

## Исследование характеристик двухдиапазонной СВЧ радиометрической системы с компенсацией фоновых шумов

Е.В.Федосеева, И.Н.Ростокин, Федосеев А.А.

Муромский 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](mailto:elenafedoseeva@yandex.ru)

*Рассмотрены принципы реализации двухдиапазонной СВЧ радиометрической системы с компенсацией фоновых шумов при приеме на одну апертуру радиошумового излучения и последовательного выделения сигналов на выходах основного и дополнительного каналов двух частотных диапазонов при введении устройств частотной селекции. Приведены результаты электродинамического моделирования характеристик двухдиапазонного модового разделителя и результаты экспериментальной оценки условий двухдиапазонного приема в СВЧ радиометрической системе.*

*The principles of implementation of the dual-band microwave radiometric system to compensate for background noise when receiving one aperture radio noise emission and consistent allocation of signals on the outputs of the primary and secondary channels of the two frequency ranges with the introduction of devices of frequency selection. The results of modeling of electrodynamic characteristics of dual-band mode-separator and the results of the experimental evaluation of the conditions of admission to the dual-band microwave radiometric system*

### Введение

Выполнение многочастотных радиометрических измерений при дистанционном исследовании атмосферы существенно расширяет функциональные возможности СВЧ радиометрических систем [1].

Так при измерении радиошумового излучения атмосферы со слоистообразными облаками для определения влагосодержания и влажности оптимальными являются длины волн 1.4 см и 0.9 см [2 - 4]. Для определения водозапаса конвективных облаков спектральный состав частотных диапазонов измерений зависит от стадии развития облака и может быть выбран от 0.2 см до 2 см.. При решении задач восстановления полей влажности облака и определения интенсивности дождя применяется несколько длин волн из диапазона 3 – 5 см, а при больших значениях интенсивности дождя длина волны должна быть более 5 см [1].

Для формирования данных по пространственной структуре атмосферы должна быть обеспечена возможность проведения измерений под разными углами высоты. Но выполнение таких исследований связано с необходимостью решения задачи исключения влияния на результаты измерений изменяющегося вклада фонового шума, принимаемого через область рассеяния диаграммы направленности антенны. Один из способов исключения влияния фоновых шумов на результаты радиометрических измерений - переход к двухканальному приему с формированием в дополнительном канале сигнала компенсации при приеме сигнала только из области рассеяния диаграммы направленности антенны и реализации процедуры дифференциальных измерений в радиометре системы [5, 6].

В данной работе исследуются характеристики двухдиапазонной СВЧ радиометрической системы, обеспечивающей прием на частотах 3.5ГГц и 11 ГГц с компенсацией влияния фоновых шумов.

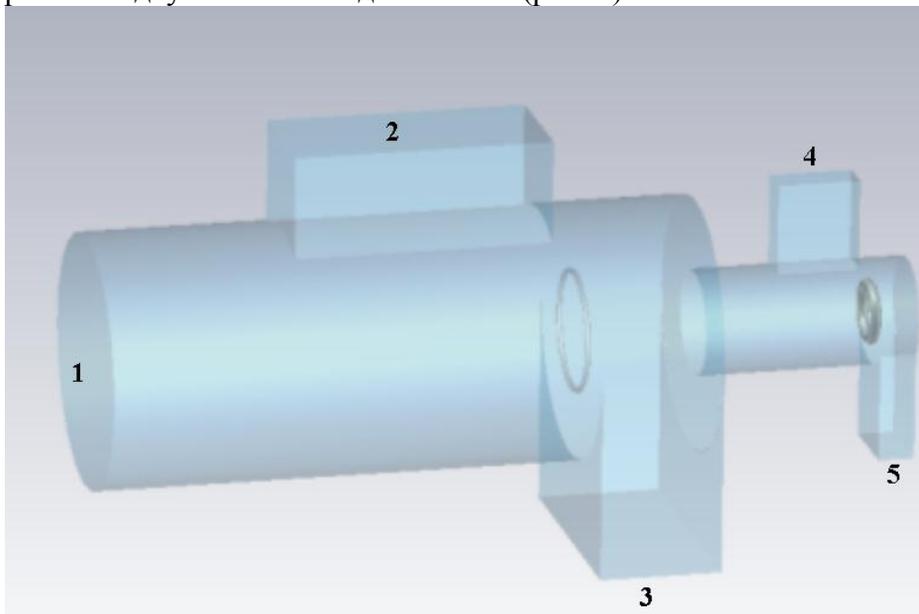
## **Вопросы построения антенного устройства двухдиапазонной СВЧ радиометрической системы с компенсацией фоновых шумов**

