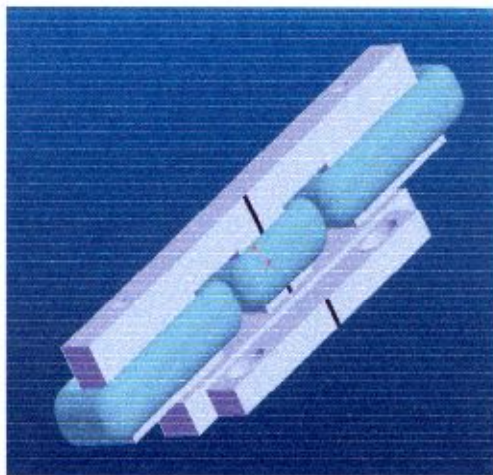


Рисунок 3.3 – Конструкция ДЛ-ГО

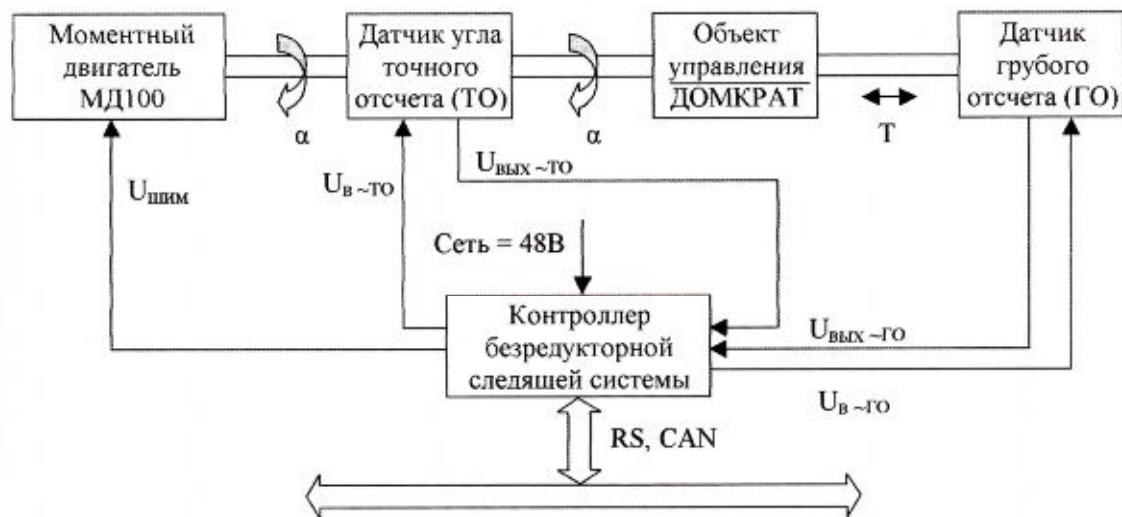


Рисунок 1.1 - Структурная схема БСС актуатора

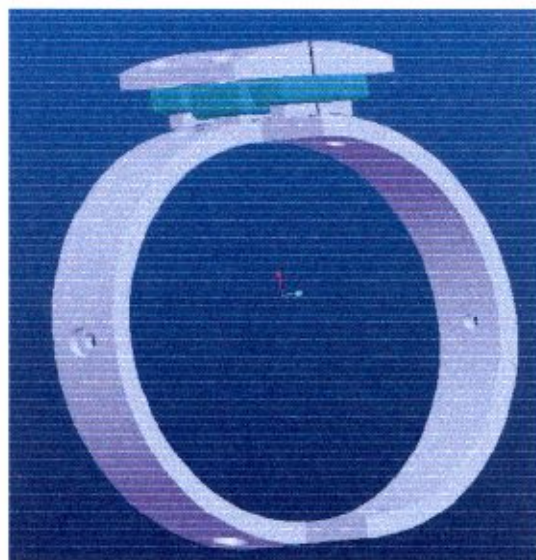
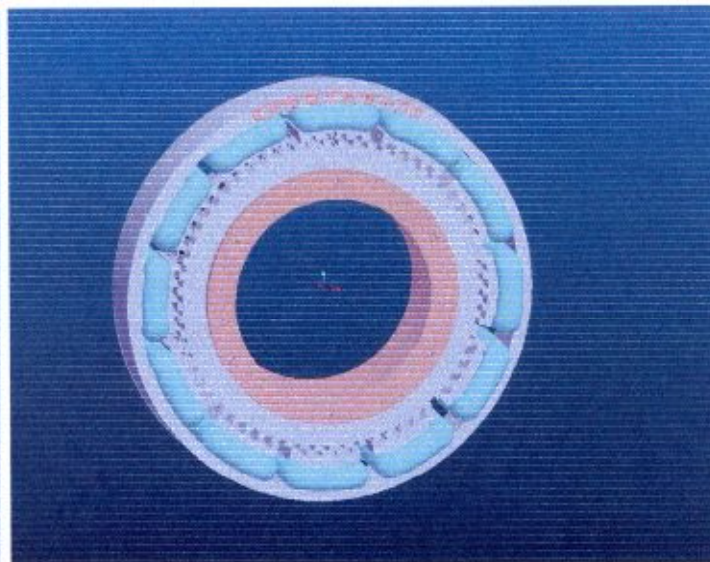
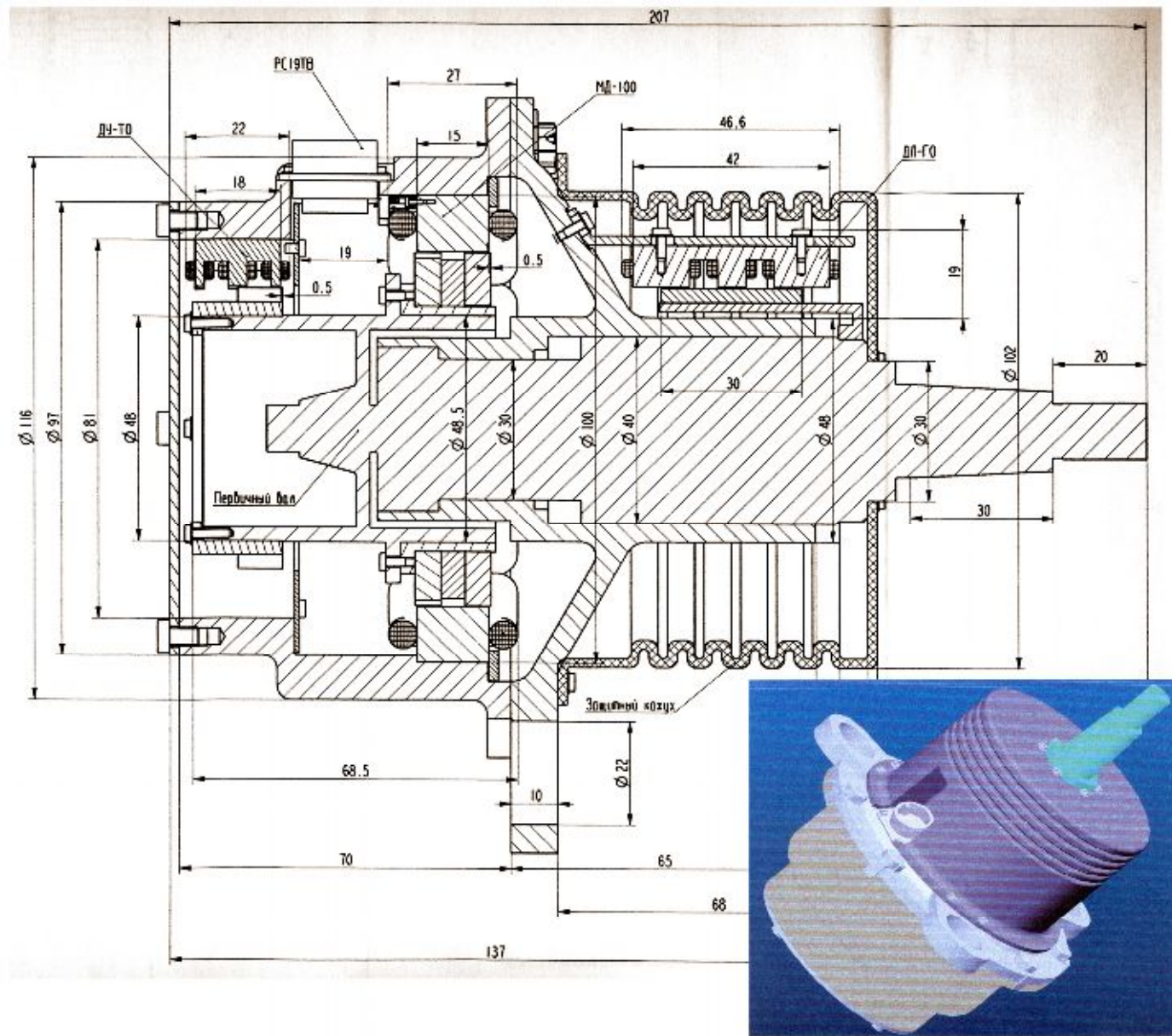


Рисунок 3.4 – Конструкция ДУ-ТО



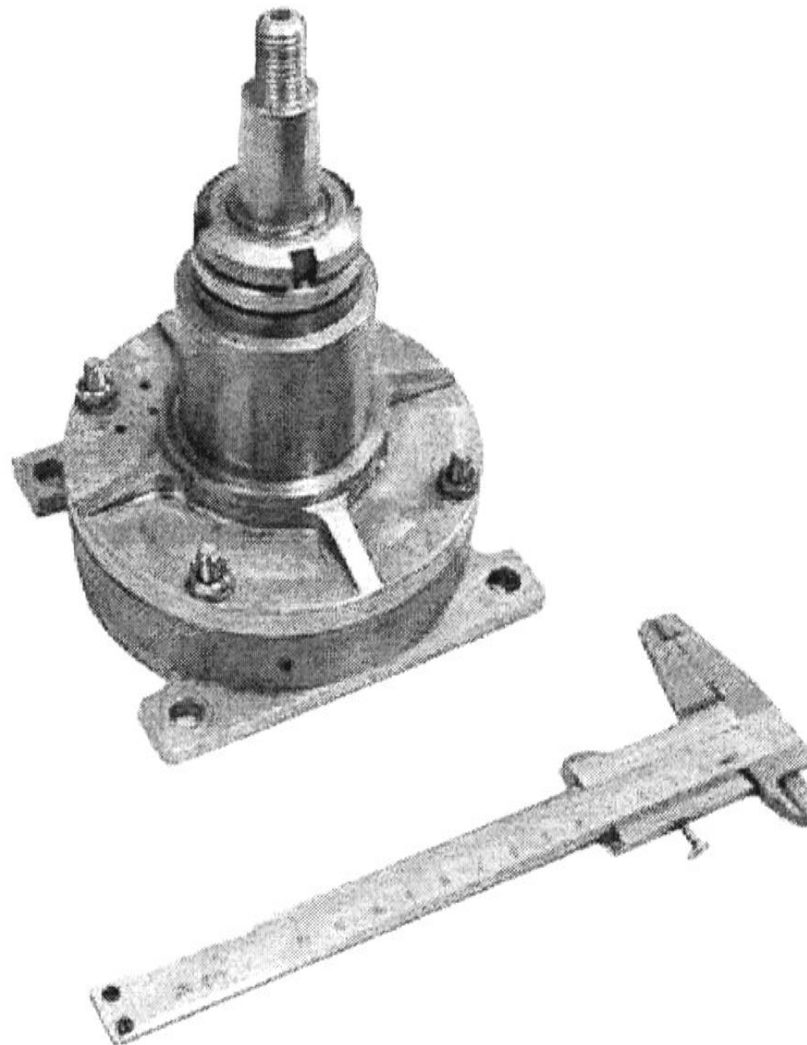
Моментный двигатель МД100 привода актуатора

Элементы электропривода актуатора



Электропривод актуатора

Экспериментальный образец актуатора на базе
передачи РВПКЗК 30x0,4



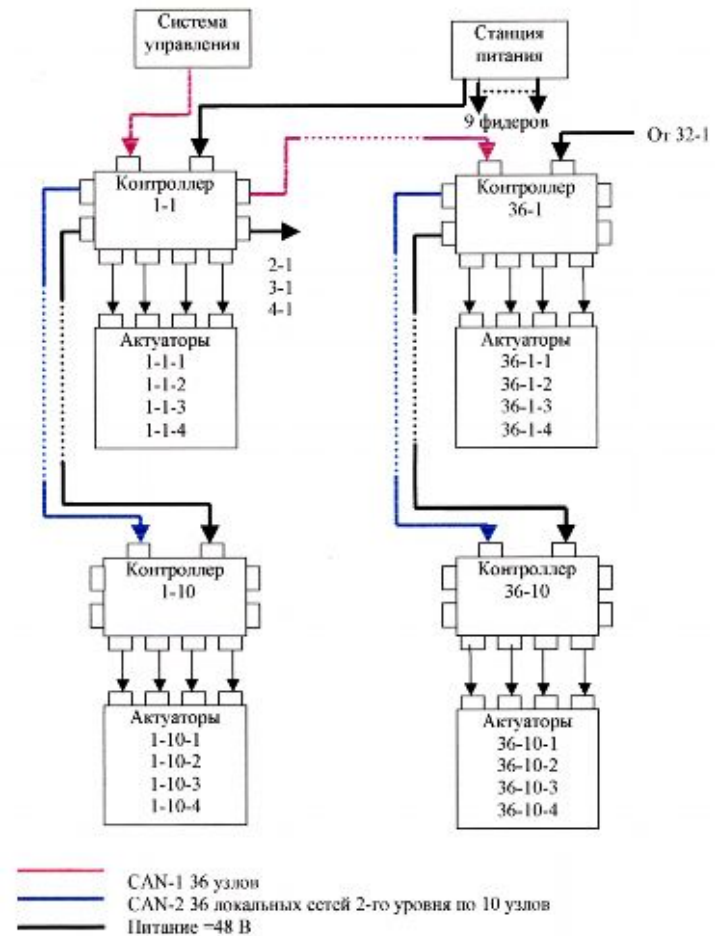
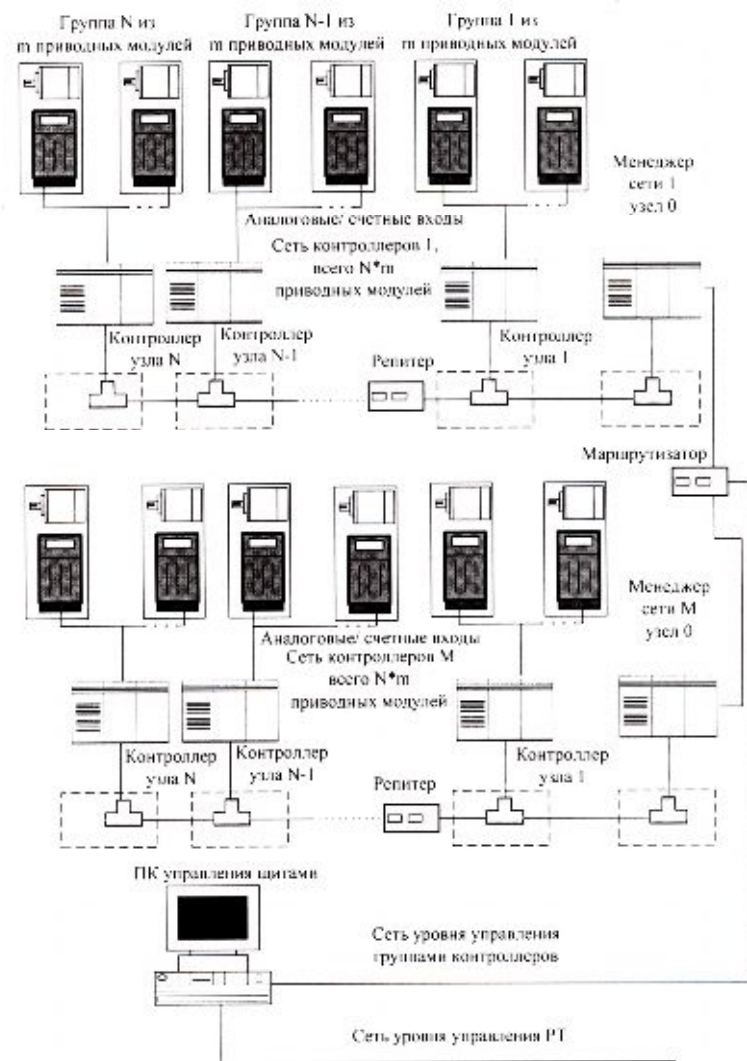


