

УДК 621.396.67

ИССЛЕДОВАНИЕ АНТЕННОГО УСТРОЙСТВА ТРЕХДИАПАЗОННОЙ СВЧ - РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ С КОМПЕНСАЦИЕЙ ВЛИЯНИЯ ФОНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Федосеева Елена Валерьевна

кандидат технических наук, доцент, доцент Муромского института (филиала) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».
E-mail: elenafedoseeva@yandex.ru.

Ростокин Илья Николаевич

кандидат технических наук, доцент, доцент Муромского института (филиала) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».
E-mail: rostockin.ilya@yandex.ru.
Адрес: 602264 Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, д. 23.

Аннотация: Рассмотрены вопросы построения антенного устройства трехдиапазонной СВЧ - радиометрической системы дистанционного зондирования атмосферы с компенсацией влияния фонового излучения, проанализированы особенности реализации антенны при соосном одновременном приеме радиошумового излучения в трех частотных диапазонах, промоделированы частотные зависимости коэффициентов передачи каналов антенного устройства.

Ключевые слова: трехдиапазонная СВЧ – радиометрическая система, основной и дополнительный канал антенного устройства, компенсация влияния фонового излучения.

Введение

СВЧ радиометрия предоставляет возможности дистанционной оценки метеопараметров по измеренным значениям интенсивности собственного радиошумового излучения атмосферы и формирования комплекса данных, на основе которых строятся прогнозы развития погодных явлений [1-5].

Современные направления развития СВЧ радиометрии зондирования атмосферы связаны с переходом к многодиапазонным измерениям и мультиспектральной обработке данных измерений. Это обусловлено спецификой формирования радиошумового излучения облачной атмосферы. В зависимости от характера облачности изменяется спектральное распределение интенсивности излучения. Так для атмосферы со слоистообразными облаками в задачах определения влагосодержания и влажности согласно [2, 4] оптимальными являются длины волн в диапазоне от 1,4 см до 0,9 см, т.к. величина радиояркой температуры излучения наиболее сильно зависит от указанных

метеопараметров. При оценке водозапаса конвективных облаков выбор оптимальных частотных диапазонов радиометрических исследований зависит от стадии развития облаков. На стадии зарождения облака при малых значениях водозапаса оптимальным является диапазон с длиной волны 0,2 – 0,4 см [2, 4], а для исследования переохлажденных зон облаков с максимально возможным значением влажности - 2 см. Для решения задач восстановления полей влажности облака и определения интенсивности дождя измерения выполняются в нескольких частотных диапазонах с длинами волн 3 - 5 см и более. Поэтому вопрос организации получения мультиспектральных данных радиометрических измерений при зондировании атмосферы напрямую связан с возможностью полномасштабной оценки состояния атмосферы и прогнозирования развития метеопроцессов.

Особенность СВЧ радиометрических измерений радиошумового излучения атмосферы состоит в необходимости пространственного

выделения шумового сигнала малой интенсивности на фоне высокотемпературных помех – фоновых шумов, создаваемых подстилающей поверхностью [6-8]. Поэтому при разработке СВЧ радиометрических систем дистанционного зондирования атмосферы обязательным является вопрос о пространственном выделении полезного сигнала. Один из подходов к его решению – реализация компенсации внешних помех на основе разностного приема двух сигналов [9-11, 16]. Для этого в системе организуется дополнительный приемный канал, выходной сигнал которого пропорционален помеховой составляющей входного сигнала основного измерительного канала.

Один из способов выполнения компенсации фоновых шумов - осуществление двухканального приема на двух модах круглого волновода H_{11} и E_{01} с последующим разделением соответствующих выходных сигналов в специально разработанном модовом делителе в составе антенного устройства [12-14]. Требование одновременного получения данных радиометрических измерений в нескольких частотных диапазонах от одной и той же пространственной области атмосферы определяет необходимость адаптированного применения указанного метода компенсации в многодиапазонном режиме работы.

В данной статье приведены результаты разработки и исследования антенного устройства трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы зондирования атмосферы, обеспечивающей соосный прием радиошумового излучения в трех частотных диапазонах с реализацией компенсации влияния фоновых шумов.

Антенное устройство трехдиапазонной СВЧ - радиометрической системы

Для трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы зондирования атмосферы было предложено осуществлять соосный прием на общую апертуру антенны в трех частотных диапазонах с центральными частотами 3,5 ГГц, 10 ГГц и 22 ГГц, ширина каждого диапазона принималась равной 1 ГГц.

