

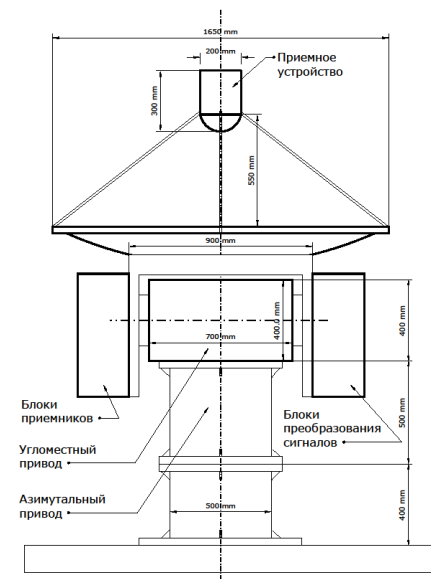
ПЕРЕДВИЖНАЯ РСДБ-СТАНЦИЯ КОМПЛЕКСА «КВАЗАР-КВО»

М.Б. Зотов
zmb@iaaras.ru

Передвижные РСДБ-станции

Передвижные РСДБ-станции при наблюдении совместно со стационарными радиотелескопами комплекса «Квазар-КВО» позволят обеспечить:

- уточнение национальной высокоточной геодезической сети и её привязку к глобальной геоцентрической системе координат ITRF;
- повышение точности геодезической привязки специальных комплексов к национальной геодезической сети;
- высокоточную синхронизацию удаленных атомных стандартов частоты и времени систем единого времени;
- оперативный контроль тектонических движений и обнаружения предвестников землетрясений в сейсмоактивных районах;
- улучшение заполнения UV плоскости для решения задач астрофизики;
- повышение точности и оперативности определения параметров вращения Земли.



Обоснование технического облика станции, состав аппаратуры ПС-РСДБ

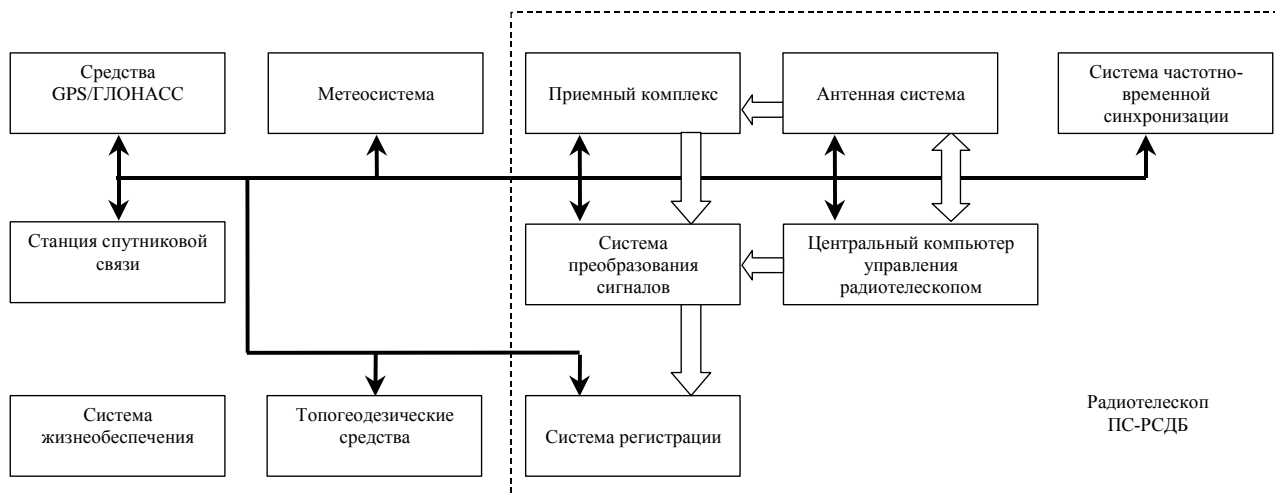
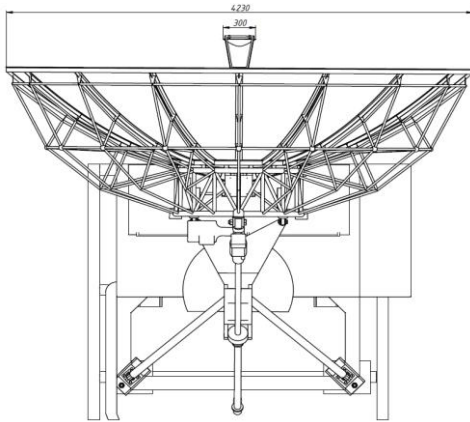


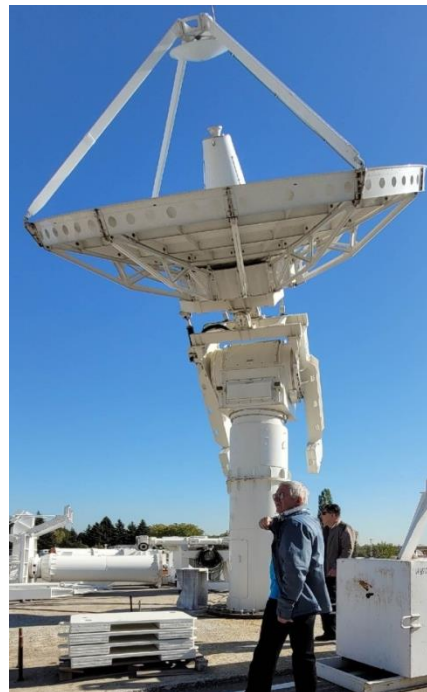
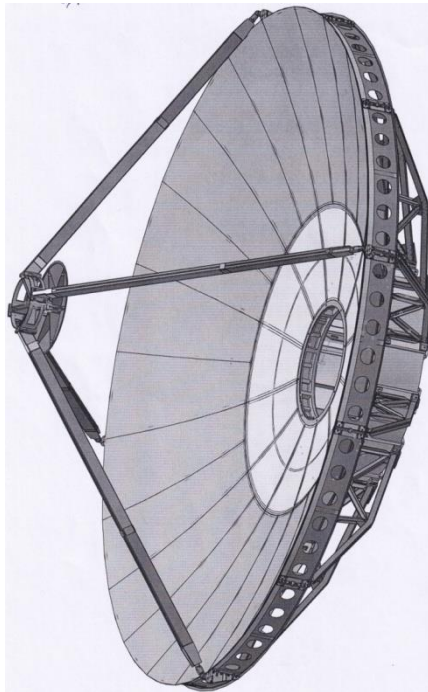
Таблица 1.5. Основные параметры радиотелескопа ПС-РСДБ

Параметр	Значение
Диаметр зеркала	от 4 до 6 м
Точность изготовления поверхности	± 0.2 мм
X приемник (3,5 см)	8.18–9.08 ГГц
Эквивалентная шумовая температура системы в X диапазоне, не более	55 К
КИП в X диапазоне, не менее	0,6
S приемник (2,3 ГГц, 13 см)	2.15–2.50 ГГц
Эквивалентная шумовая температура системы в S диапазоне, не более	55 К
КИП в S диапазоне, не менее	0.6

