

Оценка возможности поляриметрических измерений радиошумового излучения осадков СВЧ радиометрической системой с компенсацией фоновых шумов

И.Н.Ростокин¹, Е.В.Федосеева¹, Г.Г.Щукин²

¹Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

602264, г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, 23 E-mail: elenafedoseeva@yandex.ru

² Военно-космическая академия им. А.Ф.Можайского

197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д.13, E-mail: ggshchukin@mail.ru

Приведены результаты поляриметрических измерений радиошумового излучения дождя СВЧ радиометрической системой с компенсацией фоновых шумов и показана возможность оценки поляризационных свойств дождя при различных углах места.

The results of polarimetric measurements of radio noise emission rain microwave radiometric system to compensate for background noise and the possibility of evaluating the polarization properties of rain at various elevations.

Введение

СВЧ радиометрические системы предоставляют возможности для дистанционного зондирования атмосферы и оценки ее метеопараметров по результатам измерений собственного радиошумового излучения. При наличии в исследуемой области атмосферы зон дождя дополнительная информация может быть получена при осуществлении поляриметрических измерений.

При приеме СВЧ радиометрической системой радиошумового излучения атмосферы на ортогональных линейных поляризациях: вертикальной и горизонтальной, измеряются суммарная интенсивность излучения и разность интенсивностей на двух поляризациях - поляризационный контраст. Величина поляризационного контраста зависит от размеров и ориентации капель дождя, поэтому является косвенной характеристикой интенсивности дождя [1-3], что повышает информативность радиометрических исследований атмосферы.

Для исследования пространственной структуры метеообразований в атмосфере требуются данные угловых разрезов – измерений при разных углах места [4]. Но выполнение измерений при разных углах места сопровождается изменением величины помехового вклада фонового шума, создаваемого окружающим пространством и принимаемого через область рассеяния диаграммы направленности антенны. Поэтому задача построения угловых разрезов должна решаться совместно с задачей исключения влияния на результаты СВЧ радиометрических измерений атмосферы изменяющегося помехового вклада фоновых шумов. Один из способов решения указанной задачи – компенсация помехового действия фоновых шумов на основе двухканального приема при формировании сигнала компенсации в дополнительном входном канале СВЧ радиометрической системы [5-6].

Реализация специально организованного двухканального приема в СВЧ радиометрической системе с компенсацией фоновых шумов основана на использовании свойств двухмодового режима с разделением сигналов в антенном устройстве на основе круглого волновода. Условия распространения волн в круглом волноводе позволяют осуществлять прием на ортогональных линейных поляризациях, что определяет возможность применения СВЧ радиометрических систем с компенсацией фоновых шумов в поляриметрических исследованиях атмосферы.

Условия реализации поляризационных измерений в СВЧ радиометрической системе с компенсацией фоновых шумов

В работах [5-7] предложен метод компенсации фоновых шумов и его системная реализация на основе двухканального приема со специальной функцией направленности дополнительного канала при выполнении процедуры нахождения разности выходных сигналов в модуляционном радиометре. В системе осуществляется одновременный прием двух радиозумовых сигналов при формировании на приемной апертуре антенны двух диаграмм направленности (ДН) при работе входного устройства антенны на двух модах H_{11} и E_{01} круглого волновода с последующим разделением сигналов в специально разработанном модовом разделителе [5]. Модовый разделитель выполнен на основе круглого волновода, к которому подключены два прямоугольных волновода, представляющие собой выходы антенны, в первом – основном измерительном антенном канале (A1) осуществляется прием на волне H_{11} , а во втором - дополнительном антенном канале (A2) – на волне E_{01} (рис.1).

