

Министерство высшего и среднего специального образования
Р С Ф С Р

Горьковский ордена Трудового Красного Знамени
научно-исследовательский радиофизический институт (НИРФИ)

П р е п р и н т № 176

РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ
ПО МЕТОДУ "ЧЕРНОГО ДИСКА"
В ДЕЦИМЕТРОВОМ-МЕТРОВОМ ДИАПАЗОНАХ ВОЛН

Н.М.Шейтлин
И.В.Мосалов
Н.В.Бахарев
Б.М.Беккерман
Н.А.Дугин
Е.А.Миллер
М.Е.Миллер
С.А.Пелюшенко
А.А.Романычев

УДК 621.396.628:523.164

Описан радиоастрономический комплекс в составе радиотелескопа РТВС-12, 5-метрового "черного" диска и измерительно-вычислительной аппаратуры на базе микро-ЭВМ. Комплекс предназначен для исследований радиоизлучения дискретных источников и распределенного космического радиоизлучения в диапазоне дециметровых - метровых волн.

В 1983 году на РАС НИРФИ "Старая Пустынь" введен в действие радиоастрономический комплекс дециметрового-метрового диапазонов длин волн, состоящий из 12-метровой вантово-стержневой параболической антенны РТВС-12, "черного" диска диаметром 5 метров и комплекта автоматизированной радиометрической аппаратуры, предназначенной для абсолютных и относительных измерений яркостной температуры распределенного космического радиоизлучения и потоков дискретных источников. Общий вид комплекса представлен на рис. 1. "Черный" диск расположен в зоне Френеля антенны радиотелескопа. В этих условиях при абсолютных измерениях потоков источников антенна сначала фокусируется (путем выноса облучателя из фокуса) на "черный" диск. При этом измеряется приращение антенной температуры $\Delta T_{\text{ант}}$ при наличии (диск поднят) и отсутствии (диск опущен) диска в диаграмме направленности. Затем антенна фокусируется на "бесконечность" (облучатель помещается в фокус зеркала) и измеряется приращение антенной температуры $\Delta T_{\text{а. ист}}$ от излучения источника относительно излучения выбранной опорной области. При абсолютных измерениях яркостной температуры распределенного космического излучения, экранируемого диском, облучатель устанавливается в точку пересечения фокальных пятен с максимумами, соответствующими фокусировке антенны на диск и на "бесконечность" с тем, чтобы при измерениях излучения диска и экранируемого им исследуемого радиоизлу-

чения усиление антенны оставалось неизменным. При равенстве температур диска и экранируемого им фона реализуется нулевой метод измерений, как это было предложено в [1].

1. АНТЕННАЯ СИСТЕМА [2 - 4]

Антенна РТВС-12 представляет собой новый тип легких зеркальных антенн с предварительно напряженной вантово-стержневой структурой зеркала. Рефлектор антенны состоит из каркаса и отражающей поверхности, выполненной из стальной сетки [2, 4]. На жестком каркасе закреплены гибкие радиальные тросы, на которых с помощью 120 гибких оттяжек (вант) растянута отражающая сетка, образующая многогранную поверхность, аппроксимирующую параболоид вращения. Среднеквадратичная ошибка поверхности, определенная механическими замерами в дискретных точках крепления оттяжек, составила 5,7 мм. Однако пространство между этими точками (среднее расстояние более 1 м) заполнялось нежесткой сеткой, что делало крайне затруднительным определение ошибки поверхности механическими способами и требовало проведения радиоастрономических исследований. Исследования параметров радиотелескопа проводились на относительно высоких частотах от 1 до 3 Гц с целью определения предельных возможностей вантового зеркала [3]. Среднеквадратичное отклонение реальной поверхности зеркала от расчетной по данным измерений КИП на волнах 10, 20 и 30 см составило 8,15 мм с погрешностью порядка 6%. Потери КИП из-за неточности поверхности на волне 30 см составили примерно 9%, на рабочих длинах волн, 60-200 см, неточностью изготовления зеркала можно пренебречь.

