

УДК: 621.396.67

DOI: 10.26907/rwp29.2025.472-475

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ВНЕШНЕЙ КАЛИБРОВКИ СВЧ РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПО ВНЕШНЕМУ ГЕНЕРАТОРУ ШУМА

Е.В. Федосеева¹, А.С. Писный¹, И.Н. Ростокин¹, Г.Г. Щукин²

¹Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых», 602264, г. Муром, ул. Орловская, 23

E-mail: elenafedoseeva@yandex.ru

²АО «Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт (АО «ГНИНГИ»», 199106, Санкт-Петербург, Кожевенная линия, 41

E-mail: ggshchukin@mail.ru

Аннотация. Рассмотрен вариант реализации внешней калибровки СВЧ многочастотной радиометрической системы путем введения генератора шума с рупором, расположенным в основании зеркала. Приведены результаты моделирования коэффициентов передачи эталонного шумового сигнала, создаваемого устройством калибровки на выход облучателя при двух видах поляризации – вертикальной и горизонтальной. Получены данные о влиянии зеркала антенны и удаления рупора устройства калибровки от облучателя на величину коэффициента передачи.

Ключевые слова: внешняя калибровка СВЧ радиометрической системы; генератор шума; устройство калибровки

EVALUATION OF THE PARAMETERS OF THE EXTERNAL CALIBRATION DEVICE OF THE MICROWAVE RADIOMETRIC SYSTEM BY AN EXTERNAL NOISE GENERATOR

E.V. Fedoseeva, A.S. Pisny, I.N. Rostokin, G.G. Shchukin

Abstract. An option for implementing external calibration of a microwave multi-frequency radiometric system by introducing a noise generator with a horn located at the base of the mirror is considered. The results of modeling the transmission coefficients of the reference noise signal generated by the calibration device to the output of the irradiator with two types of polarization – vertical and horizontal. Data were obtained on the effect of the antenna mirror and the removal of the calibration device horn from the irradiator on the transmission coefficient.

Keywords: external calibration of the microwave radiometric system; noise generator; calibration device

Введение

СВЧ радиометрия – область дистанционного зондирования, в которой по величине мощности измеряемого внешнего радиотеплового излучения выполняется оценка физических свойств окружающей среды. Так при решении задач исследования состояния атмосферы и получения метеорологических прогнозов возможно использование результатов СВЧ радиометрических измерений для оценки значений метеопараметров: температуры, влажности, влагозапаса, водосодержания и интенсивности осадков [1–3].

Важным вопросом организации и выполнения СВЧ радиометрических измерений является вопрос калибровки СВЧ радиометрических систем, обеспечивающей однозначное соответствие величины выходного сигнала измеряемой радиояркой температуры. Калибровка СВЧ радиометрических систем – процедура, исключающая влияние внешних и внутренних помех и шумовых воздействий, таких как фоновое шумовое излучение окружающей среды, шумовые характеристики приемников, а также ограниченную пространственную селективность антенных систем. Сложность ее реализации связана с необходимостью получения эталонного шумового сигнала на входе системы, по которому выполняется оценка параметров характеристики взаимосвязи выходного сигнала и радиояркой температуры.

В качестве источников эталонного шумового сигнала используются естественные (космическое реликтовое излучение, Солнце, реперные области земной поверхности – лес, водоемы), и искусственные источники (широкоапертурные черные тела и калибровочные мишени) [4–6]. Ко всем источникам эталонного шумового сигнала предъявляется требование высокой стабильности значения радиояркой температуры и доступности для проведения

периодической калибровки системы, что не всегда может быть реализовано, особенно в условиях мобильности СВЧ радиометрической системы. Один из вариантов преодоления указанной сложности в организации периодической калибровки системы – введение в состав СВЧ комплекса дистанционного зондирования – источника шумового сигнала – генератора шума [7].

В данной работе оцениваются параметры устройства внешней калибровки СВЧ радиометрической системы дистанционного зондирования атмосферы при ее наземном базировании при получении эталонного шумового сигнала от генератора шума, расположенного в основании зеркала антенны.

Принципы организации внешней калибровки многодиапазонной СВЧ радиометрической системы

Внешняя калибровка обеспечивает однозначное соответствие выходного сигнала СВЧ радиометрической системы измеряемой радиояркой температуре $T_{ярк}$, которое принято задавать линейной зависимостью

$$T_{ярк} = K \cdot U + T_0, \quad (1)$$

где U – выходной сигнал системы; K и T_0 – параметры, определяемые в процессе калибровки.

От точности определения параметров K и T_0 зависит погрешность определения измеряемой радиояркой температуры и окончательно точность оценки значений метеопараметров. Численные значения K и T_0 зависят от многих факторов: интенсивности внутренних шумов СВЧ радиометров, от потерь в антенной системе, от внешних условий работы системы. Каждый из указанных факторов может случайным образом изменяться во времени, поэтому процедура калибровки должна выполняться с определенной периодичностью.