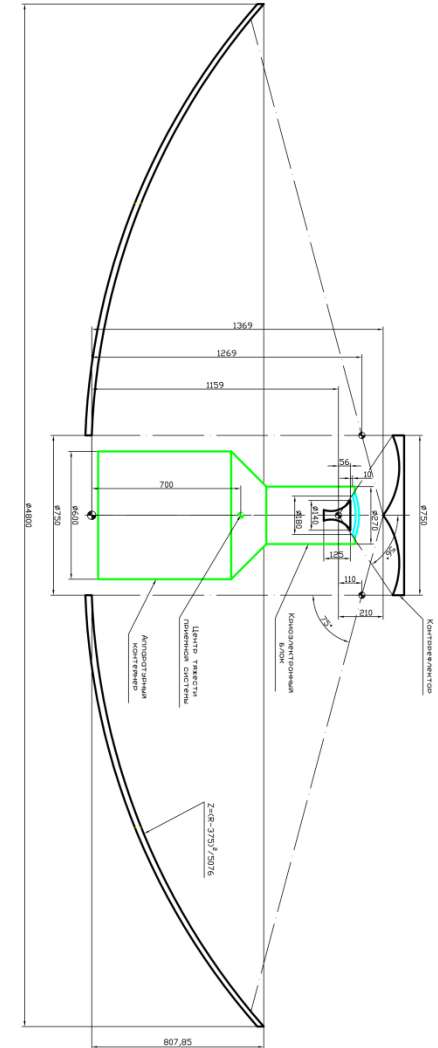
Выбор антенной системы ПС-РСДБ



Антенная система TESLA S11 DD 424 D=4,2 м



Антенная система ФГУП НИИРС D=5,4 м



Антенная система с кольцевым облучением D=4,8 м

Новая зеркальная система TESLA

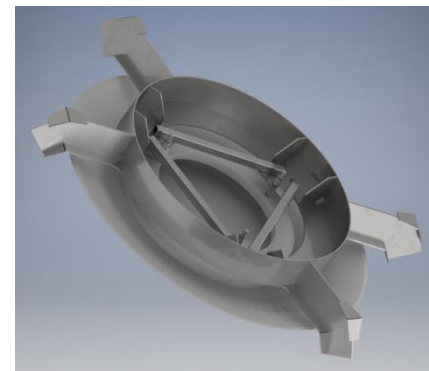
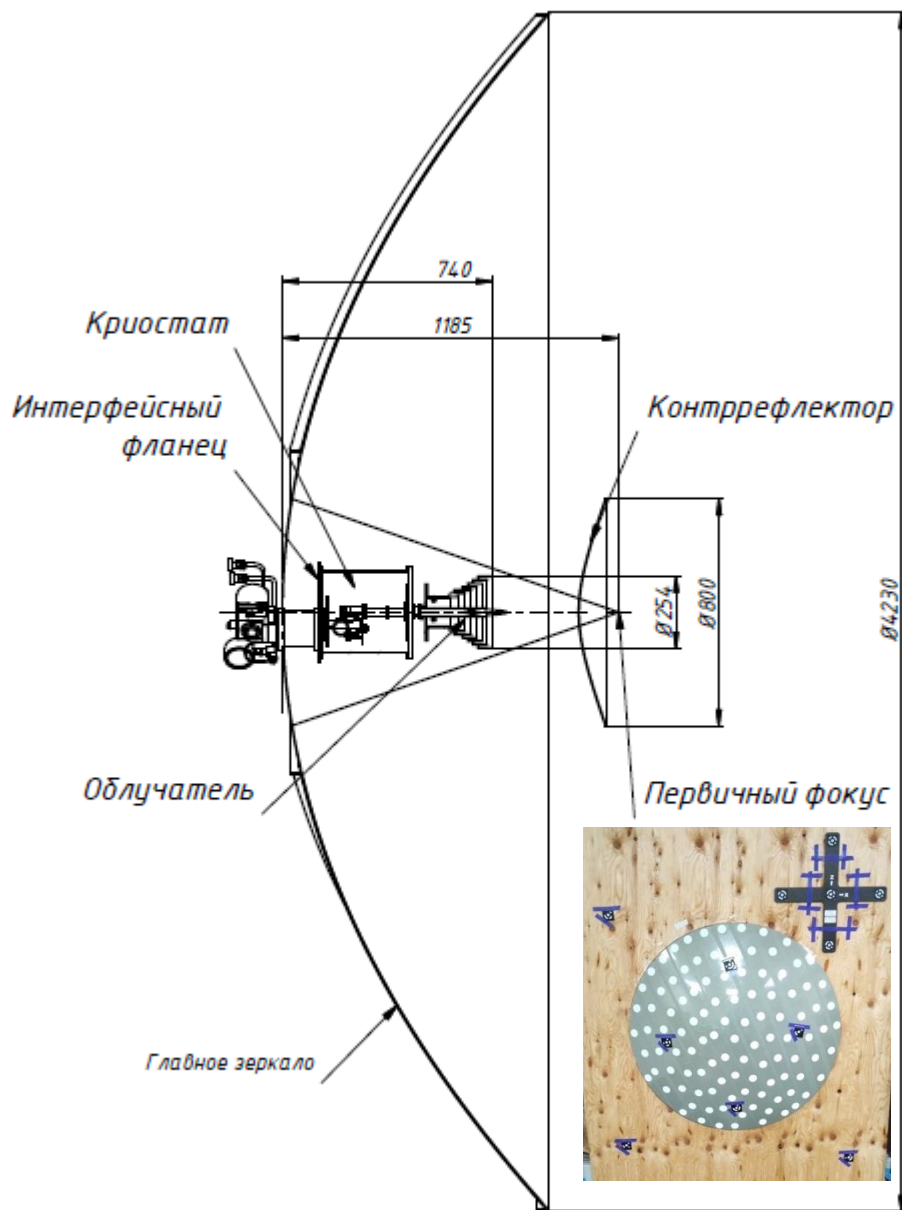


Результаты измерений главного зеркала TESLA

Статистика	X (мм)	Y (мм)	Z (мм)	Общее значение (мм)
Минимальное отклонение от среднего значения	-0,63	-0,15	-1,75	-1,76
Максимальное отклонение от среднего значения	0,67	0,10	1,26	1,40
Средняя квадратическая ошибка	0,21	0,04	0,44	0,49
Количество точек	339			
Атмосферные показатели	t = - 1,6 °C; P = 731,6 мм.рт.ст.; H =98,6 %			

Результаты измерений контррефлектора TESLA

Статистика	X (мм)	Y (мм)	Z (мм)	Общее значение
Минимальное отклонение от среднего значения	-0,04	-0,22	-0,06	-0,48
Максимальное отклонение от среднего значения	0,04	0,48	0,07	0,23
Средняя квадратическая ошибка	0,01	0,11	0,02	0,11
Количество точек	106			
Атмосферные показатели	t = 20 °C; P = 745,0 мм.рт.ст.; H =30,0 %			



Новая геометрия антенной системы TESLA

Научный семинар ИГА РАН 14 октября 2024 г.

Контррефлектор

Новая зеркальная система TESLA



Геодезические измерения. Подготовка к установке опор контррефлектора



Эпоксидный грунт



Покраска



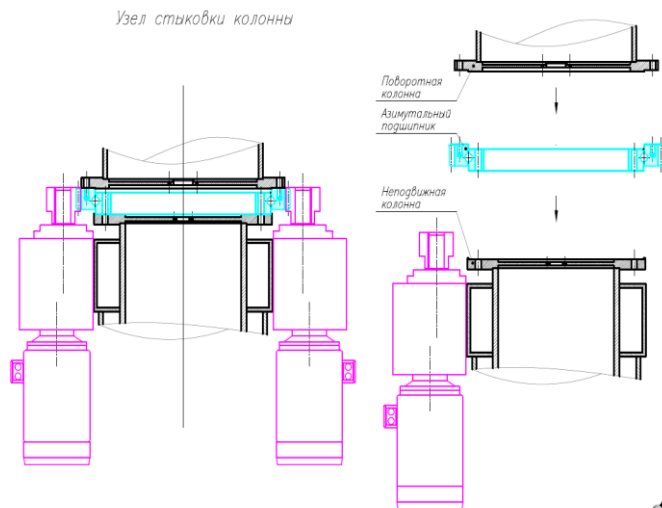
Монтаж зеркальной системы на ОПУ



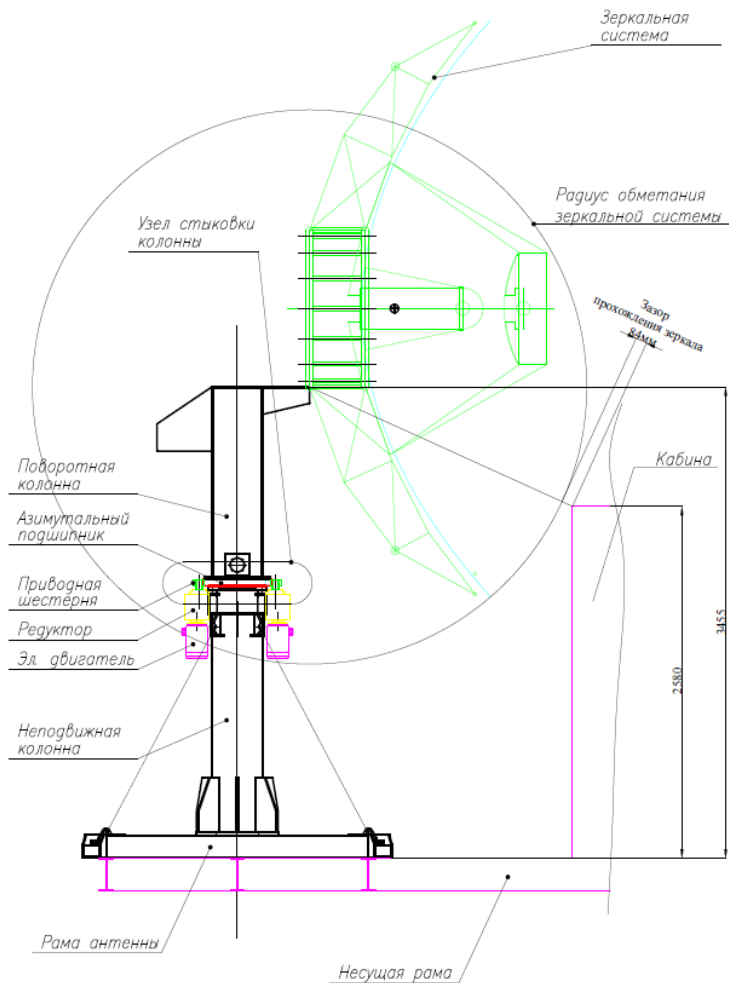
Опорно-поворотное устройство



Несущие конструкции АС TESLA



Узел стыковки колонны ОПУ TESLA



Компоновка АС TESLA

Опорно-поворотное устройство



Несущая рама ОПУ TESLA



Общий вид ОПУ TESLA



Предварительная сборка
ОПУ TESLA



Узел стыковки колонны ОПУ TESLA (A3 подшипник)

Научный семинар ИПА РАН 14 октября 2024 г.

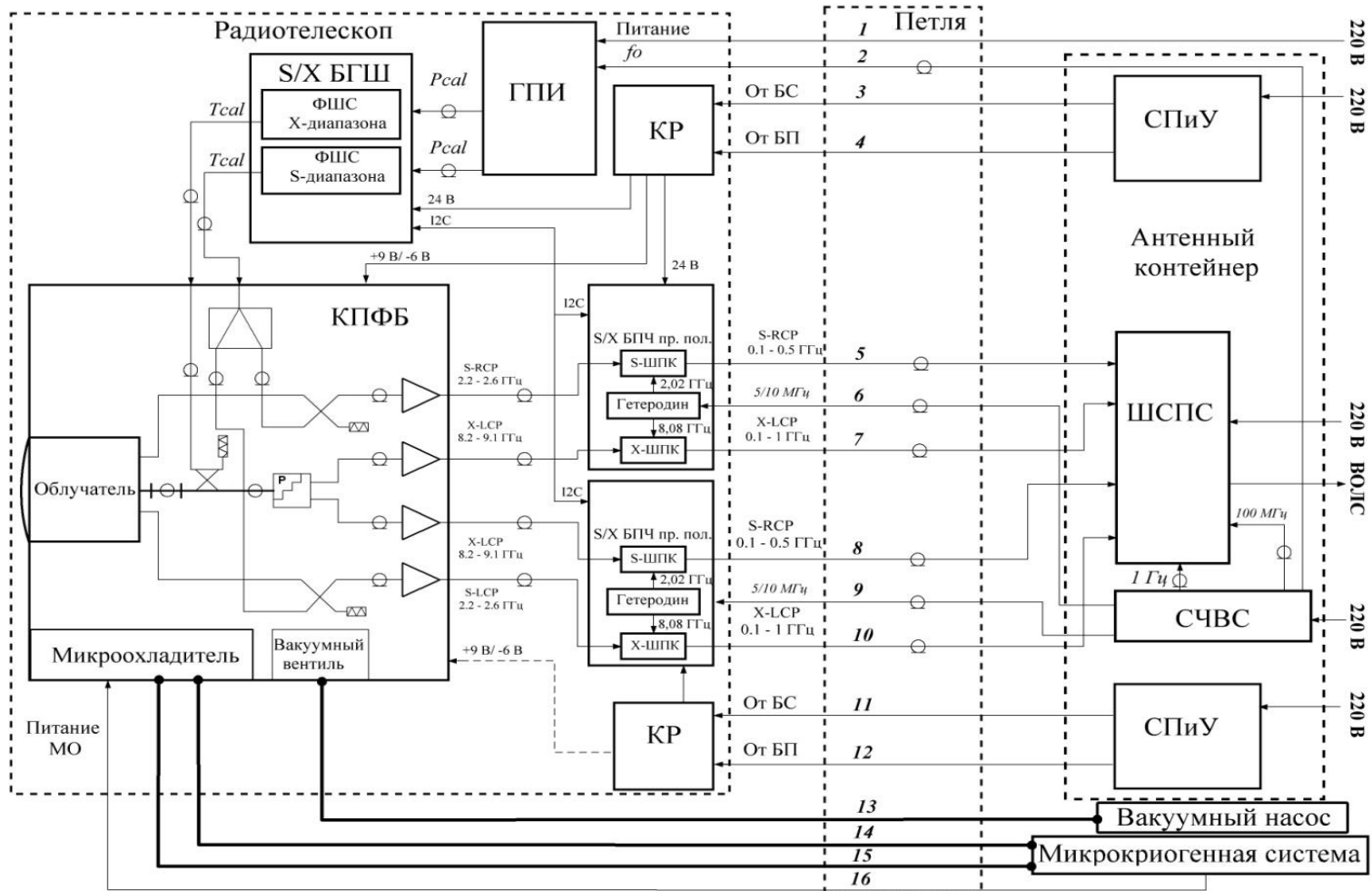
Опорно-поворотное устройство. Характеристики



