

УДК 522.2 : 523.164

ДВУХКАНАЛЬНЫЙ РАДИОТЕЛЕСКОП ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ АТМОСФЕРЫ И МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

*В. С. Зборовский, Л. Ф. Ларионова, Б. А. Пригода, Р. А. Самойлов,
Б. К. Федянцев, В. В. Хрулев*

Приведено описание двухканального радиотелескопа на волны $\lambda = 0,8 \text{ см}$ и $\lambda = 1,35 \text{ см}$, предназначенного для исследования параметров атмосферы и морской поверхности методом относительных измерений.

Для исследования радиоизлучения атмосферы и морской поверхности с борта научно-исследовательского судна (НИС) был разработан в НИРФИ двухканальный радиотелескоп на волны $\lambda = 0,8 \text{ см}$ и $\lambda = 1,35 \text{ см}$.

Применяемые ранее методы абсолютной калибровки принимаемого радиоизлучения, основанные на использовании данных аэрометрического зондирования, не позволяют обеспечить высокую точность определения исходных экспериментальных величин: полного вертикального поглощения $\tau_0(\lambda)$ и коэффициента отражения морской поверхности $R(\lambda, \theta, \chi)$ (λ — длина волны, θ — угол падения, χ — позиционный угол, характеризующий поляризацию антенны). Поэтому выбор конструкции двухканального радиотелескопа определялся возможностью применения рассмотренного метода относительных измерений $\tau_0(\lambda)$, $R(\lambda, \theta, \chi)$. Он предусматривает:

1) Применение остронаправленной антенной системы с полушириной диаграммы направленности на уровне половинной мощности $\Delta\theta_{0,5}$ порядка 1° .

2) Экранировку однозеркальной антенны поглощающим экраном, устраняющим непосредственное попадание радиоизлучения фона в диаграмму направленности облучателя.

3) Изменение плоскости поляризации антенны в интервале позиционных углов χ $0—360^\circ$ путем вращения вокруг электрической оси жестко связанной системы «антенна + радиометр», позволяющей сохранить при этом структуру боковых и задних лепестков диаграммы направленности антенной системы. Последние требования позволяют исключить влияние на точность измерения $\tau_0(\lambda)$ и $R(\lambda, \theta, \chi)$ побочных эффектов, связанных с радиоизлучением фона и анизотропией боковых и задних лепестков антенны.

4) Изменения угла места θ и азимута A антенны в интервалах $\Delta\theta = -30^\circ \div +90^\circ$ (с перекидкой через зенит), $\Delta A = 0 \div 360^\circ$ для детального исследования контрастов радиоизлучения атмосферы и морской поверхности. Кроме этого, для проведения наблюдений с борта НИС необходимо обеспечить возможность дистанционного управления работой всего радиотелескопа, а также принять необходимые меры по герметичности и термостабилизации аппаратурного отсека радиотелескопа, в котором размещаются радиометры.

В настоящей работе приводится краткое описание удовлетворяющей отмеченным выше условиям конструкции радиотелескопа, антенной системы, приемной радиометрической аппаратуры и приведены результаты экспериментальной проверки его работы.

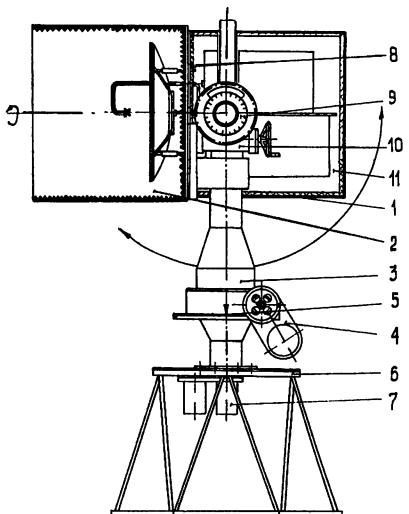


Рис. 1.

