

Исследование эффективности компенсации влияния фоновых шумов в трехдиапазонной СВЧ радиометрической системе по результатам угломестных измерений радиотеплового излучения атмосферы

Е.В.Федосеева¹, И.Н.Ростокин¹, 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, д. 23, e-mail: elenafedoseeva@yandex.ru

²Военно-космическая академия им. А.Ф.Можайского, 197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13, e-mail: gshchukin@mail.ru

Приведены результаты измерений радиотеплового излучения облачной атмосферы трехдиапазонной СВЧ радиометрической системой с компенсацией фоновых шумов при различных условиях формирования фонового излучения и показана возможность снижения влияния фоновых шумов на результаты угломестных измерений атмосферы.

The results of measurements of radio thermal radiation of cloudy atmosphere-band microwave radiometric system with compensation of background noise under various conditions of formation of the microwave background radiation and the possibility of reducing the influence of background noise on the results pomestnyh measurements of the atmosphere

Введение

Современным направлением решения задач оценки состояния атмосферы по результатам дистанционных измерений является построение пространственных моделей распределения метеопараметров, что предполагает выполнение пространственных измерений при разных углах высоты и азимута, т.е. переход к варианту томографических исследований [1].

В случае пассивных радиолокационных измерений радиотеплового излучения атмосферы изменение условий приема – смена угла места или изменение местоположения СВЧ радиометрического комплекса может привести к недетерминированным изменениям вклада фонового шума, создаваемого окружающим пространством, и окончательно к ошибкам оценки метеопараметров при решении обратных задач по данным СВЧ радиометрических измерений [2]. Поэтому при разработке СВЧ радиометрической аппаратуры необходимо обеспечить независимость результатов СВЧ радиометрических измерений от внешних условий, т.е. исключить влияние фоновых шумов.

Один из способов решения указанной задачи – выполнение системной компенсации помехового действия фоновых шумов при реализации двухканального приема с формированием сигнала компенсации в дополнительном входном канале СВЧ радиометрической системы при организации приема входного шумового сигнала в двухмодовом режиме круглого волновода с разделением сигналов мод в модовом разделителе [3–5].

Для повышения информативности СВЧ радиометрической системы переходят к выполнению измерений в нескольких частотных диапазонах, при этом компенсация влияния фоновых шумов большее значение имеет для длинноволновых каналов, где соотношение размеров антенн и длин волн в практически реализуемых антеннах уменьшается и возрастает относительный вклад фоновых шумов. Так в [6] описана трехдиапазонная СВЧ радиометрическая система с выполнением приема радиотеплового излучения атмосферы на общую апертуру антенны с формированием дополнительных сигналов компенсации в двух длинноволновых диапазонах.

В данной работе анализируется возможность применения данной системы для решения задач пространственной оценки метеопараметров атмосферы на основе измерения радиотеплового излучения в трех частотных диапазонах при выполнении угломестных разрезов при изменении свойств окружающего фона.

Вопросы технической реализации угломестных измерений радиотеплового излучения атмосферы

Для оценки возможности получения пространственных данных дистанционного зондирования атмосферы были выполнены угломестные измерения радиотеплового излучения атмосферы трехдиапазонной СВЧ радиометрической системой с компенсацией влияния фоновых шумов, схема которой представлена на рис. 1.

