

УДК 621.396

Чувствительность трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы дистанционного зондирования атмосферы

Пчелина Ю.А., Федосеева Е.В.

В статье рассмотрены вопросы оценки чувствительности трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы с компенсацией влияния фоновых шумов. Определен подход учета влияния модового разделителя системы с последовательным выделением сигналов трех частотных диапазонов на чувствительность системы. Приведены численные оценки чувствительности СВЧ радиометрической системы для трех частотных диапазонов без учета и с учетом потерь в модовом разделителе.

Ключевые слова: СВЧ радиометрическая система, радиометр, модовый разделитель, чувствительность.

СВЧ радиометрические системы предназначены для измерения мощности радиошумового излучения исследуемой области пространства. Особенностью условий их функционирования является шумовой характер принимаемого сигнала, по средней величине которого выполняется анализ физических параметров зондируемой среды. Мощность входного шумового сигнала имеет величины порядка 10^{-16} Вт, поэтому вопрос погрешности оценки ее величины напрямую связан с вопросом шумовых свойств СВЧ радиометрической системы [1].

Характеристика измерительной системы, определяющая предельную точность измерения заданной величины, называется ее чувствительностью. В СВЧ радиометрических системах чувствительностью называют минимальную мощность шумового сигнала, которую может зарегистрировать радиометр на фоне собственных шумов [2].

Общепринятая формула оценки чувствительности радиометра

$$\Delta T = \mu T_{шр} / \sqrt{\Delta f \tau}, \quad (1)$$

где $T_{шр}$ - шумовая температура радиометра, К; Δf – полоса пропускания до квадратичного детектора, Гц; τ – постоянная времени выходного фильтра, с; μ – коэффициент, зависящий от схемного решения радиометра.

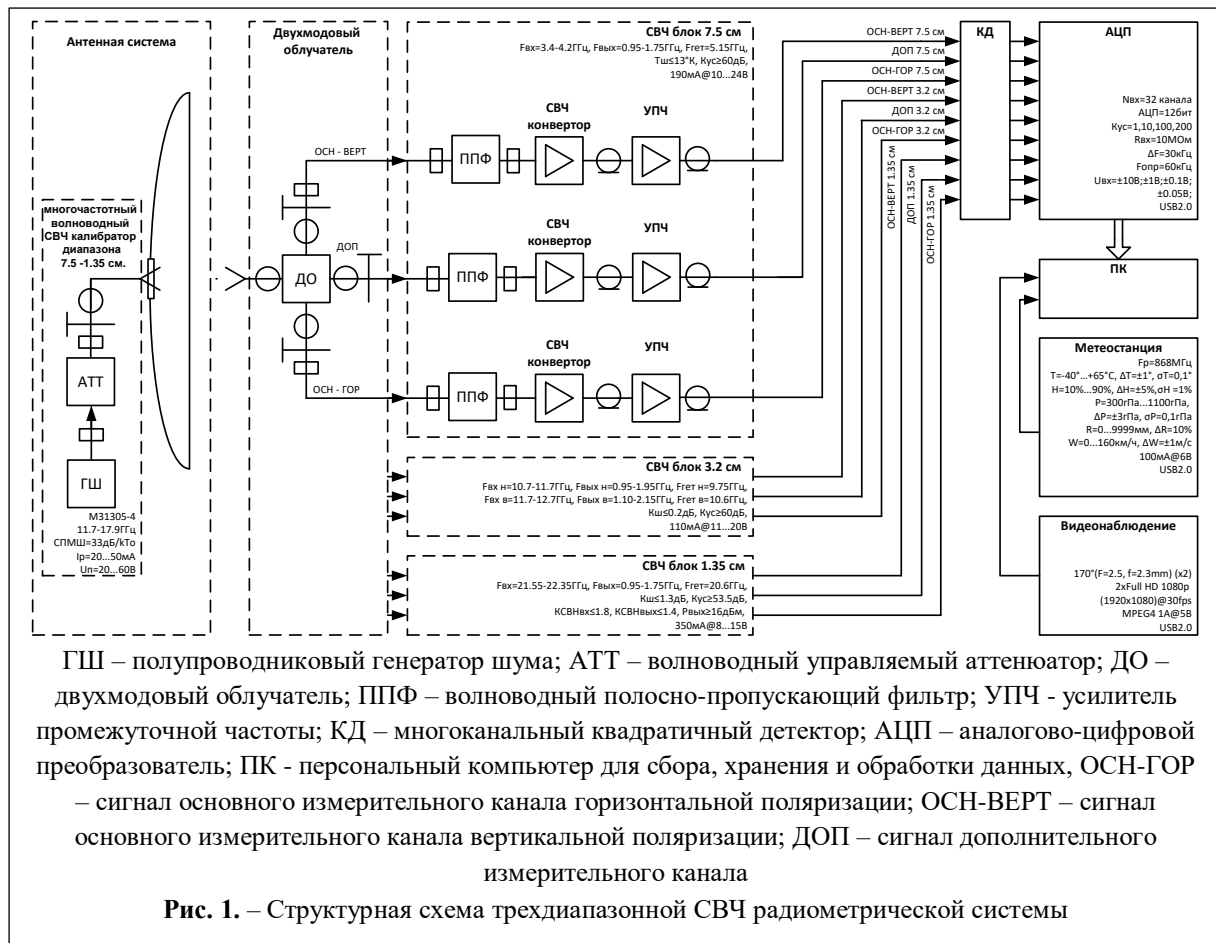
Выполнение приема радиотеплового излучения в нескольких частотных каналах СВЧ радиометрической системы расширяет функциональные возможности дистанционного зондирования атмосферы по оценке ме-

