

АППАРАТУРА ДЛЯ РАДИОГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ НА ВОЛНЕ 8.8 мм НА РАДИОТЕЛЕСКОПЕ РАТАН-600

В. И. Синянский, А. А. Стоцкий

Описывается импульсная автоколлимационная радиоголографическая аппаратура, работающая на волне 8.8 мм, предназначенная для проведения измерений на радиотелескопе РАТАН-600.

Установка позволяет производить измерения относительных положений элементов главного зеркала по двум координатам для юстировки его поверхности. Точность измерений относительных положений элементов 0.05—0.08 мм по радиальной координате и 20—30'' по азимуту. Особенностью разработанного метода измерений и аппаратуры по сравнению с используемыми ранее является устранение влияния атмосферы, увеличение разрешающей способности и точности измерений.

Impulse autocollimation radiology equipment intended for measurements at 8.8 mm wavelengths with the RATAN-600 radiotelescope is described.

This equipment allows to measure the relative positions of the main mirror components from two coordinates for its surface adjustment. The measurement accuracy of the relative positions of components is 0.05—0.08 mm in radial coordinate, and 20—30'' in azimuth. The peculiarity of this method as compared with that used earlier is elimination of the atmosphere influence increase of the resolving power and measurement accuracy.

Задача быстрого и точного измерения топографии отражающей поверхности и параметров фокусирующей системы радиотелескопа РАТАН-600 [1] становится особенно актуальной в связи с продвижением рабочего диапазона радиотелескопа в миллиметровую область волн. Для юстировки многоэлементного главного зеркала и исследования характеристик фокусирующей системы радиотелескопа разработана радиоголографическая аппаратура, работающая на волне 8.8 мм в автоколлимационном режиме [2].

Выбор рабочей длины волны в 8-миллиметровом диапазоне позволяет получить после обработки радиоголографических измерений более одного независимого отсчета на один элемент главного зеркала радиотелескопа, что обеспечивает возможность юстировки каждого элемента как по радиальной координате, так и по азимуту.

Для формирования опорного сигнала используется один из элементов главного зеркала, что позволяет устранить влияние атмосферы на результаты измерений, ограничивающее применение ранее созданной аппаратуры [3]. Эффект достигается тем, что основной и опорный сигналы проходят в атмосфере примерно один и тот же путь, и таким образом атмосферные флюктуации разности электрических длин обоих каналов практически отсутствуют.

Функциональная схема установки приведена на рис. 1. Аппаратура для радиоголографических измерений состоит из следующих основных узлов.

1. Облучатели и СВЧ-тракт основного и опорного сигналов.
2. СВЧ-передатчик.
3. СВЧ-приемник.
4. Низкочастотное оконечное устройство.
5. Аппаратура управления и передачи данных.
6. Система управления экспериментом и обработки данных.

Работа установки происходит следующим образом. Электромагнитная энергия в виде СВЧ-импульсов длительностью τ_n , вырабатываемых передатчиком, направляется в два канала: основной и опорный.

Радиоимпульсы в основном канале поступают в рупор и, отражаясь от вторичного зеркала, облучают главное зеркало радиотелескопа. Используемый

для радиологических измерений рупор аналогичен штатному рупорному облучателю, применяемому при радиоастрономических наблюдениях.

В опорном канале радиоимпульсы поступают на специальную параболическую антенну диаметром 1 м, которая используется для облучения опорного элемента. В качестве такого элемента выбирается элемент, расположенный вне пределов измеряемой части главного зеркала.

Отраженные от главного зеркала и опорного элемента радиоимпульсы принимаются тем же рупором и параболической антенной и поступают в общий волноводный тракт, где происходит их интерференция.

Далее сигнал поступает в приемник. Амплитуда видеоимпульсов на выходе приемника пропорциональна мощности интерференционного сигнала. Затем видеоимпульсы подаются в низкочастотное оконечное устройство, в котором после их обработки и усиления вырабатывается аналоговый выходной сигнал.

