

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ
И ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ**

УДК 551.501:629.195.1

**ТОЧНОСТЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОЯРКОСТИ
ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ НАБЛЮДЕНИЯХ С ПОМОЩЬЮ АНТЕННЫ
ТИПА КРЕСТ МИЛЛСА**

Д. В. Шанников

Современные требования оптимального использования ресурсов Земли обуславливают необходимость широкого внедрения дистанционных методов ее исследования [1] с самолетов и ИСЗ. При достаточном удалении летательного аппарата от поверхности Земли основной проблемой становится обеспечение приемлемой разрешающей способности применяемых антенн. Ее решение может быть найдено в использовании апертурного синтеза, как это делается в радиоастрономии.

В настоящей работе рассмотрена возможность использования корреляционной антенны типа крест Миллса для исследования распределения радиояркой температуры поверхности Земли.

1. **Основные соотношения.** Рассмотрим две взаимно-перпендикулярные линейные антенные системы, имеющие диаграммы направленности $F_1(\alpha, \beta)$ и $F_2(\alpha, \beta)$ и соответственно эффективные поверхности S_1 и S_2 . Размеры антенн выбираются таким образом, чтобы ширина диаграммы первой антенны была мала по углу α , а второй — по β . Если сигналы, принимаемые антеннами, перемножить, а результат перемножения усреднить, то результирующая корреляционная диаграмма направленности будет иметь вид [2]

$$F_K = F_1 F_2^* \quad (1)$$

За счет выбора фазовой задержки в тракте одной из антенн можно сформировать корреляционную диаграмму, симметричную относительно направления главного максимума.

Для снижения уровня первых боковых лепестков корреляционной диаграммы следует сближать фазовые центры первой и второй антенн. Это приводит к необходимости пересечения антенн, т. е. к образованию промежутка в одной из них, и, следовательно, появлению затянутого бокового лепестка в диаграмме направленности антенны. В корреляционной диаграмме при этом появляется протяженный отрицательный боковой лепесток.

Если учесть, что интеграл от корреляционной диаграммы равен нулю [2], то стремление уменьшить ее боковые лепестки неизбежно приводит к необходимости «размазывания» их в большом секторе углов, причем желательно, чтобы все боковые лепестки были отрицательными, так как в этом случае в главном максимуме будет сосредоточена максимальная доля «корреляционной» мощности (очевидно, равная половине).

Перейдем к рассмотрению возможности определения радиояркой температуры T_π поверхности при помощи корреляционной системы. Абсолютное значение T_π корреляционная система не может зафиксировать, фиксируется только отклонение измеряемой величины от некоторого среднего уровня.

Для оценки точности измерения этого отклонения необходимо задаться статистической моделью радиояркого рельефа поверхности. Будем считать, что функция корреляции распределения радиояркой температуры имеет вид [3]

$$R_T = \sigma_T^2 \exp\left(-\sqrt{\tau_1^2 + \tau_2^2}/c\right), \quad (2)$$

где σ_T — среднеквадратичное отклонение радиояркой температуры от среднего уровня, c — радиус корреляции, τ_1 , τ_2 — направляющие косинусы.

Соответствие используемой зависимости реальной ситуации было подтверждено результатами обработки распределений радиояркой температуры, полученных при помощи самолетной сканирующей радиометрической системы сантиметрового диапазона [4].

Значение выходного сигнала корреляционной системы определяется антенной температурой, связанной с яркостью известным соотношением [2]:

$$T_K = S \iint T_A(l, m) F_K(l, m) dldm, \quad (3)$$

где F_K — корреляционная диаграмма, $l = \cos \alpha$, $m = \cos \beta$.