Рис. 8
Схема разводки питания и CAN интерфейса

Функциональные схемы возможного построения сети для управления положением главного зеркала

Схема размещения систем четырехуровневого контроля положения элементов ЗС и ОПУ РТ-70

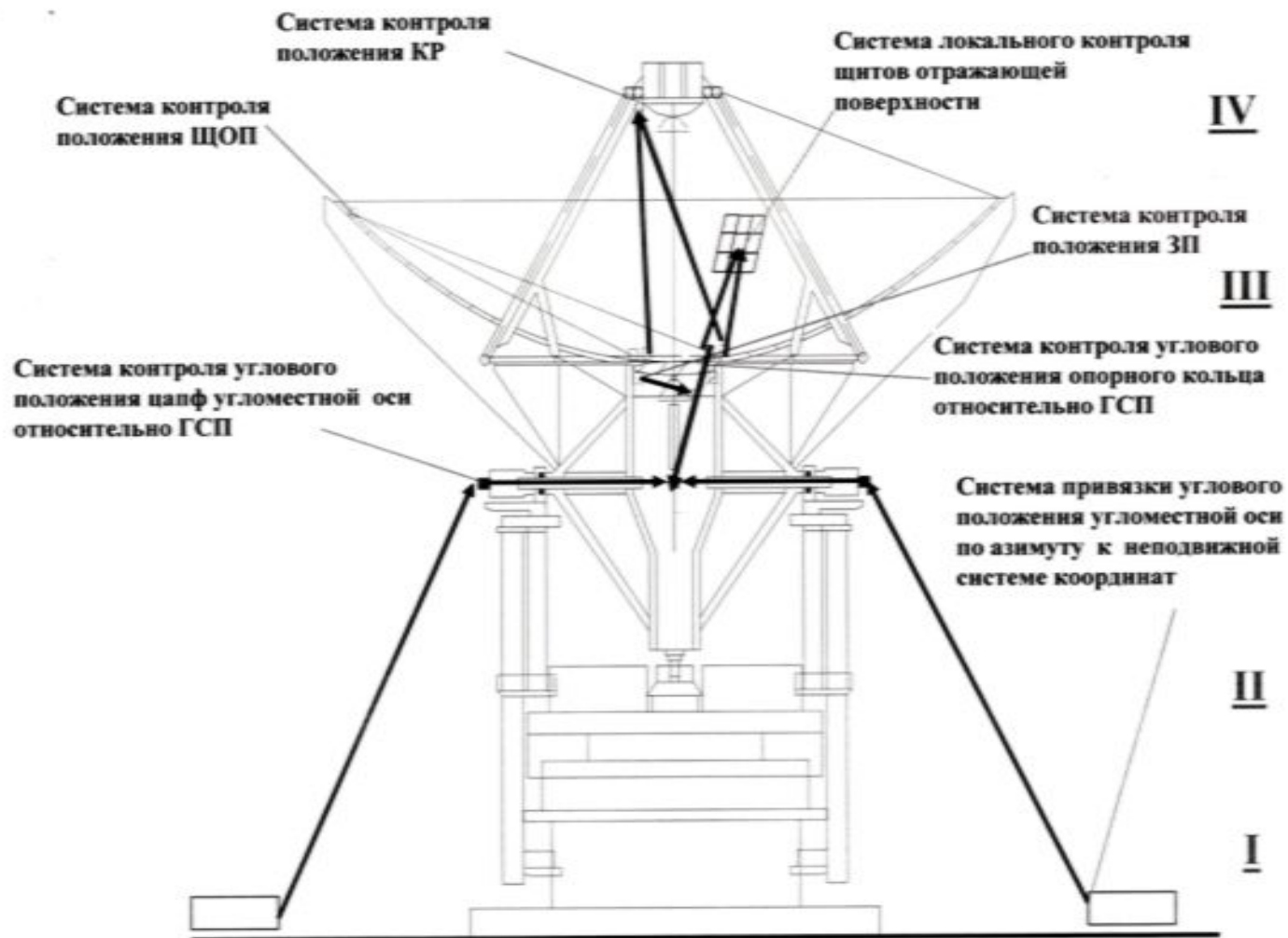
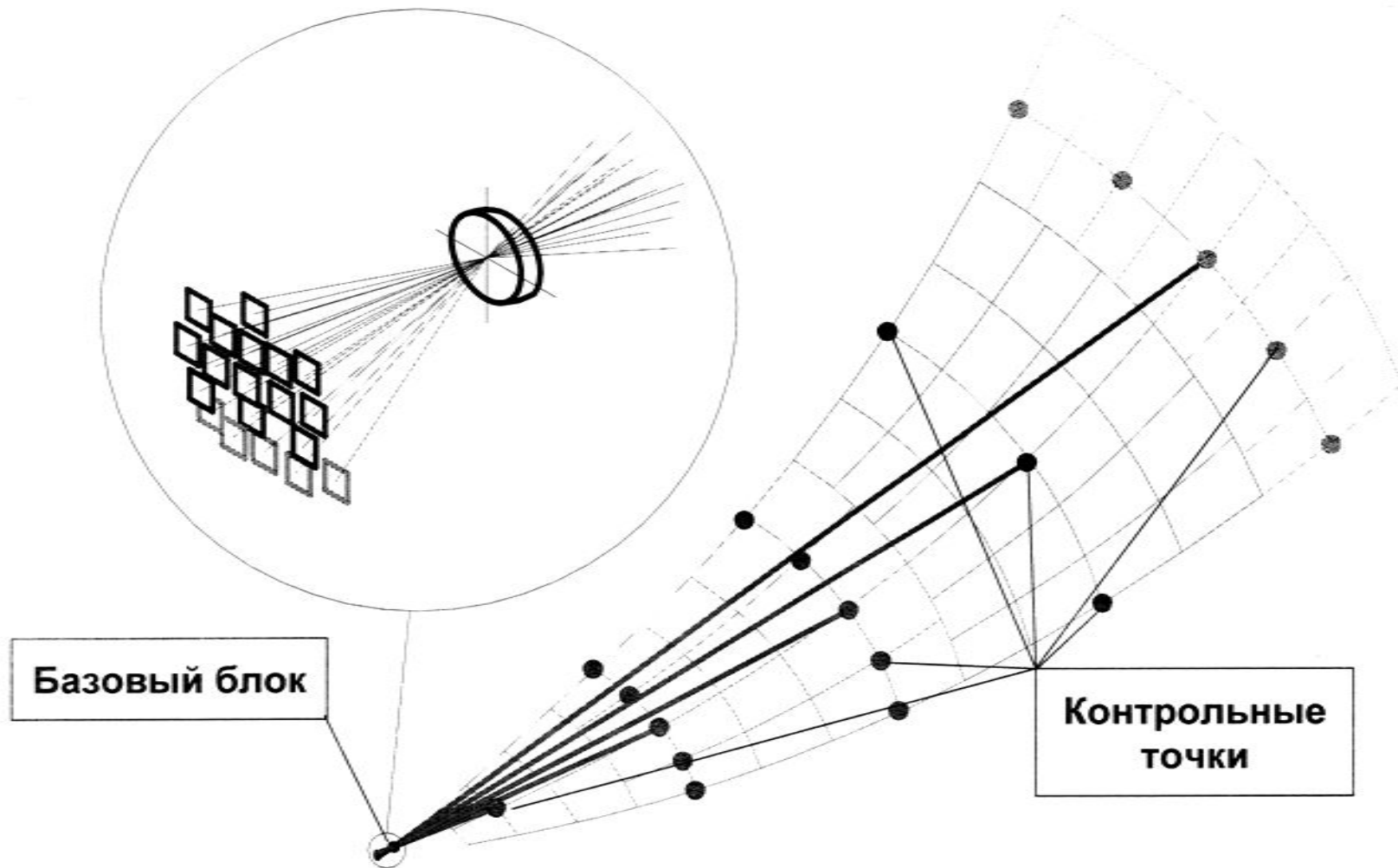
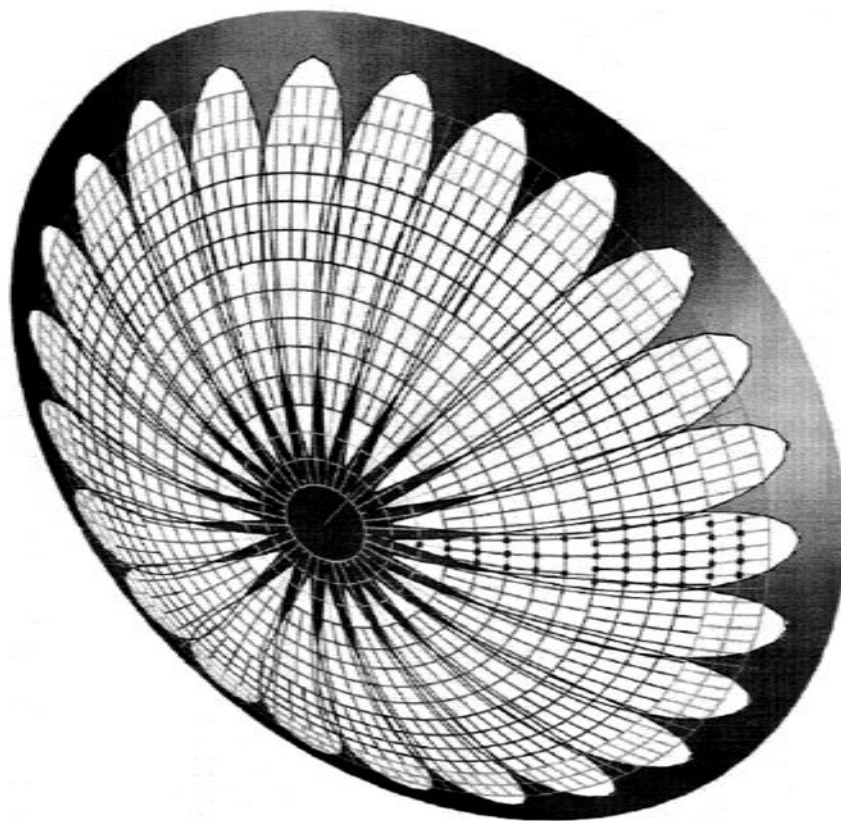


Схема 3D контроля положения точек отражающей поверхности в различных поясах



Многоматричная оптическая схема контроля положения точек отражающей поверхности



Стенд для отработки Оптико-электронного измерительного комплекса

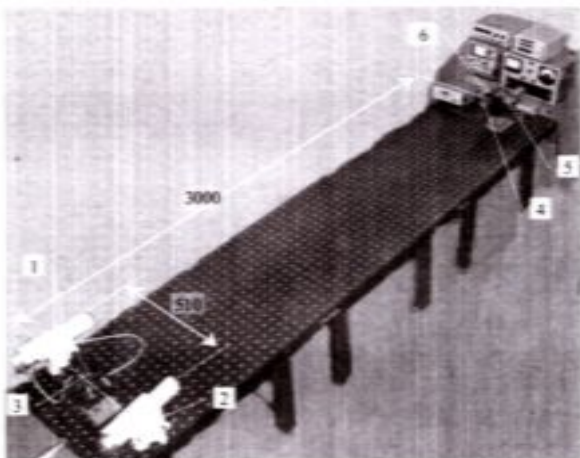


Рисунок 2.28 - Общий вид макета физической модели ОЭИК



Рисунок 2.29 - Вид на макет физической модели ОЭИК со стороны визирной цели

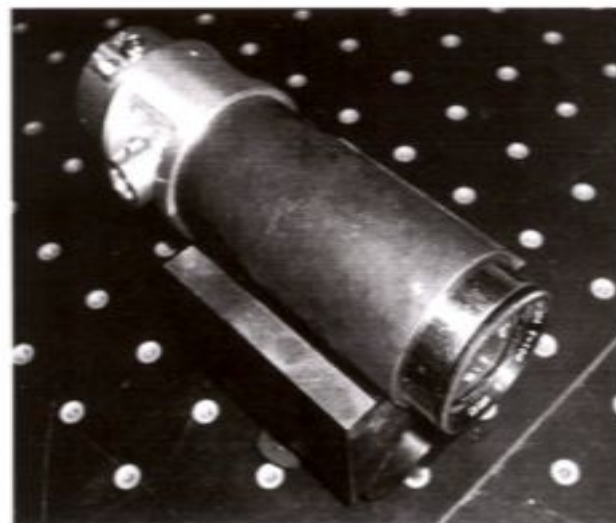


Рисунок 3.4 - Общий вид физической модели базового блока
типового автоколлимационного канала