Для реализации внешней калибровки СВЧ радиометрической системы предлагается вариант использования внешнего генератора шума, расположенного на определенном удалении от облучателя антенны системы, что позволит исключить при калибровке влияние фонового излучения внешнего окружающего пространства и потерь входного сигнала в антенне.

Устройство калибровки содержит генератор шума, соединенный с коническим рупором, расположенным в основании зеркала антенны. Структура антенны и устройства калибровки показаны на рис.1.

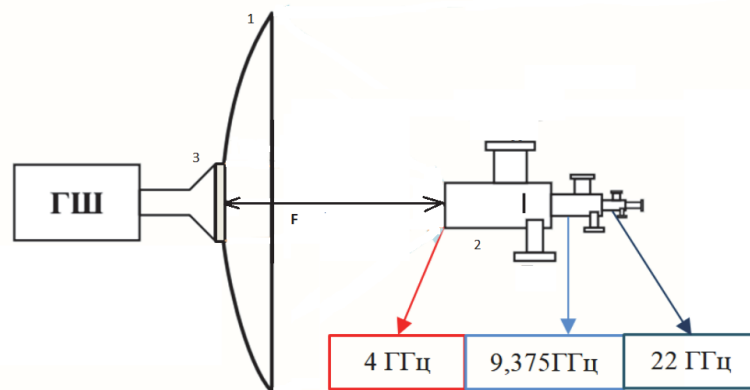


Рис. 1. Антенна трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы с устройством внешней калибровки: 1 – зеркало антенны; 2 – трехдиапазонный облучатель с разделением сигналов основного и дополнительного каналов в многомодовом режиме; 3 – облучатель внешнего генератора шума (ГШ), расположенный на фокусном расстоянии F облучателя зеркала

Для выполнения калибровки трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы необходимо обеспечить широкую полосу рабочих частот устройства калибровки в рассматриваемом случае от 3 ГГц до 23 ГГц и относительную однородность коэффициентов усиления рупора в составе этого устройства. Задачи анализа выполнимости указанных

требований была решена с помощью моделирования характеристик антенны с устройством калибровки.

Моделирование характеристик устройства калибровки СВЧ радиометрической системы

Задача моделирования состояла в исследовании влияния пространственного рассеяния от рупора устройства калибровки до облучателя антенны на величину эталонного шумового сигнала, в оценке зависимости коэффициента передачи сигнала от расстояния от рупора до облучателя и определении влияния зеркала антенны. Моделирование коэффициентов передачи для эталонного шумового сигнала было выполнено в программе Microwave Studio.

Коэффициенты передачи для шумового эталонного сигнала оценивались по величине S-параметров облучателя антенны на двух поляризациях S31 – вертикальной, S21 – горизонтальной. Результаты моделирования коэффициентов передачи для сигнала устройства калибровки в частотном диапазоне с центральной частотой 4 ГГц приведены на рис.2.