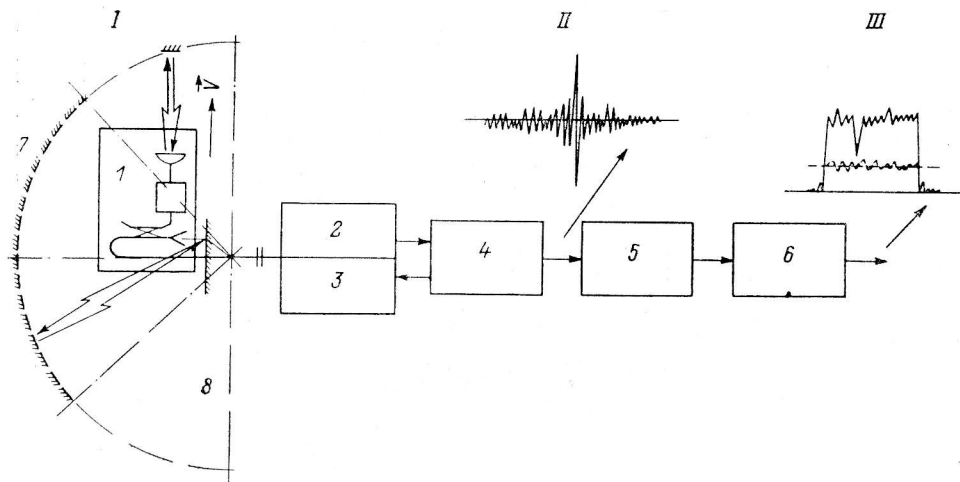


Рис. 1. Функциональная схема установки для радиологических измерений.

1 — опорный элемент; II — гелограмма; III — амплитудно-фазовое распределение; 1 — облучатели и СВЧ-тракт основного и опорного сигналов; 2 — СВЧ-передатчик; 3 — СВЧ-приемник; 4 — низкочастотное оконечное устройство; 5 — аппаратура управления и передачи данных; 6 — система управления экспериментом и обработки данных; 7 — главное зеркало; 8 — вторичное зеркало.

Этот сигнал в блоке передачи данных преобразуется в цифровую форму и передается на ЭВМ системы управления и обработки данных.

Вся СВЧ-часть с рупором и опорной антенной смонтирована на подвижной каретке и в процессе измерений перемещается в фокальной плоскости радиотелескопа в поперечном относительно оси радиотелескопа направлении. При этом регистрируется одномерная интерференционная картина в фокальной плоскости радиотелескопа, образованная сложением двух полей: отраженного от главного зеркала и от опорного элемента. Благодаря тому что все СВЧ-элементы жестко связаны между собой и при проведении измерений не смещаются друг относительно друга, удается обеспечить высокую фазовую стабильность радиологической аппаратуры.

Рассмотрим подробнее схему СВЧ-части (рис. 2). Импульсный передатчик представляет собой СВЧ задающий генератор на ЛПД, работающий в непрерывном режиме и модулятор в виде двух последовательных ступеней импульсных рп-модуляторов (элементы 9, 13, 14 и 11, 15, 16). Применение двух каскадов рп-модуляторов позволило получить отношение $P_{зон}/P_{пр} > 80$ дБ, где $P_{зон}$ — мощность зондирующего импульса; $P_{пр}$ — мощность, просачивающаяся на выход передатчика в паузах между зондирующими импульсами. Выходная мощность передатчика регулируется рп-аттенуатором 8. Выход передатчика через развязывающий ферритовый циркулятор 7 соединен с 3-децибельным делителем мощности 6. Нагрузкой одного плеча делителя мощности является приемопередающий рупор 5, нагрузкой второго — опорная антенна 1, соединенная с делителем мощности через амплитудный модулятор опорного сигнала (эле-

менты 2—4). Модулятор состоит из циркулятора 4, рип-аттенюатора 3 и короткозамыкающего поршня 2. Данная схема модуляции опорного сигнала позволяет надежно развязать тракты основного и опорного каналов.

Сигнал, являющийся результатом интерференции двух полей, поступает с третьего плеча ферритового циркулятора 7 в СВЧ-приемник. СВЧ-приемник — супергетеродин с промежуточной частотой 1.75 ГГц и полосой пропускания 250 МГц. Гетеродин приемника 24 выполнен на диоде Ганна, работающем в непрерывном режиме. Мощность гетеродина устанавливается рип-аттенюатором 25 и стробируется рип-модулятором 21. В режиме радиоголографических измерений мощность гетеродина подводится в смеситель 27 только в моменты времени, соответствующие поступлению на вход приемо-передатчика отраженных импульсов. Применение стробирования в тракте гетеродина позволяет уверенно реали-