В задачу настоящей работы входит определение точности восстановления T_A по определенной экспериментально T_K . Очевидно, что точность определяется излучением, принятым корреляционной системой по боковым лепесткам ее диаграммы направленности. Разобьем корреляционную диаграмму на две части: главный максимум и боковые лепестки,

$$F_K = F_{г.л.} + F_{б.л.}, \quad (4)$$

таким образом, чтобы $F_{г.л.} = 0$ вне главного максимума и $F_{б.л.} = 0$ в пределах главного максимума. Тогда ошибка в определении яркостной температуры будет связана со среднеквадратичным отклонением доли антенной температуры, определяемой излучением, принятым по боковым лепесткам. Искомая величина определяется как интеграл от произведения корреляционных функций исследуемого процесса и диаграммы направленности системы [5]:

$$\sigma_{б.л.} = \sigma_T \left[\iint R_{б.л.}(\tau_1, \tau_2) \exp\left(-\frac{\sqrt{\tau_1^2 + \tau_2^2}}{c}\right) d\tau_1 d\tau_2 \right]^{1,2}. \quad (5)$$

В этом выражении $R_{б.л.}$ есть функция корреляции той части диаграммы, которая связана с боковыми лепестками:

$$R_{б.л.}(\tau_1, \tau_2) = S^2 \iint F_{б.л.}(l-\tau_1, m-\tau_2) F_{б.л.}(l, m) dldm. \quad (6)$$

При исследовании статистически однородной поверхности приращение антенной температуры, связанное с приемом сигнала по главному максимуму, можно охарактеризовать величиной

$$\Delta T = \sigma_T S \iint F_{г.л.}(l, m) dldm, \quad (7)$$

а относительную точность определения этой величины

$$\delta = \sigma_{б.л.} / \Delta T. \quad (8)$$

2. Определение δ . Для качественного анализа работы корреляционной системы рассмотрим идеализированные диаграммы линейных антенн, не имеющие боковых лепестков. Пусть антенны, из которых состоит система, имеют одинаковые размеры. Их диаграммы представляют собой П-образные функции с основанием $2a \times 2b$.

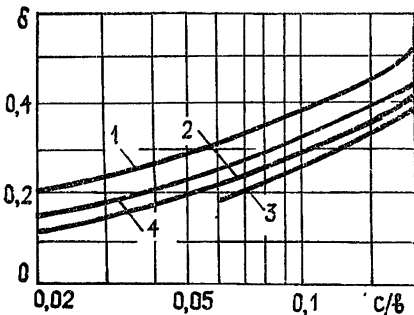


Рис. 1.

Рис. 1. Зависимость δ от отношения радиуса корреляции c к полуширине отрицательного бокового лепестка корреляционной диаграммы:

1 — спадающее распределение поля по апертурам антенн; 2 — аппроксимация диаграммы П-образной функцией $a/b = 0,01$; 3 — то же, $a/b = 0,1$; 4 — приближенная зависимость.

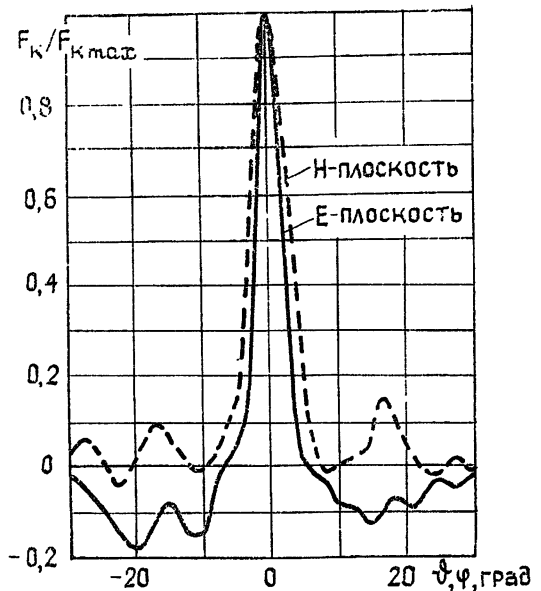


Рис. 2.

Рис. 2. Корреляционная диаграмма направленности.

Корреляционная функция диаграммы в этом случае имеет вид произведения

$$R_{\delta \pi}(\tau_1, \tau_2) = S^2 R_1(\tau_1) R_2(\tau_2). \quad (9)$$

Подстановка $R_{\delta \pi}(\tau_1, \tau_2)$ в (8) позволяет найти δ . Основная трудность, возникающая при вычислении интеграла в (8), заключается в том, что переменные τ_1 и τ_2 не разделяются из-за вида функции корреляции яркостной температуры.