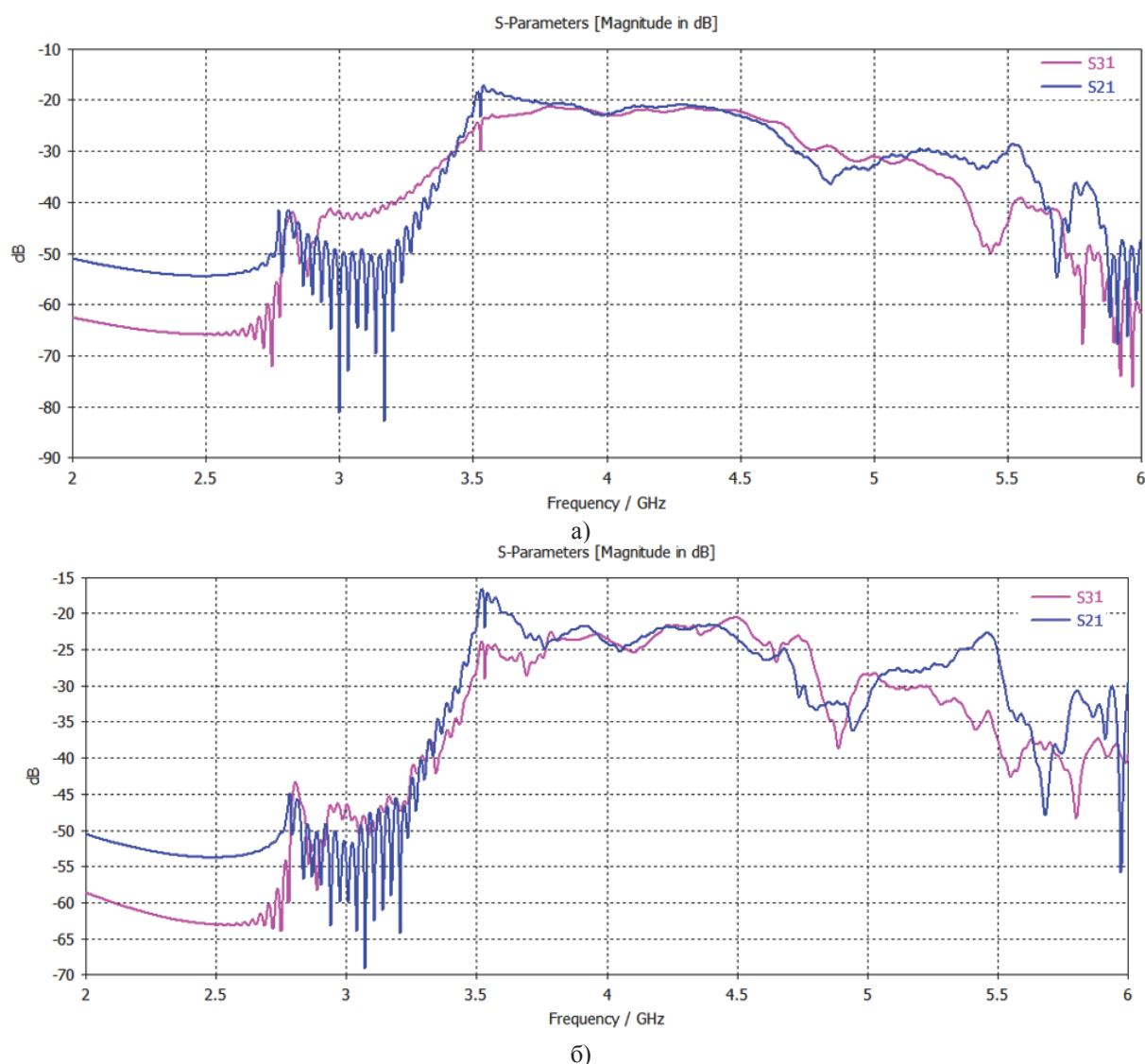


Рис. 2. Результаты моделирования коэффициентов передачи устройства калибровки СВЧ радиометрической системы

Полученные результаты моделирования коэффициента передачи сигнала устройства калибровки СВЧ радиометрической системы показали, что с учетом пространственного рассеяния сигнала его величина оказывается порядка -20 дБ, что необходимо учитывать при выборе режима работы генератора шума и введении дополнительного ослабления для задания

нескольких уровней калибровочного сигнала с целью оценки параметров калибровочной зависимости (1).

Наличие зеркала в антенне, согласно полученным результатам, приводит к снижению коэффициента передачи на 1 дБ, что позволило предположить возможность выноса облучателя устройства калибровки из основания зеркала в направлении облучателя, а проведенные расчеты показали, что уменьшение расстояния между рупором устройства калибровки и облучателем, позволяет повысить коэффициент передачи. Так при изменении расстояния с 321 мм до 170 мм коэффициент передачи увеличился на 3дБ.

Заключение

Предложенный вариант калибровки СВЧ радиометрической системы по внешнему генератору шума позволяет выполнять ее в различных условиях окружающего пространства и получать несколько уровней эталонного шумового сигнала при введении в состав устройства калибровки управляемого аттенюатора.

Полученные результаты моделирования характеристик устройства калибровки СВЧ радиометрической системы показали сильное ослабление эталонного шумового сигнала за счет пространственного рассеяния. Это необходимо учитывать при выборе генератора шума и управляемого аттенюатора для создания на входе облучателя шумового сигнала, соответствующего радиояркостной температуре до 300К, что задается диапазоном радиоярких температур, регистрируемых при дистанционном зондировании атмосферы.

Список литературы

1. Радиотеплолокация в метеорологии / В.Д. Степаненко, Г.Г. Щукин, Л.П. Бобылев, С.Ю. Матросов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 283 с.
2. Кадыгров Е.Н. Микроволновая радиометрия термической стратификации атмосферы. – Москва, 2020.
3. Федосеева Е.В., Ростокин И.Н., Щукин Г.Г. Многочастотные исследования неоднородной атмосферы // Метеорология и гидрология. – 2022. – № 12. – С. 78–87.
4. Ulaby, F.T., Moore, R.K., & Fung, A.K. (1981). Calibration of Microwave Radiometers Using Artificial Targets // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – No 45(3). – P. 1234–1245. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2006.888888>
5. Njoku, E.G., Entekhabi D. Design and Performance of Calibration Targets for Microwave Radiometers // Remote Sensing of Environment. – 2008. – No 112(4). – P. 1234–1245. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.09.003>
6. Kerr, Y.H., et al. (2008). Artificial Calibration Targets for Satellite Remote Sensing // Journal of Applied Remote Sensing, – No 2(1). – P. 1–12. <https://doi.org/10.1117/1.2931234>