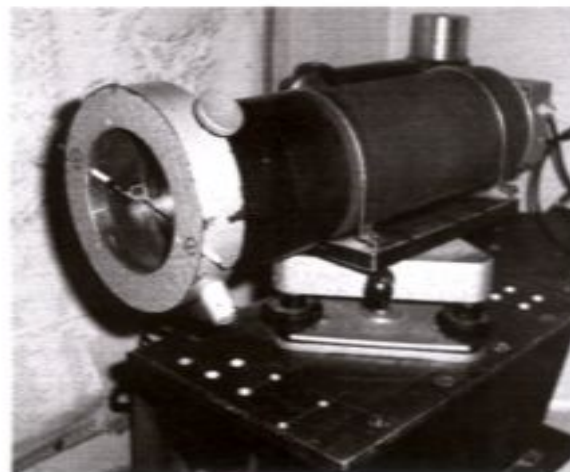


Рисунок 3.5 - Автоколлиматор экспериментальной установки

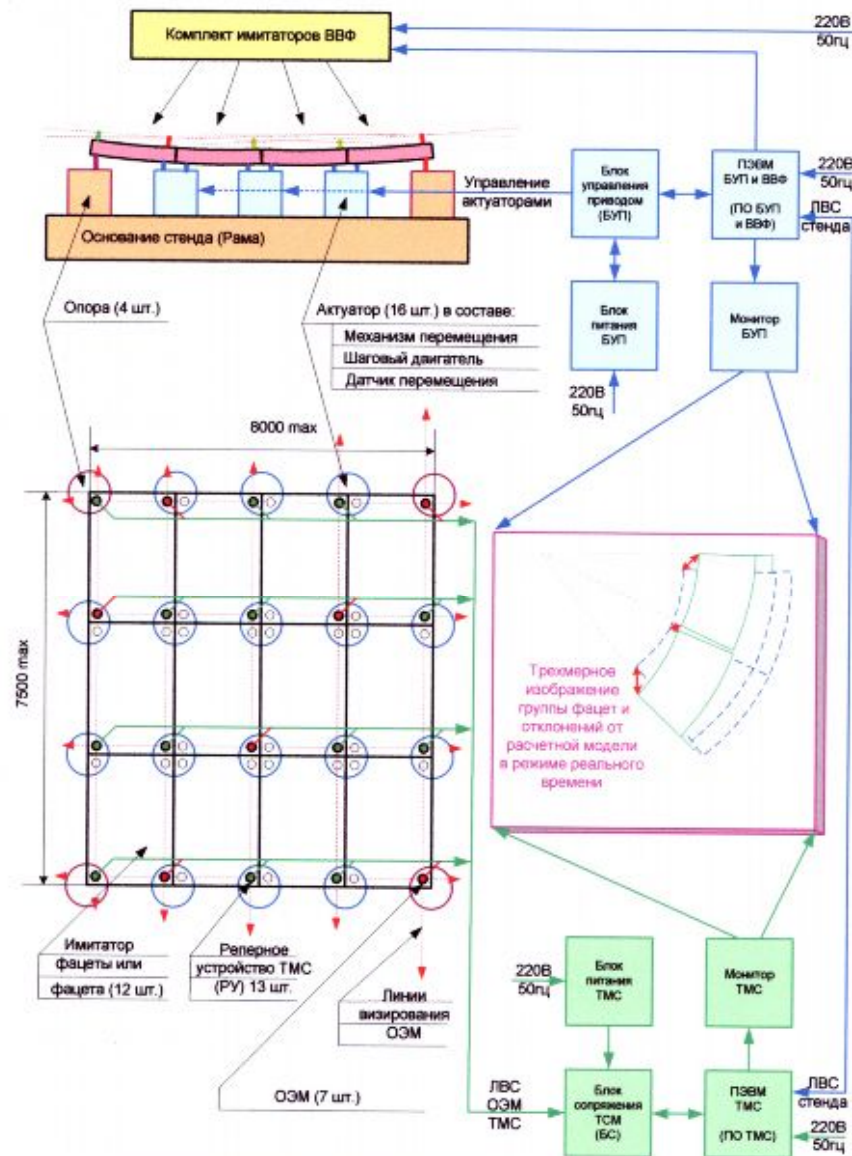
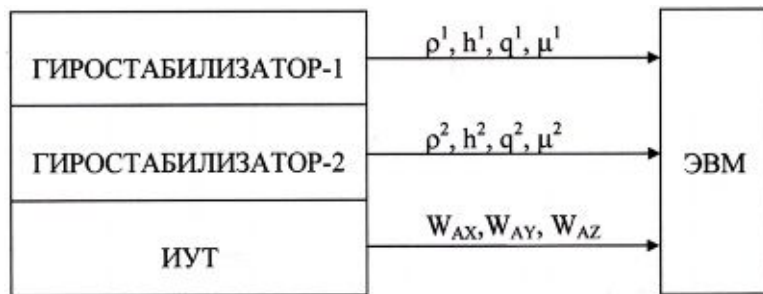


Рис.1 Структурная схема испытательного стенда и ТМС

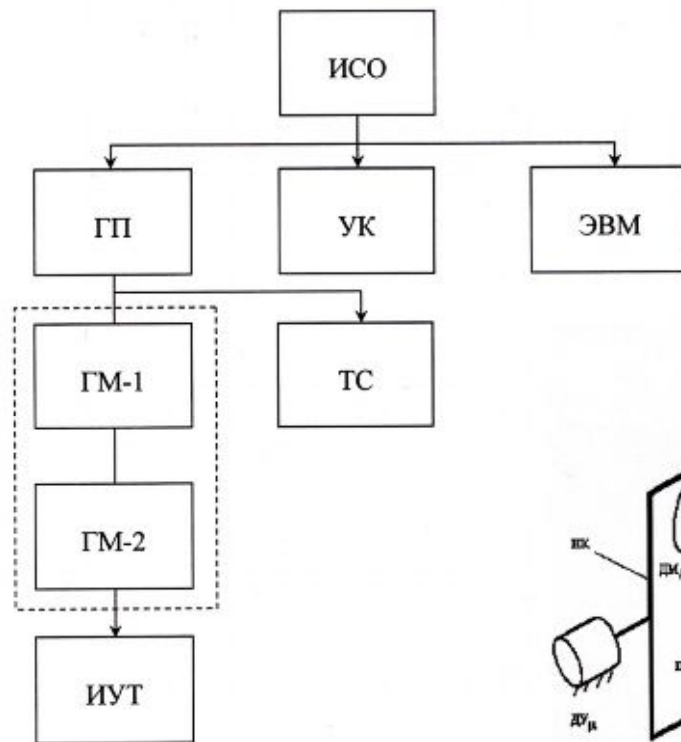
Стенд для экспериментальной отработки и испытаний телеметрической системы, реализующей информационную технологию непрерывного контроля поверхностей

ОЭМ-оптикоэлектронные модули

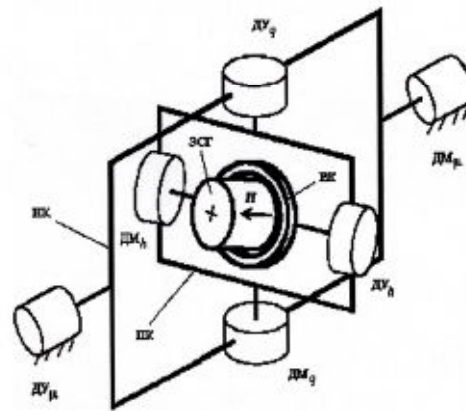
Погрешность контроля не более 5 мкм



Структурная схема ИСО



Приборный состав ИСО на двух НГ



Кинематическая схема карданного подвеса гироскопического модуля (ГМ)

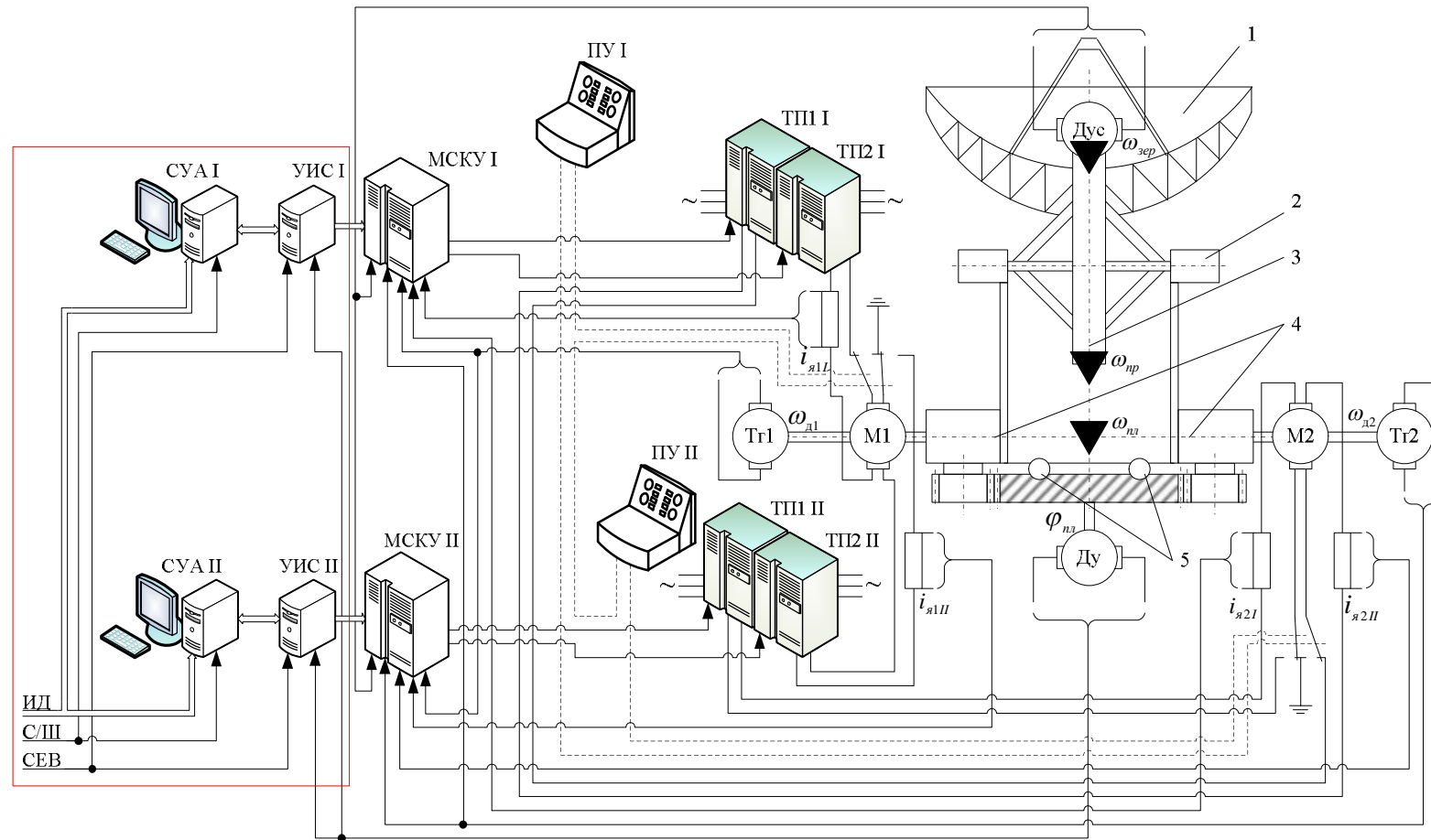
Построение инерциальной системы ориентации на базе двух неуправляемых гироскопов с электрическим подвесом ротора, устанавливаемых в карданные подвесы, и трехосного измерителя ускорений

Технически достижимая точность определения параметров ориентации 3"

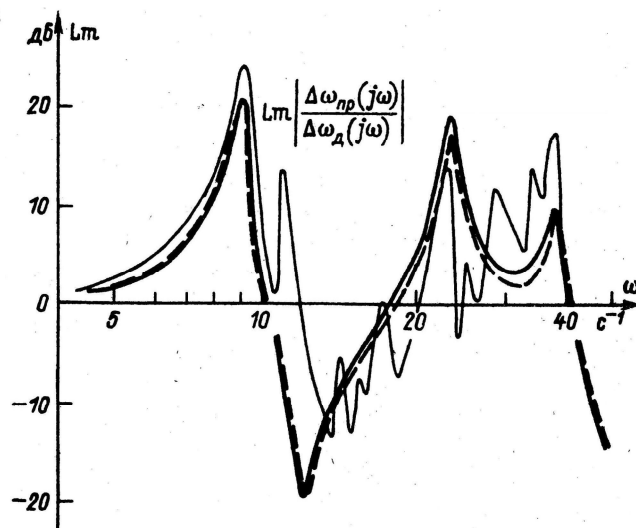
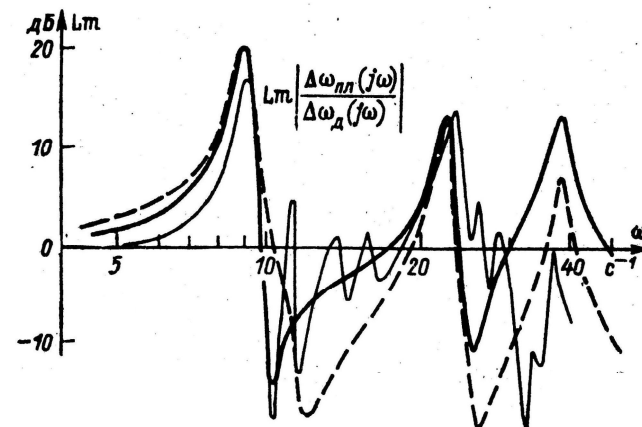
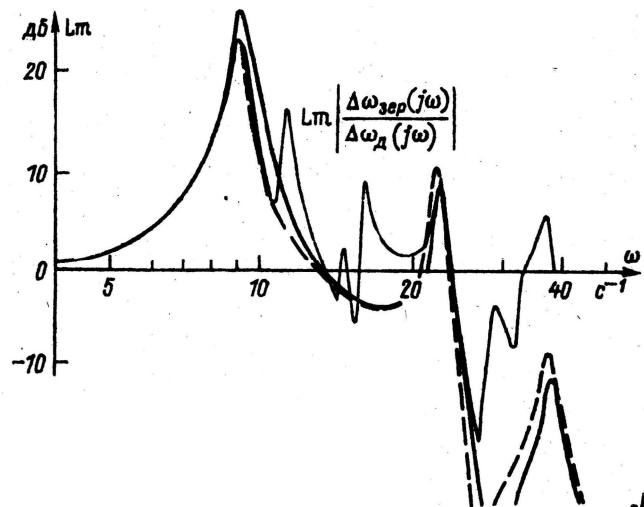


**Физический макет для отработки алгоритма управления
следящими приводами главного зеркала**

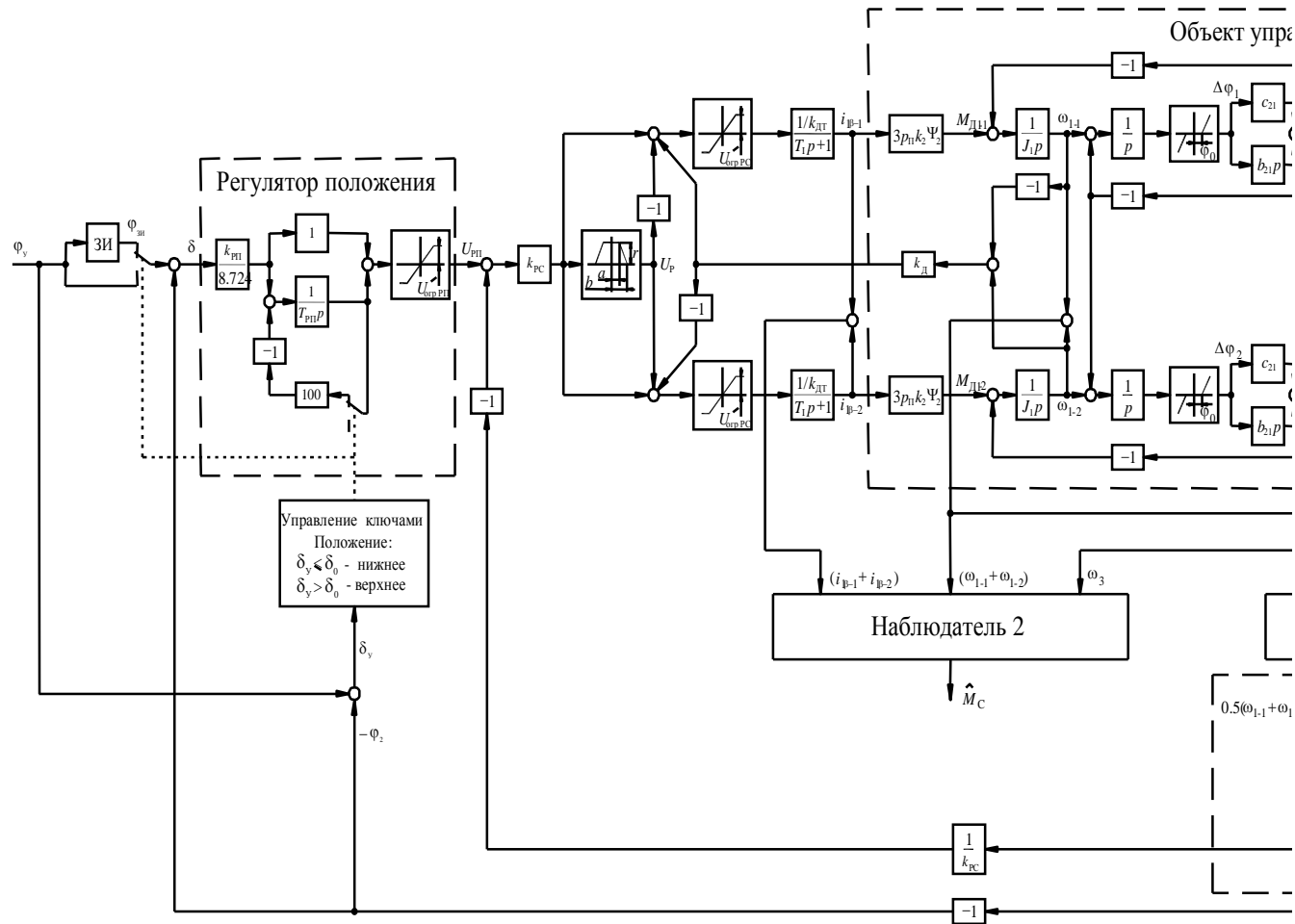
Функциональная схема системы наведения радиотелескопа РТ-70