Основное требование к антенному устройству каждого из трех частотных каналов ра-

диометрической системы - формирование двух выходных сигналов: основного измерительного и дополнительного сигнала компенсации. Уровень сигнала компенсации в основном определяется адекватным основному каналу приемом радиошумового сигнала через область рассеяния ДН основного антенного канала, что реализуется при работе его в двухмодовом режиме – на модах H_{11} и E_{01} круглого волновода с последующим разделением мод в приемном питающем волноводе антенны (в модовом делителе) [12-15].

Модовый делитель каждого канала выполняется на основе круглого волновода, к которому подключены два волновода – выходы антенны. Первый антенный канал в совокупности с круглым волноводом является выходом антенны, осуществляющей прием на волне H_{11} , а второй антенный канал – на волне E_{01} [11-13].

На рис.1 показано антенное устройство трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы, формирующее основные и дополнительные входные сигналы в трех частотных диапазонах с следующими значениями центральных частот: I – 10 ГГц, II – 10 ГГц, III – 22 ГГц. На рис.1 приведены обозначения каналов: 1, 4, 7 и 2, 5, 8 – основные измерительные каналы на вертикальной и горизонтальной поляризациях при приеме на волне H_{11} , 3, 6, 9 – дополнительные каналы формирования сигнала компенсации при приеме на волне E_{01} . Для разделения волн H_{11} и E_{01} в каждой из трех секций антенного устройства расположены модовые фильтры (МФ) – режекторные кольца. Для обеспечения общего согласования антенного устройства предусмотрена оконечная согласованная нагрузка IV.

Выполнение последовательного выделения сигналов в трех диапазонах при осуществлении соосного приема на общую апертуру антенны потребовало дополнительной установки частотных фильтров – ФНЧ в первых двух секциях антенного устройства, осуществляющих прием на частотах 3,5 и 10 ГГц. В результате структурная схема антенного устройства трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы с компенсацией фоновых шумов приобрела вид, представленный на рис.2.

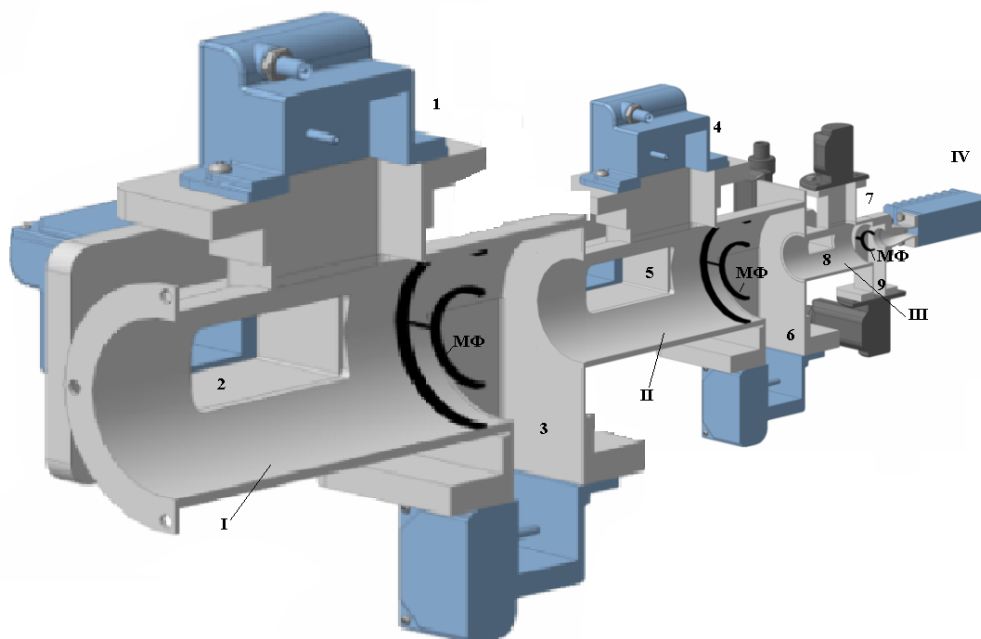


Рис. 1. Антенное устройство трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы с компенсацией фонового шума

Для проверки условий частотного разделения входных сигналов трех частотных диапазонов была выполнена экспериментальная оценка частотных функций передачи волноводных фильтров, устанавливаемых на выходах первых двух секций антенного устройства. На рис. 3 показаны результаты измерений коэффициента передачи ФНЧ первой секции, согласно которым выполняется требование частотного разделения сигналов трех диапазонов, т.к. коэффициент передачи на частотах 10 и 22 ГГц не превышает -20 дБ.