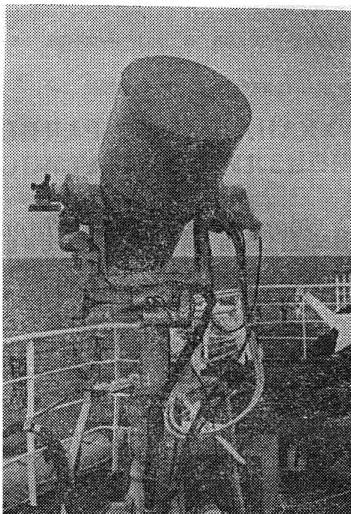


Рис. 2.

Двухканальный радиотелескоп (рис. 1, 2) состоит из дистанционно-управляемого поворотного устройства с установленным на нем контейнером, в котором размещены антенная система и приемная радиометрическая аппаратура (радиометры). Управление работой радиотелескопа осуществляется с помощью выносного пульта (24), расположенного в лабораторном помещении НИС (рис. 3).

1. Поворотное устройство азимутально-высотной монтировки (рис. 1). Его основанием служит рама (6), в которую своей осью вращения вмонтирована вилка (3), несущая контейнер (1). При этом предусмотрена возможность вращения контейнера вокруг электрической оси антенны. Для уменьшения веса радиотелескопа рама, вилка, контейнер и другие элементы выполнены из алюминиевых сплавов. На раме (6) установлены механизмы ручного и дистанционного вращения по азимуту A (4), шкала отсчета (5) и блок сельсин-датчиков (7) для дистанционного отсчета координат. Вилка (3) снабжена механизмами ручного и дистанционного поворота радиотелескопа по углу места θ (10) блоком сельсин-датчиков для дистанционного отсчета координат θ и шкалой непосредственного отсчета. Применение в приводах вращения по A и θ двигателей постоянного тока типа ДПМ позволило при наличии одного двигателя (по каждой координате) и редуктора с постоянным передаточным числом получить необходимые скорости вращения. Поворот антенны вокруг ее электрической оси производится вручную.

2. Контейнер (1) конструктивно выполнен из двух отсеков: антенного (2) и аппаратурного (11), разделенных между собой термоизоляционной перегородкой (8). Антенный отсек внутри покрыт поглощающим материалом типа В2Ф2, имеющим коэффициент отражения по мощности в диапазоне волн 0,8 см—1,35 см не хуже 2%. Это позволило исключить непосредственное попадание радиоизлучения окружающе-

го радиотелескопа в диаграмму направленности облучателей, расположенных в фокусе приемной антенны. Линейные размеры антенного отсека l выбирались из соображений уменьшения величины дифракционного затекания радиоизлучения фона до уровня 2—3% от его величины, т. е.

$$l \simeq \{(\pi/4) \lambda S_A\}^{1/3} \delta^{-1/3},$$

где $\delta = T_d/T_\phi = 0,02 \div 0,03$, T_d — температура радиоизлучения, попадающего на расположенную в антенном отсеке приемную антенну, вследствие дифракционного затекания, T_ϕ — температура радиоизлучения окружающего фона, S_A — эффективная площадь антенны. С передней стороны антенный отсек закрыт радиопрозрачной пленкой.

Аппаратурный отсек контейнера (11), в котором расположены радиометры, представляет собой герметичный, термостабилизированный объем, в котором поддерживается температура +35°C с точностью 0,5°C при колебаниях температуры окружающей среды —20÷+30°C.

3. Антенная система состоит из параболического зеркала диаметром $D=500$ мм с фокусным расстоянием $F=183$ мм и рупорных облучателей на $\lambda=0,8$ см (рис. 1) и $\lambda=1,35$ см. Облучатель на $\lambda=0,8$ см располагается точно в фокусе зеркала, а облучатель на $\lambda=1,35$ сммещен от него на расстояние 9,1 мм. Облучатели с помощью волноводного тракта жестко соединены с радиометрами, расположенными в аппаратурном отсеке контейнера. Для фокусировки антенны предусмотрена система осевого перемещения параболического зеркала относительно неподвижных облучателей. Настройка антенной системы заключается в выборе положения зеркала, соответствующего максимуму выходного сигнала при приеме радиоизлучения Солнца.