Основные характеристики ОПУ радиотелескопов и антенн комплекса «Квазар-КВО»

Характеристика антенной системы	Радиотелескоп РТ-13	Радиотелескоп РТ-32	Спутниковая станция Tesla	РТ-4	ПС-ПСДБ TESLA
Погрешность сопровождения по датчикам положения АС, не более	0.1	±2"	-	±15"	±15"
Диапазон углов поворота, не менее, градусы - по азимуту - по углу места	±270 от 0 до 115	±270 от 0 до 90	±40 от +5 до +85	±40 от +5 до +85	±270 от +10 до +90
Максимальная скорость, не менее, градус/с - по азимуту - по углу места	12 6	1 0.5	0.01 0.01	0.05 0.05	2 0.5
Максимальное ускорение, не менее, градус/с ² - по азимуту - по углу места	3 3	0.033 0.033	-	-	
Режим работы электропривода	Сопровождение и быстрый переброс		Движение на фиксированной скорости	Сопровождение и медленный переброс	Сопровождение и быстрый переброс
Исполнение электромеханической части привода	Односкоростное исполнение с использованием синхронных электродвигателей	Двухскоростное исполнение с механическим переключением	Односкоростное исполнение с использованием асинхронных электродвигателей	Односкоростное исполнение с использованием асинхронных электродвигателей	Односкоростное исполнение с использованием асинхронных электродвигателей

Приемная система



КПФБ – криоэлектронный приемный блок; БГШ – блок генераторов шума; БПЧ – блок преобразования частоты; ШСПС – Широкополосная система преобразования сигналов; СЧВС – система частотно-временной синхронизации; ШПК – широкополосный преобразовательный канал; ФШС – формирователь шумового сигнала; ГПИ – генератор пикосекундных импульсов; RCP и LCP – правая и левая круговые поляризации; СПиУ – система питания и управления; КР – коробка распределительная

Двухдиапазонный облучатель

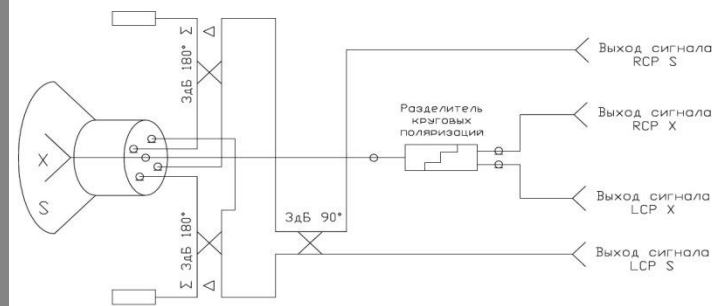
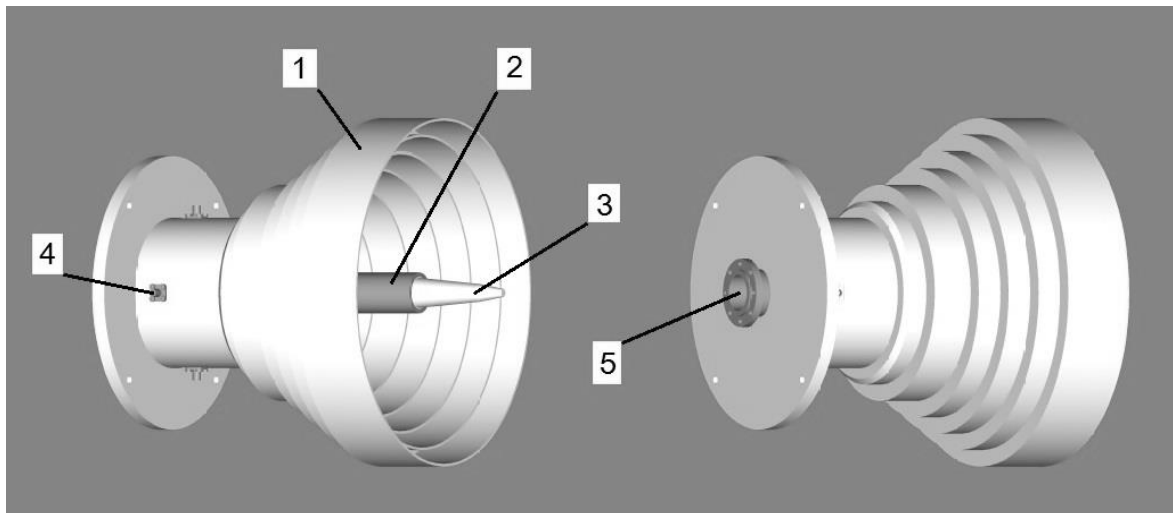
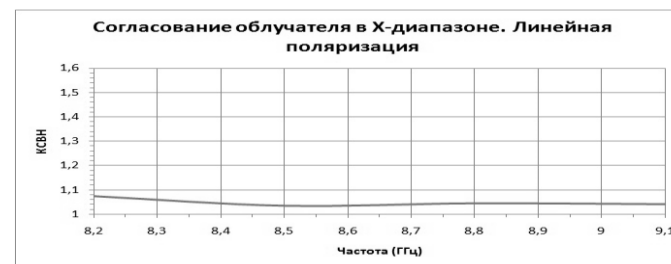
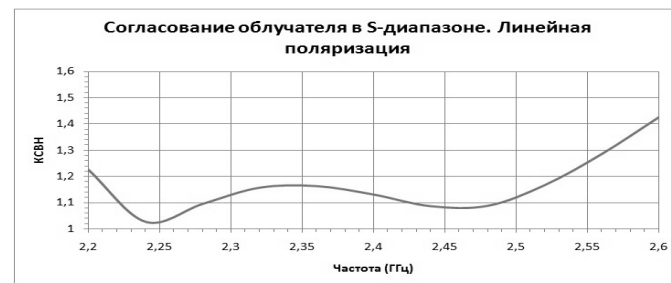
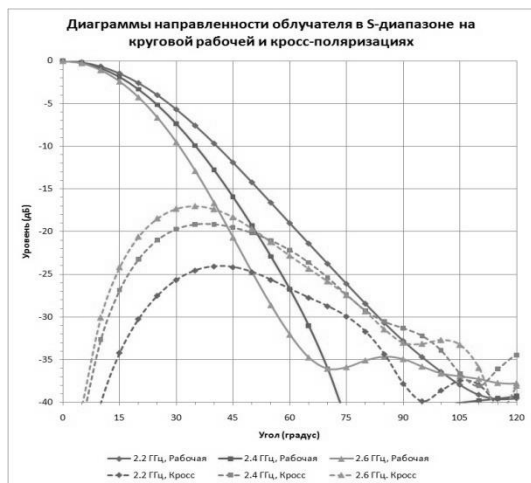


Схема формирования сигналов правой (RCP) и левой (LCP) круговых поляризаций

Облучатель SX-90:

1-канал S-диапазона; 2-канал X-диапазона; 3-диэлектрическая конусная вставка; 4- порт сигналов S-диапазона (один из четырех); 5-порт сигналов X-диапазона



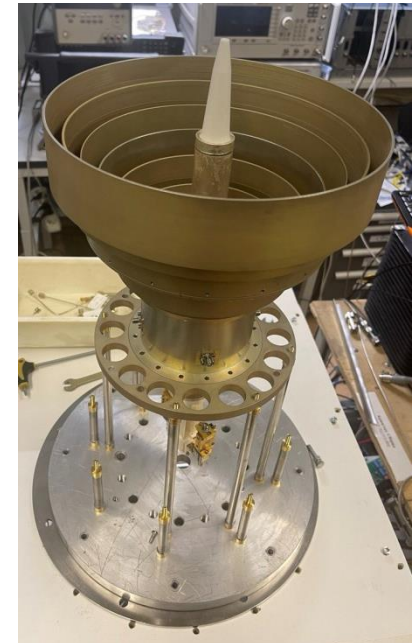
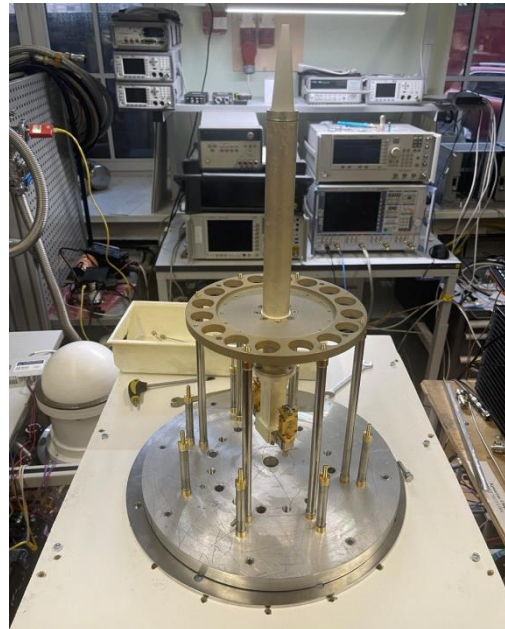
Расчетные диаграммы направленности облучателя в S и X диапазоне

