

УДК 523 164 : 621 396 67

## МНОГОЗЕРКАЛЬНАЯ СХЕМА АНТЕННЫ РАДИОТЕЛЕСКОПА РТ-22 ФИАН

*Л. Д. Бахрах, М. И. Григорьева, А. Д. Кузьмин, Л. И. Матвеевко*

Рассмотрена многозеркальная система облучения антенны радиотелескопа РТ-22 и методика ее настройки. На антенне установлены центральный излучатель и два боковых, позволяющие проводить наблюдения на волне 8,2 мм, а также центральный излучатель для исследований на волне 3,34 см. Приводятся основные электрические параметры системы.

Созданный в 1959 г. 22-метровый радиотелескоп ФИАН [1] продолжает оставаться до настоящего времени крупнейшим радиотелескопом миллиметрового диапазона волн. Для повышения чувствительности радиотелескопа в 1966 г. были начаты разработки квантового парамагнитного усилителя 8-миллиметрового диапазона и многозеркальной схемы антенны.

Такой усилитель должен был существенно снизить шумовую температуру радиометра и сделать ее равной примерно 150°K [2]. Для реализации высокой чувствительности этой аппаратуры необходимо было уменьшить шумовую температуру антенны. Многозеркальная схема дает возможность получить минимальную шумовую температуру антенны и в принципе повысить эффективную площадь последней [3]. В нашем случае дополнительное повышение эффективной площади антенны достигнуто также за счет точности ее изготовления. Кроме того, применение многозеркальной схемы антенны дает возможность перенести фокус антенны к вершине основного зеркала, что позволяет установить квантовый парамагнитный усилитель в легко доступном месте и тем самым существенно упростить его эксплуатацию.

В процессе работы были рассмотрены различные многозеркальные схемы. Учитывая конструктивно-технологические трудности и экономические ограничения, связанные с изготовлением и креплением зеркала диаметром больше одного метра, нами была выбрана за основу двухзеркальная схема антенны (типа Кассегрена) с гиперболическим зеркалом диаметром 1 м (рис.1). Один из фокусов гиперболы совмещался с фокусом параболоида. Положение второго фокуса выбиралось с точки зрения получения минимальных потерь в волноводном тракте 8-миллиметрового диапазона волн. Квантовый парамагнитный усилитель должен был быть установлен в кабине, расположенной непосредственно за отражающей поверхностью основного зеркала. Поэтому второй фокус гиперболы максимально приближен к вершине параболического зеркала и находится от нее на расстоянии 100 мм.

Одна из основных задач разработки заключалась в оптимальном выборе облучателей двух диапазонов волн ( $\lambda = 8$  мм,  $\lambda = 32$  мм), позволяющих получить сравнительно низкую шумовую температуру антенны при достаточно высокой ее эффективности.

*Облучатели 8-миллиметрового диапазона волн.* В 8-миллиметровом диапазоне волн флуктуации собственного излучения атмосферы весьма большие, что является существенным препятствием для реализации

высокой чувствительности парамагнитного усилителя. Для ослабления влияния флуктуаций собственного излучения атмосферы и повышения результирующей чувствительности радиотелескопа было решено при-

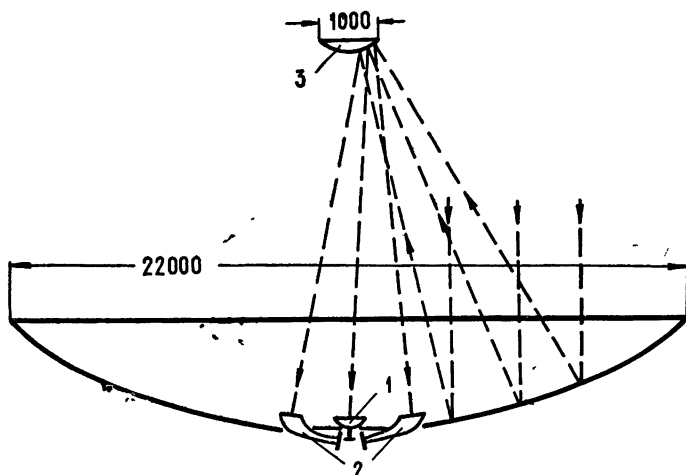


Рис. 1. Общая схема многозеркальной системы антенны радиотелескопа РТ-22: 1—центральный облучатель, 2—боковые облучатели, 3—гиперболическое зеркало.