4. Приемная радиометрическая аппаратура состоит из двух супергетеродинных радиометров модуляционного типа. Контроль и управление их работой осуществляется с помощью выносного пульта из лабораторного помещения НИС. Радиометры выполнены по одной блок-схеме, которая приведена на рис. 3.

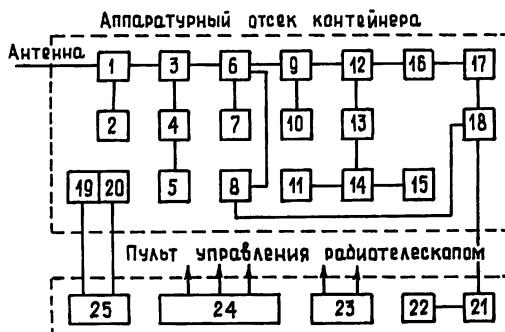


Рис. 3. Блок-схема радиометров на $\lambda=0,8$ см и $\lambda=1,35$ см:

1, 9, 14 — циркуляторы, 2, 7, 10, 11 — опорные нагрузки, 3 — направленный ответитель, 4, 13 — аттенюатор, 5 — генератор шума, 6 — модулятор, 8 — усилитель мощности, 12 — смеситель, 15 — гетеродин, 16 — УПЧ, 17 — квадратичный детектор, 18 — гетеродинный фильтр, 19 — нагревательный элемент, 20 — датчик температуры, 21 — блок управления работой радиометра, 22 — самописец, 23 — блок питания радиометра, 24 — блок управления поворотной системой радиотелескопа, 25 — блок стабилизации температуры аппаратурного отсека.

Модуляция сигнала в радиометрах осуществляется диодными переключателями (6), выполненными на p-n-p-диодах. Модуляторы в режиме пропускания имеют прямые потери 0,3 dB. Эквивалентом в радиометрах служит согласованная нагрузка (2, 7, 10, 11) [1], имеющая температуру термостабилизированного аппаратурного отсека.

Для выравнивания эффективных температур антенны и эквивалента при измерении радиоконтрастов в ВЧ тракт через направленный ответвитель (3) и плавный аттенюатор (4, 13) вводится дополнительная мощность от генератора шума (5), выполненного на газоразрядной лампе ГШ-5. С помощью ГШ в процессе наблюдений производится калибровка аппаратуры без отключения антенной системы. Эффективная температура ГШ предварительно определяется по согласованной нагрузке, находящейся при температуре жидкого азота. Для устранения паразитной модуляции и возможных побочных эффектов, связанных с попаданием части мощности от газоразрядной трубы непосредственно в антенный тракт из-за конечной величины обратной связки направленных ответвителей (3), во входной части радиометра установлены циркуляторы (1, 9). На волне $\lambda=0,8 \text{ см}$ применялись циркуляторы типа 08ЦВ-3, на $\lambda=1,35 \text{ см}$ — ФЦВ1-15. При этом потери волноводного тракта до смесителя в обоих радиометрах составили порядка 0,8 дБ. В радиометрах применен балансный смеситель с однотактным выходом с последовательным включением диодов по постоянному току. Он состоит из свернутого Т-моста (12) [2] и двух смесителей камер на Н-волноводах со смесительными диодами типа 2А121А. Потери преобразования смесителя на $\lambda=0,8 \text{ см}$ — 7 дБ, на $\lambda=1,35 \text{ см}$ — 6,5 дБ. В качестве усилителя промежуточной частоты (УПЧ) (16) используются транзисторные усилители с полосой пропускания 500 МГц и коэффициентом шума 4 дБ. Квадратичный детектор (17) собран на диоде 2А201А. В качестве гетеродина (15) применен генератор на диоде Ганна с выходной мощностью: на $\lambda=0,8 \text{ см}$ — 13 мВт, на $\lambda=1,35 \text{ см}$ — 130 мВт. Низкочастотная часть радиометра представляет собой разработанный в НИРФИ малогабаритный гетеродинный фильтр (18) с выносным пультом управления (21, 22) [3]. Предусмотрена возможность регистрации выходного сигнала как на ленте самописца (КСП-4), так и подключения системы автоматической обработки информации с использованием ЭВМ.