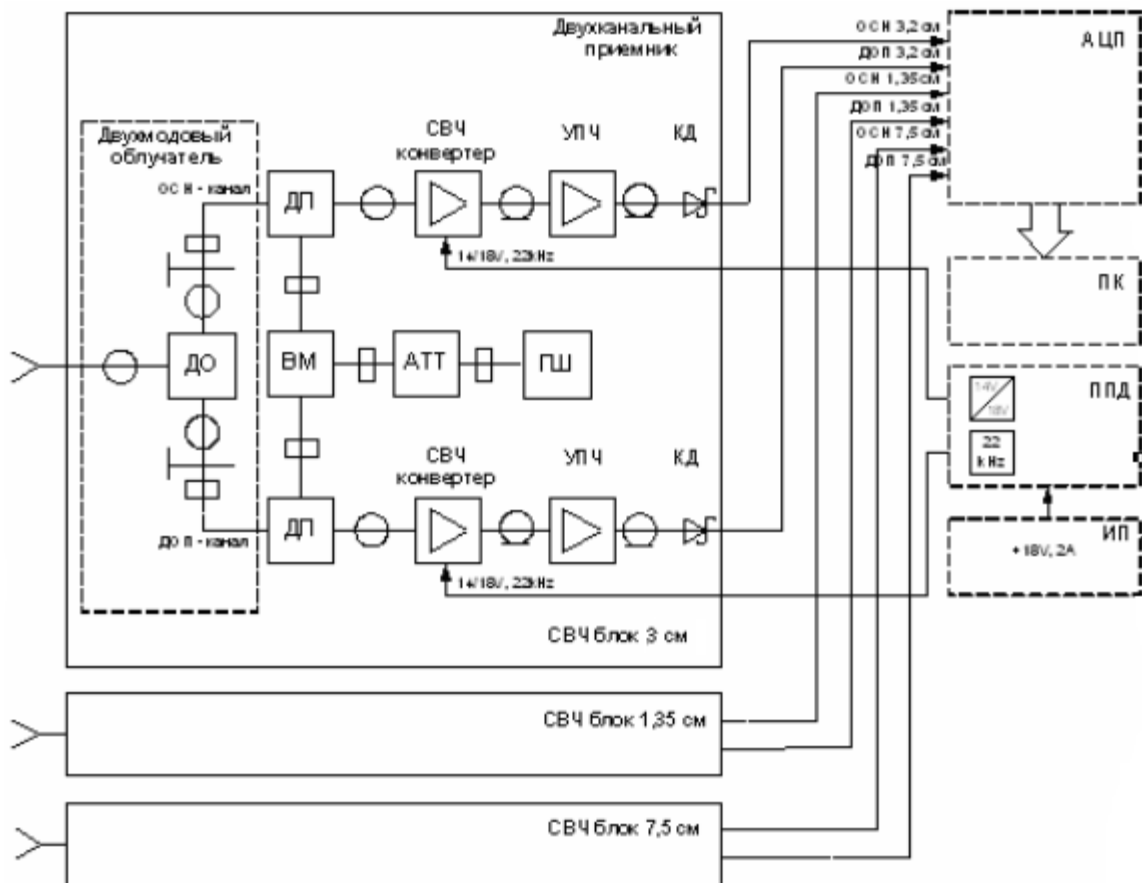


Рис. 1. Структурная схема трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы с компенсацией влияния фонового шума

В схеме (рис.1) введены следующие обозначения: ДО – двухмодовый облучатель на основе модового разделителя; УПЧ - усилитель промежуточной частоты; КД - квадратичный детектор; АЦП – многоканальный аналогово-цифровой преобразователь; ППД – блок переключения поляризации и диапазона; ПК - персональный компьютер для сбора, хранения и обработки данных. Процедура калибровки СВЧ радиометров каждого частотного диапазона производится путем подачи калибровочного уровня ($T_{\text{КАЛ}} = 400 \text{ }^\circ\text{K}$) шумового сигнала от ГШ через плавный аттенуатор АТТ ($L_{\text{АТТ}} = 0 \dots 30 \text{ дБ}$), волноводный мост ВМ и делитель поляризации ДП на вход СВЧ приемника, при приеме вертикальной поляризации, в то время как прием радиотеплового излучения от двухканальной антенны производится на горизонтальной поляризации.

В данной системе для каждого частотного диапазона предусмотрен двухканальный прием со специальной функцией направленности дополнительного канала при выполнении процедуры нахождения разности выходных сигналов.