Двухдиапазонный облучатель. Характеристики



Изготовленный образец облучателя SX-90

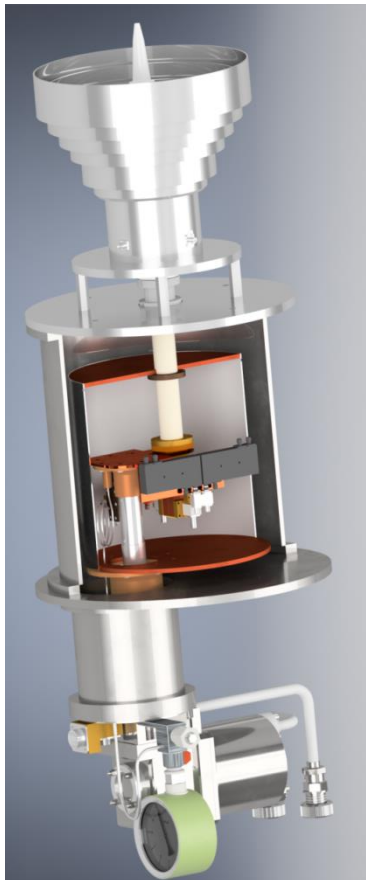
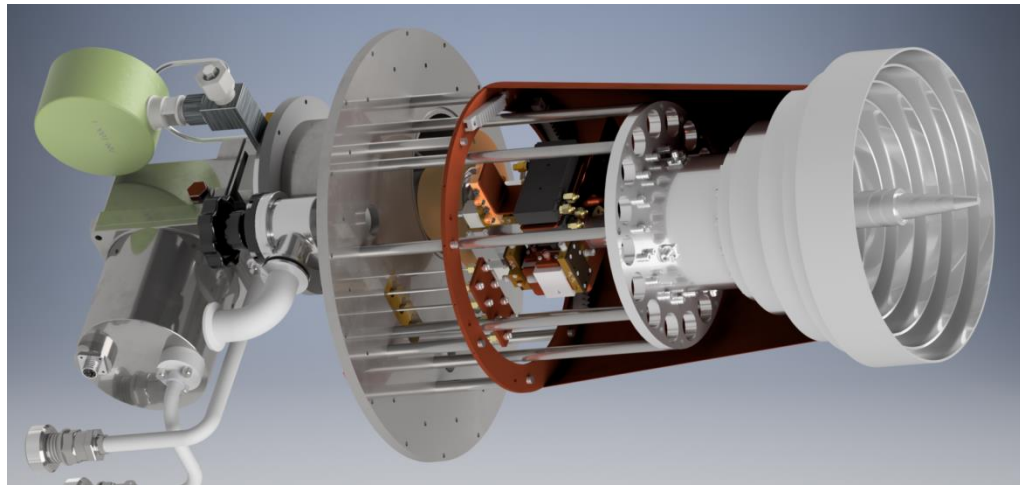
№	Характеристика	Канал S	Канал X
1	Диапазон частот, ГГц	2.2–2.6	8,2–9,1
2	Поляризация принимаемого сигнала	Круговая правая и левая	Круговая правая и левая
3	КСВН, не более	1.42	1.09
4	Ширина диаграммы направленности по уровню минус 16 дБ, угловой градус	$\pm(38-53)$	$\pm(42-44)$
5	Потери на переливание через край контррефлектора, не более, %	6.1	5.6
6	Потери на кросс-поляризацию, не более, %	11.0	2.5
7	Положение фазового центра	Плоскость апертуры рупора S-диапазона	Плоскость апертуры рупора S-диапазона



Оценка шумовых характеристик и обоснование компоновки КПФБ

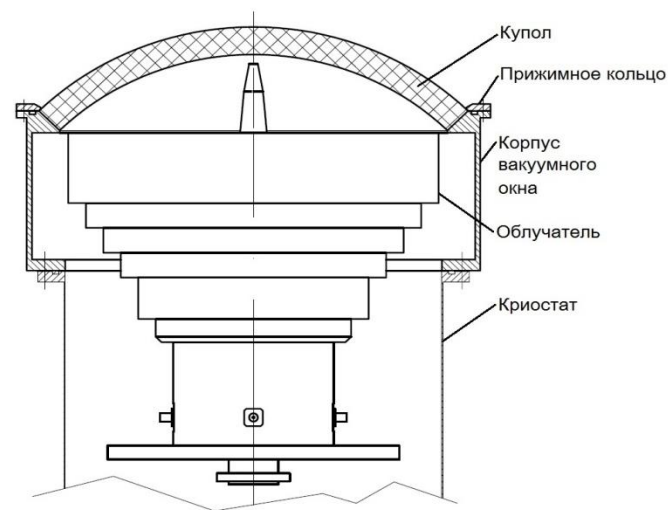
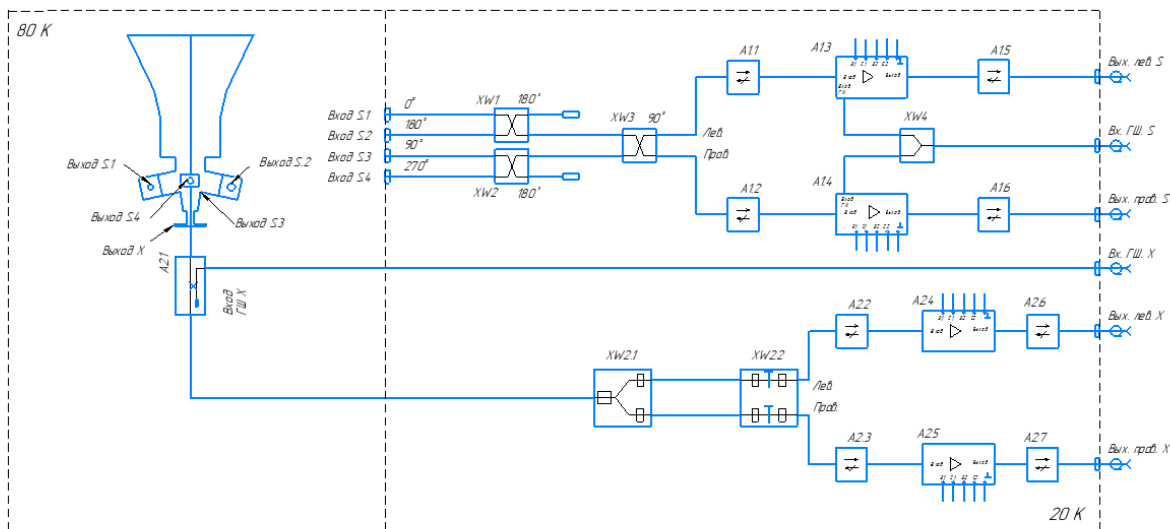


Расклад ЭШТВ в X диапазоне								
	Вход							Выход
Элемент	ВО	ИК фильтр	Облучатель	НО+РП	Вентиль	МШУ	Кабель	Гермоввод
G, дБ	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1	-0,05	30	-0,5	-0,2
Tфиз, К	293	80	30	30	15	15	90	293
Tш, К	6,82	2,81	0,70	0,7	0,35	8,00	10,98	13,81
Вклад в Tш, К	6,82	3,18	0,74	0,76	0,19	8,98	0,01	0,02
Общая Tш, К	20,7							
Усиление, дБ	28,8							



Расклад ЭШТВ в S диапазоне								
	Вход							Выход
Элемент	ВО	ИК фильтр	Облучатель	Мосты	Вентиль	МШУ	Кабель	Гермоввод
G, дБ	-0,05	-0,1	-0,3	-0,7	-0,05	30	-0,5	-0,2
Tфиз, К	293	80	30	30	15	15	90	293
Tш, К	3,39	1,86	2,15	5,25	0,17	4,00	10,98	13,81
Вклад в Tш, К	3,39	2,19	2,22	5,82	0,23	5,27	0,01	0,02
Общая Tш, К	19,2							
Усиление, дБ	28,1							