В том случае, когда $c \gg a$, можно записать приближенный результат

$$\delta = \sqrt{c/b}. \quad (10)$$

На рис. 1 приведены результаты численного интегрирования для двух отношений a/b : 0,1 и 0,01. Путем численного интегрирования было найдено значение δ для косинусного и треугольного распределения поля по раскрытым антенн корреляционной системы. Отношение ширины линейных антенн к их длине было принято равным 0,15. Результаты расчетов для указанных амплитудных распределений практически совпали. Они приведены также на рис. 1.

Сопоставление полученных результатов показывает, что корреляционная система в случае достаточно низкого уровня боковых лепестков (ниже — 20 дБ для диаграмм антенн корреляционной системы) позволяет измерить отклонение яркостной температуры от среднего значения с относительной точностью порядка 15%, т. е. иметь около пяти градаций радиояркостной температуры. Этот вывод справедлив для статистически однородной поверхности при угловом радиусе корреляции распределения радиояркостности, составляющем несколько ширин диаграммы направленности корреляционной системы.

3. Экспериментальная проверка. Для проверки возможности исследования распределения радиояркостных температур корреляционным методом была создана радиометрическая система, состоящая из двух волноводно-щелевых линеек, соединенных при помощи фазового модулятора, радиометра, поворотной стойки и регистрирующего самописца. Система работала в сантиметровом диапазоне.

На рис. 2 приведены измеренные корреляционные диаграммы в двух взаимноперпендикулярных плоскостях.

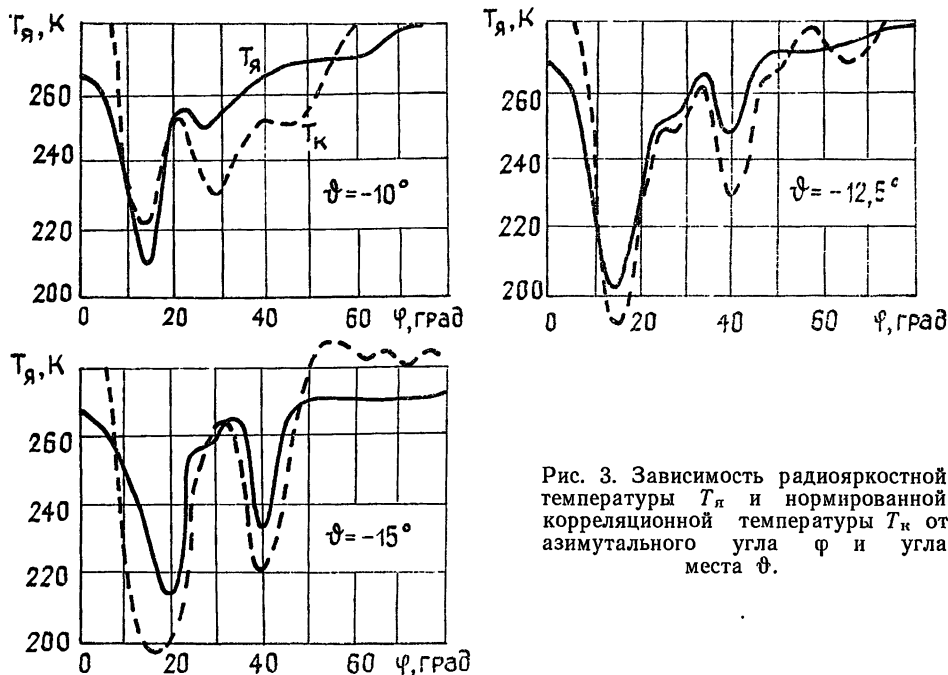


Рис. 3. Зависимость радиояркостной температуры $T_{я}$ и нормированной корреляционной температуры $T_{к}$ от азимутального угла φ и угла места θ .

В качестве исследуемого был выбран участок земной поверхности, покрытый травой, на котором хаотически располагались металлические листы. Истинное распределение радиояркостности было получено при помощи рупорно-линзовой антенны с низким уровнем боковых лепестков (коэффициент рассеяния по главному максимуму не более 5%). На рис. 3 приведены угловые распределения радиояркостности, а также зависимости, полученные при помощи корреляционной системы. Качественно характеристики совпадают. Имеющиеся отклонения могут быть объяснены недостаточной протяженностью отрицательной области корреляционной диаграммы.

