

УДК 621.396.628 : 523.164

## РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТР НА ЧАСТОТЕ 85,5 МГц С РЕТРАНСЛЯЦИЕЙ

*Г. И. Добыш, Ю. П. Илясов, Б. К. Извеков, В. Т. Солодков,  
С. А. Суходольский, В. А. Фролов, В. Я. Щербинин*

В октябре 1971 г. на Радиоастрономической станции ФИАН введен в эксплуатацию радиоинтерферометр с переменной базой от 1 до 30 км. Радиоизлучение от источников с частотой 85,5 МГц ( $\lambda = 3,5$  м) принимается на две разнесенные антенны. В качестве одной из них используется полотно В—З радиотелескопа ДКР-1000. Для выносного пункта (ВП) специально разработана передвижная антенна, представляющая собой синфазную систему, набираемую из 16 (максимальное количество) отдельных, конструктивно независимых секций. Каждая секция, в свою очередь, представляет собой легко разбираемую систему из восьми 4-элементных антенн типа «волновой канал». Конструкция допускает механическое сканирование по склонению в пределах углов  $\delta = -35 \div +75^\circ$ . Фидерная система выполнена с минимальным количеством разъемных соединений. Такое конструктивное решение позволило создать достаточно надежную, быстро монтируемую и легко перемещаемую, что очень важно для интерферометра с переменной базой, антенну с хорошими электрическими параметрами.

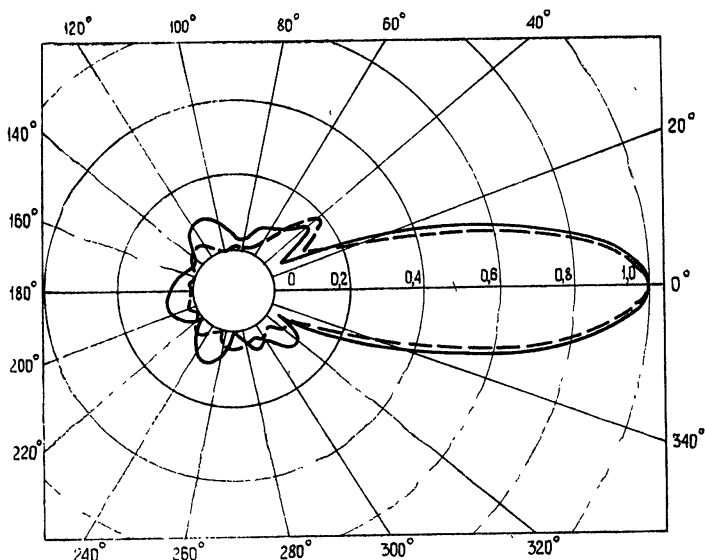


Рис. 1. Диаграмма направленности секции антенны по полю (горизонтальная поляризация). Сплошная линия—*E*-плоскость, пунктирная—*H*-плоскость.

В процессе расчетов, макетирования и настройки антенны ВП особое внимание уделялось вопросам формирования диаграммы с минимальным уровнем боковых лепестков. На рис. 1 показана диаграмма направленности по полю одной секции антенны ВП, из которой можно видеть, что уровень бокового излучения составляет величину, не превышающую  $-12,9 \text{ дБ}$  по отношению к главному направлению. За счет изменения ориентации элементов антенны предусмотрена возможность работы как с горизонтальной, так и с вертикальной поляризациями. Измеренная эффективная площадь каждой секции  $A_{\text{эфф}} \approx 64 \text{ м}^2$ .

Радиорелейная линия (РРЛ) связи ВП с основным пунктом (ОП) работает на частоте  $2030 \text{ МГц}$ . Антенна передатчика РРЛ, расположенного на ВП, — параболический цилиндр размером  $1 \times 0,7 \text{ м}$ . Она укреплена на телескопической мачте, высота которой может меняться в пределах  $6 \div 20 \text{ м}$ . Антенна приемника, расположенного на ОП, — параболоид диаметром  $d = 3 \text{ м}$ , установленный на высоте  $23 \text{ м}$ . При мощности передатчика  $2,5 \text{ Вт}$ , чувствительности приемника  $200 \text{ мкВ}$  (коэффициент шума  $N \leq 25$ ) и указанных антеннах энергетический резерв аппаратуры таков, что обеспечивает нормальную работу интерферометра при максимальной базе  $\approx 30 \text{ км}$ . В случае замены антенны РРЛ ВП на параболоид  $d = 2 \text{ м}$  и наличии прямой видимости между пунктами энергетический потенциал аппаратуры будет таков, что обеспечит работу РРЛ связи при базах до  $50 \text{ км}$ . Приемник и передатчик линии связи представляют собой модернизированный вариант типовой аппаратуры Р-60/120. Модуляция — частотная с девиацией частоты  $\pm \Delta f = 2 \text{ МГц}$ . Сквозная полоса пропускания всей РРЛ  $\Delta F = 7 \text{ МГц}$ . Амплитудная характеристика линейна до  $1 \text{ в эф.}$  на выходе приемника РРЛ. Вся аппаратура выносного пункта установлена в передвижном автофургоне.