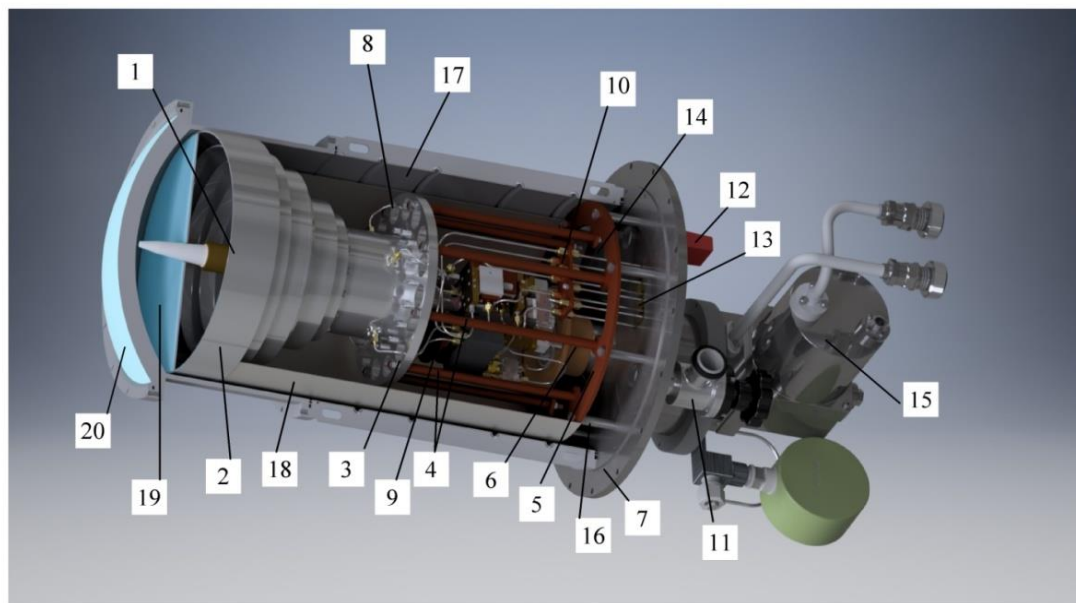
КПФБ

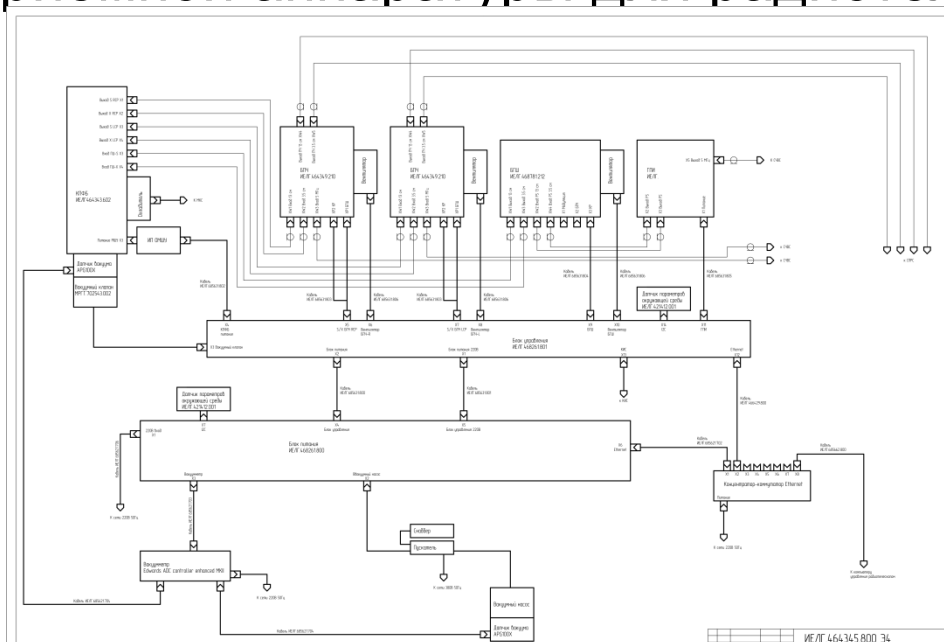


Двухдиапазонный КПФБ с охлаждаемым облучателем на первой ступени МО

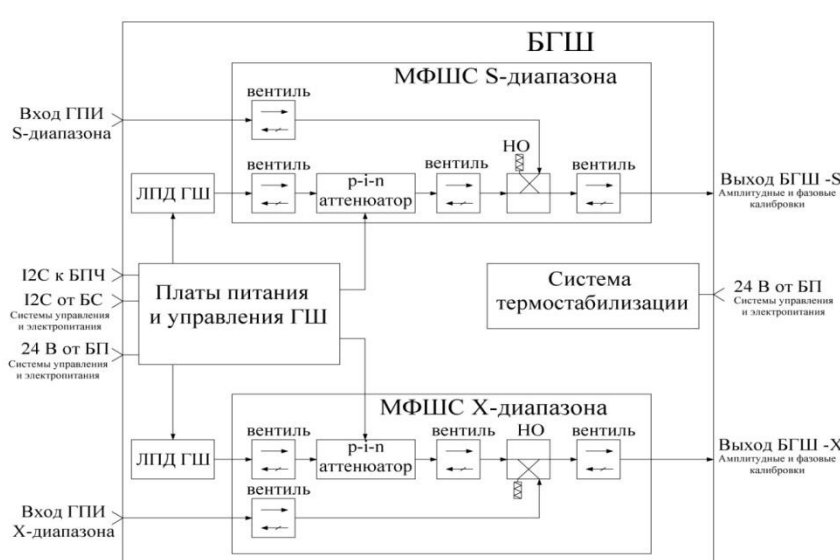
Конструкция вакуумного окна

1- Облучатель X диапазона; 2- облучатель S-диапазона. 3- фланец облучателя; 4- медные стойки; 5- корзина первой ступени; 6- первая ступень МО; 7- интерфейсный фланец КПФБ; 16- теплоизолированные стойки. 8 - СВЧ-кабели S-диапазона; 9- фланец-хладовод второй ступени МО; 10- теплоперехват; 11- вакуумный вентиль; 12- датчик вакуума; 13- фланец с СВЧ-гермовводами; 14- разъемы питания; 15- микроохладитель (МО); 17- корпус; 18- азотный ИК-экран; 19- радиопрозрачное укрытие азотного ИК-экрана; 20- радиопрозрачное вакуумное окно.

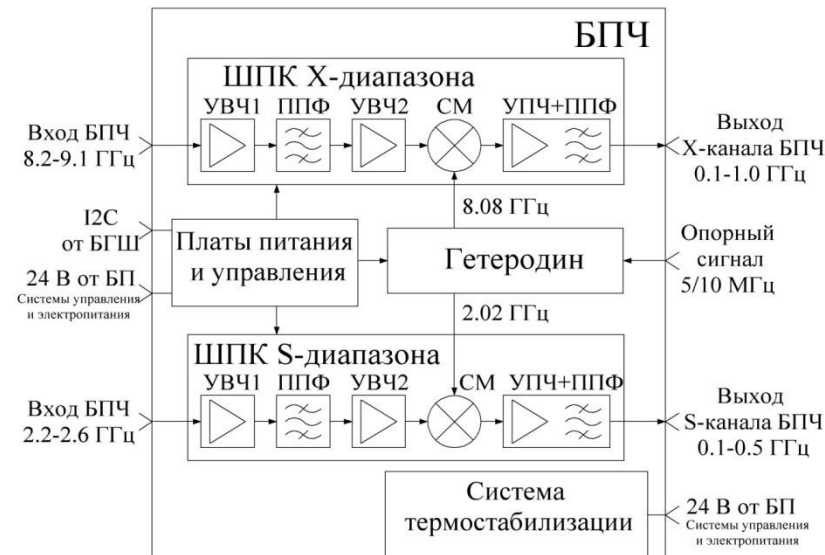




Функциональная схема системы управления и электропитания

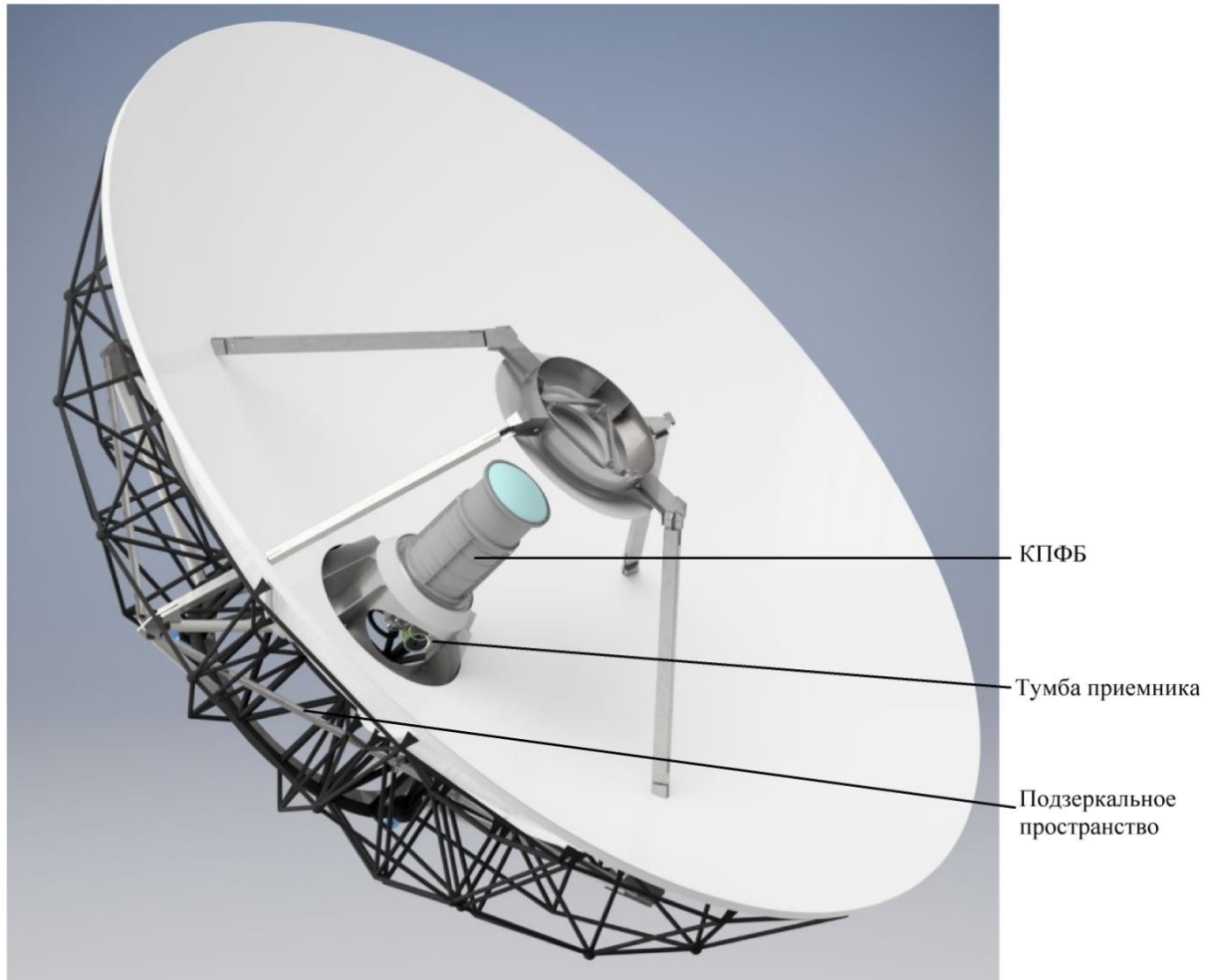


Функциональная схема ГШ



Функциональная схема БПЧ

Размещение аппаратуры приемной системы



7. Обоснование состава системы частотно-временной синхронизации



Передвижной ХВЧ портативной передвижной РСДБ станции

Характеристика нестабильности частоты стандартов активного типа.

Интервал времени измерения	Нестабильность частоты (не более)	
	Ч1-1003М	Ч1-1035
1 с	2×10^{-13}	$7,0 \times 10^{-14}$
10 с	3×10^{-14}	$1,5 \times 10^{-14}$
100 с	7×10^{-15}	$4,0 \times 10^{-15}$
1000с	3×10^{-15}	$1,5 \times 10^{-15}$
1 час	2×10^{-15}	$1,5 \times 10^{-15}$
1 сут	1×10^{-15}	$5,0 \times 10^{-16}$

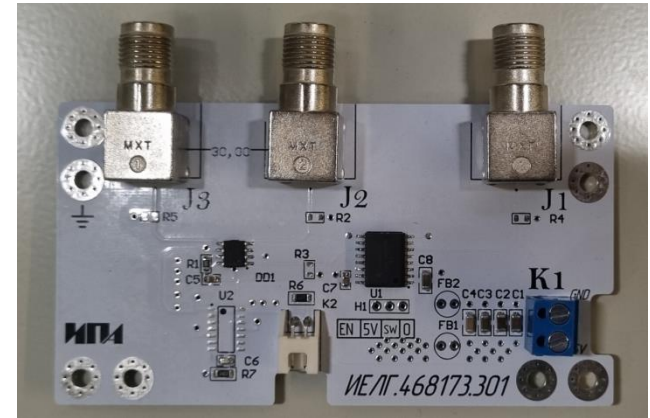
Характеристика нестабильности частоты стандартов пассивного типа.

Интервал времени измерения	Нестабильность частоты (не более)	
	Ч1-1007	Ч1-1008
1 с	5×10^{-13}	5×10^{-13}
10 с	2×10^{-13}	2×10^{-13}
100 с	7×10^{-14}	5×10^{-14}
1000с	3×10^{-14}	2×10^{-14}
1 час	9×10^{-15}	9×10^{-15}
1 сут	4×10^{-15}	3×10^{-15}

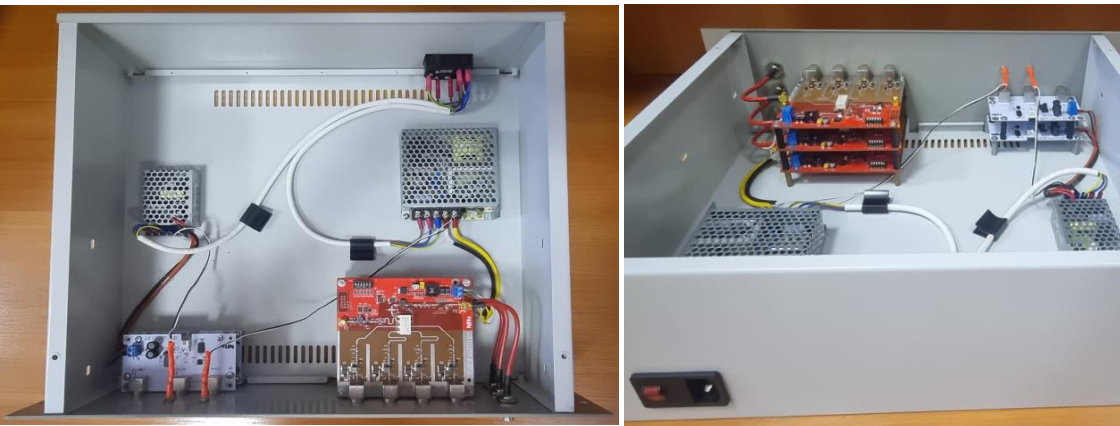
Система распределения эталонных сигналов