Моделирование характеристик антенного устройства

СВЧ - радиометрической системы

В соответствии с геометрическими размерами антенного устройства, определенными из условий его функционирования в двухмодовом режиме, была построена модель в программе MicroWave Studio для оценки условий прохождения входных сигналов в трех последовательных секциях.

На рис. 4 показаны результаты моделирования характеристик первой секции антенного устройства. Сводные данные по всем трем секциям приведены в Таблице.

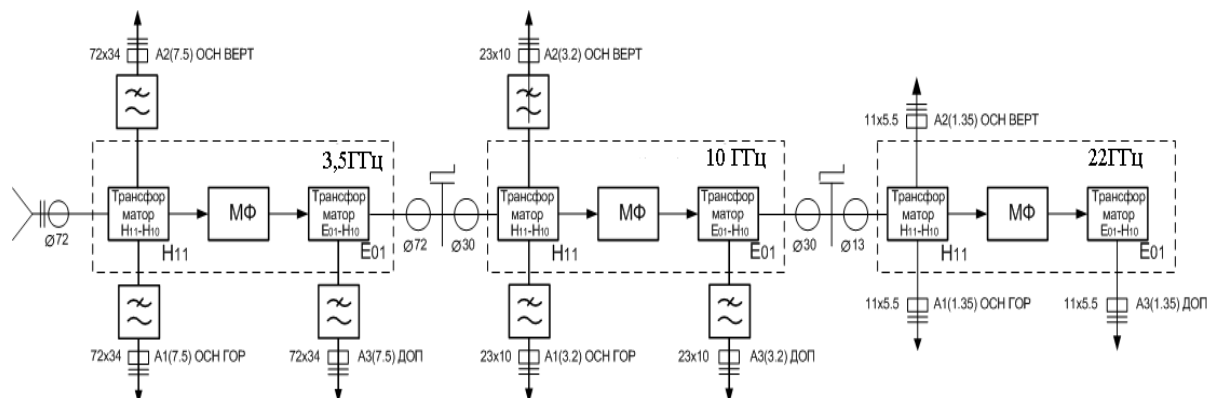


Рис. 2. Структурная схема антенного устройства трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы с компенсацией фонового шума



Рис. 3. Экспериментальная частотная зависимость коэффициента передачи волноводного фильтра первой секции антенного устройства

Полученные результаты моделирования характеристик антенного устройства трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы с компенсацией фоновых шумов позволяют сде-

пенсации влияния фоновых шумов в каждом частотном диапазоне при формировании двух выходных сигналов (основного измерительного сигнала и дополнительного сигнала компен-

Таблица. Характеристики антенного устройства трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы с компенсацией влияния фонового излучения

Центральная частота диапазона, ГГц	Коэффициент передачи основных каналов, дБ	Коэффициент изоляции между основным и дополнительным каналом, дБ
Первая секция антенного устройства		
3,5	-1,5	-25
10	-35	-
22	-30	-
Вторая секция антенного устройства		
3,5	-55	-100
10	-1	-
22	-38	-
Третья секция антенного устройства		
3,5	-60	-
10	-55	-
22	-1,5	-80

лать вывод о возможности реализации частотного разделения сигналов трех диапазонов при последовательном прохождении трех секций в основных и дополнительных каналах при основном приеме радиошумового излучения на общую апертуру антенны.

Заключение

В представленной трехдиапазонной СВЧ-радиометрической системе решена задача ком-

пенсации влияния фоновых шумов в каждой секции антенного устройства и реализации компенсационного принципа приема радиошумового излучения. Применение такой СВЧ радиометрической системы позволит выполнять измерения любой пространственно однородной или неоднородной атмосферы, осуществлять исследование пространственной структуры выделенной области атмосферы на разных частотах, что расширит возможности для оперативной оценки геофи-

зических параметров атмосферы и построения прогнозов развития атмосферных процессов.