На вход НЧ блока от СВЧ блоков каждого частотного диапазона поступают сигналы основного и дополнительного каналов, которые при условии абсолютной адекватности условий приема по основному и дополнительному антенным каналам из области рассеяния ДН антенны равны

- выходной сигнал основного канала

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

- выходной сигнал дополнительного канала

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

На выходе НЧ блока каждого частотного диапазона формируется разностный сигнал системы

$$U_{вых} = U_{осн} - U_{доп} \sim kT_{эл}(1-\beta)\eta, \quad (3)$$

где β – коэффициент рассеяния антенны;

$T_{эл}, T_{бок}$ – радиояркостная 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.

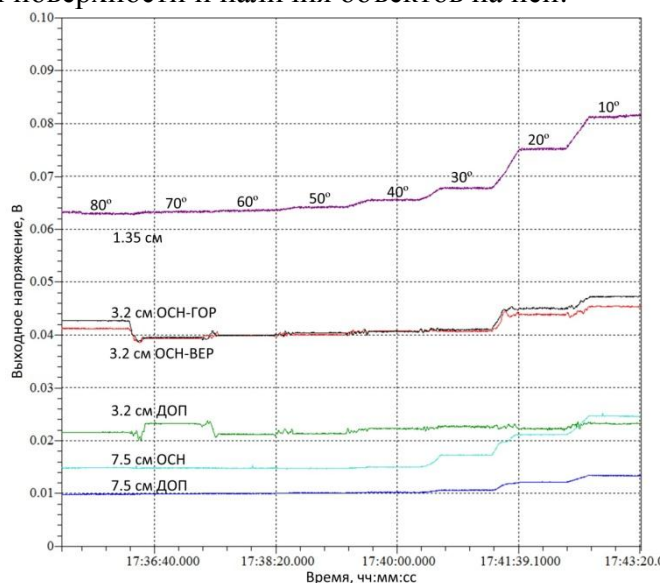
Согласно (3) величина выходного разностного сигнала не содержит помеховую составляющую, обусловленную приемом фонового шума, поэтому результаты угломестных измерений в системе с компенсацией фоновых шумов должны более точно отображать угловую зависимость радиояркостной температуры исследуемой области атмосферы.

Результаты угломестных измерений радиотеплового излучения атмосферы СВЧ радиометрической системой с компенсацией фоновых шумов

При выполнении угломестных измерений радиотеплового излучения атмосферы влияние фоновых шумов проявляется в приросте уровня выходного сигнала системы в основном при малых углах места, когда на вход антенны поступает высокотемпературное излучение подстилающей поверхности через неизотропную часть диаграммы направленности антенны и в результате искажается угловая зависимость радиояркостной температуры атмосферы. Кроме того на величину помехового вклада также влияют излучательные свойства окружающего антенну пространства, поэтому при изменении местоположения измерительного комплекса уровень прироста выходного сигнала за счет приема фонового шума также может меняться.

Для анализа потенциальных возможностей компенсации помехового влияния фоновых шумов были выполнены угломестные измерения однородной облачной атмосферы при близких азимутальных направлениях относительно исследуемой области атмосферы. Результаты измерений приведены на рис. 2-4, где кроме угловых зависимостей выходных сигналов трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы показаны изображения объектов на поверхности земли в плоскости угломестных измерений при трех азимутальных направлениях 150^0 , 180^0 и 210^0 . Выбор близких азимутальных направлений определен требованием однородности области атмосферы соответствующей указанным направлениям.

На рис.2-4 показаны угловые зависимости выходных сигналов СВЧ радиометрической системы трех частотных диапазонов 1,35 см, 3,2 см и 7,5 см. В диапазоне 1,35 см ширина главного лепестка ДН антенны составляет 1° , поэтому влияние радиотеплового излучения подстилающей поверхности при изменении угла места линии визирования на результаты незначительное и по уровню выходного сигнала данного канала можно оценить неоднородность радиотеплового излучения атмосферы по разным азимутальным направлениям. Ширина главного лепестка ДН антенны системы в диапазоне 3,2 см – 2° , а в диапазоне 7,5 см – 6° , следовательно, при малых углах места влияние фонового шума проявится в приросте выходного сигнала, зависящего от состояния подстилающей поверхности и наличия объектов на ней.