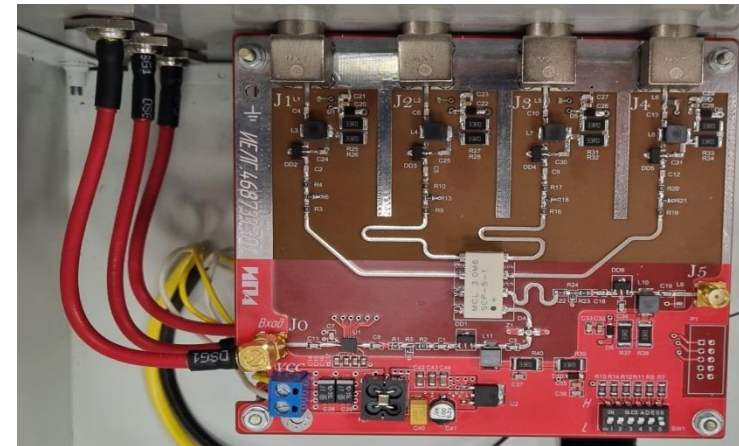
Усилитель распределительный комбинированный.
Общий вид



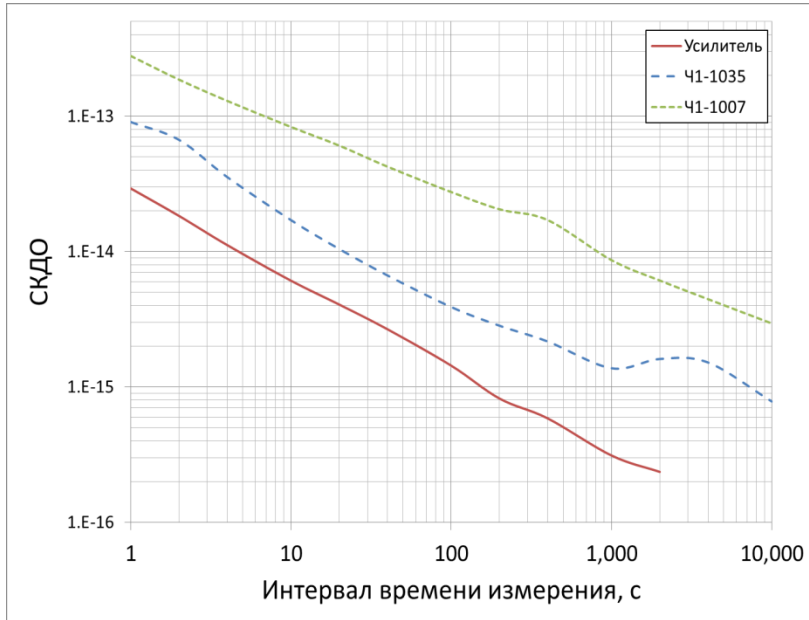
Модуль усилителя распределительного
импульсных сигналов



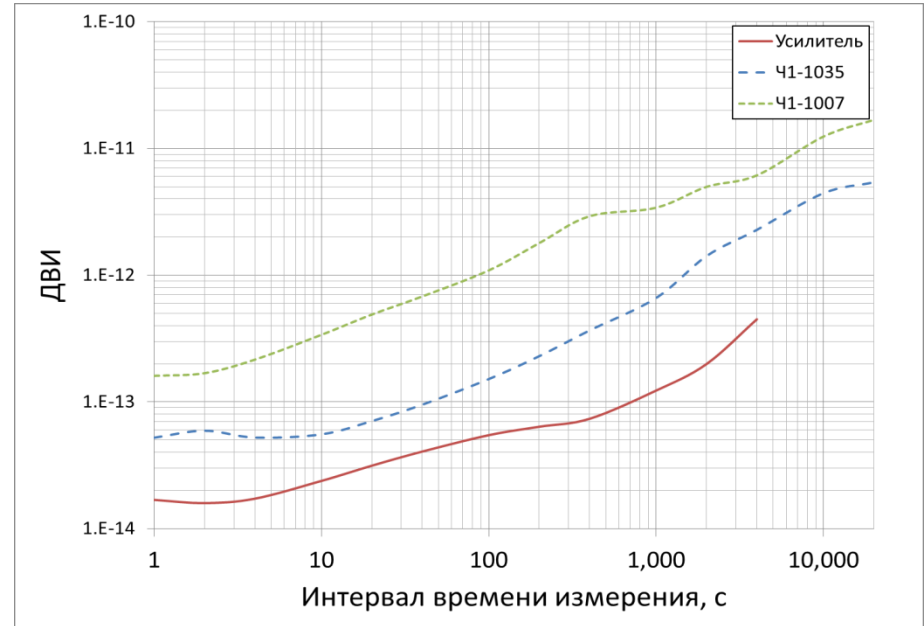
Усилитель распределительный комбинированный.
Внутренне устройство



Модуль усилителя
распределительного
гармонических сигналов



Графики СКДО, полученные в ходе измерений



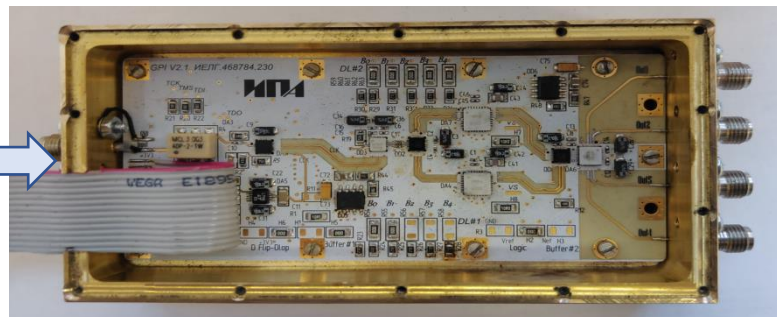
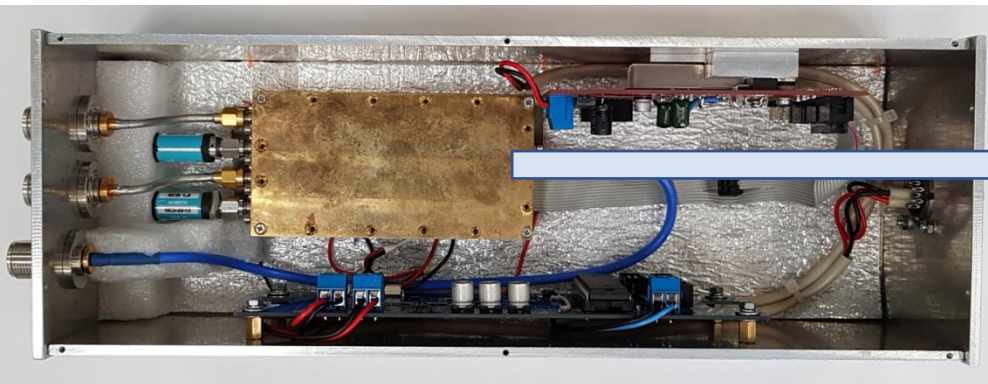
Графики ДВИ, полученные в ходе измерений

Сравнение нестабильностей частот (СКДО), полученных в ходе измерений.

Интервал времени измерения	Нестабильность водородного стандарта Ч1-1035	Нестабильность водородного стандарта Ч1-1007	Вносимая нестабильность усилителя
1 с	$9,1 \cdot 10^{-14}$	$2,8 \cdot 10^{-13}$	$2,9 \cdot 10^{-14}$
10 с	$1,7 \cdot 10^{-14}$	$8,3 \cdot 10^{-14}$	$6,1 \cdot 10^{-15}$
100 с	$3,9 \cdot 10^{-15}$	$2,8 \cdot 10^{-14}$	$1,4 \cdot 10^{-15}$
1 000 с	$1,4 \cdot 10^{-15}$	$8,6 \cdot 10^{-15}$	$3,1 \cdot 10^{-16}$

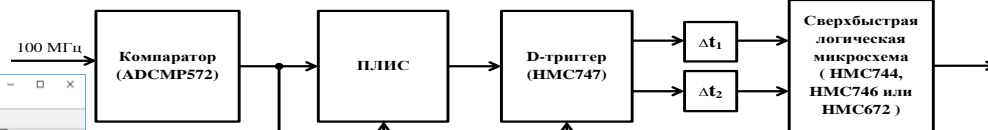
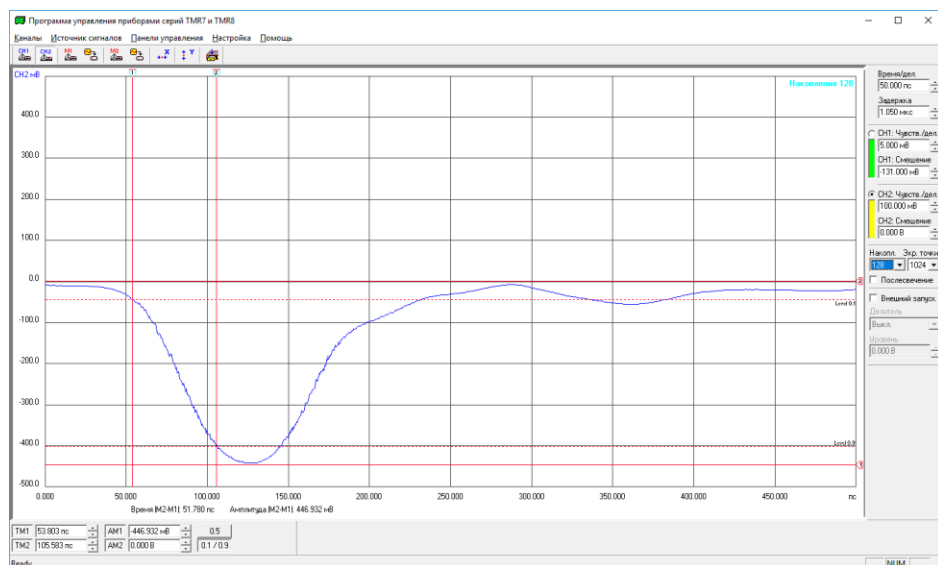
СКДО - среднее квадратическое относительное случайное двухвыборочное отклонение
 ДВИ - девиация временного интервала