Для реализации способа компенсации влияния фоновых шумов на основе двухканального приема в [5, 6] предложена двухканальная антенна, выполняющая прием на двух модах  $H_{11}$  и  $E_{01}$  входного устройства, выполненного на круглом волноводе, и снабженная специальным модовым разделителем [7]. Мода  $H_{11}$  обеспечивает синфазное распределение поля по апертуре антенны, в результате формируется диаграмма направленности с преимущественным приемом по осевому направлению. Мода  $E_{01}$  имеет противофазное распределение поля, поэтому отсутствует прием вдоль оси антенны и прием выполняется в основном по угловой области, соответствующей области рассеяния диаграммы направленности основного антенного канала.

При переходе к многочастотным измерениям необходимо обеспечить двухмодовый режим приема в антенне и отдельный прием основного и дополнительного сигналов в модовом разделителе во всех частотных диапазонах системы. Задача просто решается при отдельном конструктивном выполнении антенн для каждого частотного диапазона. Но для решения задач временной и пространственной синхронизации данных радиометрических измерений следует рассмотреть возможность двухканального приема на одну антенну с последующим частотным разделением входных сигналов. В таком случае рупорный или волноводный вход антенны является общей апертурой для сигналов всех частотных диапазонов, а выход антенны представляет собой последовательное соосное соединение модовых разделителей на различные частотные диапазоны.

Для анализа условий реализации последовательного соединения модовых разделителей на два частотных диапазона было выполнено электродинамическое моделирование его характеристик в программе CST Microwave Studio.

В программе была построена модель модового разделителя сигналов, предназначенного для работы в двух частотных диапазонах (рис. 1).