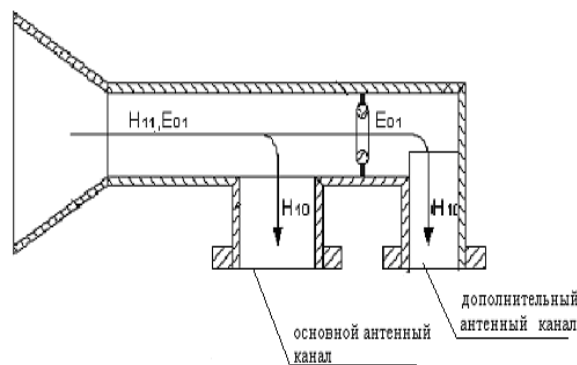


Рис. 1. Двухканальная антенна с модовым разделителем

В приемном волноводе круглого сечения двухканальной антенны могут распространяться волны основной моды H_{11} произвольной линейной поляризации, поэтому возможно формирование двух сигналов на ортогональных линейных поляризациях - горизонтальной и вертикальной. Для этого в модовом разделителе предусматриваются два выхода (прямоугольные волноводы) в сечении выхода основного антенного канала, расположенные под углом 90° друг к другу. Аналогичное исполнение поляризационного разделения входных сигналов используется в поляризационных селекторах на основе круглого волновода [8, 9].

Схема СВЧ радиометрической системы с компенсацией фоновых помех с поляризационной селекцией входного радиозумового излучения представлена на рис. 2.

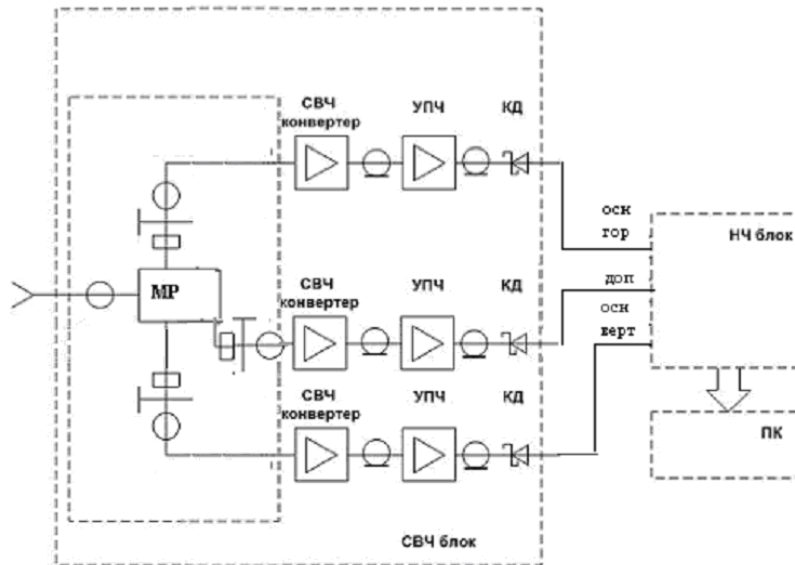


Рис. 2. СВЧ радиометрическая система с компенсацией фоновых шумов с поляризационной селекцией входных сигналов

На рис. 2. в схеме введены следующие обозначения: МР – модовый разделитель; УПЧ - усилитель промежуточной частоты; КД - квадратичный детектор; НЧ блок - блок низкочастотного усиления и аналогово-цифрового преобразования; ПК - персональный компьютер для сбора, хранения и обработки данных.

На вход НЧ блока поступают три входных сигнала, которые при условии абсолютной поляризационной развязки каналов и изотропности радиошумового излучения, принимаемого из области рассеяния ДН основного антенного канала соответственно равны

- выходной сигнал основного канала при приеме на горизонтальной поляризации

$$U_{оскгор} \sim k(T_{глгор}(1-\beta)\eta + T_{бок}\beta\eta + T_0(1-\eta)) + T_{шпр}, \quad (1)$$

- выходной сигнал основного канала при приеме на вертикальной поляризации

$$U_{оскверт} \sim k(T_{глверт}(1-\beta)\eta + T_{бок}\beta\eta + T_0(1-\eta)) + T_{шпр}, \quad (2)$$

- выходной сигнал дополнительного канала

$$U_{доп} \sim k(T_{бок}\beta\eta + T_0(1-\eta)) + T_{шпр}, \quad (3)$$

На выходе НЧ блока формируются два разностных сигнала

$$U_{выхгор} = U_{оскгор} - U_{доп} \sim kT_{глгор}(1-\beta)\eta, \quad (4)$$

$$U_{выхверт} = U_{оскверт} - U_{доп} \sim kT_{глверт}(1-\beta)\eta, \quad (5)$$

где β – коэффициент рассеяния антенны;

$T_{гл}, T_{бок}$ – радиояркая температура среды соответственно в области главного лепестка и в области рассеяния ДН;

η - КПД антенны;

T_0 - термодинамическая температура антенны;

$T_{шпр}$ - шумовая температура радиометра;

k – коэффициент передачи радиометра входных сигналов антенны.