СИСТЕМА ОБЛУЧЕНИЯ

Облучатели на фиксированные длины волн (60, 70, 80, 90, 100, 130, 150, 180, 200 см) представляют собой полу-

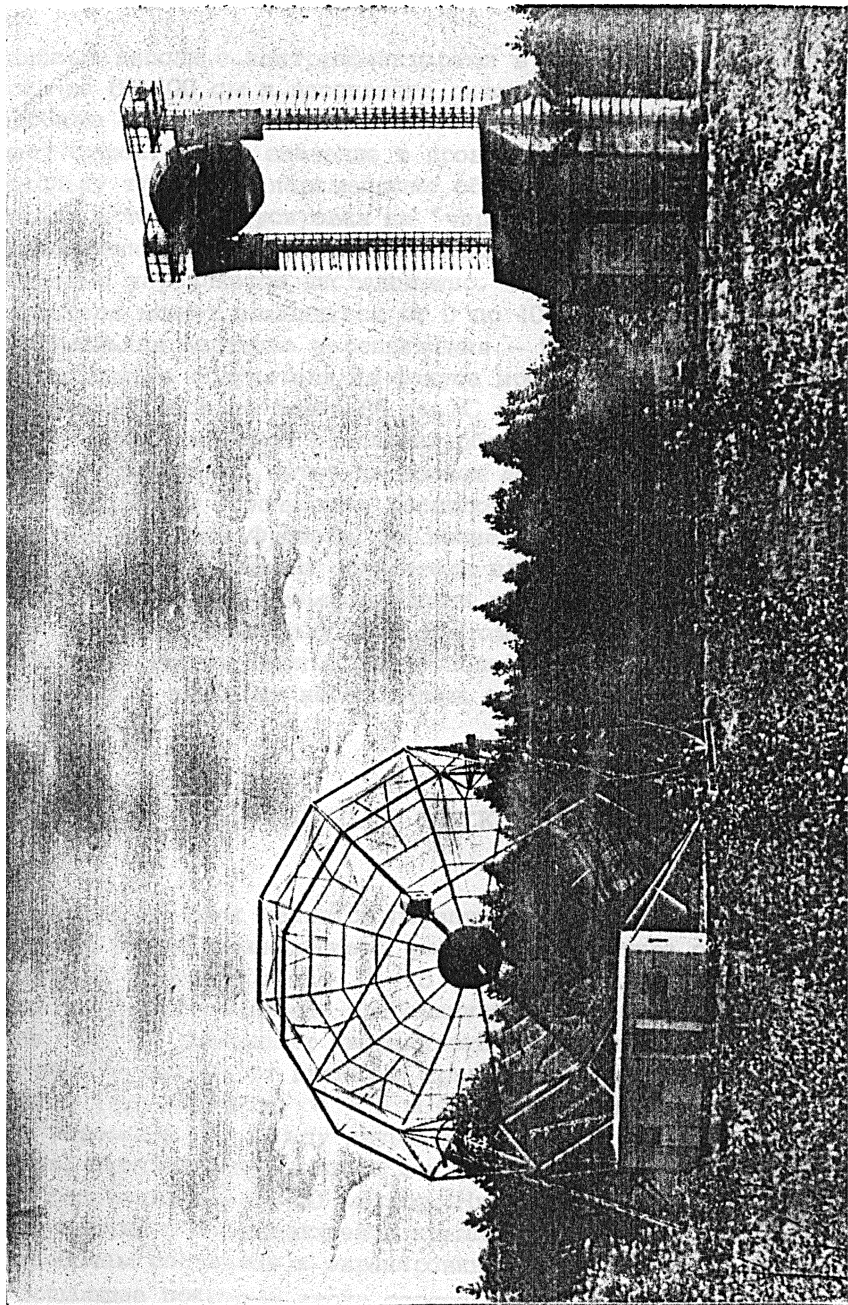


Рис. 1

волновые диполи с контррефлекторами в виде плоского диска на 60–100 см и пассивного диполя на 130–200 см. Подобные системы обладают минимальным весом, что имеет существенное значение в проводимых экспериментах, поскольку требуется перемещение облучателя из фокуса зеркала в точку фокусировки на "черный" диск. Система передвижения облучателя расположена в фокальном блоке антенны и управляется дистанционно. Скорость движения облучателя может изменяться от 0 до 100 мм в минуту. Максимальная величина передвижения – 100 см, при расчетном выносе облучателя из фокуса при перефокусировке на "черный" диск не более 85 см. С существующей в настоящее время системой крепления облучателя могут быть измерены фокальные пятна на волнах до 100 см практически полностью по источникам, расположенным как в дальней зоне, так и в зоне Френеля. На волне 200 см, когда возрастает величина выноса облучателя при фокусировке, оказывается возможным измерить лишь половину фокального пятна, ближнюю к зеркалу. Это обстоятельство существенно при определении оптимального положения облучателя при измерениях и внесении необходимых коррекций (подробнее см. [5]).