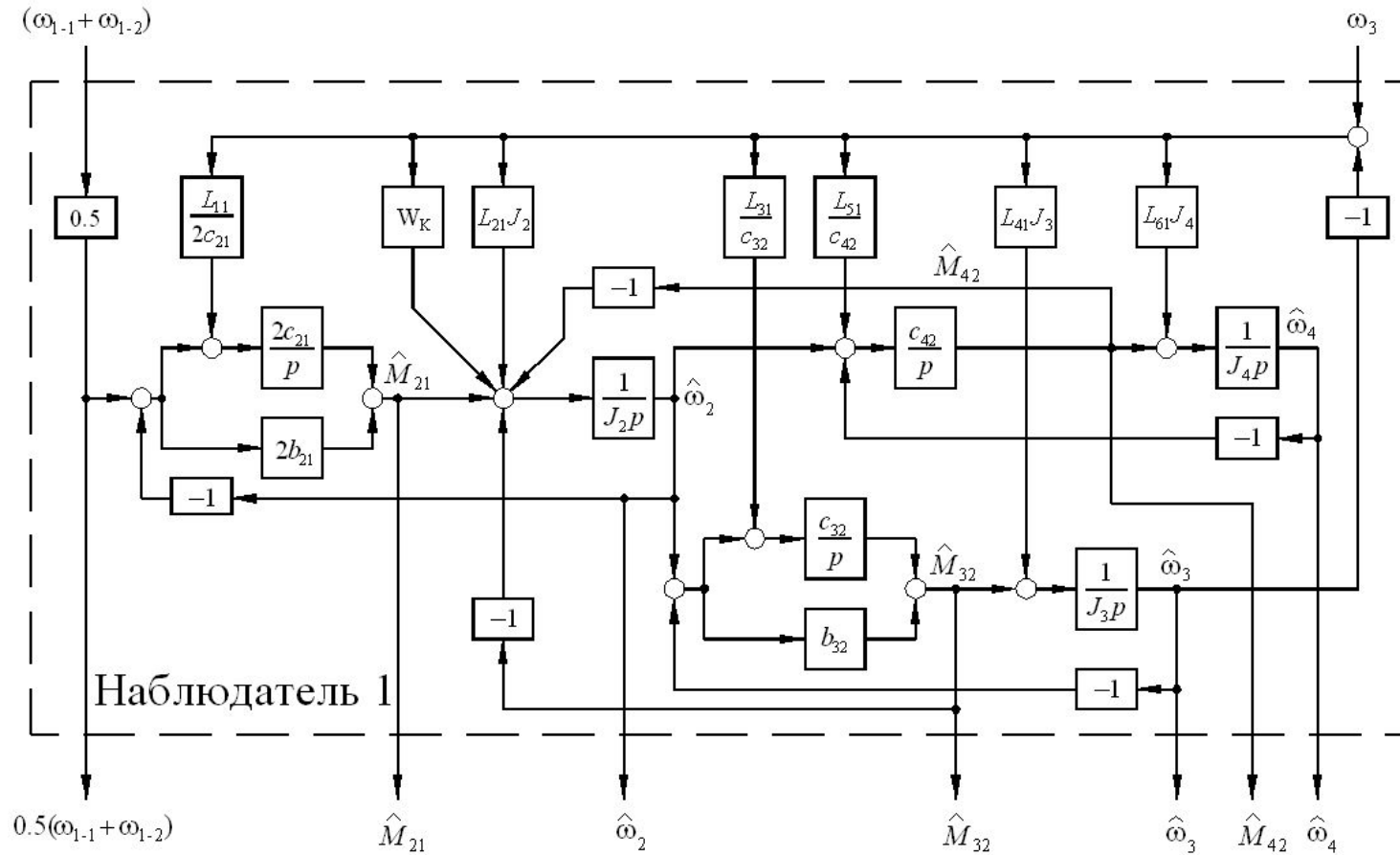
ЛАЧХ объекта



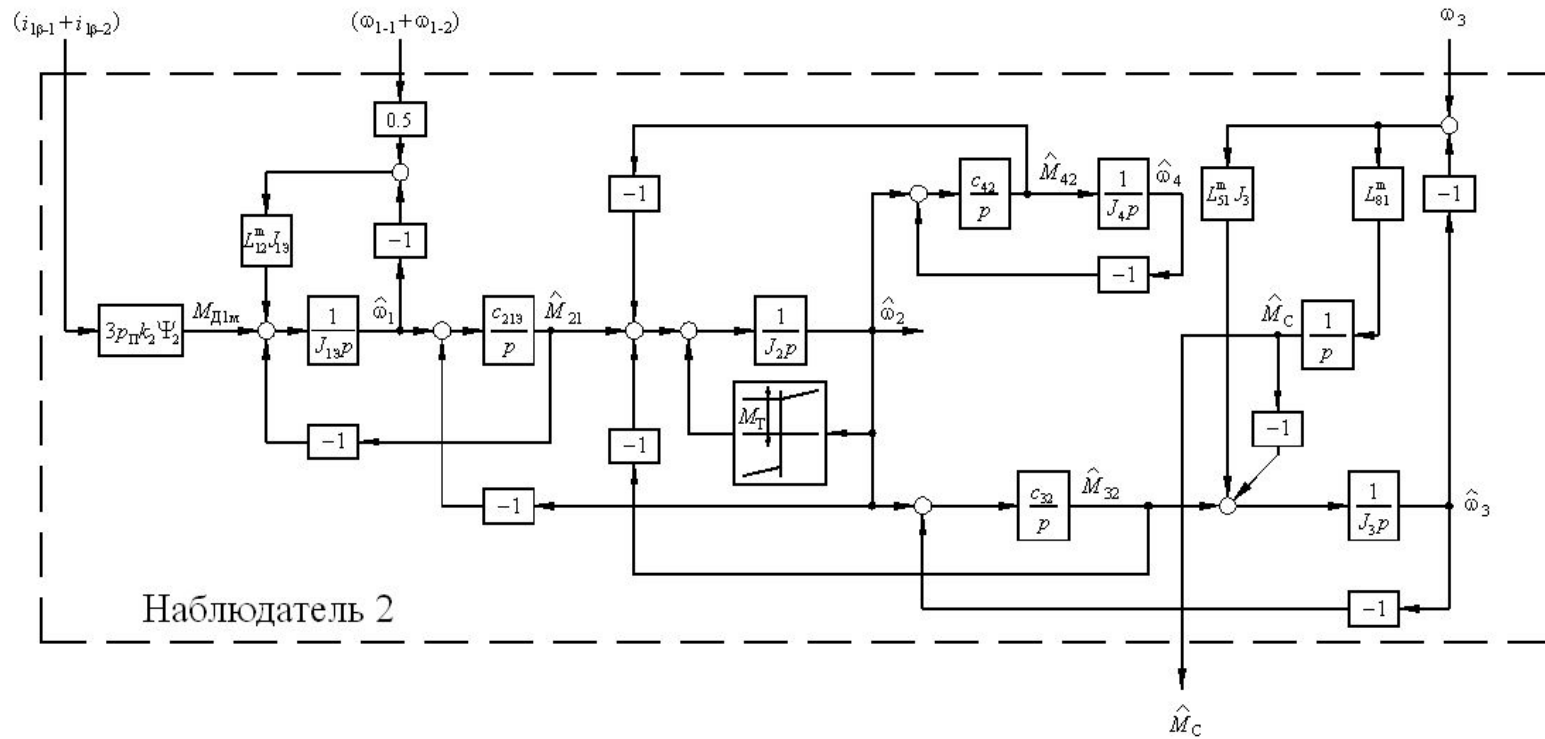
Система управления



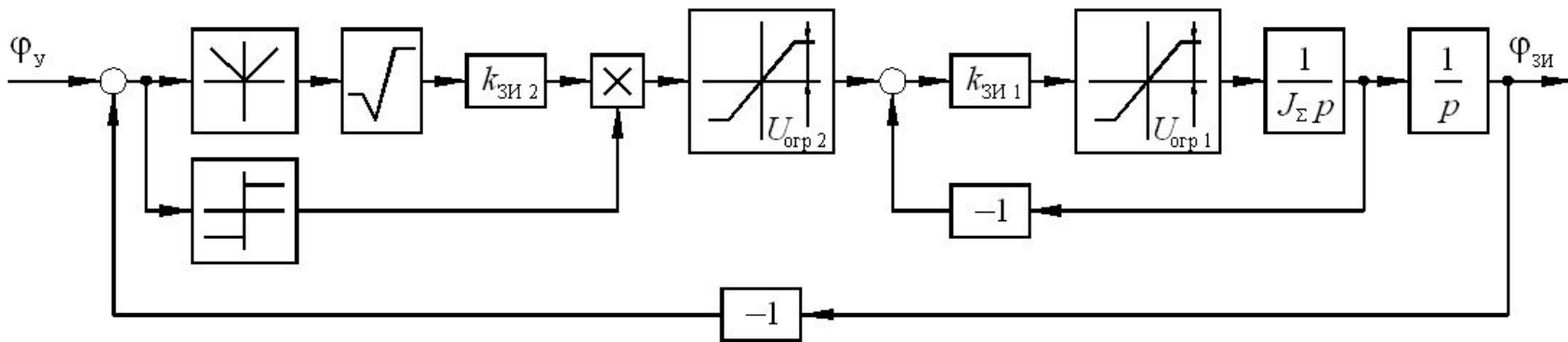
Наблюдатель 1



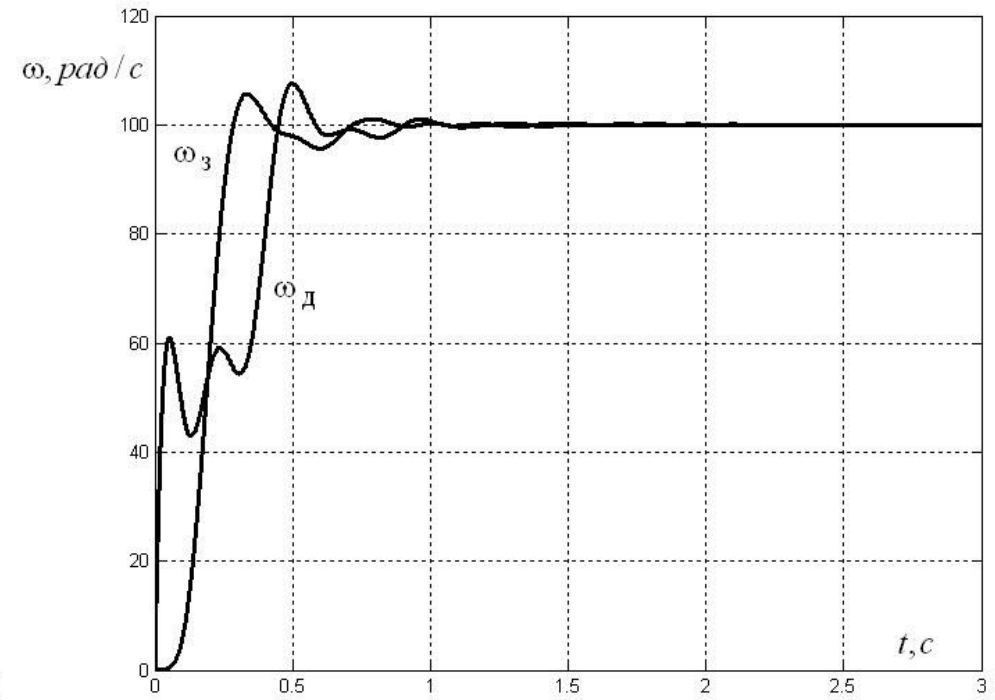
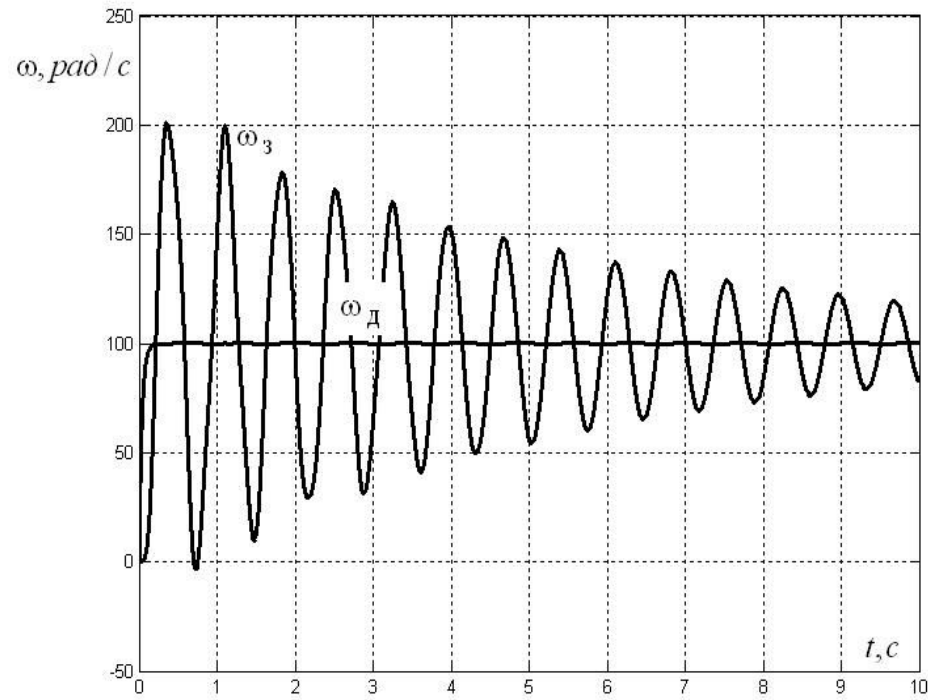
Наблюдатель 2