Согласно выражениям (4) и (5) при абсолютном выполнении требований к поляризационной развязке каналов и к направленным свойствам дополнительного антенного канала в выходных сигналах радиометрической системы отсутствуют составляющие,

обусловленные собственными шумами радиометра и приемом фонового шума через область рассеяния ДН антенны.

Поляризационные измерения ради шумового излучения осадков СВЧ радиометрической системой с компенсацией фоновых шумов

Для оценки поляризационных свойств СВЧ радиометрической системы с компенсацией фоновых шумов были выполнены поляризационные измерения ради шумового излучения атмосферы в условиях выпадения осадков.

На рис. 3 приведены временные записи выходных сигналов двух основных и дополнительного канала СВЧ радиометрической системы при измерении интенсивности ради шумового излучения дождя малой интенсивности продолжительностью около семи часов. Изменение интенсивности дождя во времени сопровождается изменением соотношения уровней выходных сигналов основных каналов, осуществляющих прием сигнала на горизонтальной и вертикальной поляризации. В качестве численной оценки соотношения уровня этих сигналов был принят коэффициент поляризации равный

$$k_{пол} = \frac{U_{выхгор} - U_{выхверт}}{U_{выхгор} + U_{выхверт}}, \quad (6)$$

где $U_{выхгор}$ и $U_{выхверт}$ – определяются согласно выражениям (4) и (5).

На рис. 4 показана временная зависимость коэффициента поляризации ради шумового излучения дождя малой интенсивности 1 – 2 мм/час и большой продолжительности. Согласно рис. 4 величина коэффициента поляризации не превышает 1.1% на протяжении всего времени его выпадения.

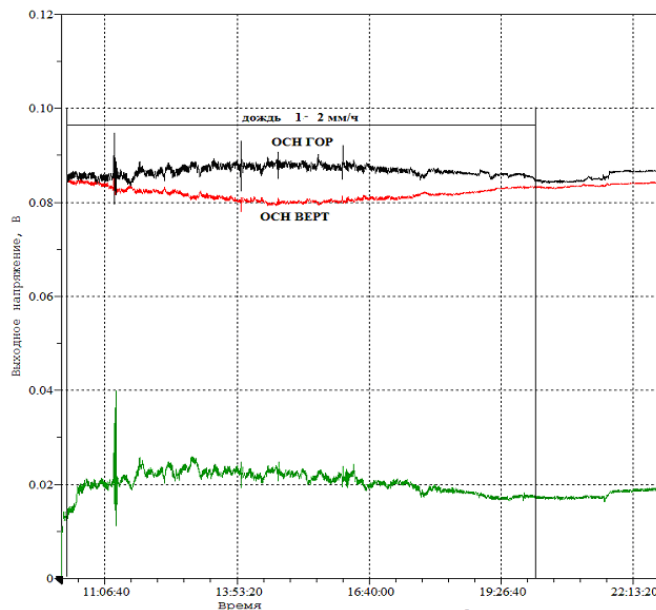


Рис. 3. Временные зависимости выходных сигналов СВЧ радиометрической системы при измерении ради шумового излучения дождя

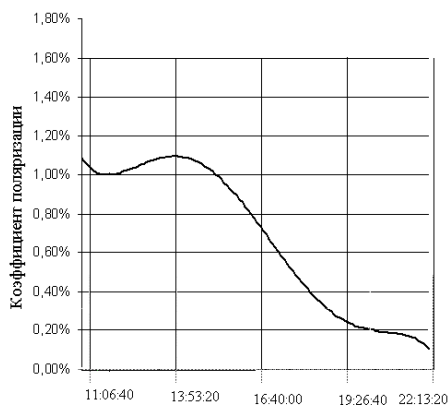


Рис. 4. Временная зависимость коэффициента поляризации радиозумового излучения дождя

Для оценки возможности одновременного решения задач выполнения поляризационных измерений радиозумового излучения и получения угловых разрезов атмосферы были проведены поляризационные измерения радиозумового излучения малооблачной атмосферы при углах места 10° , 30° и 50° в условиях искусственного дождя (интенсивностью 3мм/час). На рис. 5 - 7 представлены временные зависимости выходных сигналов.