менить двухрупорную систему облучения с диаграммной модуляцией между двумя находящимися рядом участками неба, в одном из которых находится исследуемый источник радиоизлучения.

Кроме отмеченного повышения технической чувствительности, система с диаграммной модуляцией обеспечивает большую информативность работы, так как исследуемое излучение может приниматься практически 100% времени наблюдения, а попеременное наведение на источник левой и правой диаграмм направленности эквивалентно увеличению в два раза интенсивности сигнала на выходе по сравнению с обычной системой модуляции.

Однако смещенные с оси облучатели не позволяют проводить точных поляризационных измерений принимаемого сигнала, поскольку для этих исследований необходима максимальная осевая симметрия диаграммы направленности. Поэтому для поляризационных исследований был разработан отдельный облучатель, тем более, что в этом случае влияние собственного излучения атмосферы практически исключается.

Таким образом, в соответствии с изложенными требованиями были разработаны два типа облучателей — центральный, устанавливаемый на оси, для поляризационных исследований, и два смещенных относительно продольной оси антенны для диаграммной модуляции (рис. 2).

Центральный облучатель представляет собой короткофокусную ( $F/D = 0,2$ ) двухзеркальную систему с коническим рупорным облучателем (рис. 2). Он обеспечивает облучение гиперболы антенны на ее краях по уровню — 18 дБ. Его размеры и ширина диаграммы направленности по уровню 3 дБ в азимутальной плоскости  $\theta_a$  и по углу места  $\theta_h$  приведены в табл. 1. Уровень боковых лепестков облучателя не превышает —12 дБ. Коэффициент рассеяния вне главного лепестка, определенный по диаграмме направленности, составляет не более  $\beta_y = 0,1$ . КСВ в рабочем диапазоне частот не выше 1,12.

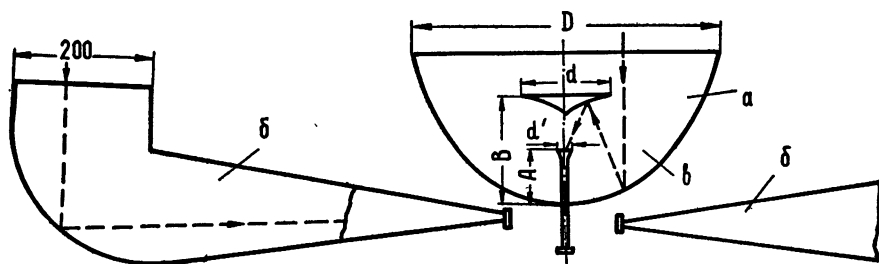


Рис. 2. Система облучателей: а) центральный, б) боковые; в) параболическое зеркало.

Таблица 1

$\lambda$ (мм)	$D$ (мм)	$d$ (мм)	$d'$ (мм)	$A$ (мм)	$B$ (мм)	$\theta_a$ (°)	$\theta_h$ (°)
8,2	200	5	16	14	46	3,1	3,1
33,4	600	150	40	147	250	3,2	3,2

Кросс-поляризационная характеристика облучателя имеет уровень паразитной поляризации на его оси значительно ниже  $-30$  дБ, а ее максимальное значение в других направлениях ниже  $-26$  дБ. Боковые облучатели представляют собой рупорно-параболические антенны, симметрично смещенные относительно продольной оси антенны (рис. 2). Расстояние ( $L = 1400$  мм) между двумя боковыми облучателями было выбрано, исходя из возможности наблюдения сравнительно протяженных источников; соответствующий угол между диаграммами направленности составляет  $23'$ . Рупорно-параболический облучатель позволяет удачно сочетать вынос облучателя из фокуса с минимальными потерями в тракте. Кроме того, рассеяние рупорно-параболического облучателя минимально.