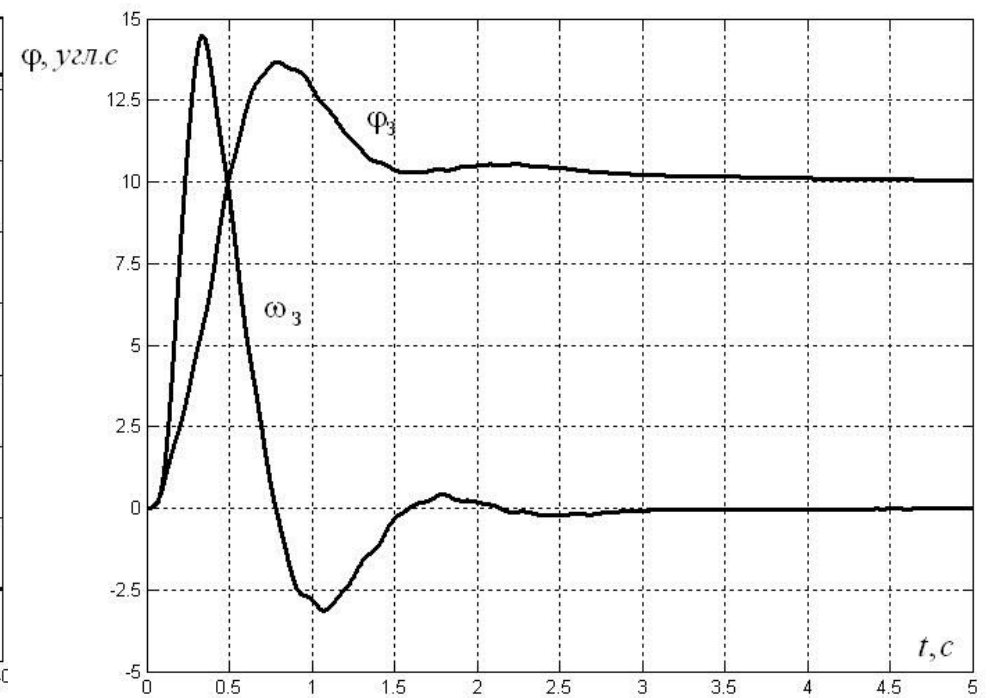
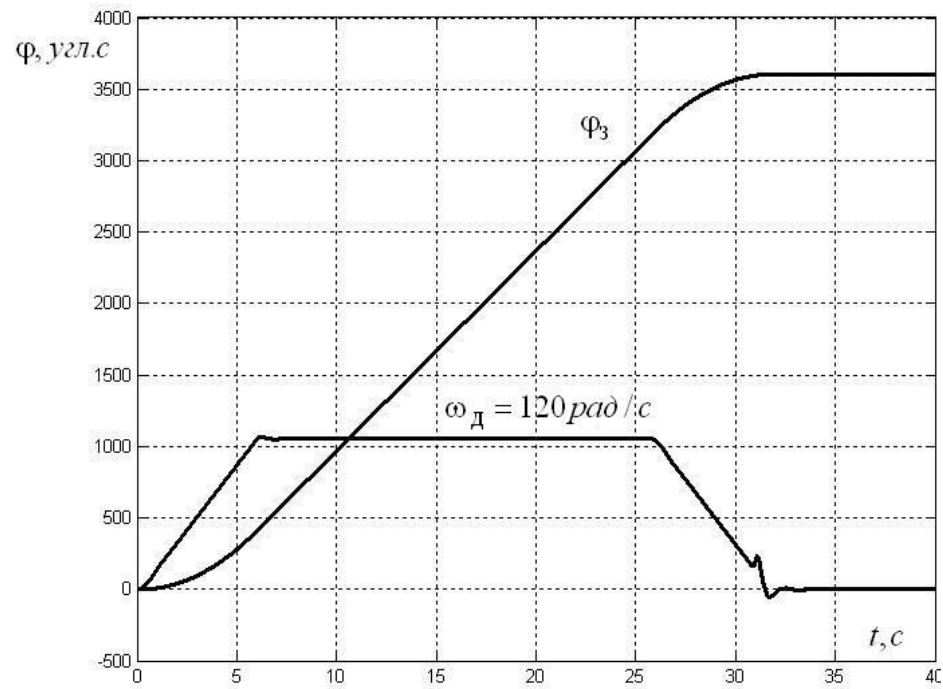
Задатчик интенсивности



