

УДК 621.396.628 : 523.164

## ЗЕРКАЛЬНАЯ СХЕМА РАДИОТЕЛЕСКОПА РТ-70

А. Н. Козлов, В. Б. Тарасов, В. Н. Титов, В. А. Гришмановский,  
Г. Н. Колчеев, П. Д. Калачев, Б. С. Коробов, И. Н. Князев

1. МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ЗЕРКАЛЬНЫХ АНТЕНН

В настоящее время можно выделить два основных направления увеличения эффективности радиотелескопов: 1) оптимизация характеристик облучателя при сохранении параболической зеркальной схемы антенны; 2) оптимизация с помощью применения квазипараболической двухзеркальной (в общем случае многозеркальной) схемы. Основным достижением первого направления сейчас является разработка облучателей на гибридных типах волн  $HE_{1n}$ . При этом на австралийском радиотелескопе в Парксе получен эффективный КИП 0,65 на частоте 5 Гц в полосе  $\pm 3\%$  [1]. Преимуществом оптимизации с помощью облучателей является возможность использования антенны по однозеркальной схеме во всем диапазоне рабочих волн.

Квазипараболические схемы обеспечивают однозеркальную работу на волнах длиннее  $0,006 \div 0,01 D$  (где  $D$  — диаметр основного зеркала), когда фазовая ошибка из-за отличия профиля зеркала от параболического становится на порядок меньше длины рабочей волны. Для антенны РТ-70 это соответствует диапазону волн длиннее  $40 \div 70$  см. Тем не менее второе направление имеет ряд преимуществ: 1) возможность формирования заданного амплитудного распределения в раскрыве без специальных требований к диаграмме облучателя; 2) возможность работы с низким уровнем облучения края вспомогательного зеркала (от  $-20$  до  $-40$  дБ) без снижения апертурного КИПа, что имеет решающее значение для снижения шумовой температуры антенны. Реально полученный эффективный КИП двухзеркальной антенны с квазипараболическим профилем диаметром 30 м на одной частоте достигает величины 0,74 [2].

## 2. КОНСТРУКЦИЯ ЗЕРКАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РТ-70

Конструкция РТ-70 предусматривает три варианта выполнения зеркальной системы: 1) однозеркальная схема с оптимизированным облучателем, работающим на гибридных типах волн  $HE_{1n}$ ; 2) двухзеркальная параболическая схема Грегори с оптимизированным облучателем, работающим на двух типах колебаний  $H_{11}$  и  $E_{11}$ ; 3) двухзеркальная квазипараболическая схема Грегори с оптимизированным облучателем.

Двухзеркальные варианты выполняются по схеме Грегори для обеспечения работы в однозеркальном режиме без демонтажа вспомогательного зеркала (рис. 1). Диаметр основного зеркала — 70 м, вспомогательного — 7 м, фокусное расстояние — 21 м, угол облучения вспомогательного зеркала —  $\pm 30^\circ$ . Конструкция, несущая вспомогательное зеркало, четырехферменная, не связанная с силовым каркасом основного зер-

кала. Облучатели в двухзеркальных схемах крепятся с помощью конической конструкции на расстоянии  $\sim 14$  м от вершины основного зеркала, в однозеркальных схемах — внутри вспомогательного зеркала или вместо него.

Конструкция силового каркаса основного зеркала обеспечивает гомологический характер весовых деформаций [3]. Радиотелескоп рассчитан на работу при скорости ветра до  $20 \text{ м} \cdot \text{сек}^{-1}$ . В РТ-70 предусмотрена возможность оперативной смены облучателей, что позволяет расширить круг решаемых задач и варьировать его радиотехническими характеристиками.

Параметры аппроксимирующих поверхностей зеркала РТ-70 при нулевом угле места для параболического и квазипараболического вариантов приведены в табл. 1. Предполагается, что первоначальная юстировка поверхности производится в положении «Зенит».

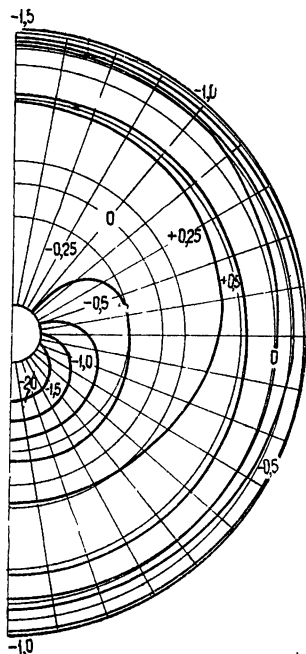


Рис. 2. Карта отклонений в миллиметрах основного зеркала от аппроксимирующей поверхности.