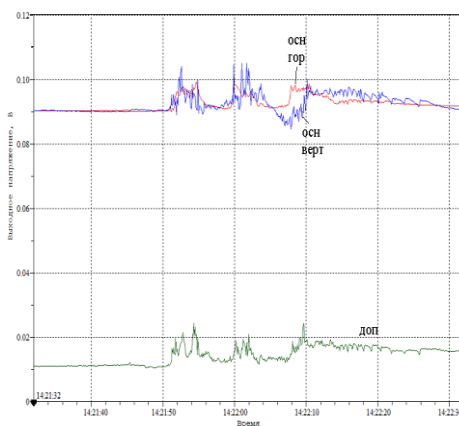


Рис. 5. Временные зависимости выходных сигналов СВЧ радиометрической системы при зондировании атмосферы в условиях искусственного дождя при угле места 10°

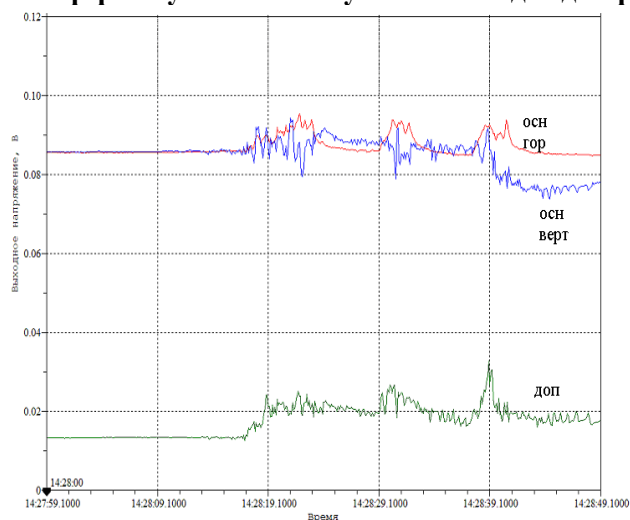


Рис. 6. Временные зависимости выходных сигналов СВЧ радиометрической системы при зондировании атмосферы в условиях искусственного дождя при угле места 30°

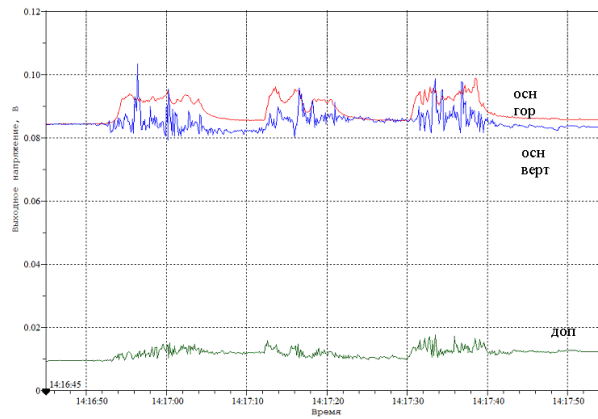


Рис. 7. Временные зависимости выходных сигналов СВЧ радиометрической системы при зондировании атмосферы в условиях искусственного дождя при угле места 50°

По результатам измерений были выполнены оценки коэффициента поляризации принимаемого излучения. Данные по средним значениям коэффициента поляризации при трех углах высоты без компенсации фоновых шумов (1) и при выполнении компенсации (2) приведены на рис. 8.

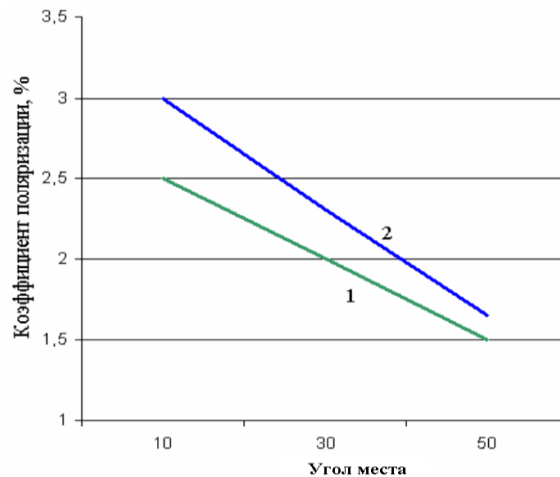


Рис. 8. Зависимость коэффициента поляризации радиозумового излучения атмосферы в условиях искусственного дождя: 1 – без компенсации влияния фоновых шумов; 2 – при введении компенсации влияния фоновых шумов

Согласно данным рис. 8 влияние фонового шума проявляется в занижении наблюдаемых значений коэффициента поляризации, особенно при малых углах высоты. Так погрешность измерения коэффициента поляризации при угле места 10° составляет по абсолютной величине 0,5%, что соответствует 16% относительной погрешности оценки.