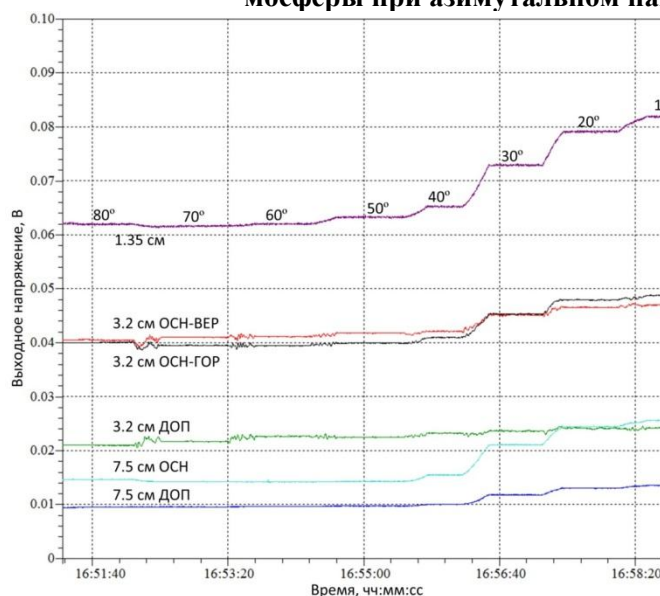


а)

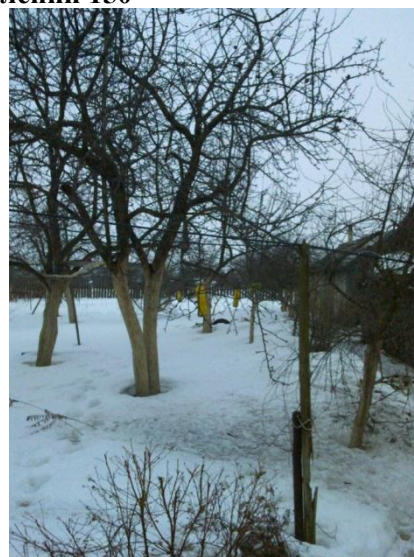


б)

Рис. 2. Результаты угломестных измерений радиотеплового излучения облачной атмосферы при азимутальном направлении 150°

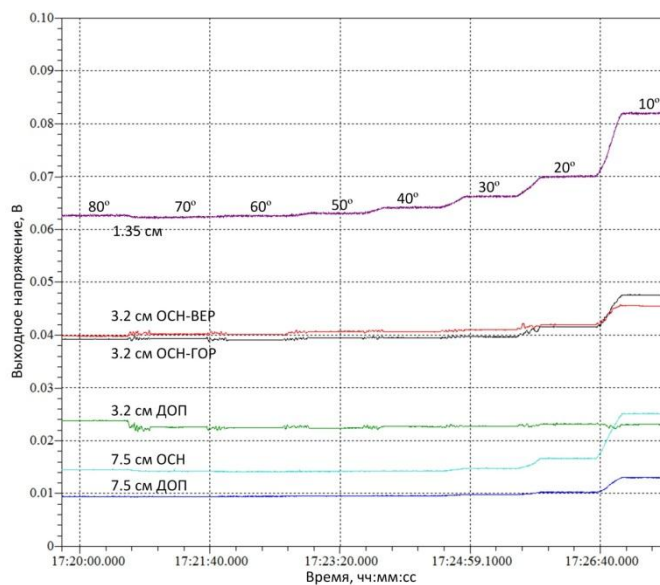


а)



б)

Рис. 3. Результаты угломестных измерений радиотеплового излучения облачной атмосферы при азимутальном направлении 180°



а)

б)

Рис. 4. Результаты угломестных измерений радиотеплового излучения облачной атмосферы при азимутальном направлении 210°

Анализ результатов угломестных измерений радиотеплового излучения атмосферы

Для оценки эффективности компенсации влияния фоновых шумов на результаты СВЧ радиометрических измерений были сформированы угловые зависимости разности выходных сигналов основных и дополнительных каналов в диапазонах длин волн 3.2см и 7,5см, результаты которых приведены на рис. 5-7.