Выводы. Теоретически и экспериментально показана возможность исследования распределения радиояркостной температуры земной поверхности при помощи корреляционной системы. Для увеличения точности определения $T_{я}$ необходимо увеличивать ширину области, приходящейся на отрицательный лепесток корреляционной

диаграммы при соответствующем снижении его уровня, чего можно достичь, добавляя до фазового модулятора некоторую часть сигнала от целой линии креста к сигналу от второй его части [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Башаринов А. Е., Гурвич А. С., Егоров С. Т. Радионизлучение Земли как планеты. — М.: Наука, 1974. — 187 с.
2. Христиансен У. Н., Хёгбом И. А. Радиотелескопы. — М.: Мир, 1972. — 238 с.
3. Шутко А. М. Труды межведомственного совещания «Статистические методы обработки данных дистанционного зондирования окружающей среды». — М., 1983, с. 39.
4. Рабинович Ю. И., Шанников Д. В. — Межвуз. сб.: Рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды. — Л., 1983, вып. 6, с. 46.
5. Бендат Дж., Пирсол А. Применения корреляционного и спектрального анализа. — М.: Мир, 1983. — 312 с.

Ленинградский политехнический институт

Поступила в редакцию
24 декабря 1985 г.

УДК 535.337+621.317

СВЕТОВЫЕ СДВИГИ ^{87}Rb ПРИ ЛАЗЕРНОЙ НАКАЧКЕ

Л. А. Будкин, А. А. Ляляскин, М. Н. Пененков, А. И. Пихтелев,
С. Л. Пузанов, С. И. Селиванов

В рубидиевых стандартах частоты для создания инверсной разности населенностей используется оптическая накачка, источником которой служит спектральная лампа [1]. Ряд работ [2-4] посвящен проблеме использования полупроводникового лазера в качестве источника оптической накачки. Однако вопрос о зависимости характеристик стандартов частоты от параметров накачки еще недостаточно изучен как экспериментально, так и теоретически. В данной работе сообщается об осуществлении лазерной накачки на D_1 -линии атома ^{87}Rb и наблюдении световых сдвигов частоты.

1. Эксперимент

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. В качестве источника оптической накачки использовался полупроводниковый GaAlAs лазер с длиной волны $\lambda \sim 8000 \text{ \AA}$ и мощностью 3 мВт. Лазер находился в термостатируемом объеме; температура его тепловода поддерживалась постоянной с точностью $5 \cdot 10^{-3} \text{ К}$ за 10 секунд. Излучение лазера формировалось в параллельный пучок и направлялось в СВЧ резонатор, где находилась ячейка поглощения, наполненная парами ^{87}Rb и буферным газом Ag при полном давлении 1 Тор. Температура в ячейке поддерживалась на уровне 337 К с точностью 0,1 К. В резонатор подавался частотно-модулированный СВЧ сигнал с центральной частотой 6,834 ГГц. Плотность мощности лазерного излучения, возбуждавшего атомы Rb (рис. 2), составляла на входе в ячейку поглощения 80 мВт/см^2 . При совместном воздействии лазерного и СВЧ излучений образуется сигнал ДРОР, который регистрируется фотодетектором. По нему осуществляется стабилизация частоты кварцевого генератора. Измерения световых сдвигов проводились по традиционной схеме [1].

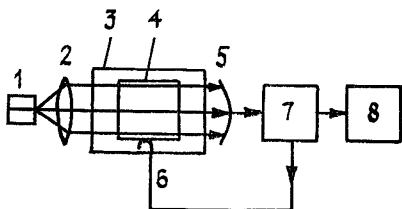


Рис. 1.

Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1 — лазер; 2 — объектив; 3 — СВЧ резонатор; 4 — ячейка с ^{87}Rb ; 5 — фотодетектор; 6 — вход СВЧ мощности; 7 — система АПЧ кварцевого генератора; 8 — измерительная система.

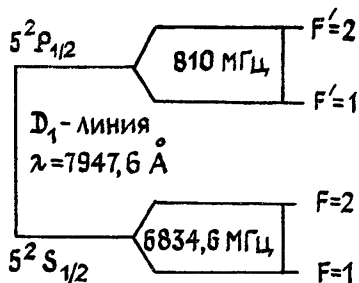


Рис. 2.

Рис. 2. Схема низших энергетических уровней атома ^{87}Rb .