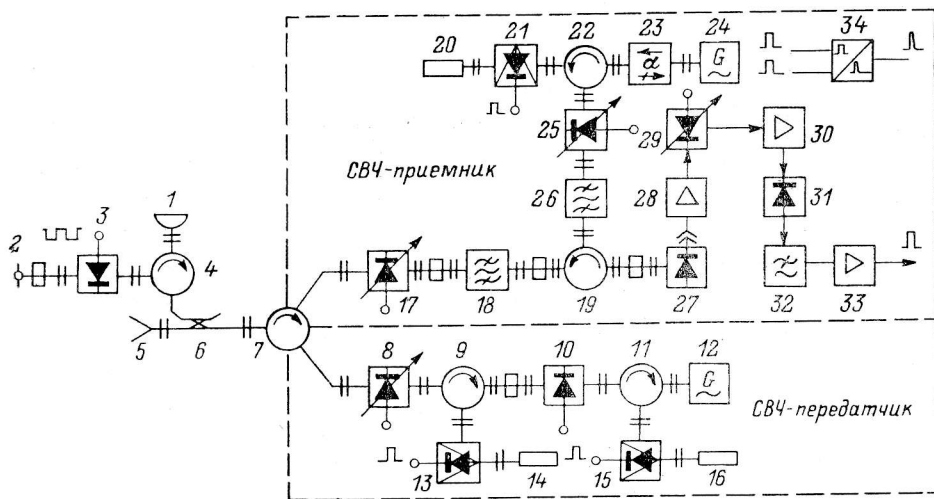


Рис. 2. Функциональная схема СВЧ-части.

1 — опорная антенна; 2 — короткозамыкающий поршень; 3, 8, 17, 25, 29 — аттенюаторы на рип-диолах; 4, 7, 9, 11, 19, 22 — ферритовые циркуляторы; 5 — приемо-передающий рупор; 6 — делитель мощности; 10 — контрольный детектор; 12 — генератор на ЛПД; 13, 15, 21 — модуляторы на рип-диолах; 14, 16, 20 — согласованные поглощающие нагрузки; 18, 26 — полосовые СВЧ-фильтры; 23 — ферритовый вентиль; 24 — гетеродин на диоде Ганна; 27 — смеситель; 28, 30 — усилитель ПЧ; 31 — видеодетектор; 32 — фильтр ПЧ; 33 — предварительный видеоусилитель; 34 — формирователь импульсов модуляции.

зовать временную развязку сигналов передатчика и приемника. После усиления в тракте ПЧ (элементы 28, 30) входной сигнал поступает на квадратичный видеодетектор 31 и далее через фильтр нижних частот 32 на предварительный видеоусилитель 33. СВЧ-блок приемо-передатчика разработан на элементной базе промышленной аппаратуры. Конструктивно он выполнен в одном корпусе габаритом 105 × 240 × 350 мм. Система термостабилизации поддерживает температуру внутри кожуха (40 ± 0.5) °С.

Основные параметры приемо-передатчика следующие:

- 1) излучаемая в импульсе мощность $P_{\text{зон}} \geq 50$ мВт;
- 2) относительная нестабильность частоты $\leq 10^{-6}$;
- 3) отношение мощности передатчика к чувствительности приемника ≥ 90 дБ;
- 4) аппаратный дрейф выходного сигнала ≤ 0.5 % в час (после 2-часового прогрева);
- 5) длительность зондирующих импульсов $\tau_{\text{и}} = 0.05 \div 1.25$ мкс;
- 6) период посылок зондирующих импульсов $7 \div 20$ мкс;
- 7) диапазон селекции по дальности 15—450 м (задержка 0.1—3 мкс).

В импульсном низкочастотном оконечном устройстве вырабатываются управляющие видеоимпульсы и модулирующие напряжения, а также производится обработка принимаемых сигналов: стробирование, синхронное интегрирование, масштабное усиление, синхронное детектирование. Функциональная схема блока импульсного оконечного низкочастотного устройства приведена на рис. 3.

Работа блока происходит следующим образом: задающий тактовый генератор 1 вырабатывает импульсы с периодом, равным периоду посылок зондирующих импульсов, а генератор напряжения модуляции 2 — модулирующее напряжение с частотой модуляции $\Omega=1$ кГц. В блоке формирования импульсов 3 и блоке плавной задержки 4 формируются последовательности запускающих импульсов, поступающих на схему формирователя импульсов модуляции (34, рис. 2), расположенную в СВЧ-блоке приемо-передатчика. Формирователь импульсов модуляции вырабатывает видеоимпульсы длительностью $\tau_{и}$, поступающие через усилители импульсов модуляции на соответствующие рп-модуляторы СВЧ-блока, а также в блок низкой частоты.