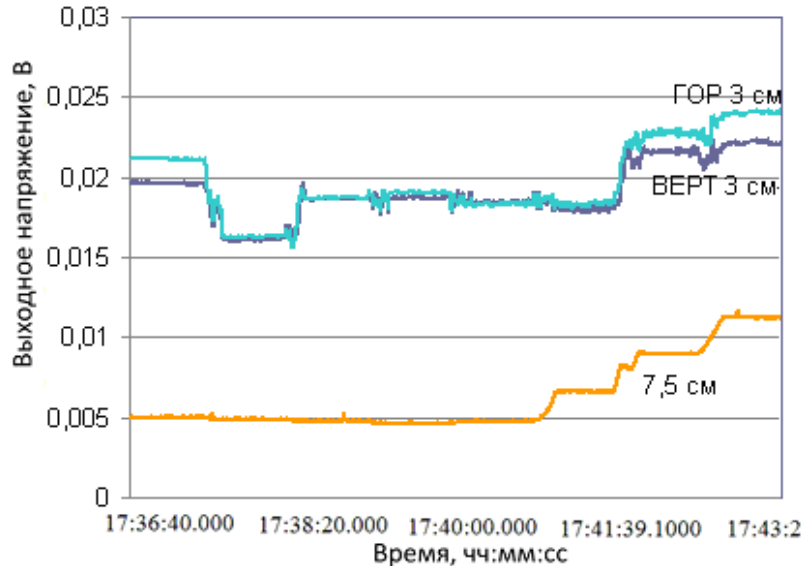


Рис.5. Угломестные зависимости разностных выходных сигналов СВЧ радиометрической системы при азимутальном направлении 150°

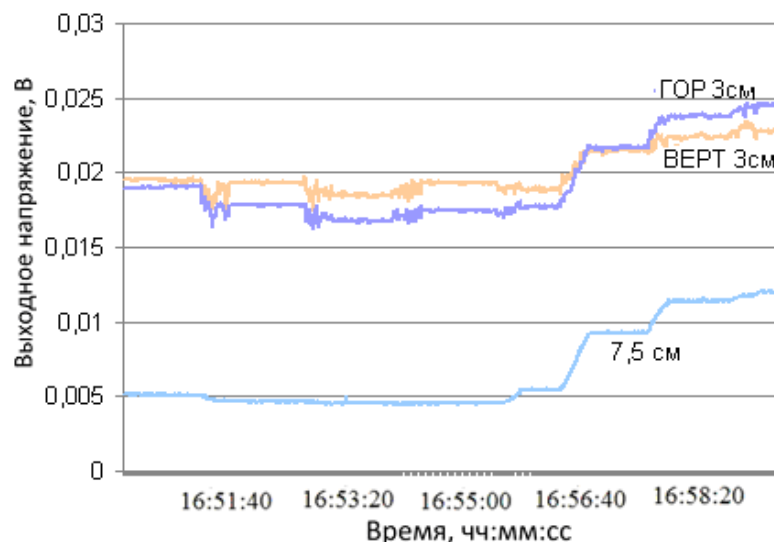


Рис.6. Угломестные зависимости разностных выходных сигналов СВЧ радиометрической системы при азимутальном направлении 180°