теопараметров: температуры, влажности, интенсивности осадков.

На рис. 1 представлена структурная схема трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы с реализацией компенсации влияния фоновых шумов [3].

В каждом частотном диапазоне СВЧ радиометрической системы осуществляется прием двух шумовых сигналов – основного измерительного сигнала и дополнительного сигнала компенсации с последующей реализацией нахождения их разности при обработке выходных сигналов АЦП в программе регистрации, обработки и архивации измеряемой информации. Прием в системе осуществляется на одну зеркальную антенну с последующим частотным разделением в приемном блоке - трехдиапазонном модовом разделителе, структурная схема которого представлена на рис. 2.

В модовом разделителе выполнено последовательное выделение основных измерительных сигналов и сигнала компенсации в трех частотных диапазонах с центральными длинами волн 7,5 см, 3,2 см, 1,35 см. Конструктивно модовый разделитель реализован на круглом волноводе, обеспечивающим работу в трехмодовом режиме – две волны H_{11} с вертикальной и горизонтальной поляризациями и волны E_{01} . Основные измерительные каналы образованы соединением прямоугольных волноводов с круглым с трансформацией волн H_{11} - H_{10} , а дополнительный канал с трансформацией волн E_{01} - H_{10} . Отдельный прием по третьей моде E_{01} обеспечивает



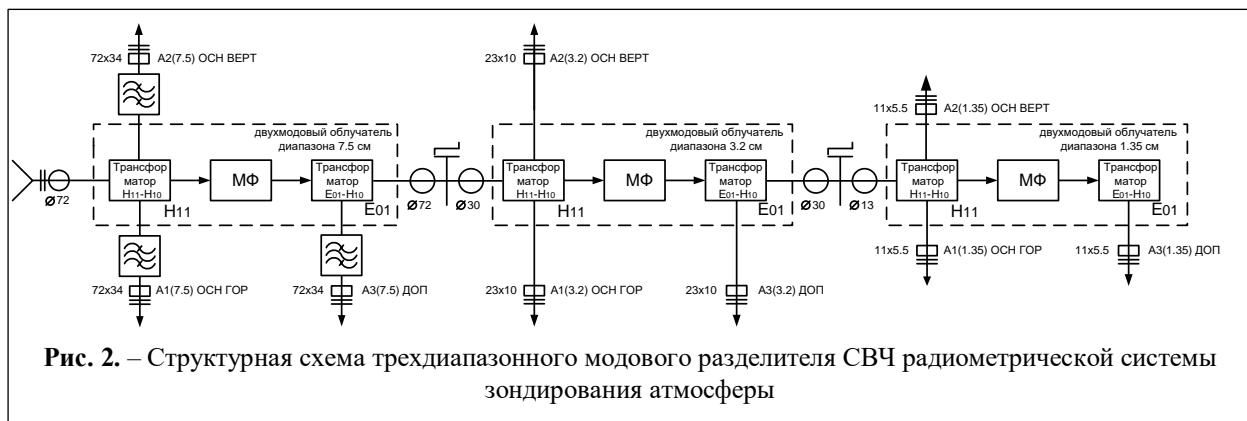
специальный модовый разделитель - кольцо, реализующий режекторный режим по волне H_{11} в круглом волноводе на соответствующей частоте.

Принцип последовательного выделения сигналов трех частотных диапазонов имеет преимущество единого направления приема по всем каналам, но наличие модового разделителя приводит к неизбежным потерям полезной мощности, что влияет на чувствительность СВЧ радиометрической системы.

