

Калибровка трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы по внешнему источнику шумового сигнала

И.Н. Ростокин¹, Е.В.Федосеева¹, Г.Г.Щукин², Е.А. Ростокина¹

¹Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО
«Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г.Столетовых»,
602264, г.Муром, Владимирской обл., ул. Орловская 23
E-mail: elenafedoseeva@yandex.ru

²Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского, 197198, г. Санкт-Петербург, ул.
Ждановская, 13
E-mail: ggshchukin@mail.ru

Рассмотрен способ калибровки трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы по внешнему источнику шумового сигнала - генератору шума, расположенного в основании зеркала антенны. Приведены теоретические соотношения, определяющие взаимосвязь измеряемой радиояркостной температуры и выходного сигнала системы. Показаны особенности реализации метода калибровки по внешнему генератору шума при приеме на обций облучатель зеркальной антенны трехдиапазонной системы с последовательным частотным разделением сигналов трех диапазонов.

Ключевые слова: трехканальная СВЧ радиометрическая система, калибровка СВЧ радиометра, генератор шума, радиотепловое излучения атмосферы

Calibration of a three-band microwave radiometric system by an external noise signal source

I.N. Rostokin¹, E.V. Fedoseeva¹, G.G. Shchukin², E.A. Rostokina¹

¹Murom Institute (branch) of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "A.G. and N.G. Stoletovs Vladimir State University", 602264, Murom, 23, Orlovskaya str.

²Academy of Space and Military Sciences. A.F.Mozhaisky, 191198, St.-Petersburg, Zhdanovskaya, 13

The method of calibration of a three-band microwave radiometric system by an external source of noise signal - a noise generator located at the base of the antenna mirror - is considered. The theoretical relations determining the relationship between the measured radio brightness temperature and the output signal of the system are presented. The peculiarities of realization of the method of calibration by the external noise generator when receiving the three-band system with successive frequency separation of the signals of the three bands on a common mirror antenna illuminator are shown.

Keywords: *three-channel microwave radiometer system, microwave radiometer calibration, noise generator, radio-thermal radiation of the atmosphere*

Введение

В системах микроволнового радиометрического дистанционного зондирования атмосферы важным вопросом, определяющим возможность оценки метеопараметров и построения прогнозов, является вопрос выбора метода калибровки и способа его реализации [1-2].

В СВЧ радиометрических системах калибровка обеспечивает однозначное соответствие уровня выходного сигнала величине радиошумовой мощности собственного излучения атмосферы на входе антенны, характеризуемой радиояркостной температурой атмосферы.

Известны варианты внутренней и внешней калибровки СВЧ радиометрических систем. При внутренней калибровке на вход приемника периодически подключаются "низкотемпературный" и "высокотемпературный" источники шумового сигнала и оцениваются параметры принятой линейной связи выходного сигнала и антенной температуры. При выполнении внешней калибровки системы необходимо обеспечить наличие в дальней зоне антенны калиброванных источников шумового сигнала. В результате внешней калибровки определяются параметры линейной связи радиояркой температуры на входе антенны и величины сигнала на выходе радиометрической системы. Основная трудность реализации внешней калибровки в создании полноразмерных калиброванных источников внешнего шумового сигнала и в обеспечении их стабильности.

В данной работе рассматривается вариант калибровки по внешнему шумовому сигналу генератора шума, расположенному в основании зеркала антенны и обеспечивающий возможность оперативной оценки соответствия уровня выходного сигнала системы радиояркой температуре, формируемой на входе рупора зеркальной антенны.

Теоретические положения метода калибровки СВЧ радиометрической системы по внешнему источнику шумового сигнала, расположенному в основании зеркала антенны

Антенная температура трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы с последовательным формированием входного сигнала радиометра в облучателе зеркальной антенны задается выражением:

$$T_a = (\bar{T}_{эл} (1 - \beta)\eta + \bar{T}_ф \beta \eta + T_0 (1 - \eta)) k_{обл}, \quad (1)$$

где $\bar{T}_{эл}$ и $\bar{T}_ф$ - усредненные значения радиояркой температуры по области пространства, соответствующих угловой области главного лепестка и области рассеяния диаграммы направленности (ДН) антенны;

β - коэффициент рассеяния антенны;

η - КПД антенны;

T_0 - термодинамическая температура антенны;

$k_{обл}$ - коэффициент передачи облучателя антенны в заданном диапазоне частот.

Наличие в основании зеркала источника шумового сигнала приведет к появлению в составе антенной температуры дополнительной компоненты, величина которой пропорциональна шумовой температуре данного источника:

$$\Delta T_a = T_{ш} \gamma_{ш} k_{обл}, \quad (2)$$

где $T_{ш}$ - радиояркая температура источника шумового сигнала;

$\gamma_{ш}$ - коэффициент, учитывающий уменьшение шумовой мощности на входе облучателя за счет пространственной расходимости излучения, формируемого источником шумового сигнала.