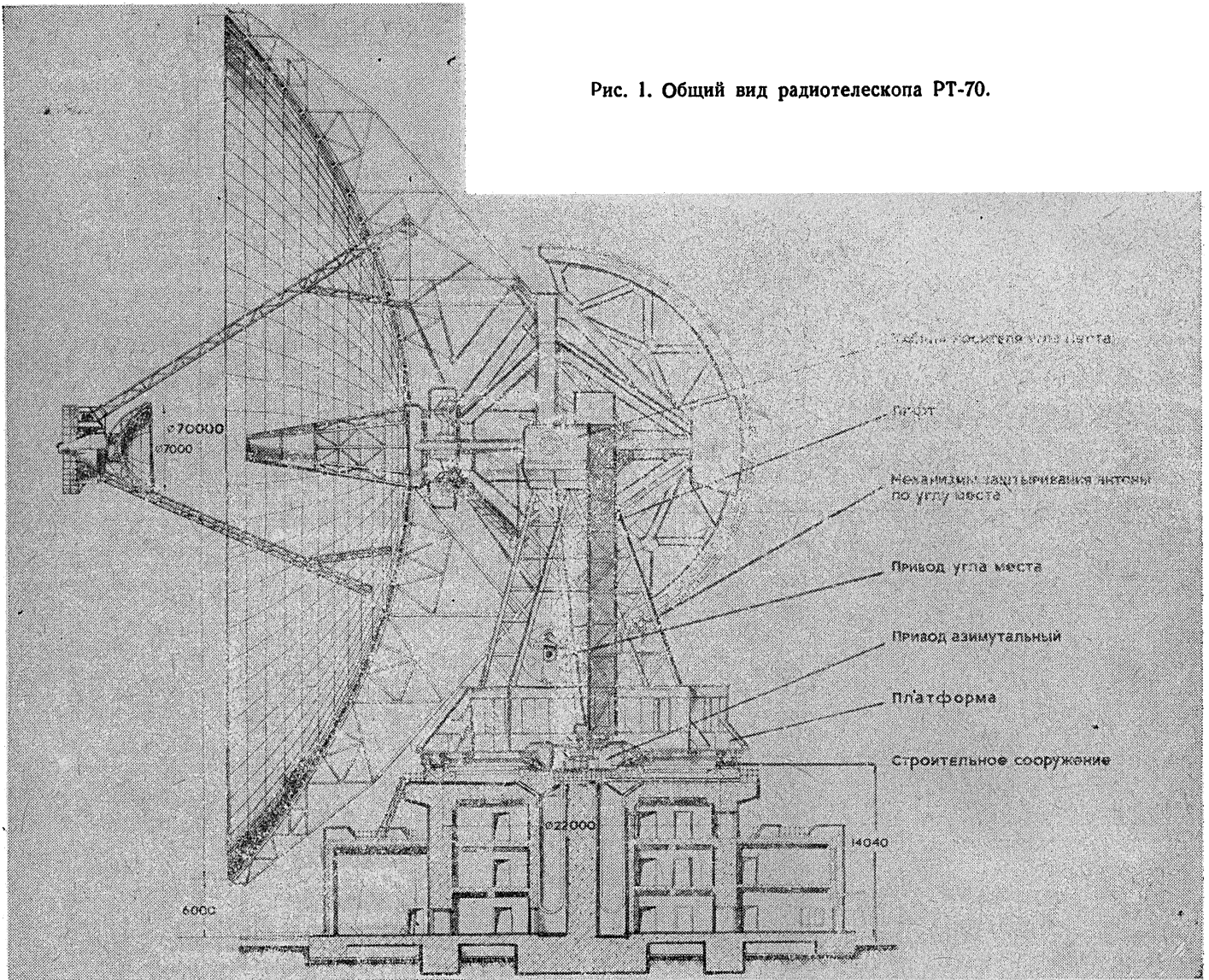
Таблица 1

Вариант	Смещение вершины, мм		Угол наклона оси $\gamma$	Изменение фокусного расстояния, мм $\delta f$	Среднеквадратичная ошибка, мм $\sigma$
	поперечное $a$	продольное $b$			
Параболический	128	1,5	$10'21''$	-12	0,86
Квазипараболический	161,5	1,5	$12'40''$	-14,6	0,94

Таблица 2

Наименование деформации	Величина деформации, мм	
	Положение зеркала	
	„горизонт“	„зенит“
Весовая гомологическая	2,0	—
Ветровая ( $V=10 \text{ м} \cdot \text{сек}^{-1}$ )	2,05	3,7
От солнечного излучения при безветрии	2,28	$\sim 0$
При ветре $V=10 \text{ м} \cdot \text{сек}^{-1}$	$< 1,0$	$\sim 0$
Собственный прогиб щита от ветра $V=10 \text{ м} \cdot \text{сек}^{-1}$	0,26	0,23
От веса	0,21	0,25
Допуск на точность изготовления щита	1,00	1,0
Технологическая точность установки щита	1,0	1,0
Ошибка системы юстировки	1,5	1,5
Суммарная среднеквадратичная ошибка профиля с вероятностью 99% при безветрии	1,4	0,8
При ветре $V=10 \text{ м} \cdot \text{сек}^{-1}$	1,4	1,6

Рис. 1. Общий вид радиотелескопа РТ-70.