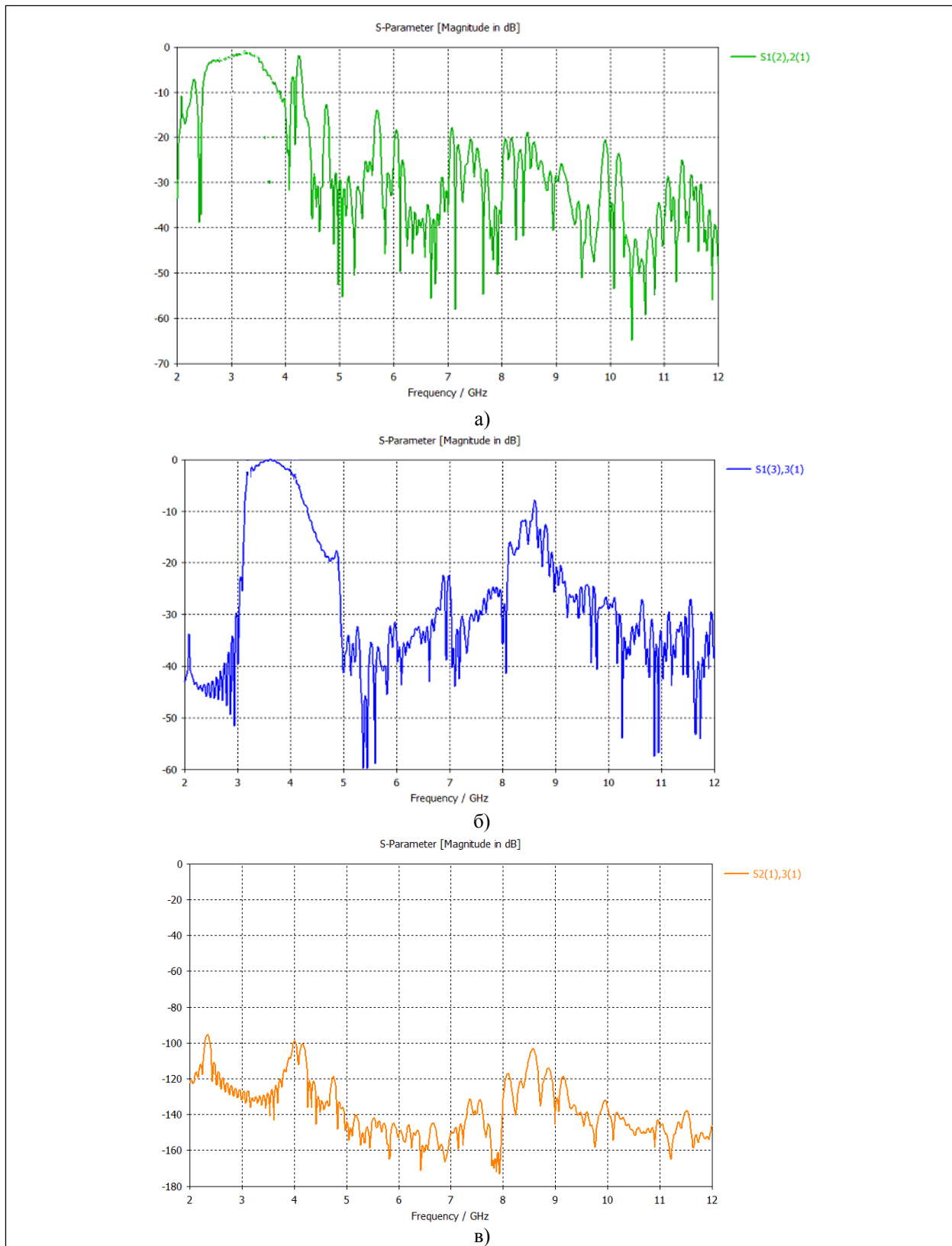


Рис. 4. Частотные зависимости коэффициента передачи основного (а) и дополнительного (б) канала и коэффициента изоляции основного и дополнительного каналов (в) первой секции антенного устройства