В первом приближении коэффициент $\gamma_{ш}$ можно оценить по формуле:

$$\gamma_{ш} = \frac{\theta_{обл}}{\theta_{эл}}, \quad (3)$$

где $\theta_{эл}$ - ширина главного лепестка ДН антенны источника шумового сигнала;

$\theta_{обл}$ - часть угловой области главного лепестка ДН антенны источника шумового сигнала, соответствующей раскрытию облучателя зеркальной антенны СВЧ радиометрической системы.

Применение двухуровневого источника шумового сигнала позволит создать на входе облучателя два разных прироста антенной температуры, что необходимо для оценки параметров линейной зависимости выходного сигнала системы - крутизны характеристики S и начального отсчета U_0 :

$$u_a = ST_a + U_0, \quad (3)$$

где u_a - амплитуда напряжения сигнала на выходе радиометра.

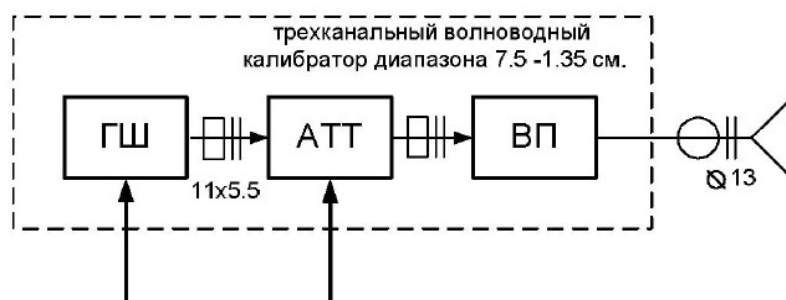
Для получения калибровочной характеристики относительно измеряемой радиояркой температуры можно рассмотреть три выходных сигнала:

- выходной сигнал, соответствующий приему радиотеплового излучения с направления в зенит при условии возможности достаточно точной оценки радиояркой температуры атмосферы;
- два разностных выходных сигнала, равных разности выходных сигналов при наличии и отсутствии источников шумового сигнала при приеме радиотеплового излучения атмосферы по направлению в зенит.

Практические вопросы реализации калибровки СВЧ радиометрической системы по внешнему источнику шумового сигнала

Рассматриваемый вариант калибровки по внешнему генератору шума обеспечивает введение шумового сигнала в тракт облучателя зеркальной антенны трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы с реализацией последовательного выделения входных шумовых сигналов в трех рабочих диапазонах с центральными длинами волн 7,5см, 3,2см и 1,35см [3-4]. В системе прием выполняется на зеркальную антенну с диаметром раскрыва D = 2400 мм.

Для обеспечения введения в антенно-фидерный тракт сигнала от генератора шума к его выходу подключен рупор с размером раскрыва 10 мм, который установлен в отверстии в центре зеркала СВЧ радиометрической системы. Для получения двух калиброванных отсчетов шумовой сигнал от генератора шума проходит через аттенюатор с регулируемым ослаблением 3дБ. На рис. 1 представлена структурная схема и внешний вид источника шумового сигнала и антенны трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы.



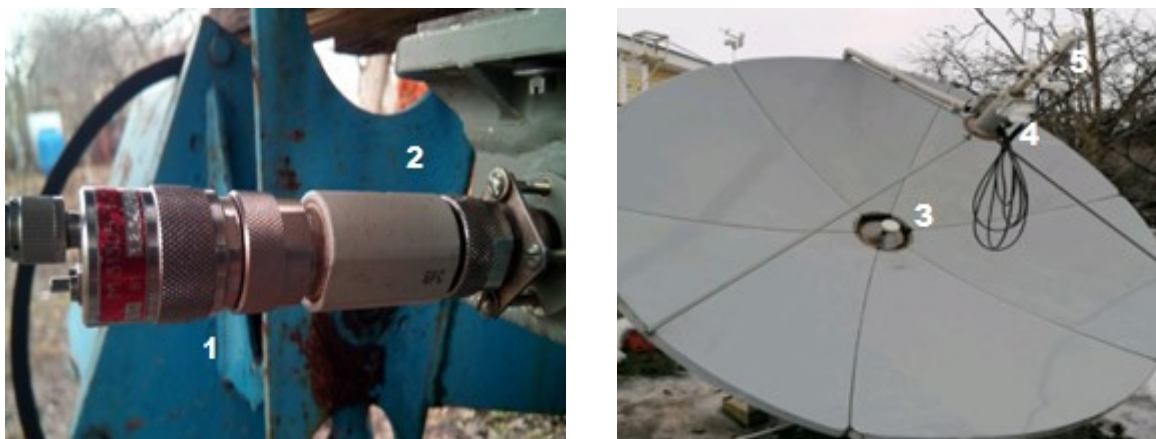


Рис. 1. Антенна трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы с внешним широкополосным источником шумового сигнала: 1-генератор шума; 2 - аттенюатор; 3 - рупор источника шумового сигнала; 4 - облучатель трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы; 5 - трехдиапазонный радиометр

В качестве источника шумового сигнала использовался модуль СВЧ генератора шума на ЛПД М31305-4 бШ 2.210.121ТУ (ГШ). Для определения температуры шума ГШ учитывалась ее связь с уровнем спектральной плотности мощности шума:

$$T(f) = 300H(f), \quad (4)$$

где $H(f)$ - частотная характеристика эквивалентной температуры шума.