Для анализа чувствительности СВЧ радиометрической системы с поляризационной селекцией к изменению параметров дождя проводились измерения при различной его интенсивности. Так на рис. 9 приведены временные зависимости выходных сигналов системы при интенсивности искусственного дождя 1 мм/час и 3 мм/час для угла места 50° .

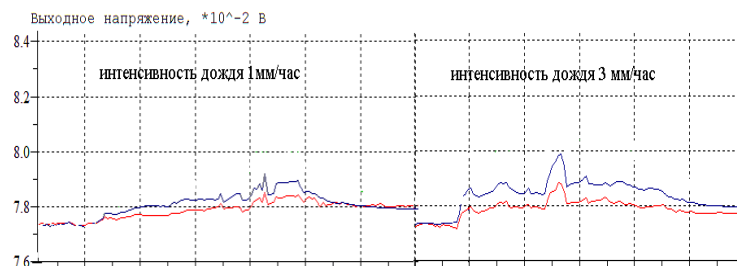


Рис. 9. Временные зависимости выходного сигнала СВЧ радиометрической системы при зондировании атмосферы в условиях искусственного дождя

Согласно данным рис. 9 коэффициент поляризации возрастает при увеличении интенсивности дождя с 0.5% (для 1 мм/час) до 1% (при 3мм/час), что хорошо согласуется с ранее опубликованными данными [1, 2].

Заключение

Выполненные измерения радиошумового излучения дождя показали принципиальную возможность реализации поляризационных исследований при одновременной компенсации влияния фоновых шумов. Результаты поляризационных измерений радиошумового излучения атмосферы в условиях искусственного дождя в широком диапазоне углов места позволяют рассматривать предложенные схемотехнические и методологические решения для СВЧ радиометрических систем с компенсацией фоновых шумов как перспективное направление совершенствования технического обеспечения радиометрических исследований атмосферы.

Работа выполнена при поддержке РФФИ грантов №14-02-97507 p_центр_a и №14-02-97510 p_центр_a.

Литература

1. Поляризация радиоволн. Книга 2. Радиолокационная поляриметрия. /А. И. Козлов, А. И. Логвин, В. А. Сарычев. - М.: Радиотехника, 2007. – 640 с.
2. Кутуза Б.Г. Измерение поляризации радиоизлучения атмосферы во время дождя на волне 2,25 см.- Радиофизические исследования атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1977.
3. A.Battaglia, P.Saavedra, C.Simmer, T. Rose Rain Observations by a Multifrequency Dual-Polarized Radiometer / IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol. 6, No.2, April 2009. pp. 354-358.
4. A.Battaglia, C.P.Davis, C.Emde, C.Simmer Microwave radiative transfer intercomparison study for 3-D dichotic media/ Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer 105, 2007, pp. 55-67.
5. Патент на изобретение №2300831 Способ снижения уровня шума антенны и двухмодовая апертурная антенна. // Федосеева Е.В., Росточкина Е.А., Росточкин И.Н. Опубл.: 10.06.2007 Бюл. №16.
6. Патент на полезную модель №98820. Радиометрическая система с компенсацией внешних помех и нестабильности коэффициента передачи системы. Федосеева Е.В., Росточкин И.Н., Ечин П.А. Опубл.: 27.10.2010 Бюл. №30.
7. Федосеева Е.В., Щукин Г.Г., Росточкин И.Н., Росточкина Е.А. Компенсация помех в работе СВЧ радиометрических систем // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2014. – №1. – С.50 – 62
8. Модель А.М. Фильтры СВЧ в радиорелейных системах – М.:Связь, 1967. – 372 с.
9. Поляризационный селектор - Патент Японии, №63 – 19089, Кл. Н 01 Р 1/161, 1988.