Основные характеристики радиометров приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики радиометра	$\lambda = 0,8 \text{ см}$	$\lambda = 1,35 \text{ см}$
Флуктуационный порог чувствительности при постоянной времени 1 с	0,4 К	0,3 К
Частота модуляции	1 кГц	1 кГц
Полоса пропускания УПЧ	500 МГц	500 МГц
Динамический диапазон	30 дБ	30 дБ
Нестабильность коэффициента усиления за восемь часов работы	2%	2%
Вес радиометра	5 кг	8 кг

5. Проверка работы двухканального радиотелескопа проводилась на борту НИС «Академик Курчатов» в г. Владивостоке в июле 1981 года. Она заключалась в измерении полного вертикального поглощения радиоволн в атмосфере τ_0 на волнах $\lambda=0,8 \text{ см}$ и $\lambda=1,35 \text{ см}$. На рис. 4—6 приведены экспериментальные зависимости $\Delta n(\theta) = [n(\theta) - n(90^\circ)] [n(5^\circ) - n(90^\circ)]^{-1}$ (рис. 4) и образцы соответствующих записей на ленте самописца (рис. 5 на $\lambda=0,8 \text{ см}$, рис. 6 на $\lambda=1,35 \text{ см}$), с помощью которых находились значения τ_0 :

$$\tau_0^{I (II)} = \frac{1}{2} \ln \frac{\Delta n_{I (II)}(\theta_2, \theta_1)}{\Delta n_{I (II)}(\theta_3, \theta_2)}.$$

Индекс I соответствует $\lambda = 1,35 \text{ см}$, индекс II — $\lambda = 0,8 \text{ см}$. Относительная ошибка измерения τ_0 , обусловленная флюктуационным порогом чувствительности радиометров, рассчитывалась по формуле

$$\delta\tau_0 = 24 [\Delta n_{\text{фл}}^{(n)}/\Delta(\Delta n)] (\%)$$

где $\Delta n_{\text{фл}}^{(n)}$ — нормированная ширина флюктуационной дорожки на ленте самописца в миллиметрах, равная $\Delta n_{\text{фл}}/[n(5^\circ) - n(90^\circ)]$:

$$\Delta(\Delta n) = \Delta n_{I \text{ (II)}}(\theta_2, \theta_1) - \Delta n_{I \text{ (II)}}(\theta_3, \theta_2)$$

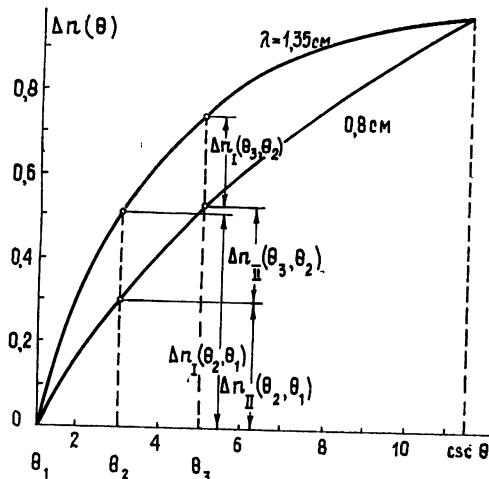


Рис. 4.