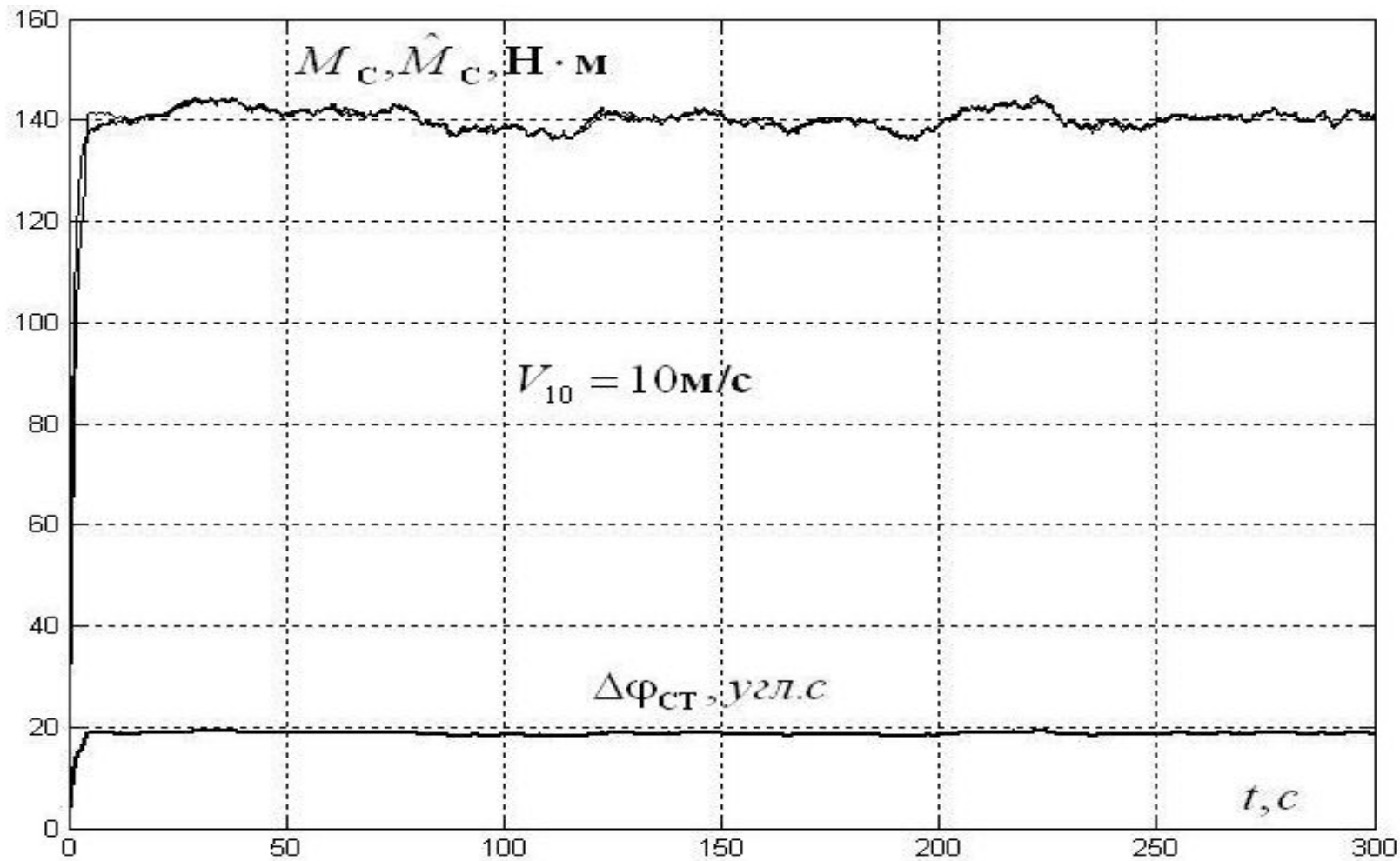
Скоростная подсистема



Следящая система



Оценка момента нагрузки и статической ошибки



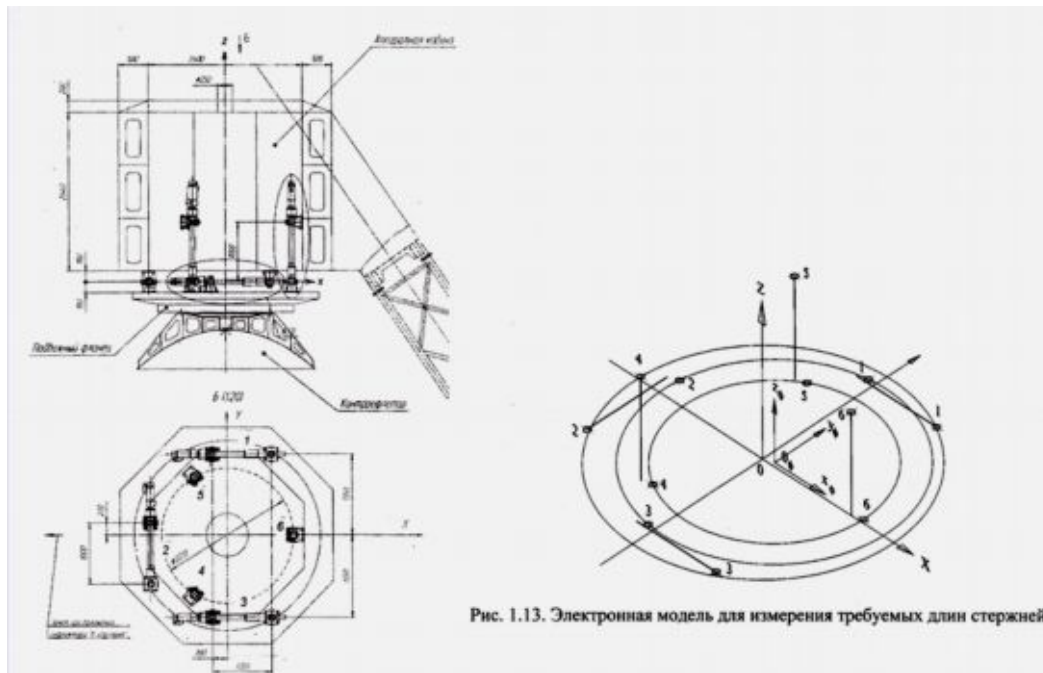


Рис. 1.13. Электронная модель для измерения требуемых длин стержней

Рис. 1.12. Конструкция узла перемещения контррефлектора

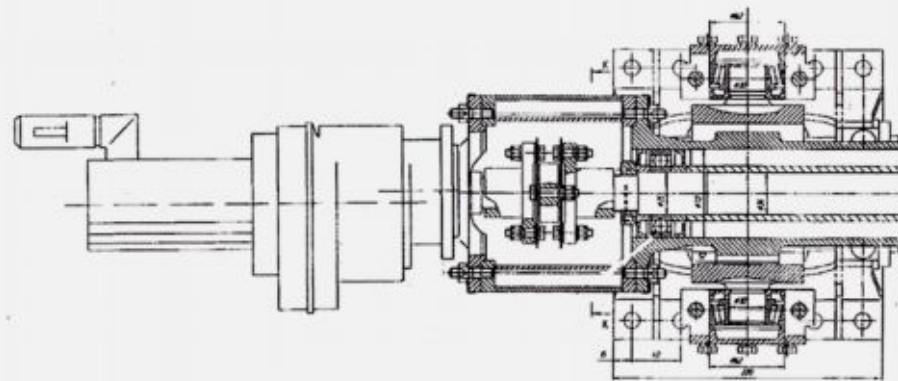


Рис. 1.2. Установка мотор-редуктора на ходовом винте стержня

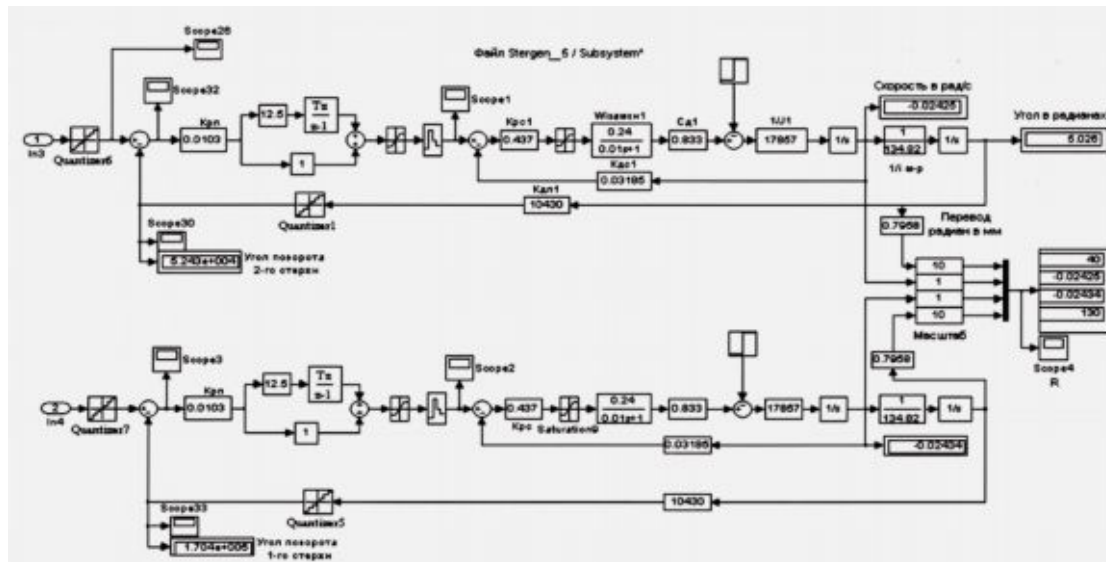


Рис. 1.5. Модель электроприводов стержней

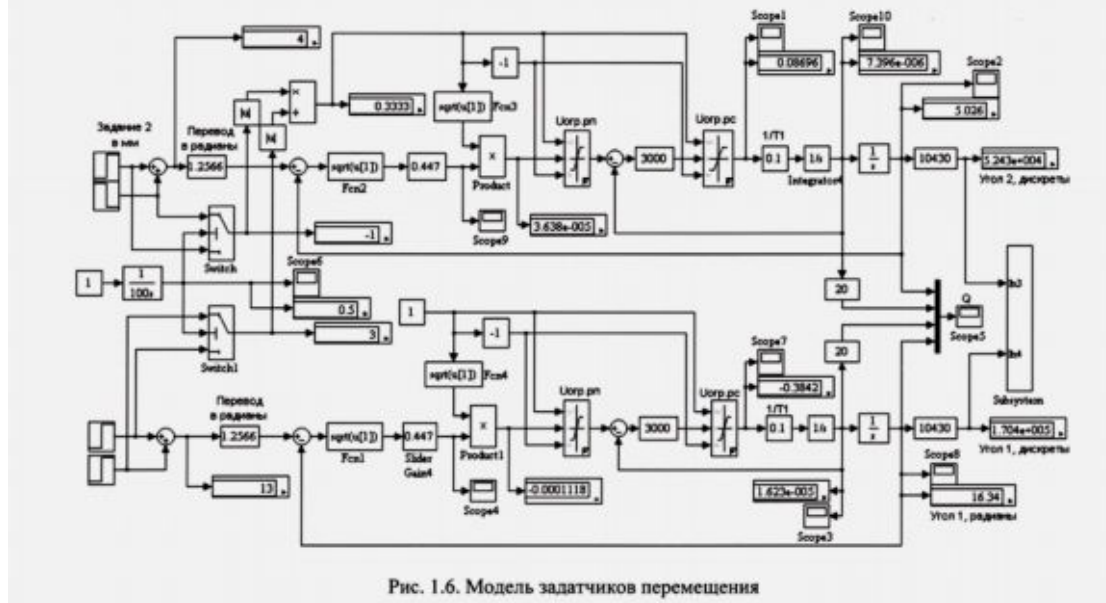


Рис. 1.6. Модель датчиков перемещения

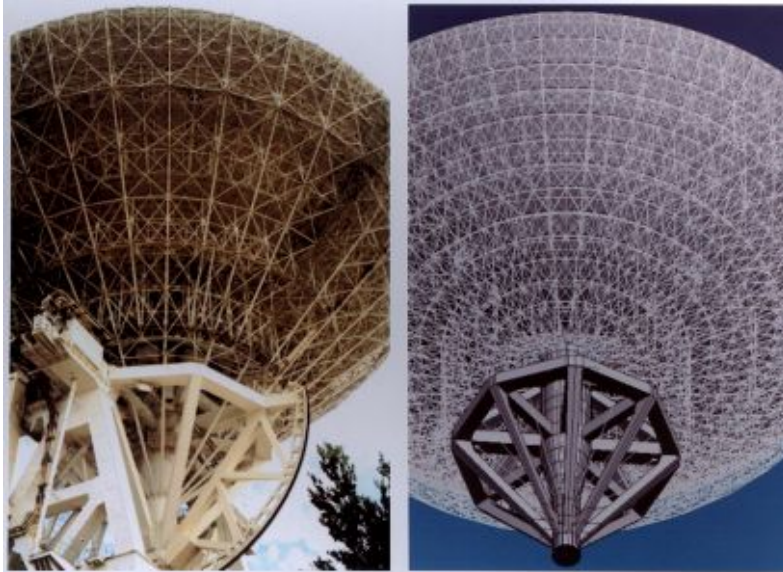


Рис. 2.19



Рис. 2.20



Рис. 2.21

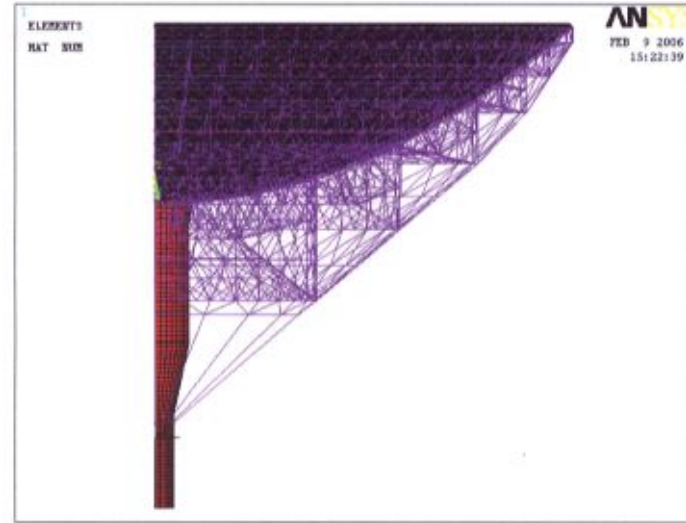


Рисунок 2 – Вид сбоку.

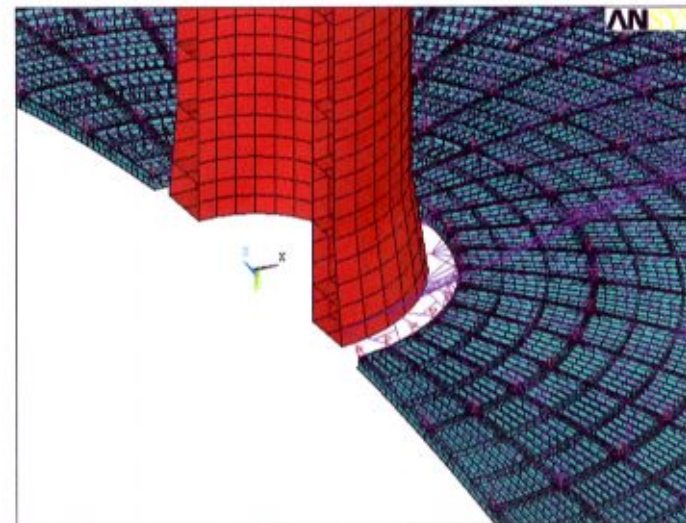
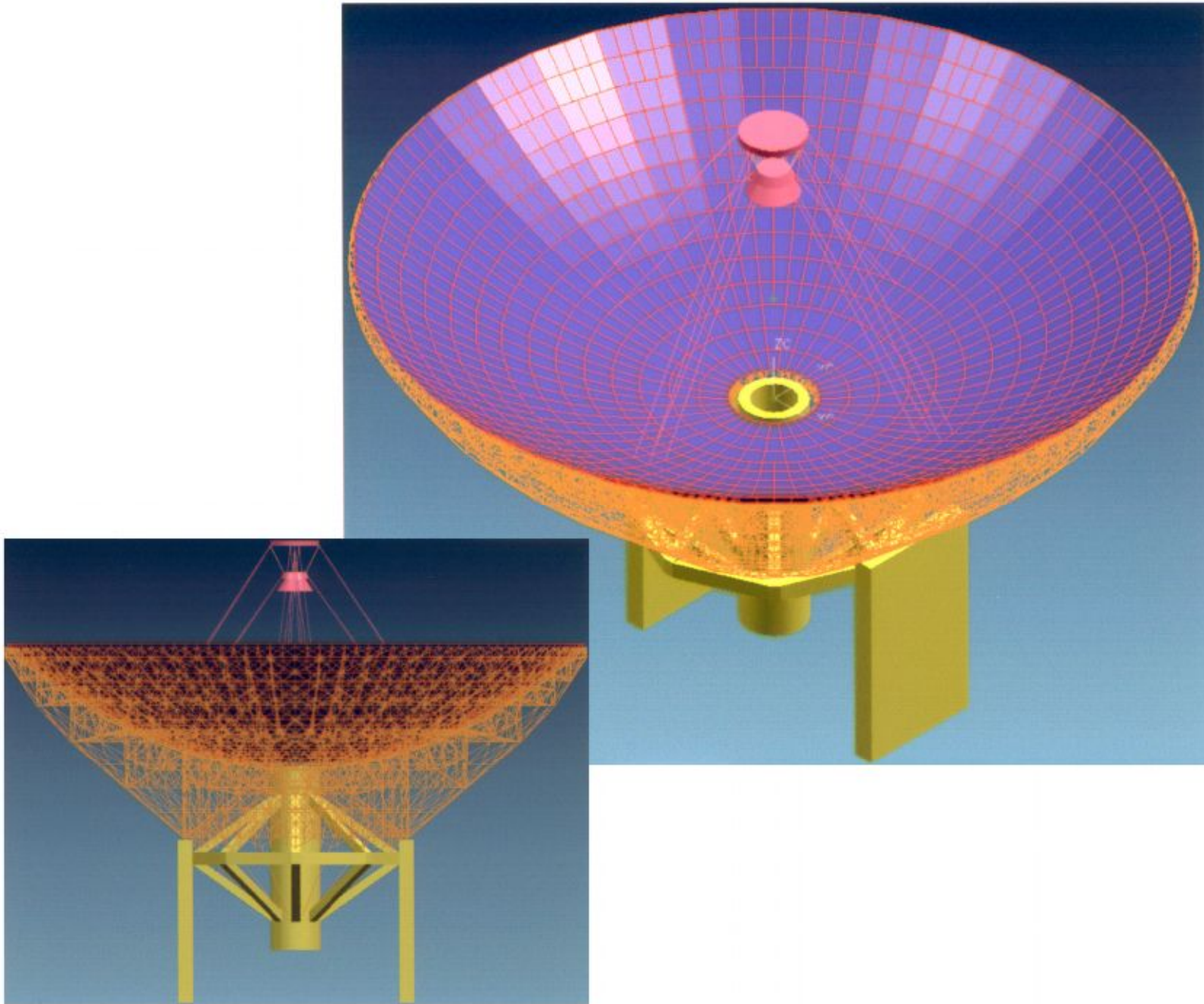


Рисунок 4 – Вид с тыльной стороны зеркала около центра зеркала (фрагмент).