2. "ЧЕРНЫЙ" ДИСК .

"Черный" диск является первичным эталоном излучения с яркостной температурой, равной температуре окружающей среды. Диаметр диска $d = 5$ м был выбран из соображений компромисса между требованиями измерений (увеличение d/λ уменьшает дифракционную поправку [6] и увеличивает сигнал от диска) и конструктивными возможностями (при диаметре $d = 5$ м диск весит около 3 тонн). Диск перемещается между двумя опорами высотой около 23 метров. Максимальная высота центра диска над поверхностью основания опор – 20 метров. Нижняя часть сделана в виде укрытия с открывающейся крышей для хранения диска в нерабочем состоянии и экранировки его при измерениях. Поглощающее покрытие диска состоит из нескольких скле-

енных слоев стекловаты, нарезанных в виде пирамид высотой 1 м и стороной квадрата в основании около 0,7 метра. Для защиты от осадков поглощающий материал покрыт радиопрозрачной тканью. Коэффициент отражения радиоволн в рабочем диапазоне по предварительным данным не превышает 2%. Диск уравновешен системой противовесов и приводится в движение с помощью лебедки с мотором переменного тока, расположенной в нескольких метрах от опоры. Управление диском дистанционное от пульта, установленного в технологической кабине радиотелескопа; отключение питания мотора – автоматическое от концевых выключателей в верхнем и нижнем положении диска и ручное с пульта.

При выборе места установки диска необходимо было учесть следующие условия. Для увеличения сигнала от диска и для сведения к минимуму дифракционной поправки желательно размещать диск как можно ближе к антенне и на возможно большей высоте. В то же время для уменьшения величины поправок к измеряемым данным из-за влияния сокращения дальней зоны и из-за ограничения величины перемещения облучателя при перефокусировке диск желательно размещать как можно дальше от антенны. Эти обстоятельства определили следующее местоположение диска – азимут диска $A_d = 40^\circ$, расстояние от центра площадки РТВС-12 до точки между опорами диска порядка 42 метров. Азимут был выбран исходя из рельефа местности; выбиралась площадка с наибольшим превышением над плоскостью рельсового пути антенны РТВС-12. Параметры системы при данной геометрии оказались следующими:

- высота центра диска относительно центра зеркала $h_d \approx 20^\circ$; при такой величине h_d значение дифракционной поправки не превышает 10% на $\lambda \leq 200$ см,
- расстояние от вершины зеркала до центра диска $R_d \approx 44$ м при $h_d \approx 20^\circ$, отсюда
- угловые размеры диска $\Delta \nu_d \approx 6,5^\circ$ при полуширине диаграммы направленности $\Delta \nu_{0,5}$ на волнах 60–200 см от $3,5^\circ$ до 11° ;
- величина сокращения дальней зоны $N = 2D^2 / \lambda R_d$ лежит в пределах от 12 до 3,3 при $D / \lambda = 20 + 6$;
- вынос облучателя из фокуса при перефокусировке на диск,

рассчитанный по соотношению

$$\Delta F = \frac{F^2}{R_d - F} \left(1 + \frac{D^2}{16F^2} \right),$$

составляет 82 см при фокусном расстоянии зеркала $F = 4,8$ м.

3. РАДИОМЕТРИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА

Для описываемого радиоастрономического комплекса был разработан комплект автоматизированной радиометрической аппаратуры на диапазон 140–500 Мгц. Ввиду сложной помеховой обстановки, особенно в низкочастотной части рабочего диапазона, оказалось целесообразным применить два модуляционных радиометра с непрерывной перестройкой по частоте в диапазонах 140–400 и 300–500 Мгц. Радиометры построены по типовой схеме модуляционного супергетеродинного приемника с усилителем высокой частоты на входе. С целью повышения избирательности радиометра диапазона 140–400 Мгц предусмотрена возможность установки фильтра высокой частоты с полосой 2 Мгц на входе приемника. Для уменьшения влияния модуляции собственных шумов УВЧ между модулятором и усилителем высокой частоты включены коаксиальные циркуляторы, настроенные на фиксированные частоты в рабочем диапазоне приемников. Для тепловой калибровки и для "подшумливания" в приемниках использованы полупроводниковые генераторы шума типа ГШП-ЗВ. В качестве блока низкой частоты для обоих радиометров используется гетеродинный фильтр, выполненный по схеме с синхронным интегратором. Преимуществом данной схемы является независимость полосы пропускания фильтра от нестабильности частоты задающего генератора, поскольку частотная характеристика имеет вид гребенки, а средняя частота полос пропускания равна частоте опорного напряжения.