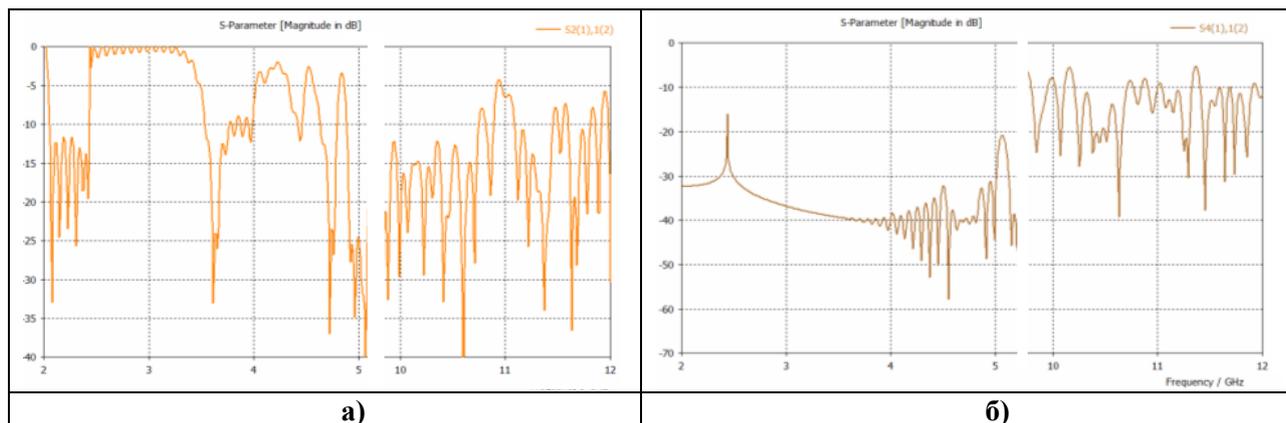


**Рис. 1. Модель в программе Microwave модового разделителя двухканальной двухдиапазонной антенны**

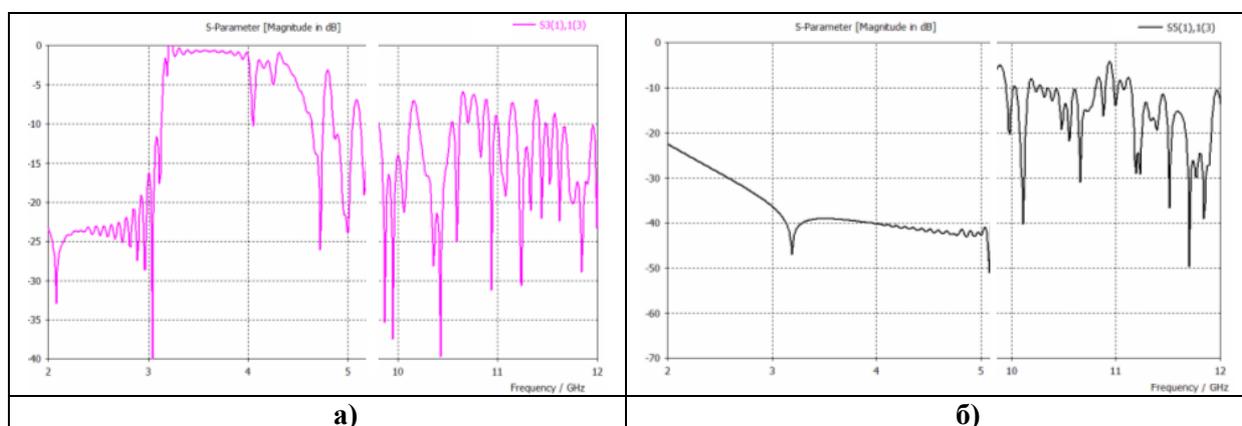
**1 - вход модового разделителя; 2 и 4 – выходы основных каналов на 3.5 ГГц и 11 ГГц соответственно;**

**3 и 5 - выходы дополнительных каналов на 3.5 ГГц и 11 ГГц соответственно**

Были получены частотные зависимости коэффициентов передачи основных и дополнительных каналов (рис. 2 - 3).

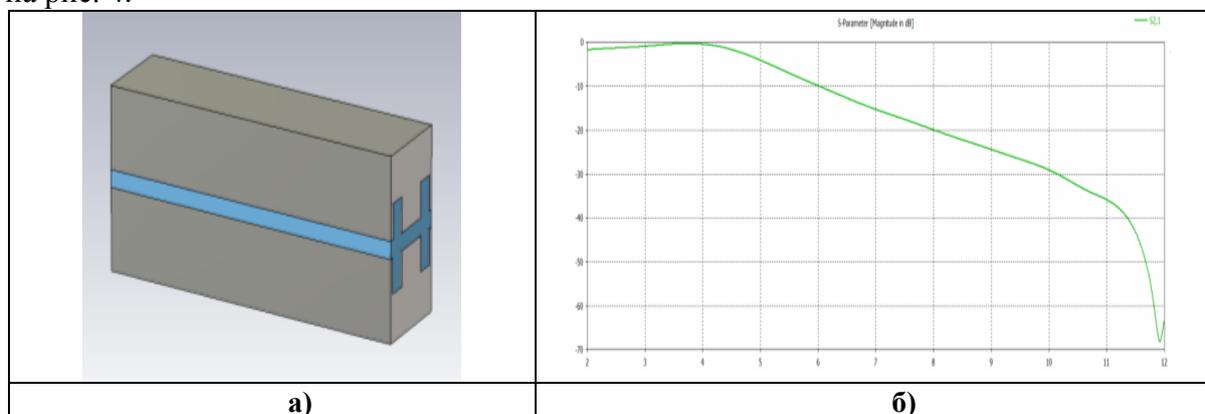


**Рис. 2. Коэффициенты передачи основных каналов (а – для диапазона 3.5 ГГц, б – для диапазона 11 ГГц) модового разделителя**



**Рис. 3. Коэффициенты передачи дополнительных каналов (а – для диапазона 3.5 ГГц, б – для диапазона 11 ГГц) модового разделителя**

Результаты моделирования показывали наличие существенных потерь сигнала частоты 11 ГГц в первой части модового разделителя предназначенного для формирования сигналов на частоте 3.5 ГГц. Частотная развязка между каналами в среднем характеризуется величиной -5дБ, т.е. половина входной мощности в диапазоне 11 ГГц теряется на выходах 2 и 3. Поэтому было принято решение о введении в состав модового разделителя устройств частотной селекции – фильтров нижних частот, выполненных на рифленом волноводе. Модель фильтра и его частотная функция передачи представлена на рис. 4.



**Рис. 4. Модель волноводного фильтра низких частот (а) и его частотная функция передачи (б)**

В модовом разделителе на выходах 2 и 3 выполнены фильтры нижних частот. Модель модового разделителя с фильтрами и его частотные характеристики коэффициентов передачи для основных и дополнительных каналов представлены на рис. 5 – 7.