На вход согласующего каскада блока низкой частоты 5 поступают видеоимпульсы с предварительного видеоусилителя СВЧ-блока (33, рис. 2). Воз-

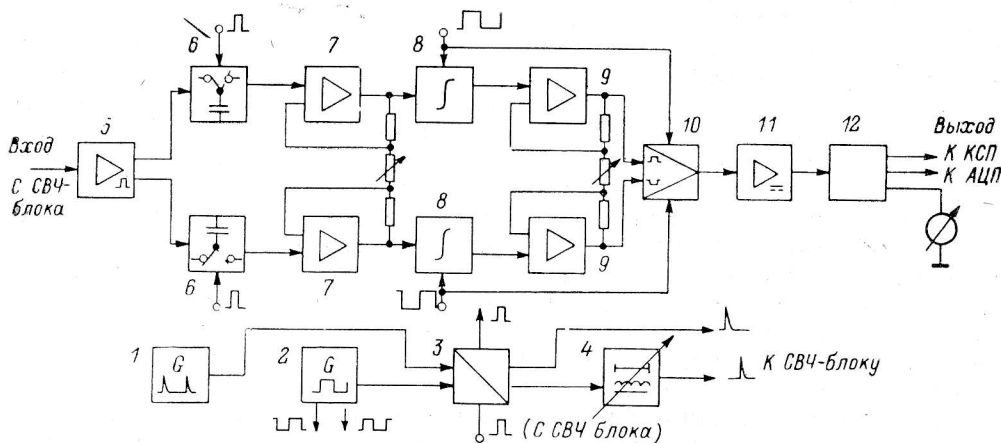


Рис. 3. Функциональная схема блока оконечного низкочастотного устройства.

1 — задающий тактовый генератор; 2 — генератор частоты модуляции; 3 — блок формирования импульсов; 4 — блок плавной задержки; 5 — входной согласующий каскад; 6 — входной синхронный ключ; 7 — согласующий усилитель; 8 — синхронный интегратор; 9 — масштабный усилитель; 10 — синхронный детектор; 11 — УПТ; 12 — выходной согласующий каскад.

можно два режима работы импульсного низкочастотного устройства: 1) режим «измерение мощности», 2) «измерение поля».

В первом случае опорный сигнал либо отсутствует (стандартные автоколлимационные измерения), либо не модулируется по амплитуде с частотой модуляции (например, при измерении положения нескольких щитов радиоголографическим методом). В этом режиме блок формирования импульсов вырабатывает пакеты видеоимпульсов (стробов), расположение которых относительно входного сигнала изменяется в течение каждого полупериода частоты модуляции. Если в данный полупериод стробимпульсы в одном канале совпадают по временному положению с входным отраженным сигналом, то в другом канале они расположены в середине периода посылок. В течение следующего полупериода частоты модуляции расположение стробимпульсов изменяется на противоположное. В результате на запоминающих емкостях входных синхронных ключей 6 выделяется противофазное напряжение с частотой модуляции Ω , амплитуда которого пропорциональна мощности входного радиоимпульса. Далее через согласующие усилители 7 сигнал подается на синхронные интеграторы 8, а затем на масштабные усилители 9. Постоянная времени интеграторов $\tau=20$ мс выбрана исходя из максимальной частоты входного интерференционного сигнала. Двухтактный синхронный детектор 10 производит синхронное детектирование усиленного входного сигнала с малым (~ 0.5 мВ) уровнем остаточных пульсаций на частоте модуляции. Усилитель постоянного тока с низким уровнем суммарного дрейфа 11 и выходные каскады 12 обеспечивают согласование с оконечными устройствами (КСП, АЦП, контрольным прибором и т. п.), а также регулировку начальных уровней выходного напряжения. Коэффициент усиления тракта НЧ 20—50 дБ регулируется ступенчато через 3 дБ.

В режиме «измерение поля» опорный сигнал модулируется по амплитуде с частотой модуляции Ω . Выделение спектральной составляющей входного сигнала на частоте модуляции позволяет измерить компоненту интерференционного радиолографического сигнала, пропорциональную произведению диаграммы по полю опорного элемента и главного зеркала радиотелескопа. При этом спектральная составляющая, пропорциональная диаграмме по мощности от главного зеркала, в которой сосредоточена основная часть энергии, но не содержится полезной информации, не регистрируется.