Система фазовой калибровки



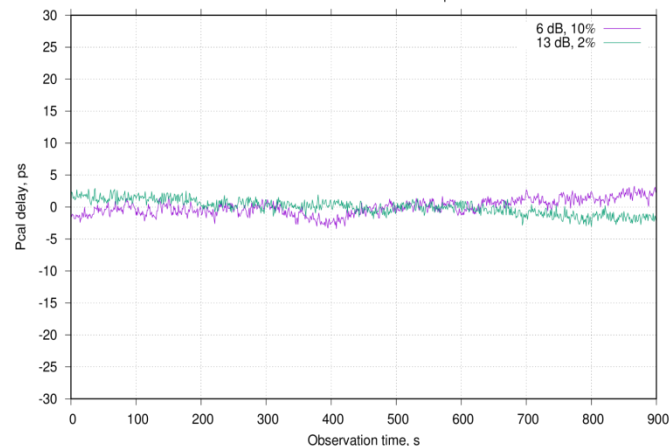
Модуль ФПИ со снятой крышкой

Внутреннее устройство ГПИ. Блок питания (сверху справа), ФПИ (в середине слева) и плата термостата (снизу)



Структурная схема ФПИ

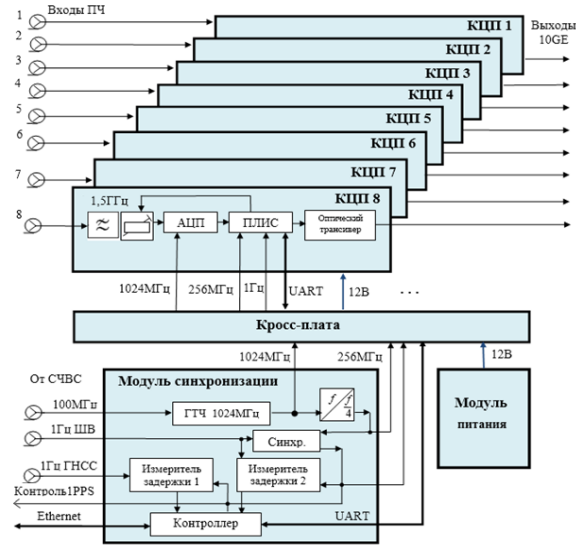
PCAL: 1 MHz New PCal, IF, no filter
2020.027.15:22:00 std = 0.94 ps
2020.027.15:42:00 std = 0.66 ps



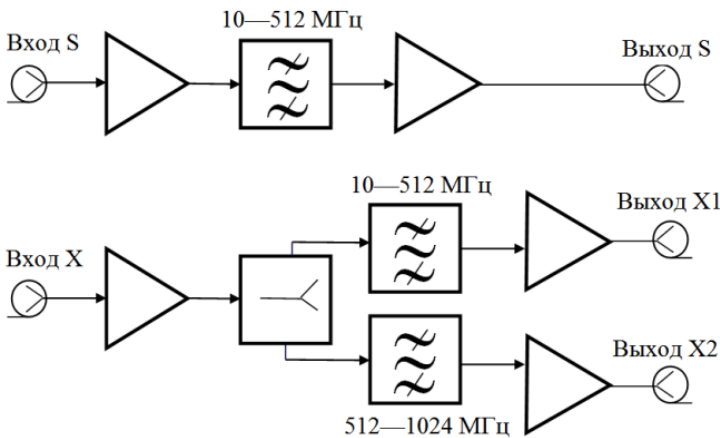
Определение групповой задержки сигнала ФК

Осциллограмма импульсов ГПИ. Цена деления по вертикали – 100 мВ. Цена деления по горизонтали – 50 пс.

Широкополосная система преобразования сигналов



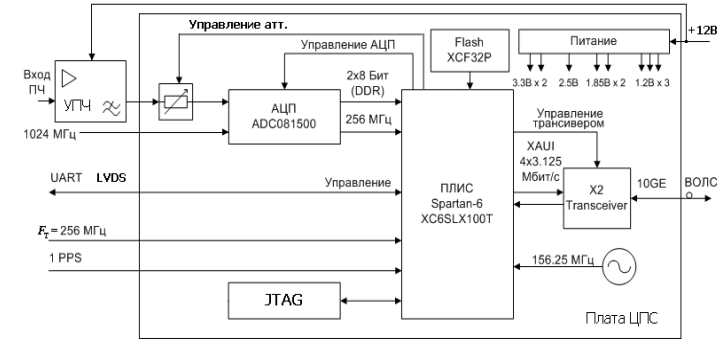
Структурная схема ШСПС



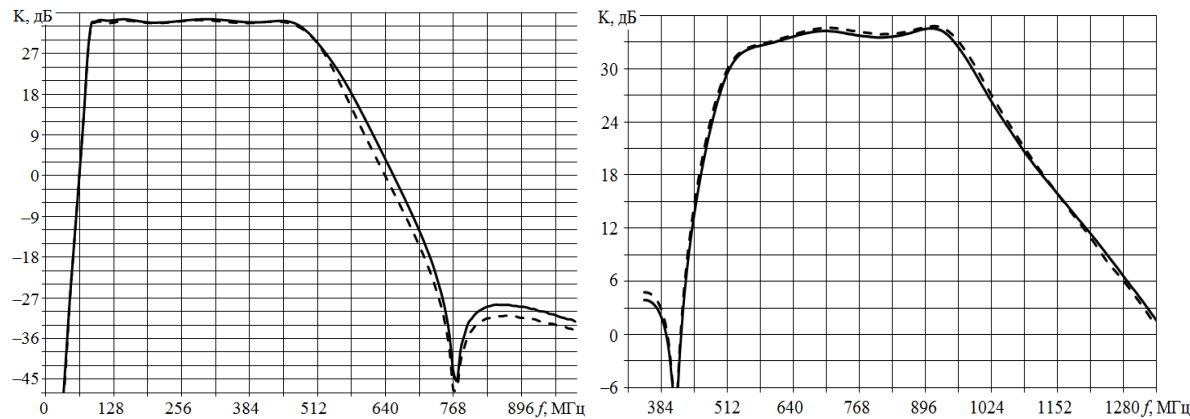
Структурная схема модуля сопряжения P6328



Общий вид ШСПС

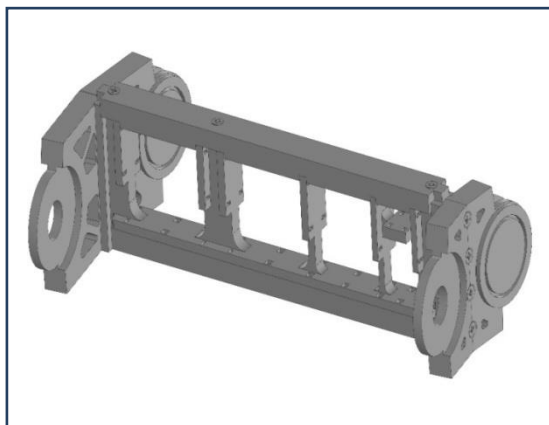
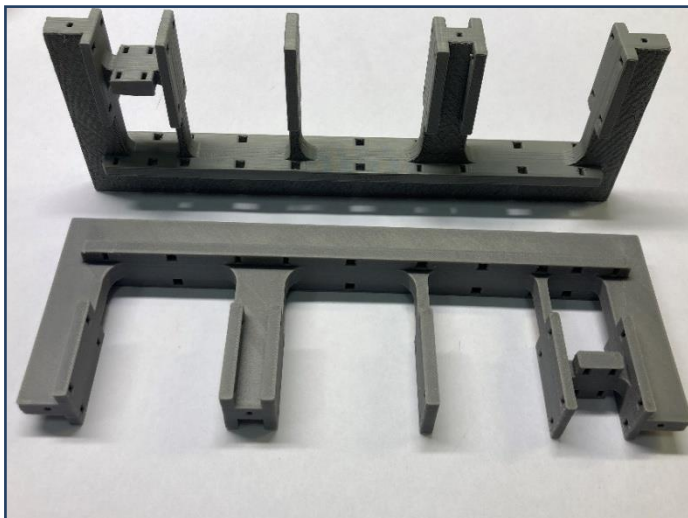