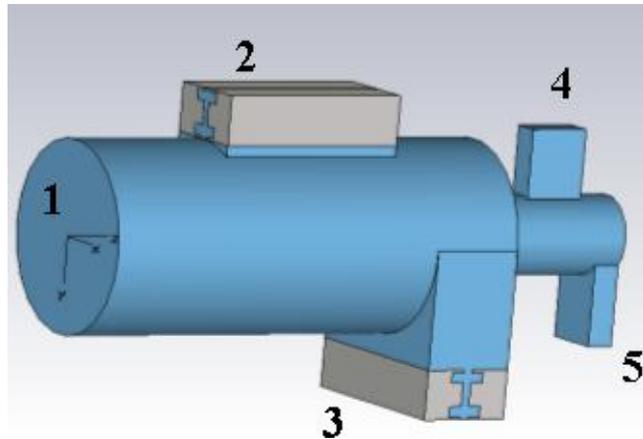


Рис. 5. Модель модового разделителя с фильтрами нижних частот

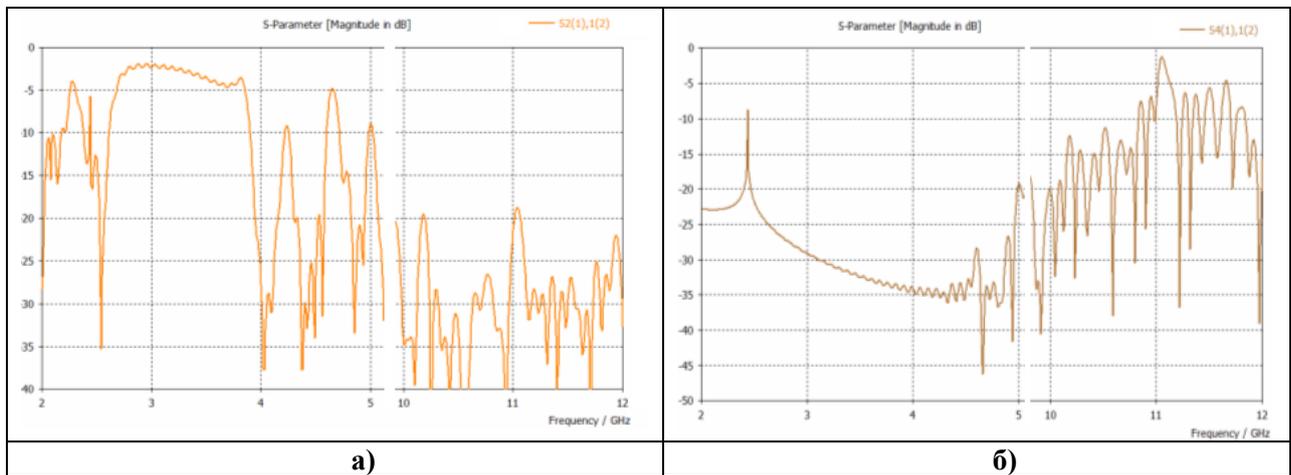


Рис. 6. Коэффициенты передачи основных каналов (а – для диапазона 3.5 ГГц, б – для диапазона 11 ГГц) модового разделителя с фильтрами нижних частот