Величина коэффициента $\gamma_{ш}$, учитывающего расходимость излучения, создаваемого ГШ оценивалась, исходя из направленных свойств рупора широкополосного источника шумового сигнала и расстояния от основания зеркала системы до трехдиапазонного облучателя (в эксперименте зеркало с радиусом раскрыва 1200мм, а расстояние от рупора ГШ до раскрыва облучателя антенны 835мм).

Результаты СВЧ радиометрических измерений радиотеплового излучения атмосферы при введении внешнего источника шумового сигнала в состав системы

Для оценки условий реализации калибровки трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы были выполнены измерения радиотеплового излучения безоблачной атмосферы в направлении в зенит при периодическом включении генератора шума, обеспечивающего два уровня мощности радиощумового сигнала отличающихся на 3дБ.

Полученные результаты измерений в величинах радиояркостных температур, приведены на рис. 2.

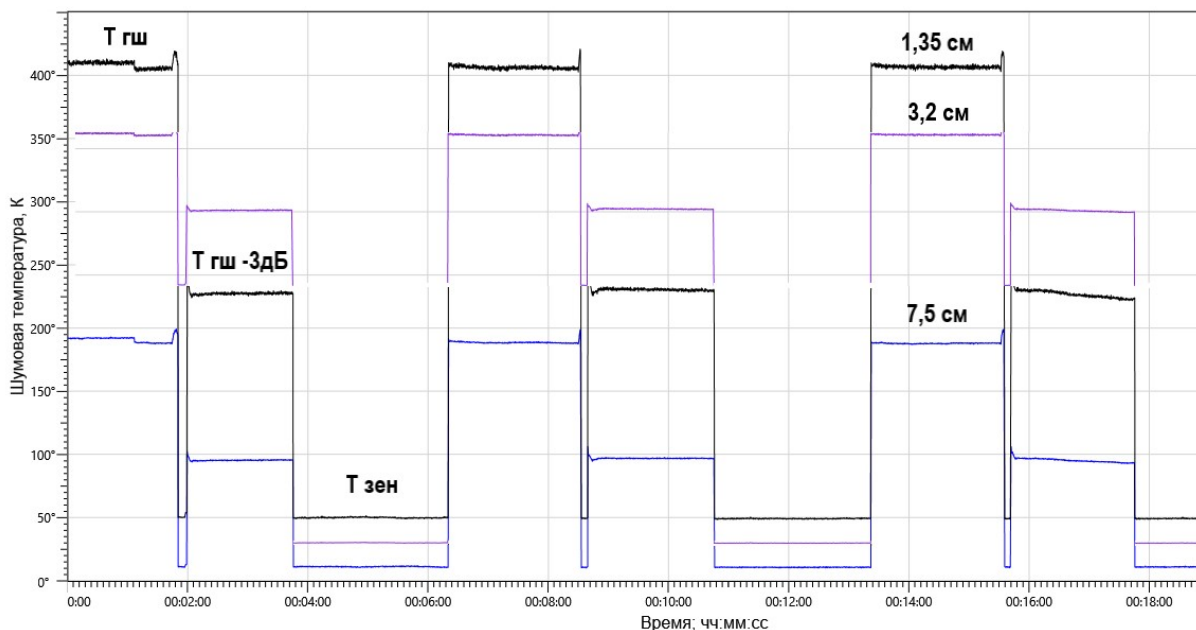


Рис. 2. Результаты измерений трехдиапазонной СВЧ радиометрической системой радиотеплового излучения безоблачной атмосферы при выполнении калибровки по внешнему генератору шума.

Результаты измерений трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы приведены на рис. 2 в величинах радиояркостной температуры при выполненной калибровке по внешнему шумовому сигналу широкополосного генератора шума при приеме радиотеплового излучения в направлении в зенит.

Выводы

Полученные результаты исследований показали принципиальную возможность реализации калибровки трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы по радиотепловому излучению внешнего широкополосного источника - генератора шума одновременно в трех рабочих диапазонах при приеме на общий облучатель зеркальной антенны с последующим частотным разделением сигналов двух поляризаций.

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

Литература

1. Радиотеплолокация в метеорологии / В.Д. Степаненко, Г.Г. Щукин, Л.П. Бобылев, С.Ю. Матросов. - Л.: Гидрометеиздат, 1987. - 283 с.
2. Фалин В. В. Радиометрические системы СВЧ / – М.: Луч, 1997.
3. E.V.Fedoseeva, I.N.Rostokin, G.G.Shchukin Calibration of a three-band microwave radiometric system with background noise compensation. Measurement Techniques – V.63 (4). 2020. – P. 301-307. DOI: 10.1007/s11018-020-01787-z.
4. Ростокин И.Н., Федосеева Е.В., Федосеев А.А. Вопросы построения многочастотной СВЧ - радиометрической системы дистанционного зондирования облачной атмосферы с компенсацией фонового излучения. // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2015. – №1. – С.5 – 11.