Конечноэлементные модели главного зеркала



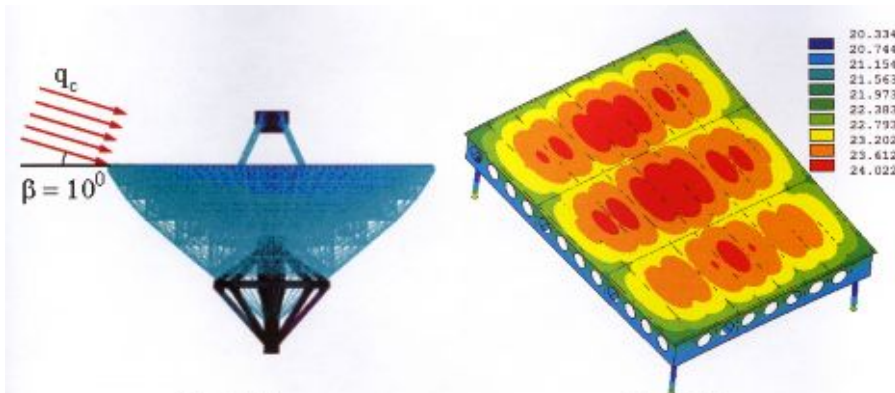


Рис. 2.15

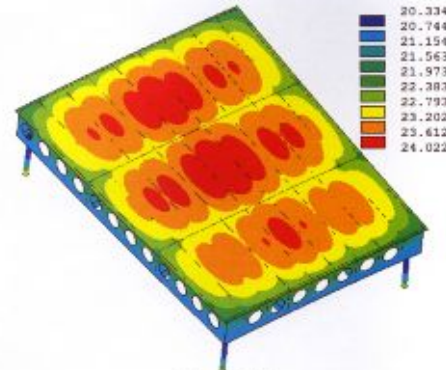


Рис. 2.16

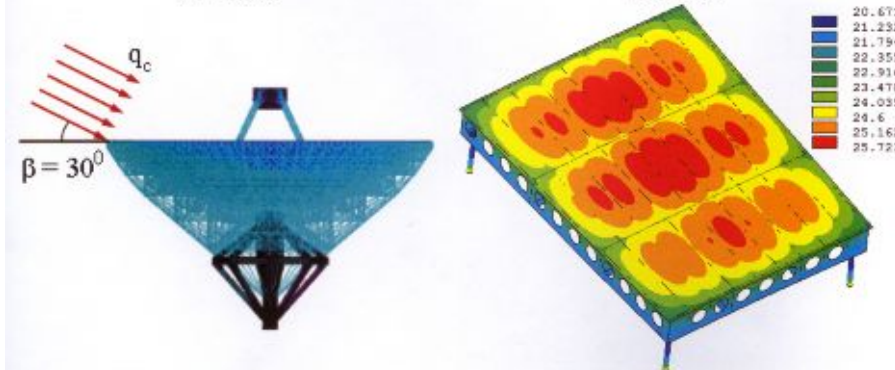


Рис. 2.17

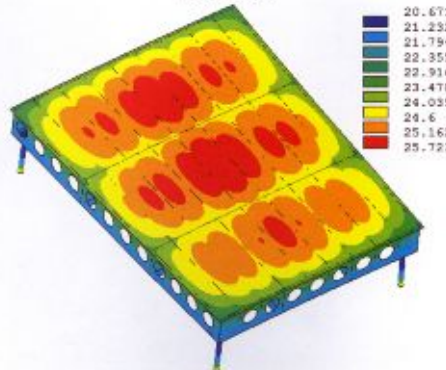


Рис. 2.18

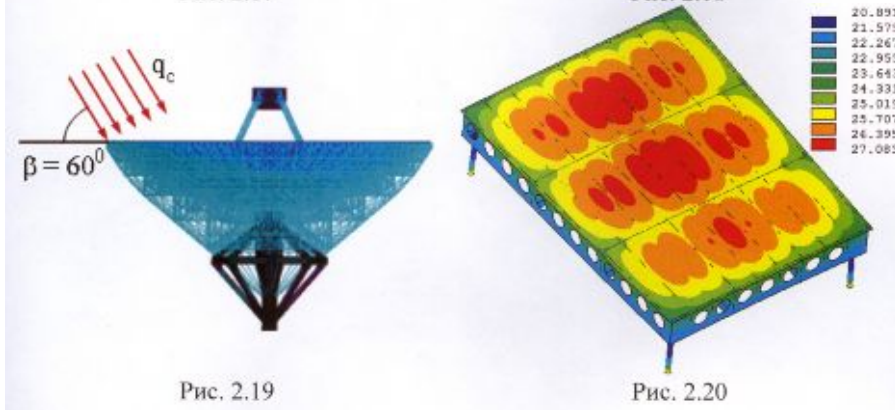


Рис. 2.19

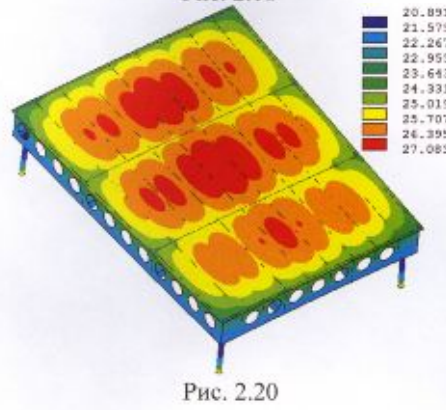


Рис. 2.20

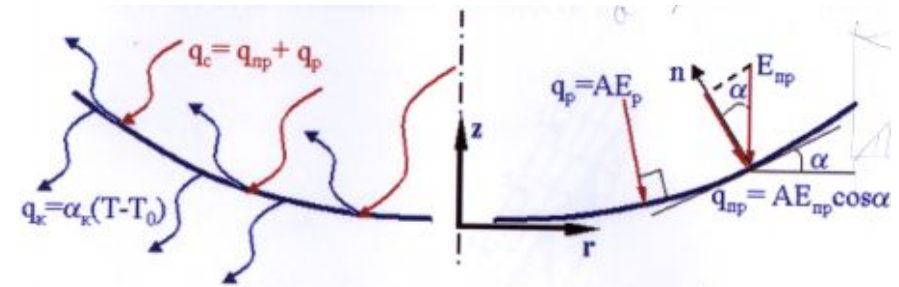


Рис. 3.1

*почему
вместо
max?*

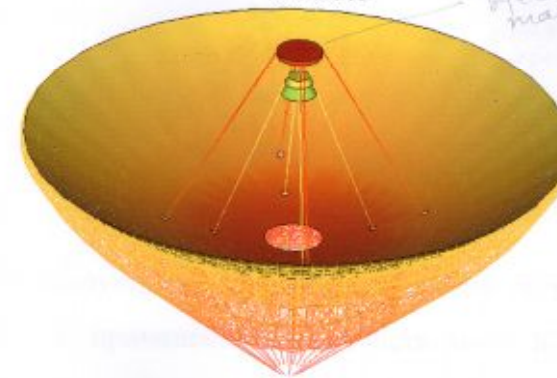


Рис.3.2

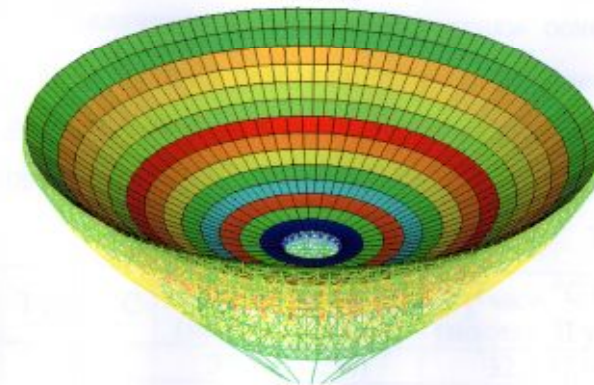
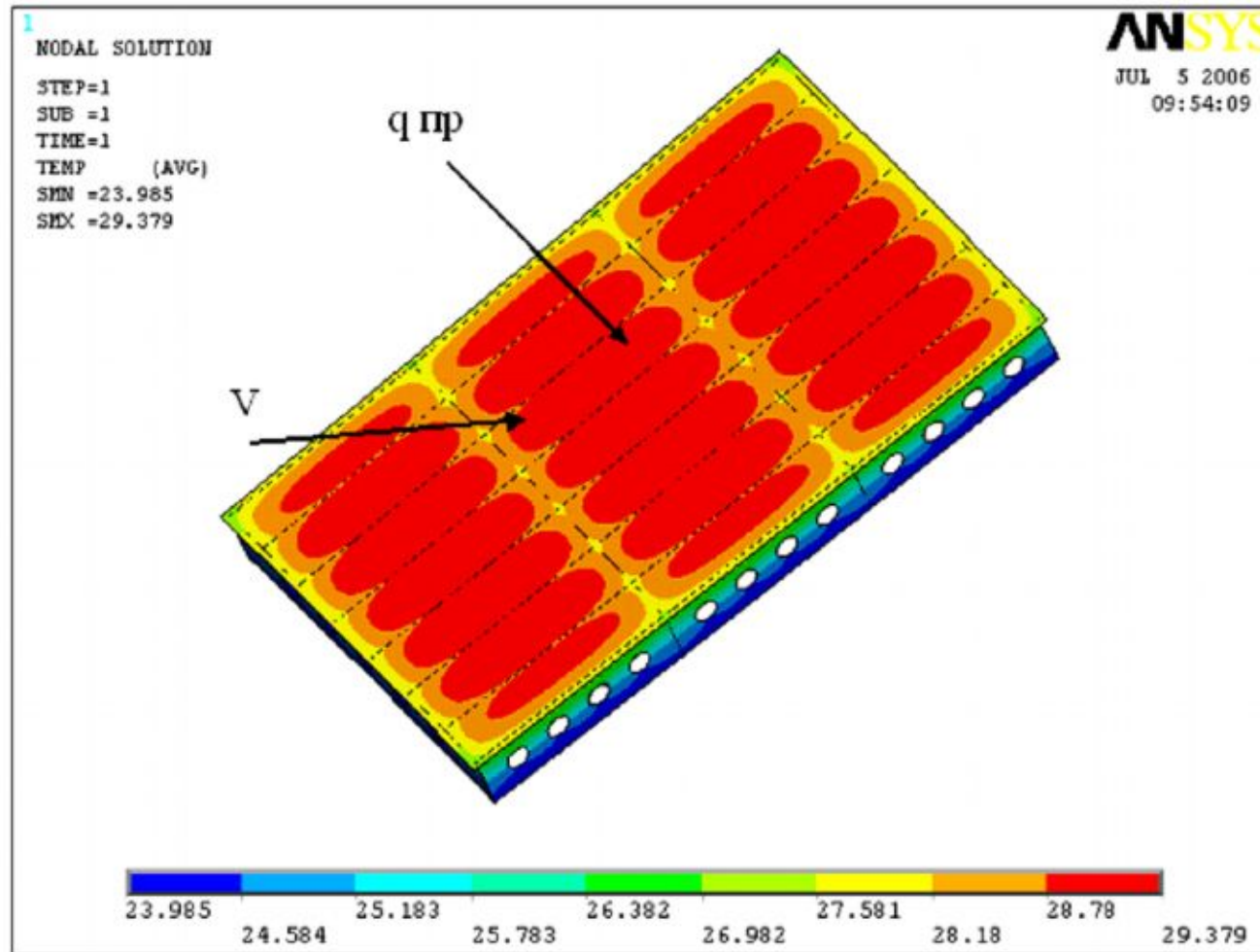


Рис.3.3

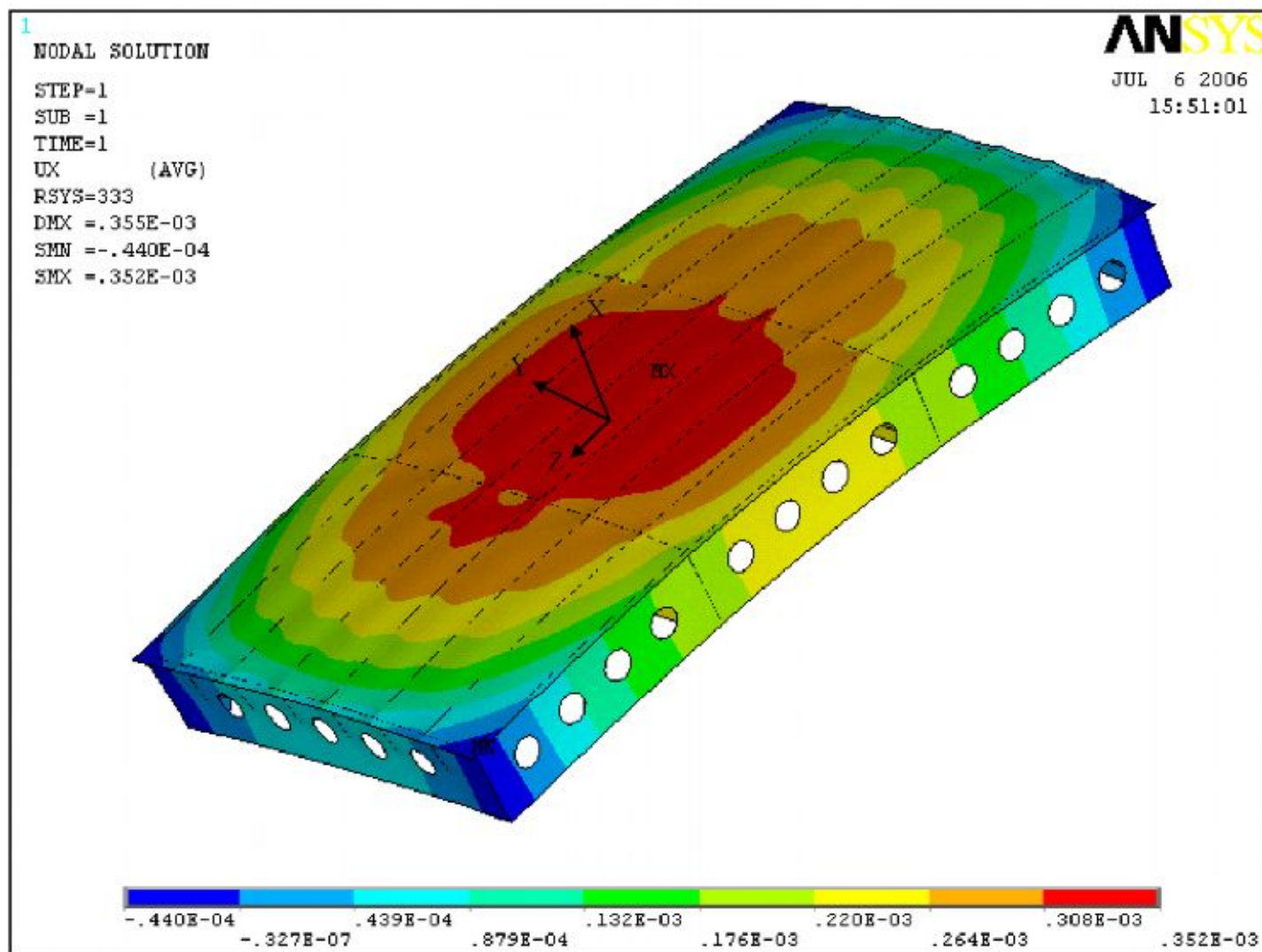
Модели температурных полей, возникающих под воздействием солнечной радиации

Температурное поле фасеты (Щ1)



$\alpha_{\Sigma} = 45 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ – на отр. поверхность; $\alpha_{\text{конв}} = 11,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ – на ребра;
 $T_{\text{возд}} = 22,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
 $q_{\text{пр}} = 1000 \text{ Вт}/\text{м}^2$; $q_{\text{рас}} = 100 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ($A=0,3$)

Деформации в системе координат XYZ, ось X перпендикулярна
поверхности фасеты



Основные задачи исследований электродинамической модели зеркальной системы РТ-70

Проведение расчетов электродинамических характеристик РТ при наличии различных погрешностей зеркальной системы РТ.

Определение предельно допустимых погрешностей.

1. РТ с идеальными поверхностями щитов и КР

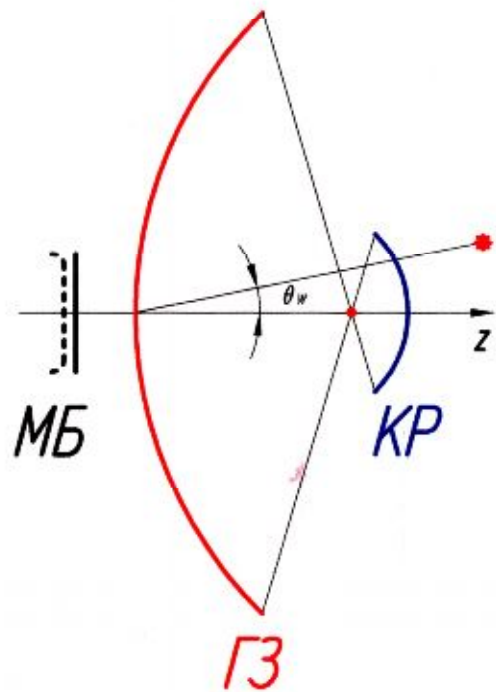
- Угол зрения РТ и размер МБ (при оптимальном диаметре КР)
- Анализ не плоской и смещенной МБ
- Не совпадающие фокусные расстояния ГЗ и щитов (гомологичность)
- Погрешности позиционирования (*смещения*) КР

2. Погрешности (неидеальности) поверхностей ГЗ и КР

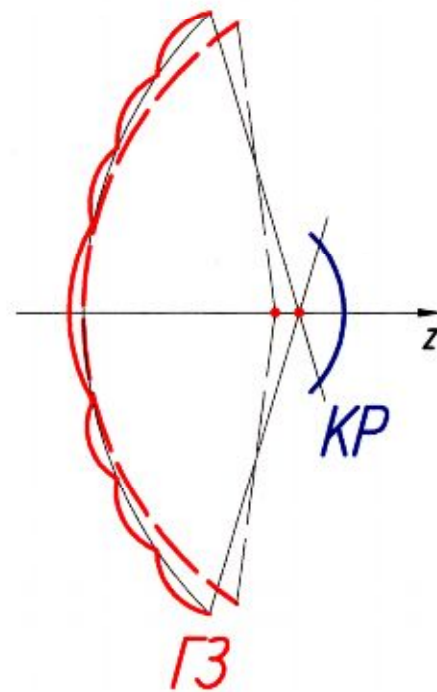
- Погрешности позиционирования (*смещения*) щитов актуаторами
- Погрешности изготовления (*неровности*) щитов и КР (отклонения поверхностей от идеального параболоида и эллипсоида)

1. РТ с идеальными поверхностями щитов и КР

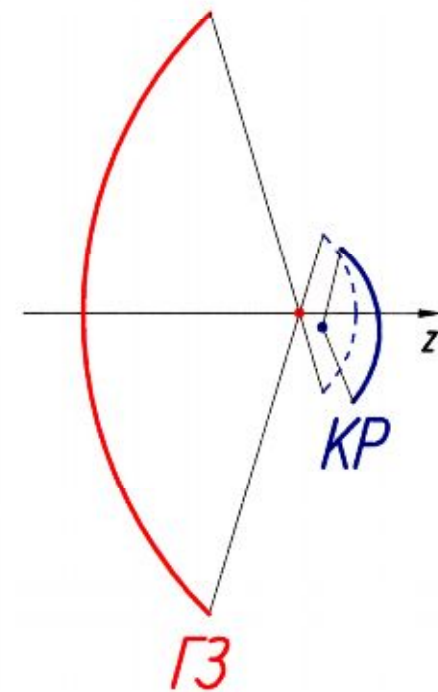
Оптимальный диаметр КР, $\phi 3_m$
угол зрения РТ, размер МБ,
неплоская и смещенная МБ



Несовпадающие фокусные
расстояния ГЗ и щитов

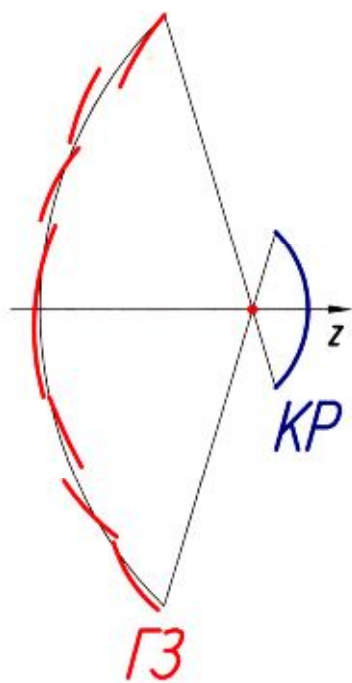


Погрешности позиционирования
(смещения) КР

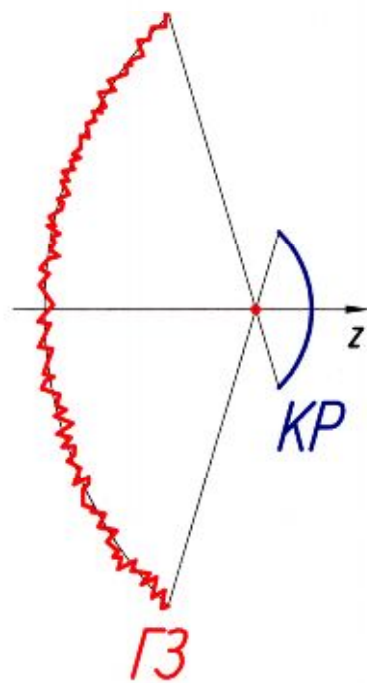


2. Погрешности (неидеальности) поверхностей ГЗ и КР

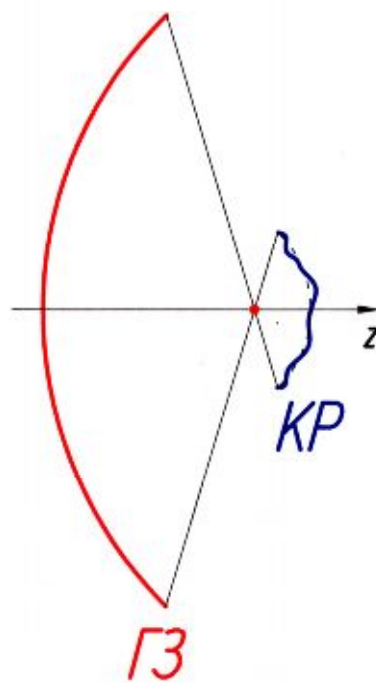
Коррелированные и некоррелированные смещения щитов