Использование радиометров в составе измерительно-

вычислительного комплекса позволило располагать блоки высокой частоты в фокальном узле антенны с возможностью как ручного, так и автоматического (по программе от микро-ЭВМ) дистанционного управления основными режимами работы приемников. Это способствовало повышению отношения сигнал/шум на выходе радиометров. Флуктуационный порог чувствительности радиометров диапазонов 140–400 МГц и 300–500 МГц не превышает соответственно 0,4 и 0,8 К при постоянной времени $\tau = 1$ с. Неравномерность чувствительности по диапазону рабочих частот не превышает 2 дБ. Нестабильность коэффициента усиления за 5 часов работы не превышает 2%. Для калибровки используемых в приемниках ГШП применяется промышленный генератор шума типа Г2-32.

4. АППАРАТУРА УПРАВЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Описанный комплект радиометров является составной частью измерительно-вычислительного комплекса радиотелескопа, блок-схема которого изображена на рис. 2. Гетеродинный фильтр имеет аналоговый и цифровой выходы, к которым подключаются соответственно автоматический потенциометр типа КСП-4 и цифровой вольтметр типа Ф-210. Для целей управления отдельными блоками и обработки данных радиоастрономических измерений в составе измерительно-вычислительного комплекса используется микро-ЭВМ "Электроника ДЗ-28". Отличительными особенностями данной ЭВМ являются малые габариты, наличие пульта программиста, совмещенного с самой ЭВМ, развитый набор микропрограмм (примерно 300 различных команд) при объеме памяти 16 кбайт и сравнительно невысокое быстродействие (время выполнения основных команд находится в пределах 0,5–20 мс), которое, однако, позволяет без особых усилий решать задачи по обработке данных и управлению комплектом радиометров в реальном масштабе времени.

Аналоговые сигналы с выхода гетеродинного фильтра преобразуются в цифровой код вольтметрами типа Ф-210 и с помощью специального блока сопряжения с ЭВМ вводятся