Для реализации этого режима блок формирования импульсов Z переводится в состояние, при котором в одном канале стробимпульсы постоянно совпадают по временному положению с входным сигналом, а в другом они расположены в середине периода посылок. При этом на выходе входного синхронного ключа первого канала будет выделяться напряжение, пропорциональное спектральной составляющей входного сигнала на частоте модуляции Ω , так как низкочастотная составляющая, пропорциональная мощностной диаграмме, подавляется фильтром верхних частот. Согласующие усилители 7 включены по схеме измерительного усилителя с общей отрицательной обратной связью [4]. Выходное напряжение согласующих усилителей 1-го и 2-го каналов имеет противоположную полярность и одинаковую амплитуду. Синфазные напряжения шумов и наводок, проходящие на входы обоих каналов, эффективно подавляются двухканальной схемой НЧ-тракта. Синхронный интегратор, являющийся гребенчатым фильтром, пропускающим частоту модуляции Ω и ее нечетные гармоники, производит дополнительную фильтрацию входного сигнала. Работа остальных элементов схемы не отличается от режима «измерение мощности».

Применение двухканального тракта в схеме импульсной низкой частоты позволило получить высокую помехозащищенность с коэффициентом ослабления синфазной помехи > 80 дБ.

Аппаратура управления и передачи данных (5, рис. 1) состоит из цифрового блока автономного управления юстировочной аппаратурой и перемещением каретки (на которой установлена СВЧ-часть системы), а также блока оцифровки и передачи данных.

Система управления экспериментом и обработки данных (6, рис. 1) построена на базе имеющегося на радиотелескопе двухуровневого вычислительного комплекса [5].

Время, необходимое для проведения одного измерения, 50 с, машинное время, требуемое для обработки и вывода результата эксперимента, около 1.5 мин.

Кроме работы в радиолографическом режиме описанная аппаратура позволяет производить стандартную автоколлимационную юстировку главного зеркала, калибровку эффективных площадей отдельных щитов, привязку фокуса, измерение распределения мощности на апертуре и другие измерения на радиотелескопе РАТАН-600.

Радиолографические измерения, проведенные с помощью описанной аппаратуры [6], подтвердили возможность получения профиля отражающей поверхности главного зеркала радиотелескопа РАТАН-600 с пространственным разрешением 0.9—1.2 м (1.7—2.2 независимых отсчета на один элемент зеркала). Это дало возможность осуществить взаимную привязку отдельных щитов многоэлементного главного зеркала как по радиальной координате, так и по азимуту. Точность привязки взаимного положения элементов по радиальной координате составила 0.05—0.08 мм, точность измерения азимутального разворота 20—30°.

В процессе измерений были выявлены также эффекты, связанные с наличием ошибок поверхности вторичного зеркала. Улучшение поверхности вторичного зеркала позволит повысить эффективность работы радиотелескопа в коротковолновой части рабочего диапазона и является необходимым мероприятием для дальнейшего продвижения в область миллиметровых волн.

Литература

1. Радиотелескоп РАТАН-600 / Хайкин С. Э., Кайдановский Н. Л., Парийский Ю. Н., Есепкина Н. А. // Изв. ГАО. 1972. № 188. С. 3—12.
2. Ходжа мухаммедов Н., Стоцкий А. А., Боровик В. Н. Автоколли-

- мационный метод юстировки и контроля антенны переменного профиля // Радиотехника и электроника, 1900. 15, № 2. С. 257—262.
3. Пинчук Г. А., Стоцкий А. А. Применение радиоголографии для исследования радиотелескопа РАТАН-600 // Астрофиз. исслед. (Изв. САО). 1982. 16. С. 135—145.
 4. Коннели Дж. Аналоговые интегральные схемы. М: Мир, 1977. С. 173.
 5. Двухуровневый аппаратно-программный измерительный комплекс на радиотелескопе РАТАН-600 / В. В. Витковский, Б. Л. Ерухимов, М. Л. Моносов и др. // XVII Всесоюзная конференция «Радиоастрономическая аппаратура»: Тез. докл. Ереван, 1985. С. 23—24.
 6. Синянский В. И., Стоцкий А. А., Хайкин В. Б. Радиоголографические измерения на волне 8.8 мм на радиотелескопе РАТАН-600 // XVIII Всесоюзная астрономическая конференция. «Радиотелескопы и интерферометры»: Тез. докл. Иркутск, 1986. Ч. 1. С. 36—37.

Поступила в редакцию 9 февраля 1987 г.