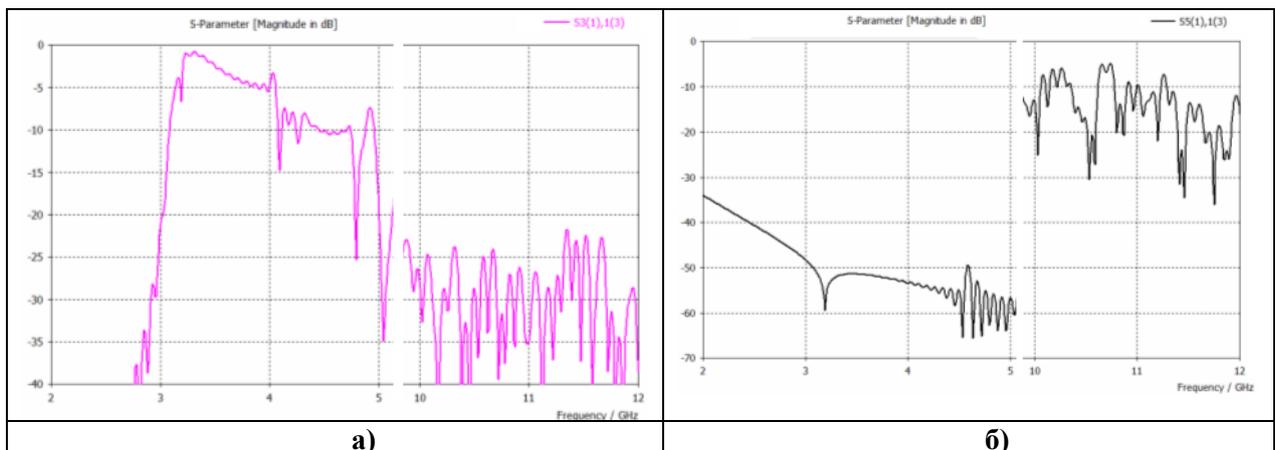


Рис. 7. Коэффициенты передачи дополнительных каналов (а – для диапазона 3.5 ГГц, б – для диапазона 11 ГГц) модового разделителя с фильтрами нижних частот

Согласно данным моделирования модового разделителя установка фильтра нижних частот позволила уменьшить коэффициенты передачи на выходах 2 и 3 на частотах 11 ГГц до значений -20 дБ. При этом коэффициент передачи канала 4 на частоте 11 ГГц увеличился. Так его значения без фильтра -10 дБ с фильтром -3 дБ.

### Результаты исследования двухдиапазонной СВЧ радиометрической системы с компенсацией фоновых шумов

Для экспериментальной оценки условий реализации двухдиапазонного приема радиозумового излучения двухканальной антенной с общей апертурой были проведены исследования характеристик двухдиапазонной СВЧ радиометрической системы с компенсацией фоновых шумов при формировании на входе модового разделителя шумового сигнала от генератора шума. На рис. 8 и 9 показаны результаты измерений выходного сигнала системы на частотах 3.5 ГГц и 11 ГГц при наличии и отсутствии фильтров нижних частот на выходах модового разделителя.

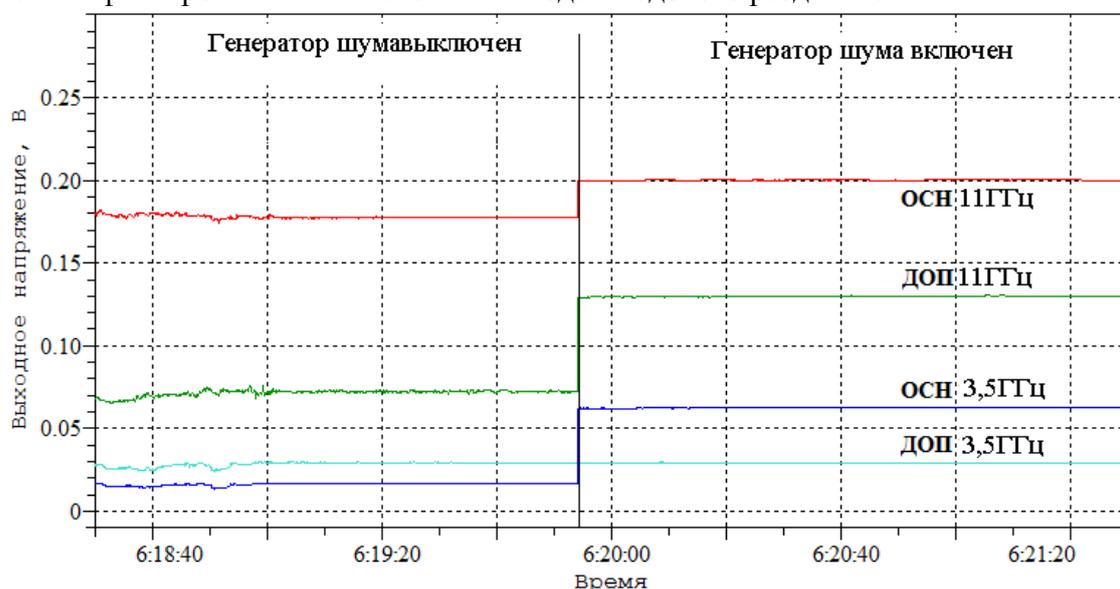


Рис.8. Временные записи сигналов на выходах модового разделителя при отсутствии фильтров нижних частот на выходах