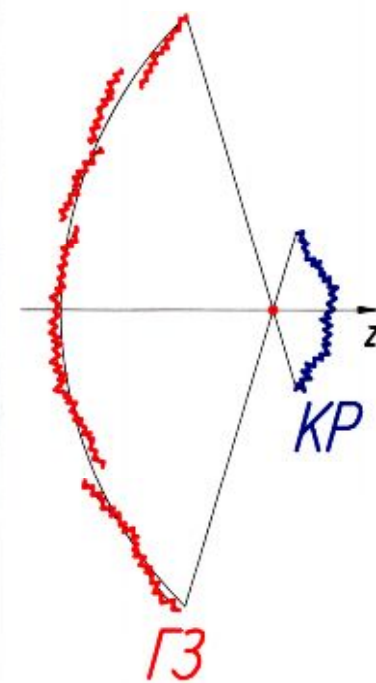
Неровности щитов

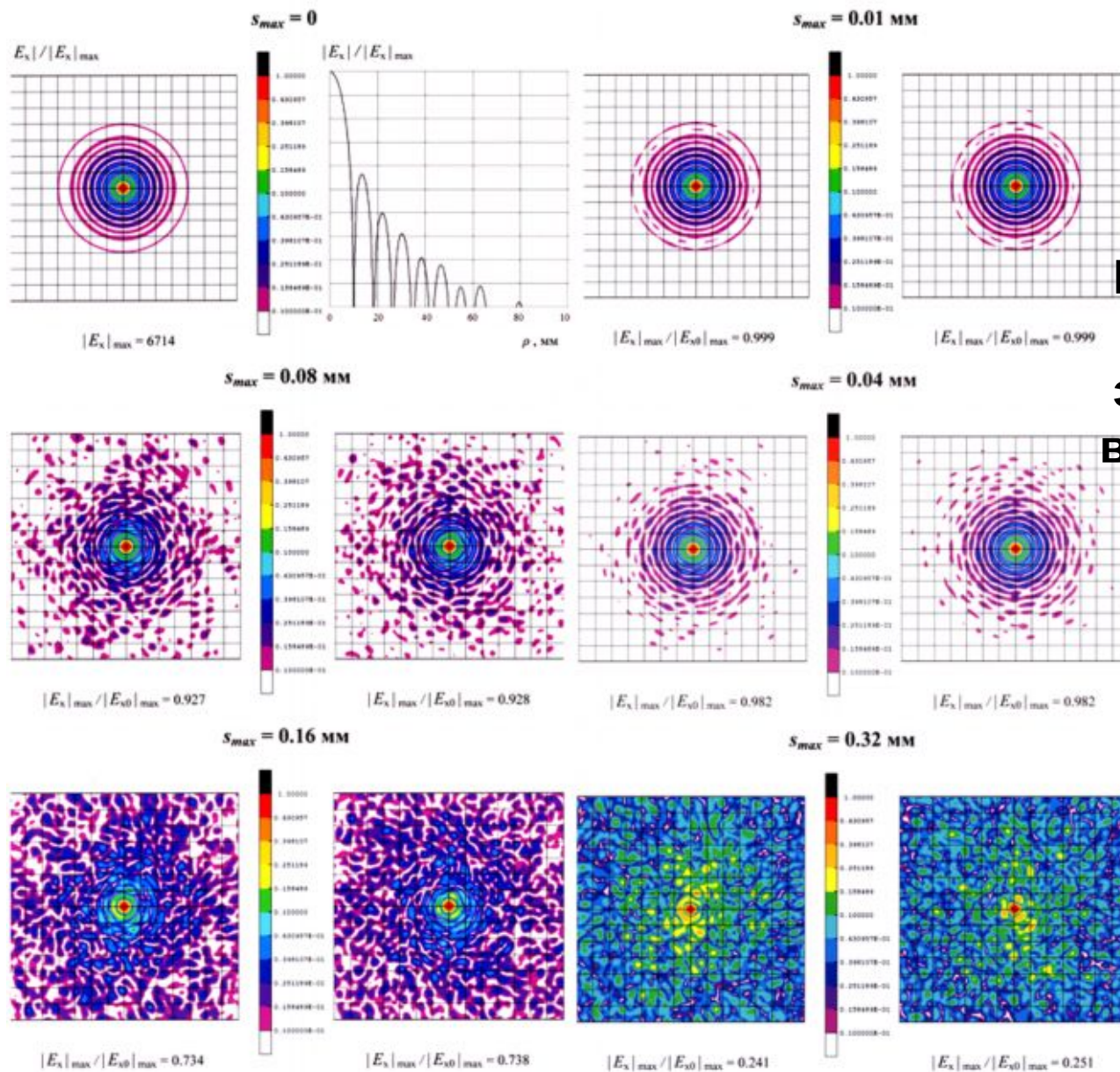


Неровности КР



Смещения щитов и неровности щитов и КР





Изменение характера
 распределения
 электрического поля
 в окрестности фокуса
 РТ при
 некоррелированном
 смещении щитов
 главного зеркала
 актуаторами

Предлагаемые предельно допустимые погрешности (для $\lambda = 1$ мм)

- **КР:** Погрешности позиционирования:

Осевой сдвиг $\zeta_{\text{КР}}$ 0.1 мм (в крайнем случае 0.2 мм)

Поперечный сдвиг $\rho_{\text{КР}}$ 0.2 мм

Наклон оси $\theta_{\text{КР}}$ 67" \leftrightarrow смещение центра $\eta_{\text{КР}} \leq 0.3$ мм

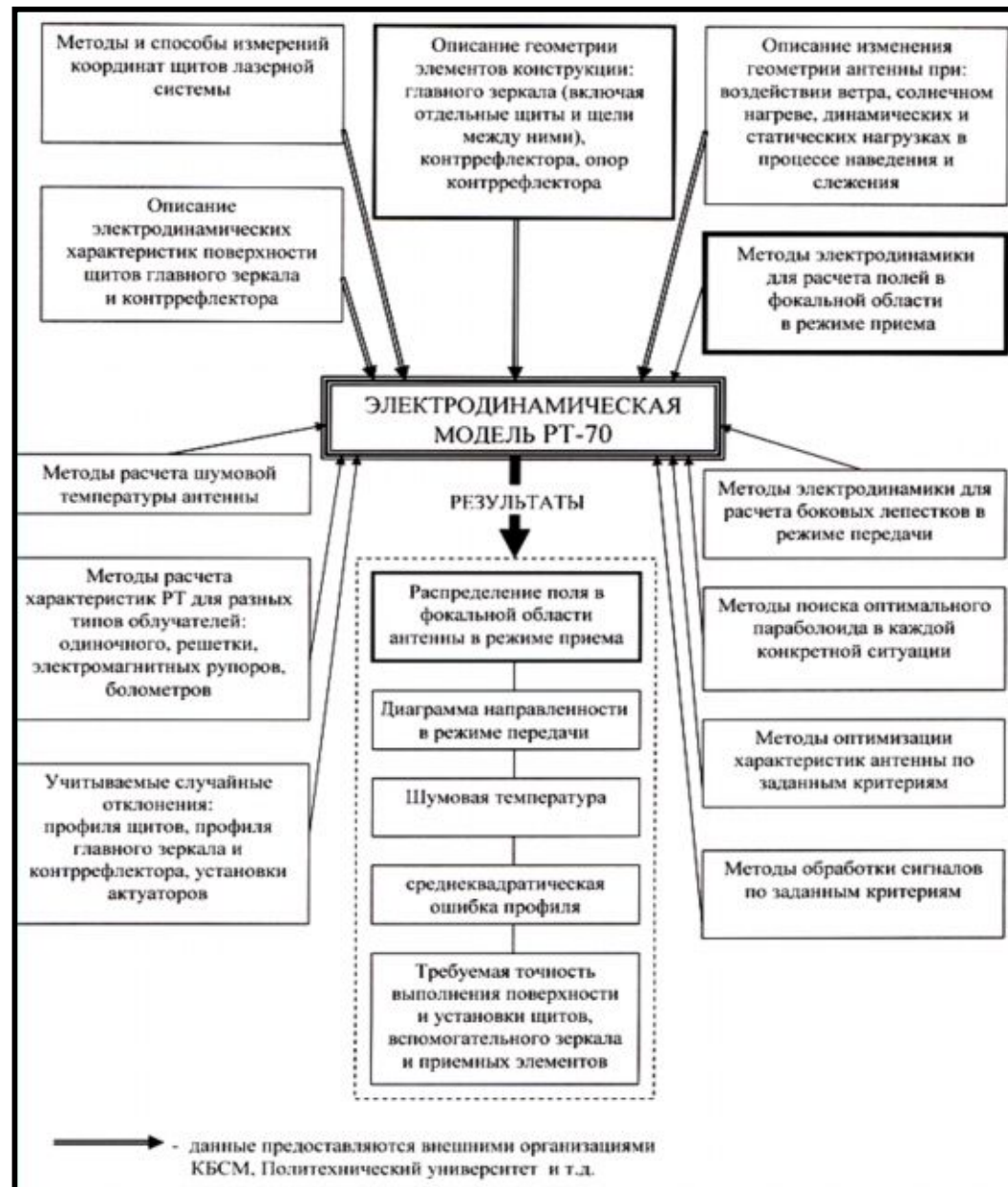
- **КР:** Амплитуда неровностей поверхности 0.05 мм

- **Щиты:** Амплитуда неровностей поверхности 0.10 мм

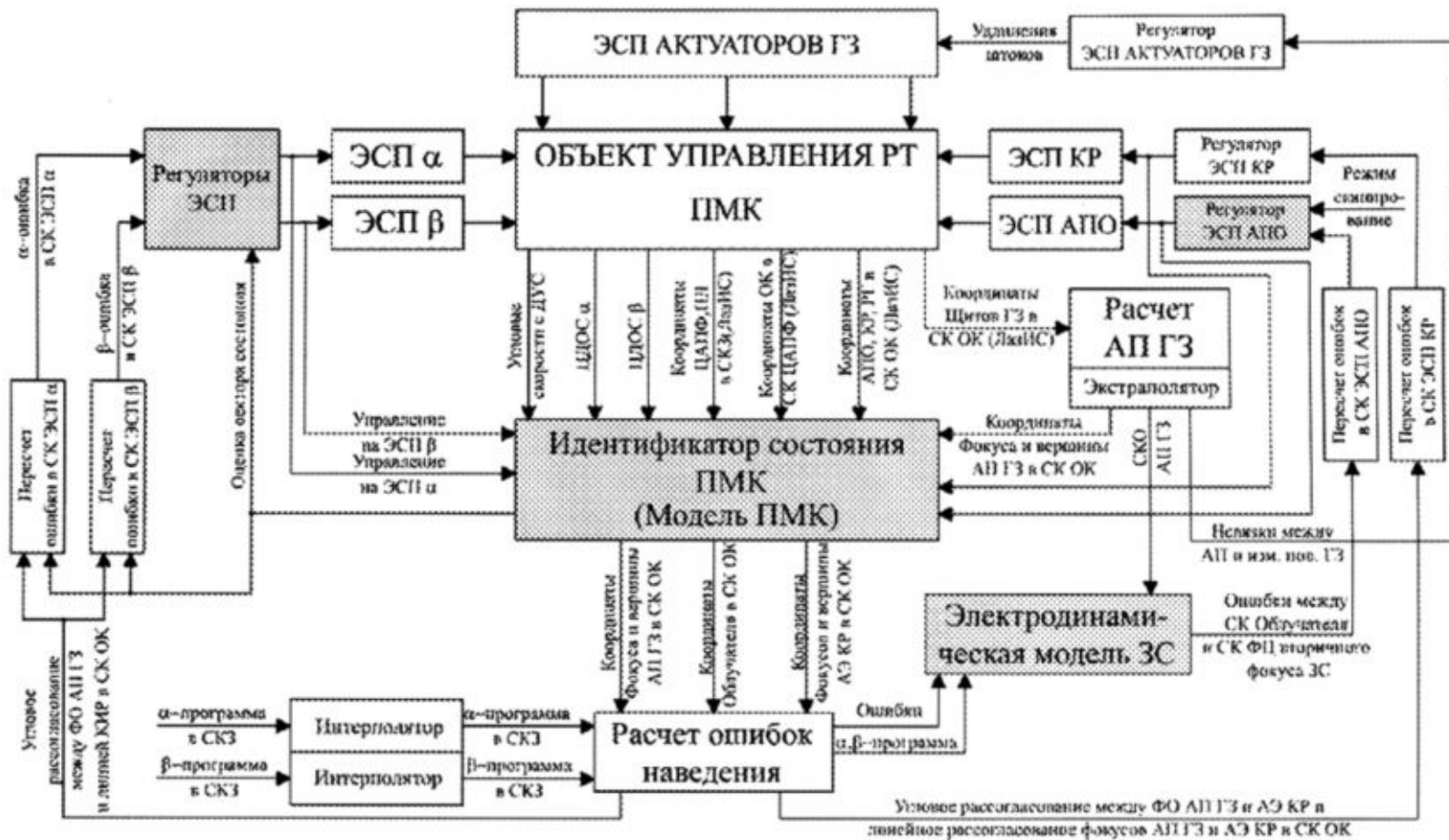
- **Лазерная система:** Погрешность определения положений щитов, включая погрешность интерполяции с реперов на актуаторы 0.08 мм

- **Актуаторы:** Погрешность позиционирования как исполнительных механизмов плюс погрешность крепления щитов к актуаторам 0.10 мм

Если удвоить любую из этих погрешностей и обнулить остальные (кроме погрешностей позиционирования КР), то изображения примерно такие же.



Укрупненная схема ситсистемы управления зеркальной системой РТ-70



Предполагаемый состав аппаратного комплекса на РТ-70

- ◆ Однолучевые приемники (континуум, РСДБ, спектральные линии):
 - *Длиноволновые приёмники (метровый, дециметровый)*
 - **22 ГГц (1,35 см) (HEMT, 20 К, 2 поляризации)**
 - **37 ГГц (8 мм) (HEMT, 20 К, 2 поляризации)**
 - *50 ГГц (6 мм)*
 - *75 ГГц (4 мм)*
 - **80-115 ГГц (3 мм) (HEMT, 20 К, 2 поляризации)**
 - *150 ГГц (2 мм)*
 - **200-270 ГГц (1,3 мм) (SIS, 4 К, 2 поляризации, HEMT)**
 - *350 ГГц (0,8 мм) (SIS)*

Выделены- очевидно потребные приёмники, *курсивом*- находящиеся в стадии обсуждения.

- ◆ Матричные приемники:
 - Матрицы болометров на 1.3 мм и на 2 мм (0.3 К) с максимально возможным числом элементов
 - Матричный приемник на 80-115 ГГц (HEMT, 20 К, континуум, спектральные линии) и/или матричный гетеродинный приемник на 210-270 ГГц (SIS, 4 К)
- ◆ Технологические приёмники:
 - Вспомогательные приемники для радиоголографии
 - Приёмники для исследования астроклимата

Прогнозируемые параметры аппаратурного комплекса РТ-70 на основных диапазонах

Диапазон	22	37	85-115	200-270
Технология	HEMT	HEMT	HEMT	SIS
Раб. т-ра (К)	20	20	20	4
Полоса (ГГц)	8	8	16	16
ТШ (К)	30	50	100	150
ΔT (мК·Гц- 1/2)	~ 1	~ 1	~ 2	~ 3
ΔS (мЯн·Гц- 1/2)	~ 1	~ 1	~ 3	~ 5