Рупорно-параболические облучатели были изготовлены с высокой точностью гальваническим способом. Для уменьшения электрических потерь и защиты от метеорологических воздействий внутренняя поверхность облучателей покрыта серебром и влагозащитным лаком. Для предохранения от влаги раскрывы облучателей закрыты материалом с малыми потерями типа «болонья».

Ширина диаграммы направленности этого облучателя в горизонтальной и вертикальной плоскостях по уровню  $3$  дБ составляет примерно  $3^\circ$ , уровень боковых лепестков не превышает  $-14$  дБ. Он обеспечивает облучение гиперболы на ее краях по уровню  $-20$  дБ. Коэффициент рассеяния вне главного лепестка, вычисленный по диаграмме направленности, не выше  $\beta = 0,06$ ; КСВ в рабочем диапазоне частот — не более  $1,08$ .

Облучатель 3-сантиметрового диапазона волн должен обеспечивать проведение поляризационных исследований, минимальную шумовую температуру антенны и максимально возможную эффективную площадь. В связи с тем, что второй фокус гиперболы по причинам, указанным ранее, находится на расстоянии всего лишь  $100$  мм от вершины большого параболического зеркала, необходимо было разработать облучатель, продольный размер которого не превышал бы указанной величины.

Нами был выбран облучатель, подобный 8-миллиметровому центральному облучателю (рис. 2) и представляющий собой двухзеркаль-

ную систему ( $F/D = 0,5$ ) с коническим рупором в ее основании. Размеры облучателя приведены в табл. 1. Излучатель такого типа имеет фазовый центр в раскрыве параболического зеркала, что позволило легко вписать его в указанные размеры. Применение любого другого облучателя, в частности, конического рупора, практически было бы невозможно из-за значительной его длины. При раскрыве  $D = 600$  мм длина конического рупора порядка  $l = 5$  м, а его фазовый центр оказывается расположенным на расстоянии около двух метров от его раскрыва.

Ширина диаграммы направленности облучателя по уровню  $3$  дБ в горизонтальной и вертикальной плоскостях равна примерно  $3,2^\circ$ , облучение гиперболы на краях происходит по уровню  $-10$  дБ. Коэффициент рассеяния вне главного лепестка не более  $0,12$ ; КСВ в рабочем диапазоне частот не превышает  $1,12$ . Уровень боковых лепестков ниже  $-13$  дБ. Паразитная поляризация на оси облучателя значительно ниже  $-36$  дБ и не превышает  $-28$  дБ в других направлениях.

Поскольку 3-сантиметровый облучатель устанавливается на оси вместо 8-миллиметрового облучателя, то появляется возможность работать одновременно в 3-сантиметровом и 8-миллиметровом диапазонах волн, используя боковые облучатели.

*Настройка многозеркальной схемы антенны* (рис. 1) вначале проводилась в ближней зоне по выносному генератору, который был установлен на вышке высотой  $h = 32$  м, на расстоянии  $R = 5250$  м  $\approx 0,1 D^2/\lambda$ , где  $D = 22$  м — диаметр параболического зеркала,  $\lambda = 8$  мм — минимальная рабочая длина волны. Компенсация фазовых искажений, обусловленных нахождением генератора в ближней зоне, проводилась смещением гиперболического зеркала и облучателя на расчетное расстояние ( $\Delta F = 25$  мм).

Критерием оптимального положения элементов схемы являлись симметрия и ширина диаграммы направленности по уровню половинной мощности  $\theta_{0,5}$  и по уровню, близкому к нулю  $\theta_0$ . Вести настройку по уровню принимаемого сигнала не представлялось возможным из-за сильной турбулентности воздуха в приземном слое, приводящей к значительному изменению уровня сигнала. Кроме того, в процессе измерений было установлено, что настройка антенны по ближней зоне нецелесообразна из-за деформации профиля параболического зеркала при малых углах места, присущей крупным антеннам. Такие деформации зеркала приводят к раздвоению фокального пятна параболоида в направлении электрической оси антенны, расстояние между фокусами составляет примерно  $40$  мм.