При оценке предельной чувствительности рассмотренной трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы необходимо учесть эти потери, вычисляя шумовую температуру радиометра каждого канала, приведенную к входу облучателя антенны СВЧ радиометрической системы, согласно формуле

$$T_{ш} = (1 - \alpha_{мд})T_0 + \frac{T_{шр}}{\alpha_{мд}}, \quad (2)$$

где $\alpha_{мд}$ – коэффициент передачи модового



разделителя для заданного частотного диапазона.

В таблице 1 приведены технические характеристики радиометров системы.

Существенным преимуществом рассмотренной трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы является возможность приема с одного пространственного направления в

Таблица 1. Технические характеристики радиометров СВЧ радиометрической системы

Параметр	Значение		
1. Длина волны, см	7.5	3.2	1.35
2. Полоса пропускания, МГц	800	1000	800
3. Шумовая температура приемника, К	13	13	101
4. Коэффициент усиления приемника, дБ	60	60	53
5. Постоянная времени интегрирования, с	1	1	1

Проведенные исследования модового разделителя трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы с компенсацией влияния фоновых шумов показали [4], что для основ-

трех частотных диапазонах и возможность выполнения оперативной компенсации влияния фоновых шумов. Полученные результаты анализа влияния потерь сигнала в модо-

Таблица 2. Чувствительность трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы

Параметр	Значение		
1. Длина волны, см	7.5	3.2	1.35
2. Потери в модовом разделителе, дБ	-1,5	-1	-1,5
3. Предельная чувствительность радиометра без учета потерь в модовом разделителе, К	0.03	0.04	0.05
4. Предельная чувствительность радиометра с учета потерь в модовом разделителе, К	0,046	0,053	0,067
5. Относительное уменьшение чувствительности, обусловленное потерями в модовом разделителе, %	53	32	42

ных измерительных каналов на длине волны 7,5 см коэффициент передачи равен - 1,5дБ; на 3,2см он равен -1дБ, а на 1,35см его величина составляет -1,5дБ.

Были выполнены расчеты предельной чувствительности СВЧ радиометрической системы для каждого частотного диапазона по значениям шумовой температуры, полосы частот и постоянной времени, указанных в Таблице 1 без учета и с учетом потерь в модовом разделителе и определено относительное снижение чувствительности, обусловленное этими потерями. Результаты расчетов приведены в Таблице 2.

вом разделителе показали наличие снижения чувствительности СВЧ радиометрической системы, что необходимо учитывать при оценке результатов измерений.

Литература

1. Есепкина, Н.А. Радиотелескопы и радиометры / Н.А.Есепкина, Д.В.Корольков, Ю.Н. Парийский. – М.: Наука, 1973. – 416 с.
2. Фалин В.В. Радиометрические системы СВЧ. – М.: Луч, 1997. – 440с.
3. Ilya Rostokin, Elena Fedoseeva, Elena Rostokina, George Shchukin Multifrequency Microwave Radiometric Method of Detection and Control of Dangerous Atmospheric Weather Events, Resistant to Changing Measurement Conditions – 2019 Russian Open Conference on Radio Wave Propagation,

RWP 2019 - Proceedings 2019, 384 - 387, DOI: 10.1109/RWP.2019.8810166

4. Ростокин И.Н., Федосеева Е.В., Ростокина Е.А. Электромагнитное моделирование двухмо-

дового многочастотного облучателя зеркальной антенны с компенсацией боковых лепестков диаграммы направленности// Вестник Концерна ВКО Алмаз-Антей, 2017, №1 (20) – с. 60-66.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-19-00378, <https://rscf.ru/project/21-19-00378/>.

Поступила 15 октября 2021 г.

The article discusses the issues of assessing the sensitivity of a three-band microwave radiometric system with compensation for the influence of background noise. The approach of taking into account the influence of the mode divider of the system with the sequential allocation of signals of three frequency ranges on the sensitivity of the system is determined. Numerical estimates of the sensitivity of the microwave radiometric system for three frequency ranges are given without taking into account and taking into account losses in the mode divider.

Key words: microwave radiometric system, radiometer, mode divider, sensitivity.

Пчелина Юлия Александровна – магистрант 2-го курса по направлению подготовки магистратуры 11.04.01 «Радиотехника» факультета радиозлектроники и компьютерных систем Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

E-mail: YulyaPchelina@yandex.ru

Адрес: 602264, Муром, ул. Орловская, д. 23.

Федосеева Елена Валерьевна – доктор технических наук, доцент кафедры радиотехники Муромского института (филиала) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

E-mail: elenafedoseeva@yandex.ru

Адрес: 602264, г. Муром, ул. Орловская, 23.