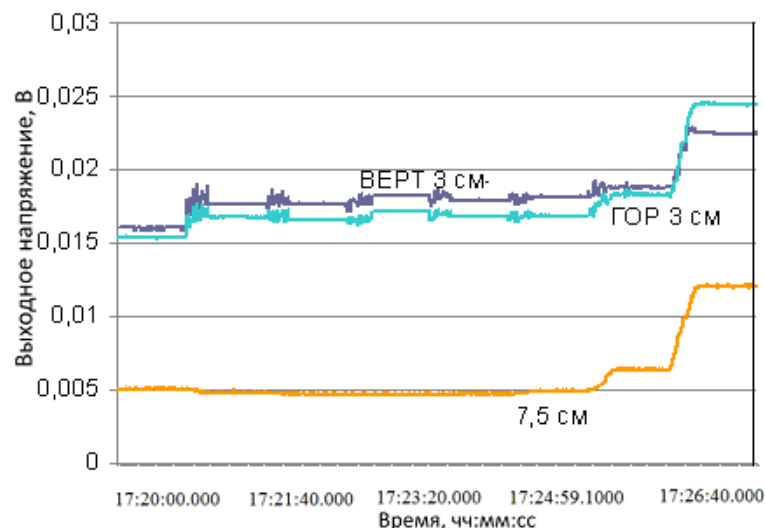


Рис.7. Угломестные зависимости разностных выходных сигналов СВЧ радиометрической системы при азимутальном направлении 210°

Анализ полученных зависимостей показал, что оценка эффективности применения компенсации фоновых шумов в СВЧ радиометрической системе на основе двухканального приема и реализации разностных измерений может быть выполнена по угломестным измерениям, соответствующим азимутам 150° и 180°. Данные измерений по азимутальному направлению 210° существенно отличаются от результатов, полученных для направлений 150° и 180° на всех частотах, что соответственно проявилось и в отличии разностных сигналов (рис.5 - 7).

Таким образом, для оценки эффективности компенсации фоновых шумов использовались данные измерений радиотеплового излучения облачной атмосферы для азимутальных направлений 150° и 180° соответствующих различной структуре окружающего пространства. Оценка корреляции полученных зависимостей показала хорошую их согласованность, коэффициент корреляции по данным измерений оказался равным 0,57 для диапазона 3,2 см и 0,63 для диапазона 7,5 см.

Заключение

Выполненные измерения радиотеплового излучения облачной атмосферы трехдиапазонной СВЧ радиометрической системой при разных условиях измерений – состава окружающего пространства показали эффективность выполнения процедуры компенсации фонового шума особенно при использовании в составе систем антенн с относительно широкой диаграммой направленности.

Полученные результаты угломестных измерений показали принципиальную возможность применения систем с компенсацией фоновых шумов в задачах построения пространственных профилей метеобразований в атмосфере по данным СВЧ радиометрических измерений.

Работа выполнена при поддержке РФФИ гранта №14-02-97510 р_центр_а.

Литература

1. Степаненко, В.Д. Радиотеплолокация в метеорологии / В.Д.Степаненко, Г.Г.Щукин, Л.П.Бобылев, С.Ю.Матросов. - Л.:Гидрометеиздат, 1987. - 283 с.
2. Федосеева Е.В., Щукин Г.Г. Вопросы метрологического обеспечения радиотеплолокационных измерений в условиях действия внешних шумовых помех: моногр. – Муром: ИПЦ МИ ВлГУ, 2012. – 104 с.
3. Федосеева Е.В., Щукин Г.Г., Ростокин И.Н., Ростокина Е.А. Компенсация помех в работе СВЧ радиометрических систем // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2014. – №1. – С.50 – 62.
4. Федосеева Е.В. Оценка погрешности измерений радиояркостной температуры в радиотеплолокационных системах контроля метеопараметров с компенсацией фоновых шумов // Метрология. – 2014. - №11 – с.33 – 42.
5. Патент на изобретение №2300831 Способ снижения уровня шума антенны и двухмодовая апертурная антенна. // Федосеева Е.В., Ростокина Е.А., Ростокин И.Н. Оpubл.: 10.06.2007 Бюл. №16.
6. Ростокин И.Н., Федосеева Е.В. Исследование антенного устройства трехдиапазонной СВЧ – радиометрической системы дистанционного зондирования атмосферы с компенсацией влияния фонового излучения // Радиотехнические и телекоммуникационные системы, 2015. №3(19). С. 94 – 100.