В связи с этим дальнейшая настройка системы проводилась по космическим источникам радиоизлучения. Вначале проводили настройку антенны в диапазоне  $\lambda = 3$  см, поскольку на этой волне требуется меньшая абсолютная точность установки элементов схемы и имеются достаточно интенсивные источники радиоизлучения (Кассиопея-А, Лебедь-А, Телец-А). Поскольку в 8-миллиметровом диапазоне волн нет интенсивных радиоисточников малых угловых размеров, то предварительные измерения были проведены по Солнцу. Критерием оптимального положения элементов схемы являлась максимальная крутизна краев записей прохождения Солнца через диаграмму направленности антенны. Окончательная настройка антенны в миллиметровом диапазоне волн проводилась по Юпитеру.

*Электрические параметры антенны.* На рис. 3 (кривая *a*) показана диаграмма направленности антенны, снятая с помощью левого бокового облучателя по Юпитеру, и калибровочная ступенька от шумового генератора. Измерения проводились путем сканирования Юпитера

с определенной скоростью с помощью оптического гида. Постоянная времени выходного устройства равнялась 5 сек. Как видно из рис. 3, диаграмма направленности близка к гауссовой кривой. Левый и правый облучатели практически имеют одинаковые параметры. Ширина

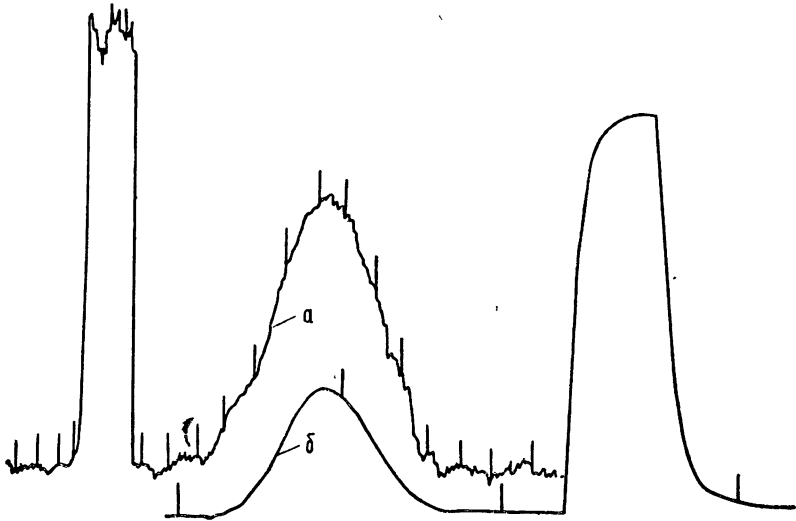


Рис. 3. Записи источников радиоизлучения: а)—Юпитер;  $\lambda=8,2$  мм; 6 июня 1968 г.; расстояние между метками соответствует 0,52". б)—Лебедь-А;  $\lambda=3,36$  см; 28 июня 1968 г.; расстояние между метками соответствует 1".

диаграммы по азимуту  $\theta_a$  и углу места  $\theta_h$  по уровню 3 дБ приведены в табл. 2 для всех трёх облучателей.

Таблица 2

Диапа- зон	Облучатель	Эффектив- ная пло- щадь (м <sup>2</sup> )	$\theta_a$ (')	$\theta_h$ (')	$T_{ша}$ (°К)	$T_{гш}$ (°К)
8 мм	центральный	$70 \pm 10$	1,6	1,6	25	5,25
8 мм	боковой	$80 \pm 10$	1,8	1,9	13	4,8
3,36 см	центральный	$150 \pm 30$	6,1	6,1	10	21,0

Измерение эффективной площади антенны также проводилось по Юпитеру, яркостная температура которого принималась равной 140°К. Калибровка температуры антенны осуществлялась при помощи газоразрядных шумовых генераторов (ГШ). Величина калибровочной ступеньки определялась по эталонной нагрузке, включенной на вход радиометра вместо антенны. Температура нагрузки изменялась путем погружения ее в воду (температура воды  $T_1 = +18^\circ\text{C}$  и  $T_2 = +100^\circ\text{C}$ ), а затем в жидкий азот. Согласование нагрузки в полосе пропускания радиометра не ниже 1,05. Для исключения изменения импеданса нагрузки при температуре жидкого азота, за счет сжижения, находящегося внутри нее воздуха, в волновод нагрузки через небольшое отверстие в его широкой стенке вводился газообразный гелий. Величина калибровочной ступеньки  $T_{гш}$  приведена в табл. 2. В этой же таблице указаны результаты измерения эффективной площади антенны  $S_{эф}$ . Измерения проводились при угле места  $h = 40 - 47^\circ$ . При уменьшении угла места от 40 до 15° эффективная площадь антенны уменьшается примерно на 30%.