Функциональная схема КЦП

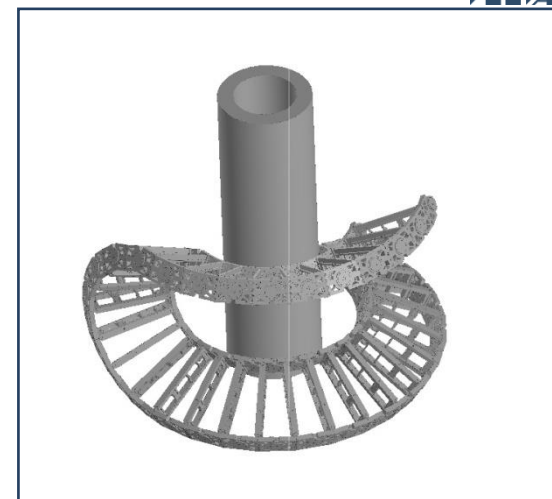


АЧХ по выходу S и X1 (слева), по выходу X2 (справа) модуля P6328

Кабельная петля

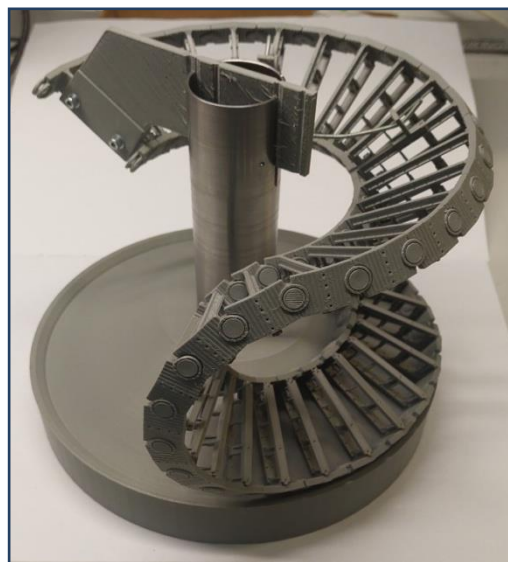


Модель сборки одного звена осевого кабель-канала



Модель сборки полного набора звеньев осевого кабель-канала

Фото лотка для осевого кабель-канала



Макет осевого кабель-канала в масштабе 1:4

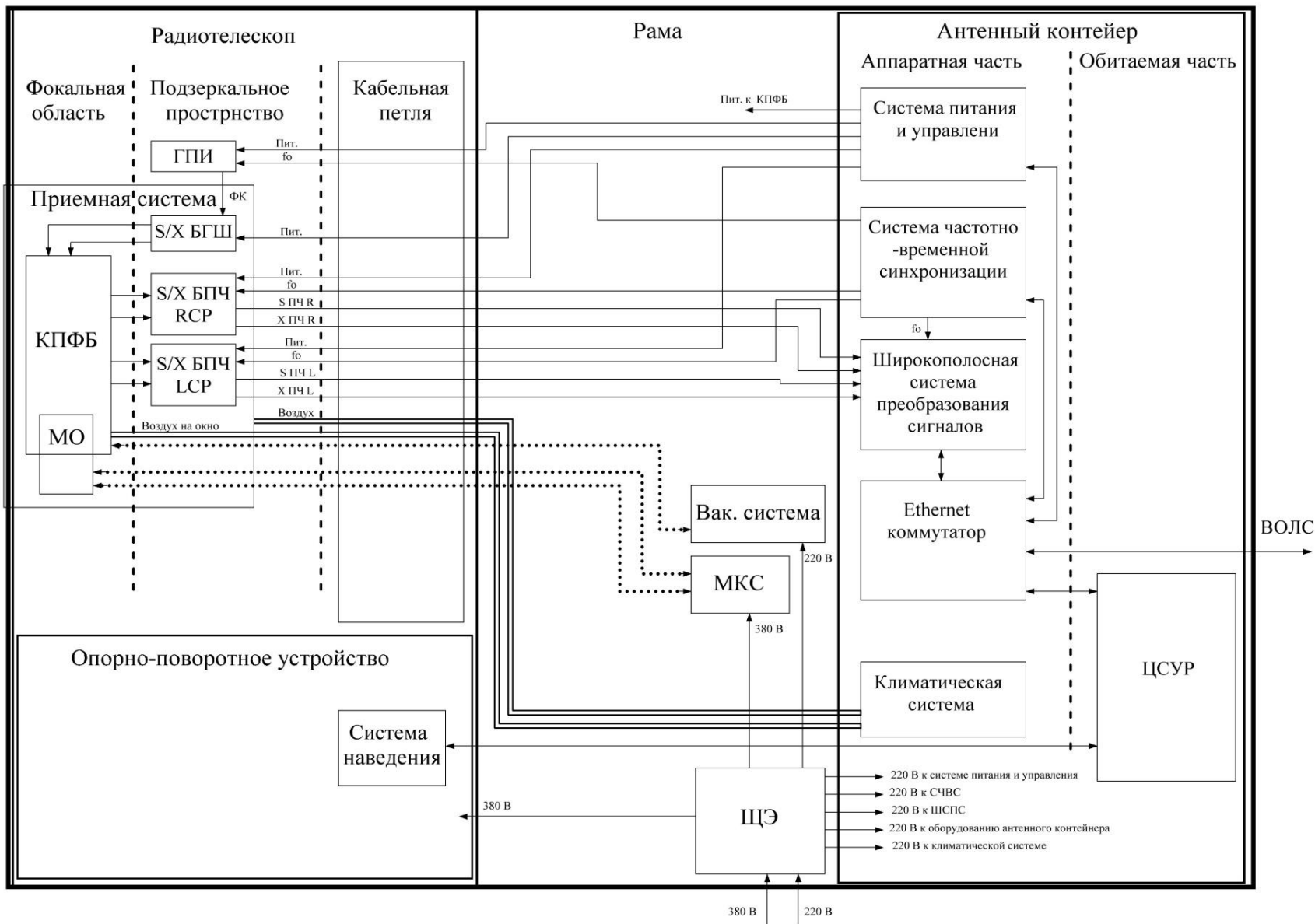


Осевой кабель-канал



Монтаж на антенне

Размещение аппаратуры ПС-РСДБ



Климатическая система



Сплит система Royal Clima

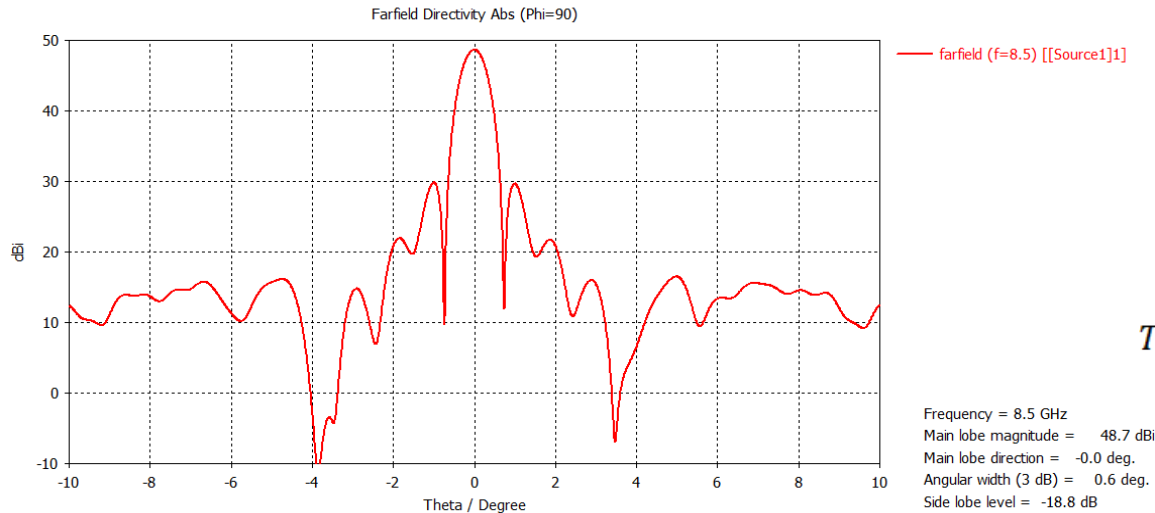


Пленум и воздуховод



Канальный вентилятор

Оценка характеристик радиотелескопа ПС-РСДБ X-диапазон



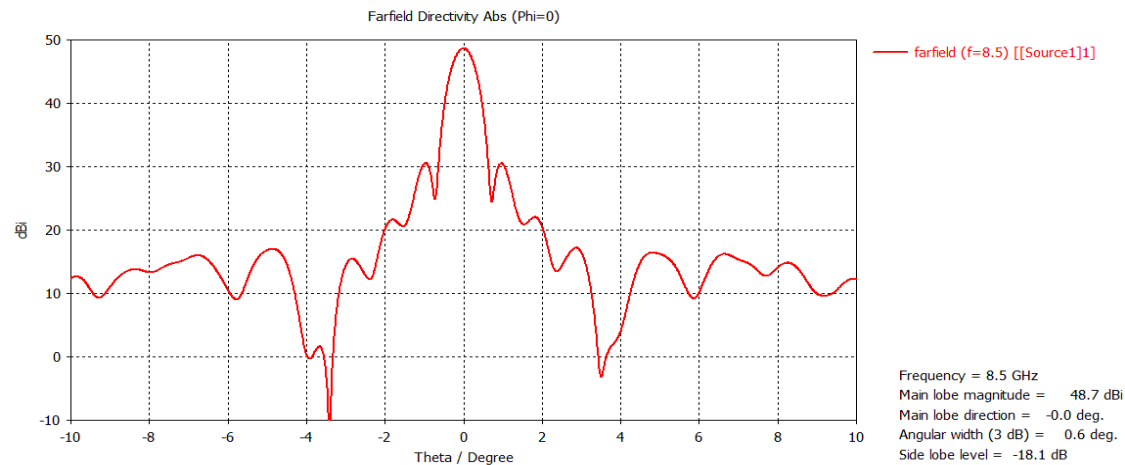
$$S_{\text{эфф}} = D|_{\theta=0} \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

$$\text{КИП} = \frac{S}{S_{\text{эфф}}};$$

$$T_{\text{сис}} = T_a + T_{\text{пр}} + T_{\phi} \frac{(L_{\text{каб}} - 1)}{G_{\text{пр}}} + \frac{L_{\text{каб}} T_{\text{рег}}}{G_{\text{пр}}}$$

$$\text{SEFD} = 2k \frac{T_{\text{сис}}}{A_{\text{эфф}}}$$

КНД антенны в области главного лепестка в E-плоскости, полученный
двунаправленным моделированием



- КНД = 48.7 дБи

- КИП = 0.55

- ШГЛ = 36 уг. минут

- УБЛ = -18 дБ

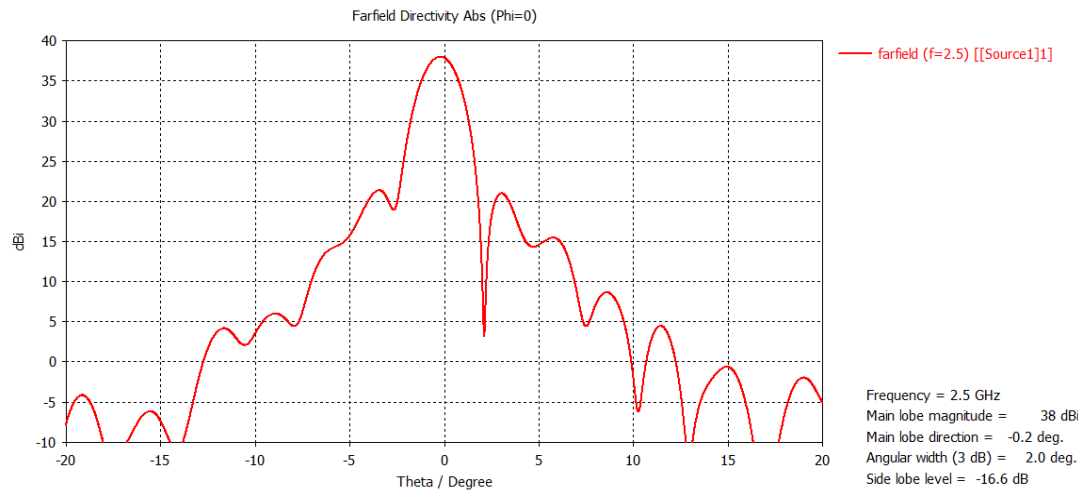
- КОЭ = 0.4 дБ

- Тсис = 37 К

- SEFD = 14000 Ян

КНД антенны в области главного лепестка в H-плоскости, полученный
двунаправленным моделированием

Оценка характеристик радиотелескопа ПС-РСДБ S-диапазон



КНД антенны в области главного лепестка в Е-плоскости, полученный
двухнаправленным моделированием



КНД антенны в области главного лепестка в Н-плоскости, полученный
двухнаправленным моделированием

$$S_{\text{эфф}} = D|_{\theta=0} \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

$$\text{КИП} = \frac{S}{S_{\text{эфф}}};$$

$$T_{\text{сис}} = T_a + T_{\text{пр}} + T_{\text{ф}} \frac{(L_{\text{каб}} - 1)}{G_{\text{пр}}} + \frac{L_{\text{каб}} T_{\text{рег}}}{G_{\text{пр}}}$$

$$\text{SEFD} = 2k \frac{T_{\text{сис}}}{A_{\text{эфф}}}$$

- КНД = 38 дБи
- КИП = 0.52
- ШГЛ = 2.0-2.3 град.
- УБЛ = -16 дБ
- КОЭ = 0.9 дБ
- Тсис = 47 К
- SEFD = 18000 Ян

Спасибо за внимание!