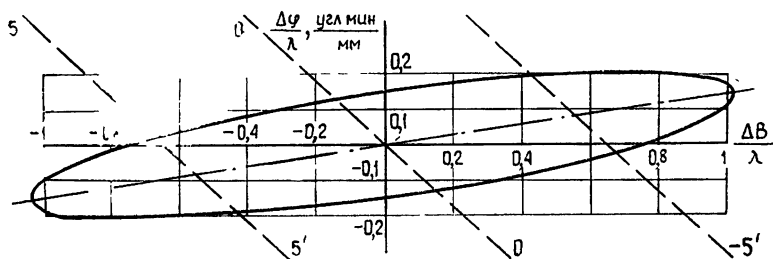


Расчетные деформации зеркала относительно аппроксимирующей поверхности при установке антенны в нулевой угол места показаны на рис. 2. Поскольку деформации симметричны относительно вертикальной плоскости, на рис. 2 изображена только половина зеркала.

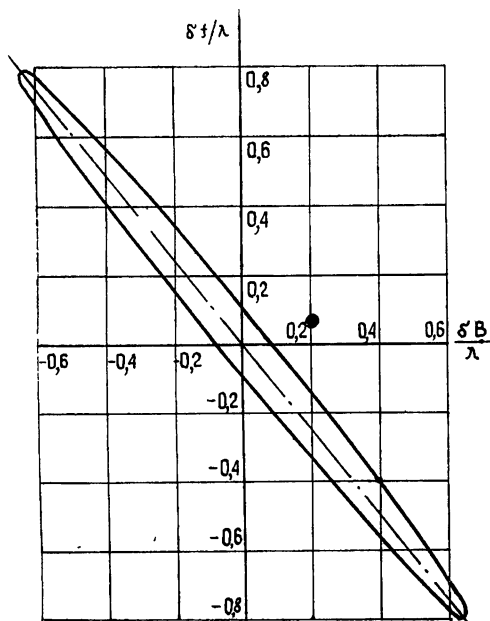
Максимальные деформации основного зеркала, вызванные различными факторами, приведены в табл. 2 (в качестве примера деформации рассчитаны для безветрия и ветра со скоростью  $10 \text{ м} \cdot \text{сек}^{-1}$ ).

### 3. ФАЗОВАЯ КОМПЕНСАЦИЯ ГОМОЛОГИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ ОСНОВНОГО ЗЕРКАЛА

В антенне РТ-70 эта задача решается изменением положения вспомогательного зеркала. При этом система отсчета жестко связана с осью аппроксимирующего параболоида (квазипараболоида).



а)



б)

Рис. 3. Поля допусков на точность взаимной установки элементов зеркальной системы:

а) при поперечном смещении  $\Delta b$  и повороте  $\Delta \varphi$  вспомогательного зеркала (пунктиром обозначены линии постоянного смещения радиолуча с оси системы);

б) при продольном смещении  $\delta b$  вспомогательного зеркала и изменении  $\delta f$  фокусного расстояния основного зеркала.

Известно, что смещение любого функционального узла зеркальной системы относительно расчетного положения приводит к определенному изменению фазы в раскрыве и может быть связано с соответствующим отклонением луча  $\Delta\theta$  и снижением усиления  $\Delta x$  в направлении максимального излучения [4]. Если представить себе пространство деформаций, по двум осям которого отложены, например, поперечные смещения относительно расчетных положений облучателя и вспомогательного зеркала, а по третьей—поворот вспомогательного зеркала (нечетные деформации), то каждой точке пространства деформаций будет топологически соответствовать определенное взаимное расположение облучателя и зеркал системы, а также определенная величина  $\Delta x$  и  $\Delta\theta$ . Поверхность, на которой  $\Delta x = \text{const}$ , оказывается центральным эллипсоидом, внутренний объем которого представляет собой поле допусков на смещение элементов при заданной допустимой величине снижения усиления.

Большая ось этого эллипсоида в пространстве ориентирована вдоль минимального градиента  $\Delta x$  и определяет оптимальную линейную связь взаимных смещений элементов при фазовой компенсации. Аналогично изображаются поля допусков при продольных перемещениях облучателя и вспомогательного зеркала и изменении фокусного расстояния основного зеркала (четные деформации). Анализ формы и расположения в пространстве эллипсоидов допусков для параболических и квазипараболических схем Кассегрена и Грегори показывает, что наилучшими свойствами для фазовой компенсации с помощью движения вспомогательного зеркала обладает квазипараболическая схема Грегори, которая и выбрана для антенны РТ-70.