Электрические параметры антенны на волне 3,36 см были измерены по радиостанции Лебедь-А. Плотность потока его радиоизлучения была принята равной  $160 \cdot 10^{-26} \text{ вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{гц}^{-1}$ , а разнесение его компонент —  $125''$  [4, 5]. Запись прохождения этого источника через диаграмму направленности антенны приведена на рис. 3 (кривая б). Регистрация велась при постоянной времени  $\tau = 5 \text{ сек}$ .

Определение шумовой температуры антенны на волне 3 см проводилось так же, как и на волне 8 мм. Величина калибровочной ступеньки и эффективная площадь антенны на волне 3 см указаны в табл. 2. Измерения эффективной площади проводились при угле места 50—75°. В этих пределах эффективная площадь антенны практически остается постоянной.

Измерение шумовой температуры антенны проводилось по эталонным нагрузкам. Общая шумовая температура антенны, направленной в зенит, в 8-миллиметровом диапазоне оказалась равной 43°K и 55°K для боковых и центрального облучателей соответственно. Для 3-сантиметрового диапазона она равна 18°K. На основании этих результатов, с учетом излучения атмосферы и фона, была определена шумовая температура антенны  $T_{\text{ша}}$ , которая приведена в табл. 2.

**Выводы.** Сравнение характеристик антенны на волне 8,2 мм, приведенных в таблице, с результатами измерений однозеркальной системы, полученных ранее [6], показывает, что разработанная многозеркальная система позволила уменьшить шумовую температуру антенны, сузить ее диаграмму направленности и получить оптимальную эффективную площадь. В результате проведенного усовершенствования антенны и благодаря применению квантового парамагнитного усилителя чувствительность радиотелескопа на волне 8,2 мм возросла более чем в 10 раз. На волне 3,36 см чувствительность увеличилась примерно в 3 раза.

В заключение авторы выражают искреннюю благодарность И. И. Пучковой, Т. Т. Зарецкой, Н. Я. Абрамову, В. И. Костенко, М. Т. Левченко, В. А. Пузанову, В. И. Пушкареву, принимавшим активное участие в настройке антенны РТ-22.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. П. Д. Калачев, А. Е. Соломонович, Радиотехника и электроника, **6**, № 3, 43 (1961).
2. В. И. Загатын, Г. С. Мисежников, В. Б. Штейншлейгер, Радиотехника и электроника, **12**, № 3, 539 (1967).
3. Л. Д. Бахрах, Современные проблемы антенно-волноводной техники, изд. Наука, М., 1967.
4. С. М. Wade, Phys. Rev. Letters, **17**, № 20, 1061 (1966).
5. E. William, Howard III, Stephen P. Marar, Astrophys. J. Suppl. Ser., **93**, 159 (1965).
6. А. Д. Кузьмин, А. Е. Соломонович, Астрон. ж., **39**, № 4, 660 (1962).

Физический институт им. П. Н. Лебедева  
АН СССР

Поступила в редакцию  
19 августа 1968 г.

#### MULTI-MIRROR ANTENNA DESIGN OF RT-22 FIAN RADIOTELESCOPE

*L. D. Bakhrakh, M. I. Grigor'eva, A. D. Kuz'min, L. I. Matveenko*

The multi-mirror antenna radiation system of the RT-22 radiotelescope and the methods of its alignment are considered. The central and two side feeds are mounted on the antenna, that permits the observations to be carried out at the wavelength 8.2 mm, as well as the central feed for investigations at the wavelength 3.34 cm. The main electric parameters of the system are given.