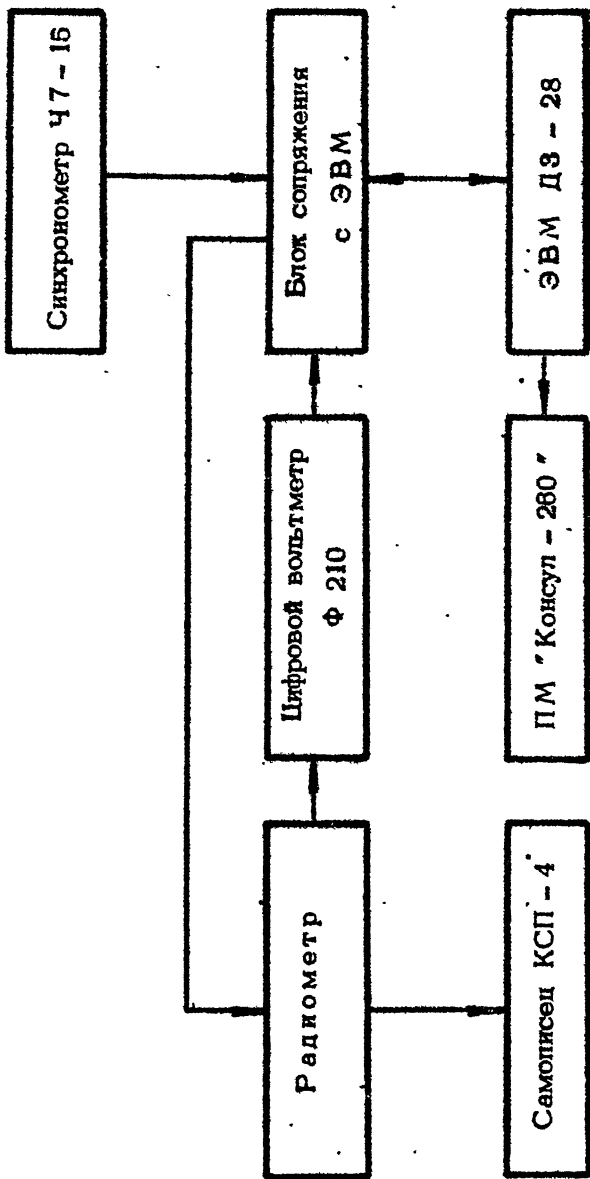


Рис. 2

в память машины для последующей обработки в реальном масштабе времени. В качестве датчика времени используется синхронизатор типа Ч7-15, с помощью которого осуществляется привязка показаний вольтметров к текущему моменту времени (синхронизация запуска вольтметров и считывания показаний). С помощью блока сопряжения с ЭВМ из машины по программе может быть выведен цифровой код на регистр управления релейными переключателями, через которые производится управление основными режимами работы радиометрической аппаратуры (включение калибровок, введение "подшумливания" и т.д.). В качестве выводящего устройства в установке используется пишущая машинка "Консул-260". Внешний вид аппаратуры управления и обработки данных приведен на рис. 3.

Для измерения потоков радиоизлучения дискретных источников по методу "черного" диска был разработан пакет прикладных программ [7].

В настоящее время на радиоастрономическом комплексе проводятся измерения потоков радиоизлучения наиболее мощных дискретных источников в диапазоне длин волн 80-150 см. По результатам абсолютных измерений потоков радиоизлучения Кассиопей А, Лебедя А и Крабовидной туманности в диапазоне 80-100 см, проведенных в 1982 году, построены спектры этих источников со спектральными индексами $\alpha_{\text{Кас.}} = -0,88 \pm 0,08$, $\alpha_{\text{Леб.}} = -1,05 \pm 0,08$, $\alpha_{\text{Краб.}} = -0,16 \pm 0,11$ [8], что согласуется с ранее опубликованными данными [9]. Кроме того, проводятся абсолютные измерения яркостной температуры распределенного космического радиоизлучения на волнах 80-200 см "нулевым" методом, т.е. замещением "черным" диском области неба с яркостной температурой, близкой к температуре диска.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цейтлин Н.М. - Изв. вузов. - Радиофизика, 1962, т. 5, № 4, с. 810.
2. Бахарев Н.В., Глазман В.Н., Мосалов И.В. Препринт №63,



Рис. 3

Горький: НИРФИ, 1974.

3. Мосалов И.В., Бахарев Н.В., Дугин Н.А., Цейтлин Н.М. - Изв. вуз.в. - Радиофизика, 1979, т. 22, № 11, с. 1293.
4. Бахарев Н.В., Глазман В.Н., Козицын Д.М., Мосалов И.В. Авторское свидетельство № 402970 от 16.11.71.
5. Дмитренко Д.А., Цейтлин Н.М. - Изв. вузов. - Радиофизика, 1969, т. 12, № 5, с. 639.
6. Цейтлин Н.М. - Изв. вузов.- Радиофизика, 1963, т. 6, № 6, с. 1265.
7. Миллер М.Е. Препринт № 161, Горький: НИРФИ, 1983.
8. Миллер М.Е. - Изв. вузов - Радиофизика (в печати).
9. Дмитренко Л.В., Снегирева В.В., Турчин В.И., Цейтлин Н.М., Воронков Л.А., Дмитренко Д.А., Кузнецова Н.А., Холодилов Н.Н. - Изв. вузов. - Радиофизика, 1981, т.24, № 1, с. 14.

Дата поступления
статьи

10 января 1984г.

Наум Моисеевич Цейтлин
Игорь Васильевич Мосалов
Николай Васильевич Бахарев
Борис Моисеевич Беккерман
Николай Александрович Дугин
Евгений Александрович Миллер
Михаил Евгеньевич Миллер
Сергей Анатольевич Пелюшенко
Анатолий Абрамович Романьчев

РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ
ПО МЕТОДУ "ЧЕРНОГО ДИСКА"
В ДЕЦИМЕТРОВОМ-МЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ВОЛН

Подписано к печати 7.02.84 г. МЦ 00778. Формат 60x84 1/16
Бумага офсетная №1. Печать офсетная. Объем 0,49 усл.печ.л
Тираж 120. Заказ 3086. Бесплатно.

Отпечатано на ротационте НИРФИ