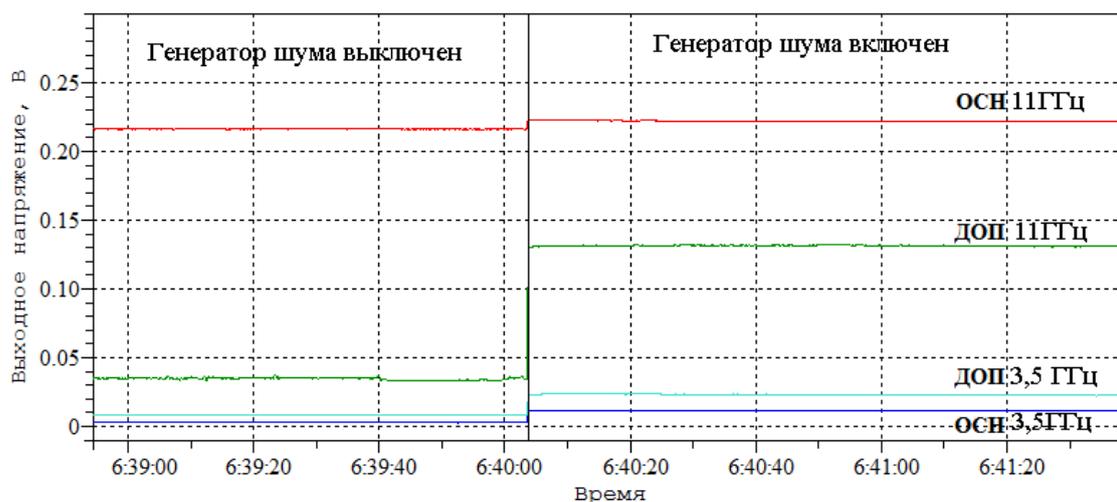


Рис.9. Временные записи сигналов на выходах модового разделителя при отсутствии фильтров нижних частот на выходах

Полученные результаты показали положительный прирост уровня выходного сигнала на выходах модового разделителя в диапазоне 11 ГГц при наличии фильтров нижних частот на 20 %. отмечено также снижение уровня сигнала на выходах модового разделителя на частотах 3,5 ГГц, что может быть обусловлено неточностью решения задачи согласования выходов с фильтрами с основным круглым волноводом и применением в экспериментальных исследованиях устройства введения в круглый волновод сигналов одной линейной – вертикальной поляризации от генератора шума, что ограничивает общность результатов эксперимента.

### **Выводы**

Проведенные исследования показали возможность общей конструктивной реализации последовательного соединения двух модовых разделителей на диапазоны 3.5 ГГц и 11 ГГц при дополнительной установке в выходные каналы диапазона 3.5 ГГц фильтров нижних частот. Результаты моделирования и экспериментальных исследований подтвердили принципиальную возможность построения двухканальной антенны двухдиапазонной СВЧ радиометрической системы с компенсацией фоновых шумов при соосном приеме в двух частотных диапазонах, что является важной предпосылкой создания двухдиапазонной системы с общим зеркалом антенны для обоих частотных диапазонов.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ грантов №14-02-97507 p\_центр\_a и №14-02-97510 p\_центр\_a.*

### **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. Караваев, Д.М. Применение методов СВЧ-радиометрии для диагноза содержания жидкокапельной влаги в облаках / Д.М.Караваев, Г.Г.Щукин //Тр. НИЦ ДЗА. Сер. Прикладная Метеорология. - 2004. - Вып.5 (533). - с.99-120.
3. Ware R.A. A multichannel radiometric profiler of temperature, humidity, and cloud liquid // Radio Science. - 2003. - 38, 4, 8079.
4. A network suitable microwave radiometer for operational monitoring of cloudy atmosphere // t.Rose, et.al. Atmospheric Reseach. - 2005. - p. 183-200.
5. 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
6. Патент на полезную модель №98820. Радиометрическая система с компенсацией внешних помех и нестабильности коэффициента передачи системы. Федосеева Е.В., Ростокин И.Н., Ечин П.А. Опубл.: 27.10.2010 Бюл. №30.
7. Патент на изобретение №2300831 Способ снижения уровня шума антенны и двухмодовая апертурная антенна. // Федосеева Е.В., Ростокина Е.А., Ростокин И.Н. Опубл.: 10.06.2007 Бюл. №16