В результате измерений получены следующие значения полного вертикального поглощения:

$$\begin{aligned} \text{на } \lambda = 0,8 \text{ см} \quad & \tau_0^{II} = 0,16, \quad \delta\tau_0 = 4\%, \\ \text{на } \lambda = 1,35 \text{ см} \quad & \tau_0^I = 0,4, \quad \delta\tau_0 = 1,5\%. \end{aligned}$$

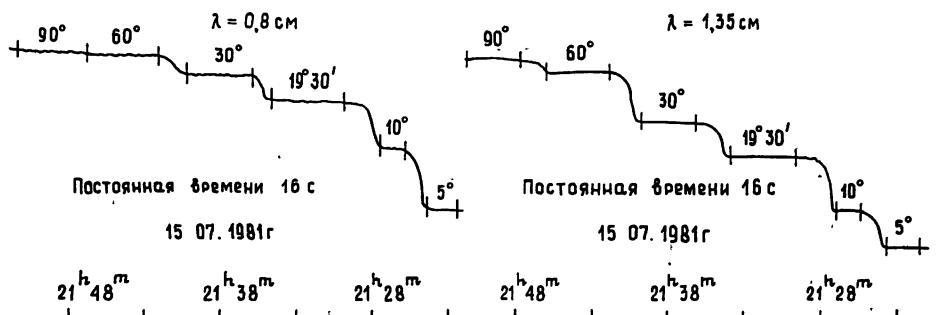


Рис. 5.

Рис. 6

Точность определения τ_0 свидетельствует о том, что разработанный двухканальный радиотелескоп позволяет при заданной чувствительности радиометрической аппаратуры в морских условиях измерять с высокой точностью величину полного вертикального поглощения радиоволн в атмосфере методом относительных измерений, что, в свою очередь, необходимо для детального исследования радиоизлучения морской поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клич С. М. Проектирование СВЧ устройств радиолокационных приемников.— М.: Сов. радио, 1973.
2. Бергер М. Н., Симин Н. С.— Вопросы радиоэлектроники, сер. РТ, 1968, № 4.
3. Зборовский В. С., Самойлов Р. А., Морозова О. К., Федянцев Б. К., Хрулев В. В.— ПТЭ, 1979, № 4.

Научно-исследовательский
радиофизический институт

Поступила в редакцию
12 апреля 1982 г.

TWO-CHANNEL RADIOTELESCOPE FOR THE INVESTIGATION OF THE ATMOSPHERE RADIATION AND THE SEA SURFACE

*V. S. Zborovskij, L. F. Larionova, B. A. Prigoda, R. A. Samoilov,
B. K. Fedyansev, V. V. Khrulev*

The description of two-channel radiotelescope have been given at $\lambda = 0.8$ cm and $\lambda = 1.35$ cm, used for the investigation of the atmosphere parameters and the sea surface by the method of relative observations.

ГЕОМАГНЕТИЗМ И АЭРОНОМИЯ, т. XXII, № 6, 1982 г.

(Продолжение)

Докучаева А. В., Таипов Д. З., Троицкий Б. В. Проявление ионосферных неоднородностей крупных масштабов при возвратно-наклонном зондировании.

Анализируются результаты модельных расчетов времени распространения доплеровского сдвига частоты радиоволн при распространении в различных ионосферных условиях. Рассматривается влияние на сигнал ВНЗ регулярных градиентов и перемещающихся волновых возмущений.

Горбачев О. В., Приходько Л. И., Стародумов А. Н. Ракурсное рассеяние на искусственных неоднородностях с учетом полного внутреннего отражения от ионосферы.

Исследуется конфигурация и ширина зон приема сигналов, рассеянных на искусственных неоднородностях ионосферы, в зависимости от высоты возмущенной области, а также распределение интенсивности по зонам приема. Показано, что за счет смещения области нагрева в область отражения падающих волн можно достичь увеличения плотности энергии рассеянных волн и удвоения ширины зоны приема при ракурсном рассеянии.

Поляков С. В., Рапопорт В. О. Модификация стационарных ионосферных токовых систем при сильных возмущениях ионосферы.

В работе исследованы возмущения стационарных ионосферных токовых систем при локальных высыпаниях частиц из радиационных поясов или при нагреве ионосферы мощным радиоизлучением. Рассмотрены две модели области возмущения: трехмерный эллипсоид с гиротропной проводимостью в однородной гиротропной среде и модель ионосферы в виде токового листа. Решается токостатическая задача и ищется пространственное распределение тока и электрического поля.

(Окончание см. с. 230)