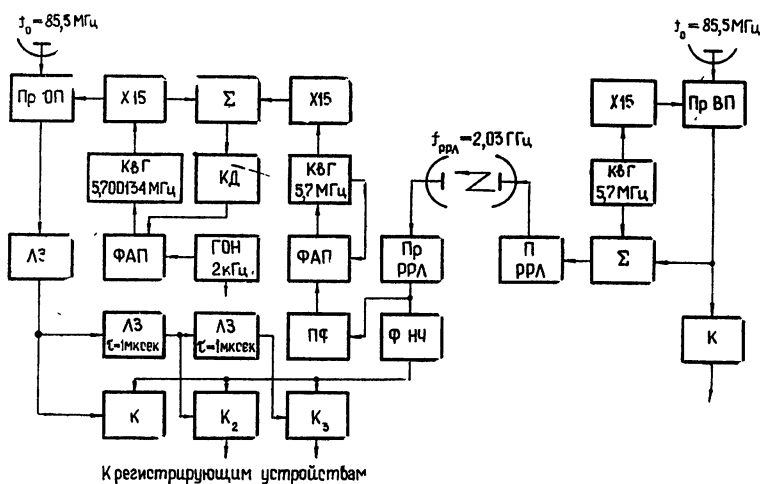


Рис. 2. Структурная схема интерферометра ( $K_{1,2,3}$  — корреляторы,  $K$  — компенсатор).

Структурная схема аппаратуры интерферометра приведена на рис. 2. Она во многом сходна со схемой интерферометра на диапазон  $34 \div 36 \text{ МГц}$  ( $\lambda = 8,3 \div 8,8 \text{ м}$ ), подробное описание которого приведено в [1].

Радиоастрономические приемники выполнены по супергетеродинной схеме, использующей прием как по основному, так и по зеркальному каналам. Подобный метод приема, как известно, позволяет повысить фазовую стабильность системы по каналу шумового сигнала, что имеет

особую важность для интерферометра с ретрансляцией, когда в одно из плеч включена РРЛ связи, в другое—плавнопеременная линия задержки, компенсирующая время распространения сигнала от ВП до ОП.

Ширина полосы пропускания радиоастрономических приемников по ВЧ составляет  $\pm 1,2$  МГц от центральной частоты 85,5 МГц. Усилитель промежуточной частоты представляет собой видеоусилитель, охваченный сильной отрицательной обратной связью. Полоса пропускания УПЧ, от 100 до 590 кГц, формируется с помощью фильтров нижних и верхних частот. Частота гетеродина приемника ВП формируется умножением на 15 частоты 5,7 МГц местного кварцевого генератора (КГ). С ВП по РРЛ связи частота 5,7 МГц и шумовой сигнал в полосе  $100 \div 590$  кГц ретранслируется на ОП. На выходе приемника РРЛ эти сигналы разделяются с помощью полосового фильтра (ПФ) и фильтра нижних частот (ФНЧ).

После разделения принятый с ВП сигнал с частотой 5,7 МГц через систему фазовой автоподстройки синхронизирует местный кварцевый генератор ОП, также работающий на частоте 5,7 МГц. Затем с помощью еще одного местного генератора, работающего на частоте  $\approx 5,7$  МГц, опорной частоты 2 кГц, второй системы фазовой автоподстройки и умножения на 15 формируется частота гетеродина радиоастрономического приемника ОП, равная 85,502 МГц. Таким образом, центральные частоты приемников ВП и ОП оказываются разнесенными на 2 кГц, что позволяет получить диаграмму интерферометра с «бегущими» лепестками.

Использование систем фазовой автоподстройки в канале гетеродина значительно повышает помехоустойчивость системы по отношению к собственным флуктуационным и комбинационным помехам, обусловленным аппаратурой РРЛ [1].