На рис. 3 а, б приведены сечения эллипсоидов допусков плоскостями нулевого смещения облучателя для квазипараболической схемы Грегори при заданной величине  $\Delta x = 2\%$ .

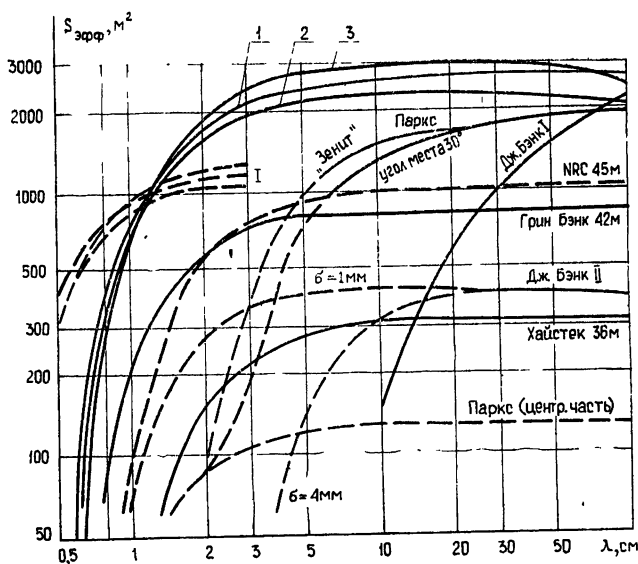


Рис. 4. Зависимость эффективной площади различных антенн от длины рабочей волны. Пунктир (I) соответствует работе центральной части РТ-70 диаметром 50 м.

## 4. РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РТ-70

Расчет радиотехнических характеристик выполнен с использованием результатов численного интегрирования экспериментальных диаграмм рассеяния на вспомогательных зеркалах. Затенение раскрыва рассчитано с учетом формы амплитудного распределения и в предположении, что поле в области геометрической тени равно нулю. Результаты расчета приведены в табл. 3 для трех вариантов выполнения антенны. Здесь даны величины эффективности антенны при ее работе с приемником, имеющим собственную шумовую температуру  $10^{\circ}\text{K}$ ; потери в тракте приняты эквивалентными  $7^{\circ}\text{K}$ . Для диапазонов волн 0,5 и 0,8 см эффективная площадь рассчитана без учета ошибки наведения луча и в предположении использования только центральной части зеркала диаметром 50 м. Данные по шумовой температуре для этих диапазонов не приводятся из-за нестабильности параметров поглощения в атмосфере.

Таблица 3

Длина волны, см	Эффективная площадь, м <sup>2</sup>			Шумовая температура на выходе облучателя, °K			Эффективный КИП			Эффективность S/T		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0,5	380	340	330	—	—	—	0,2	0,18	0,17	—	—	—
0,8	780	710	770	—	—	—	0,40	0,37	0,40	—	—	—
2	1810	1650	1900	30	18	15	0,47	0,43	0,49	38	47	59
3	2230	2040	2500	25	13	10	0,58	0,53	0,65	53	68	92
5	2500	2270	2850	25	13,5	10	0,65	0,59	0,74	60	74	105
10	2660	2390	3000	25	14	11	0,69	0,62	0,78	63	77	107
30	2700	2390	3040	26	16	12,5	0,7	0,62	0,79	63	72	103
50	2700	2350	2960	27	17	13	0,7	0,61	0,77	61	69	99
70	2700	2270	2810	28	19	14	0,7	0,59	0,73	60	63	91
100	2700	2200	2580	30	21	16	0,7	0,57	0,67	57	58	78

Зависимость эффективной площади от длины волны для трех вариантов антенны РТ-70 приведена на рис. 4. Для сравнения на этом же графике приведены данные по существующим зарубежным радиотелескопам.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Томас, Thomas, В. Мас А, Prime-focus one- and two-hybrid-mode fields, Electr. Lett., 6, 460 (1970).
2. Вильямс, Проектирование антенных систем для наземных станций коммерческой спутниковой связи, «АИАА Репер», № 438, 1968, стр. 3.
3. П. Д. Калачев, А. Н. Козлов, В. Б. Тарасов, В. Н. Титов, Согласованные деформации зеркальных систем полноповоротных радиотелескопов, Тр. ФИАН СССР (в печати).
4. А. Н. Козлов, В. Б. Тарасов, В. Н. Титов, Тр. VI конференции молодых специалистов и НТОРЭС им. А. С. Попова, Вопросы радиоэлектроники, 1972, стр. 163.

Поступила в редакцию  
18 декабря 1972 г.