Литература

1. Степаненко В.Д., Шукин Г.Г., Бобылев Л.П., Матросов С.Ю. Радиотеплолокация в метеорологии. - Л.: Гидрометеоиздат, 1987. - 283 с.
2. Караваев Д.М., Шукин Г.Г. Применение методов СВЧ-радиометрии для диагноза содержания жидкокапельной влаги в облаках //Тр. НИЦ ДЗА. Сер. Прикладная Метеорология. - 2004. - Вып.5 (533). - С. 99-120.
3. Абшаев М.Т., Кармов Х.Н. Обнаружение градовых очагов радиолокационно-радиометрическим методом // Тр. IV Всесоюзного совещ. по радиометеорологии. - 1978. - С. 81-87.
4. Ware R.A. A multichannel radiometric profiler of temperature, humidity, and cloud liquid // Radio Science. - 2003. - 38, 4, 8079.
5. A network suitable microwave radiometer for operational monitoring of cloudy atmosphere // t.Rose, et.al. Atmospheric Reseach. - 2005. - p. 183-200.
6. Федосеева Е.В. Анализ погрешности измерения радиояркого контраста методом диаграммной модуляции в системах пассивной тепловой радиолокации // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2013. - №1 (9) – С.4 – 9.
7. Федосеева Е.В., Шукин Г.Г. Вопросы метрологического обеспечения радиотеплолокационных измерений в условиях действия внешних шумовых помех: моногр. – Муром: ИПЦ МИ ВлГУ, 2012. – 104 с.
8. Федосеева Е.В. Результаты оценки относительного уровня принимаемой мощности из области рассеяния ДН антенн в системах пассивной тепловой радиолокации // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2012. - №3 (7). – С.32 – 38.
9. Федосеева Е.В. Антенные температуры СВЧ радиотеплолокационных систем контроля параметров природных сред с компенсацией фоновых шумов // Радиотехнические и телекоммуникационные системы – 2014. - №3 (15). – С.18 – 22.
10. Федосеева Е.В. Оценка погрешности измерений радиояркой температуры в радиотеплолокационных системах контроля метеопараметров с компенсацией фоновых шумов // Метрология. – 2014. - №11 – С.33 – 42.
11. Федосеева Е.В. Принципы оценки погрешности зондирования протяженных объектов радиометрической системой с дополнительным каналом компенсации фоновых помех // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2012. - №1. – С.33 – 37.
12. Федосеева Е.В., Шукин Г.Г., Ростокин И.Н., Ростокина Е.А. Компенсация помех в работе СВЧ радиометрических систем // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2014. - №1 (13). – С.50 – 62.
13. Патент на полезную модель № 91630 оп. в бюл. №5 от 20.02.2010г. Радиометрическая система с компенсацией аддитивных внешних фоновых помех/ Федосеева Е.В.
14. Ростокин И.Н., Федосеева Е.В. Вопросы построения многочастотной СВЧ радиометрической системы дистанционного зондирования облачной атмосферы с компенсацией фонового излучения // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2015. - №1(17). – С.5 – 12.
15. Федосеева Е.В. Результаты электродинамического моделирования модового разделителя двухканальной антенны СВЧ радиометрической системы // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2014. - №2. – С.24 – 29.
16. Fedoseeva E.V. An Estimate of the Error of Measurements of Radio Brightness Temperature in Radio-Heat Location Systems for Monitoring Meteorological Parameters with Background Noise Compensation // Measurement Techniques. – March 2015, Vol.57, Issue 12. – pp. 1463-1468.

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

Поступила 15 мая 2015 г.

English

Antenna assembly research of three-band microwave radiometric system of atmosphere remote probing with compensation of background emission effect

Elena Valeryevna Fedoseyeva – Doctor of Engineering, Professor Murom Institute (branch) “Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletov”.

E-mail: elenafedoseeva@yandex.ru.

Ilya Nikolaevich Rostokin – Candidate of Engineering, Associate Professor Murom Institute (branch) “Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletov”.

E-mail: rostockin.ilya@yandex.ru.

Address: 602264, Murom, Orlovskaya st., 23.

Abstract: Optimum microwave frequency bands in radiometric research were assigned and three microwave frequency bands of 3.5 GHz, 10 GHz and 22 GHz were defined for implementation of atmosphere remote probing radiometric system as a result of analyzing spectral properties of atmosphere radio-noise emission. The main requirements to antenna assembly of microwave radiometric system with simultaneous coaxial reception by general aperture in three frequency bands with compensation of background emission effect in the environment are stated. Structure of three-section antenna assembly with formed main measuring signal and compensation signal in each of three frequency bands is defined and necessity for installation of frequency waveguide filters of low frequencies in the first two sections for problem solution of signals frequency demultiplication with their consecutive assignment in three sections of antenna assembly is explained. The performance simulation results of signals passing in antenna assembly obtained via program MicroWave Studio electro-dynamic simulation are given.