Шумовой сигнал с выхода УПЧ приемника ОП предварительно подается на плавнопеременную ультразвуковую линию задержки для компенсации времени распространения шумового сигнала по РРЛ от ВП. Диапазон возможных задержек — от 4,75 до 300 мксек. Это позволяет работать с базами до 50 км при любой их ориентации и на любых склонениях. Точность установки задержки 0,05 мксек.

Затем шумовые сигналы ОП и ВП поступают на коррелятор, включающий суммирование, квадратичный детектор (КД), избирательный РС-усилитель, фазовый детектор, а затем—на УПТ.

Основной особенностью данной системы является наличие трех отдельных корреляторов, каждый из которых разнесен по задержке относительно друг друга. Величина задержки в зависимости от необходимости может составлять либо 1 мксек, либо 0,3 мксек. Это вызвано тем, что, как показала эксплуатация интерференционных систем, основная погрешность в определении глубины модуляции (М) интерференционной картины связана с неточной установкой необходимой величины компенсирующей задержки, особенно когда интерферометр имеет базу с составляющей С—Ю и величина задержки зависит от склонения источника. Например, в нашем случае ошибки по  $\tau \approx \pm 0,4$  мксек снижают М до уровня 0,7 от максимального значения. Наличие же трех каналов с разнесенной задержкой позволяет практически по первой записи определить оптимальную величину компенсирующей задержки. Кроме того, использование трех одновременных записей позволяет снизить погрешности в определении М до пренебрежимо малой величины (не более  $1 \div 2\%$ ) даже в случае не очень точно установленного значения компенсирующей задержки.

Благодаря наличию на ОП двух радиоастрономических приемников, трех корреляторов и специального блока селекции сигналов по задер-

жке (на структурной схеме этот блок не показан) аппаратура может работать в режиме 2-базового интерферометра при одном ВП и общей компенсирующей линии задержки. В этом варианте возможно выполнение относительных фазовых измерений по спектрам распределения радиояркости источников. Для ДКР-1000 в направлении В—З разность между двумя базами составляет 500 м.

Со времени ввода интерферометра в эксплуатацию проведены наблюдения по 20 источникам на базах 1,8 и 12,6 км. Наблюдения проводились с антенной на ВП, состоящей из трех секций, что давало результирующую эффективную площадь  $A_{\text{эфф}} \approx 1900 \text{ м}^2$ .

При флуктуационной чувствительности аппаратуры  $\delta T = 1,5^\circ$  (при постоянной времени выхода  $\tau_{\text{вых}} = 1 \text{ сек}$ ) уверенно регистрировались потоки порядка 30 ÷ 50 единиц. Примеры записей двух источников на базе 12,6 км приведены на рис. 3.

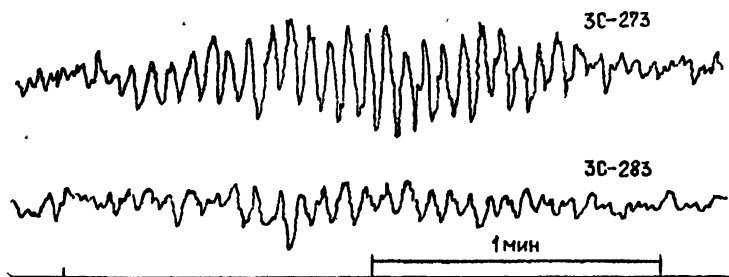


Рис. 3. Примеры записей источников на базе  $D = 12,6 \text{ км}$ .

При вводе в эксплуатацию полного комплекта антенны ВП (16 секций) предполагаемая эффективная площадь интерферометра составит  $\approx 6 \cdot 10^3 \text{ м}^2$ , а ожидаемая чувствительность по потоку  $\approx 2,5 \text{ ед}$ . Это позволит выполнить различного рода измерения для большинства источников каталога ЗС.

К моменту написания данного сообщения было выполнено несколько серий наблюдений на базе 8,3 км с антенной на ВП из 8 секций. Наблюдения показали, что с учетом повышения чувствительности за счет обработки записей на ЭВМ реальная предельная чувствительность системы по потоку составляет величину 2,5 ÷ 3,0 ед. и ограничивается в основном эффектом «путаницы», обусловленным радиотелескопом ДКР-1000.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Г. И. Добыш, Интерферометр с ретрансляцией для дециметрового диапазона, Тр. ФИАН, 47, М., 1969.

Физический институт им. П. Н. Лебедева  
АН СССР

Поступила в редакцию  
11 декабря 1972 г.