Frequency dependencies of transmission ratios of main and additional antenna channels and their mutual decoupling ratio are obtained. The performance simulation results of signals passing in in three sections of antenna assembly are summarized and their values in band center frequencies are presented. Research results confirm reception possibility of atmosphere radio noise emission by antenna general aperture with consecutive forming output signals in three frequency bands when performing compensation of background emission effect.

Key words: three-band microwave radiometric system, main and additional channel of antenna assembly, compensation of background emission effect.

References

1. Stepanenko V.D., Schukin G.G., Bobyliv L.P., Matrosov S.Yu. Radio-heat location in meteorology. - L.: Gidrometeoizdat, 1987. - 283 p.
2. Karavayev D.M., Schukin G.G. Application of microwave radiometry methods for content analysis of cloud droplet moisture. - Tr. NITs DZA. Ser. Prikladnaya Meteorologiya. - 2004. - Vyp.5 (533). - P. 99-120.
3. Abshayev M. T., Karmov H.N. Detection of hail squalls by radar and radiometric method. - Tr. IV Vsesoyuznogo soveshch. po radiometeorologii. - 1978. - P. 81-87.
4. Ware R.A. A multichannel radiometric profiler of temperature, humidity, and cloud liquid. - Radio Science. - 2003. - 38, 4, 8079.
5. A network suitable microwave radiometer for operational monitoring of cloudy atmosphere. - t.Rose, et.al. Atmospheric Reseach. - 2005. - p. 183-200.
6. Fedoseyeva E.V. Analysis of measurement error of radio brightness ratio by chart modulation method in passive thermal radar systems. - Radiotekhnicheskiye i telekommunikatsionnye sistemy. - 2013. - No. 1 (9) - P. 4 - 9.
7. Fedoseyeva E.V., Schukin G.G. Problems of metrological support for radio-heat location measurements under the effect of external noise interference: monogr. – Murom: IPTs MI VIGU, 2012. - 104 p.
8. Fedoseyeva E.V. Evaluation results of relative received power level in DN antennas dispersion area in passive thermal radar systems. - Radiotekhnicheskiye i telekommunikatsionnye sistemy. - 2012. - No. 3 (7). - P. 32 - 38.
9. Fedoseyeva E.V. Antenna temperatures of microwave radio-thermal location monitoring systems of environment parameters with background noise compensation. - Radiotekhnicheskiye i telekommunikatsionnye sistemy - 2014. - No. 3 (15). - P. 18 - 22.
10. Fedoseyeva E.V. Evaluation of error measurements of radio brightness temperature in radio-thermal monitoring systems of meteorological parameters with background noise compensation. - Metrologiya. - 2014. - No. 11 - P. 33 - 42.
11. Fedoseyeva E.V. Error evaluation principles in probing extended objects by radiometric system with additional channel of background noise compensation. - Radiotekhnicheskiye i telekommunikatsionnye sistemy. - 2012. - No. 1. - P. 33 - 37.
12. Fedoseyeva E.V., Schukin G.G., Rostokin I.N., Rostokino E.A. Noise compensation in microwave radiometric systems operation. - Radiotekhnicheskiye i telekommunikatsionnye sistemy. - 2014. - No. 1 (13). - P. 50 - 62.
13. Utility patent No. 91630 op. in bulletin No. 5 dt. 20.02.2010. Radiometric system with compensation of additive external background noises. - Fedoseyeva E.V.
14. Rostokin I.N., Fedoseyeva E.V. Problems of making multifrequency microwave radiometric system of remote probing cloudy atmosphere with background emission compensation. - Radiotekhnicheskiye i telekommunikatsionnye sistemy. - 2015. - No. 1(17). - Page 5 - 12.
15. Fedoseyeva E.V. Electrodynamics modeling results of mode separator of two-channel antenna of microwave radiometric system. - Radiotekhnicheskiye i telekommunikatsionnye sistemy. - 2014. - No. 2. - P. 24 - 29.
16. Fedoseyeva E.V. An Estimate of the Error of Measurements of Radio Brightness Temperature in Radio-Heat Location Systems for Monitoring Meteorological Parameters with Background Noise Compensation. - Measurement Techniques. - March 2015, Vol.57, Issue 12. - pp. 1463-1468.