

## **Исследование условий двухканального приема в микроволновой радиометрической системе зондирования атмосферы по внешнему тестовому шумовому сигналу**

Е.В.Федосеева<sup>1</sup>, И.Н. Ростокин<sup>1</sup>, Г.Г. Щукин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», 602264, г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23, e-mail: [elenafedoseeva@yandex.ru](mailto:elenafedoseeva@yandex.ru)

<sup>2</sup>Военно-космическая академия им. А.Ф.Можайского, 197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13, e-mail: [ggshchukin@mail.ru](mailto:ggshchukin@mail.ru)

*Рассмотрены теоретические и технические условия введения внешнего тестового шумового сигнала в микроволновую радиометрическую систему для оценки условий двухканального приема радиотеплового излучения атмосферы в системе с компенсацией влияния фоновых шумов. Получены результаты оценки соотношения коэффициентов передачи основных и дополнительных каналов в двухдиапазонной микроволновой радиометрической системе.*

*Theoretical and technical conditions enable the external test noise signal in passive microwave radiometric system to assess the conditions of a two-channel radio-thermal radiation of the atmosphere in the system with compensation of background noise. The results obtained by evaluating the ratio of transmission of the basic and additional channels in dual-band microwave radiometric system.*

### **Введение**

Микроволновые радиометрические исследования атмосферы направлены на получение оперативной информации о ее состоянии путем оценки метеопараметров по интенсивности ее собственного радиошумового излучения. Увеличение информативности и функциональных возможностей микроволновых радиометрических систем связано с переходом к многочастотным исследованиям атмосферы [1].

При исследовании атмосферы с кучево-дождевыми облаками, а также при выпадении осадков наблюдается существенный рост оптической толщины и увеличение интенсивности радиотеплового излучения во всем частотном спектре, но особенно в области высоких частот, что приводит к снижению относительной чувствительности оценки изменения состояния атмосферы по данным радиометрических измерений. В такой ситуации для повышения эффективности работы СВЧ радиометрических систем в задачах дистанционного зондирования атмосферы переходят к более длинноволновому диапазону. При этом ограничения на размеры антенных систем приводят к расширению угловой области главного лепестка диаграммы направленности антенны и росту уровня принимаемой мощности радиотеплового излучения окружающего пространства через область рассеяния диаграммы направленности. В связи с этим приобретает большое значение решение задачи исключения влияния фоновых шумов на точность измерения радиотеплового излучения.

В работах [2, 3] предложен способ исключения влияния фоновых шумов на основе двухканального приема при формировании в дополнительном канале сигнала адекватного помеховой составляющей входного сигнала основного измерительного канала на основе реализации двухмодового режима работы приемной антенны с разделением сигналов в модовом разделителе. Для выполнения СВЧ радиометрических измерений в нескольких частотных диапазонах при условии приема с одного углового направления предложен вариант последовательного формирования основного и дополнительного каналов в многосекционном модовом разделителе [4].

Цель работы состояла в оценке условий приема с точки зрения степени адекватности компенсации помеховой составляющей входного сигнала при указанной последовательной реализации многочастотного приема радишумового сигнала.

Для достижения поставленной цели было предложено ввести в состав системы источник внешнего тестового сигнала для оперативного контроля адекватности приема по двум каналам в каждом частотном диапазоне. При этом необходимо было решить следующие задачи: разработать принципы оценки различий условий приема в многочастотной СВЧ радиометрической системе с двухканальным приемом в каждом диапазоне, предложить вариант практической реализации системы с внешним тестовым сигналом, выполнить комплекс измерений для оценки различий коэффициентов передачи основных и дополнительных сигналов в двухдиапазонной СВЧ радиометрической системе.

### **Теоретическая оценка условий приема в микроволновой радиометрической системе по внешнему тестовому шумовому сигналу**

В микроволновой радиометрической системе с компенсацией фоновых шумов выполняется двухканальный прием на основе двухмодового режима круглого волновода  $H_{11}$  и  $E_{01}$  с разделением сигналов в модовом разделителе [3]. В многодиапазонном режиме двухканального приема при последовательной реализации частотного разделения сигналов возникает задача исключения влияния различия коэффициентов передачи по основным и дополнительным каналам многосекционного модового разделителя на условия компенсации фоновых шумов.

При введении внешнего тестового шумового сигнала, который поступает на вход одновременно с измеряемым сигналом, на выходе каждого блока антенного устройства многодиапазонной микроволновой радиометрической системы формируются выходные сигналы, содержащие дополнительную составляющую пропорциональную коэффициенту передачи соответствующего канала и шумовой температуре внешнего источника. Тогда выходной сигнал основного измерительного канала равен

$$U_{\text{осн гш}} \sim k_{\text{осн}}(T_{\text{гл}}(1-\beta)\eta + T_{\text{бок}}\beta\eta + T_0(1-\eta)) + k_{\text{осн}} T_{\text{вх гш}}, \quad (1)$$

а выходной сигнал дополнительного канала

$$U_{\text{доп гш}} \sim k_{\text{доп}}(T_{\text{бок}}\beta\eta + T_0(1-\eta)) + k_{\text{доп}} T_{\text{вх гш}}, \quad (2)$$

где  $\beta$  и  $\eta$  - коэффициент рассеяния и КПД антенны;

$T_{\text{гл}}$ ,  $T_{\text{бок}}$  - радиояркость температура в области главного лепестка и в области рассеяния ДН антенны;

$T_0$  - термодинамическая температура;

$T_{\text{вх гш}}$  - температура генератора шума;

$k_{\text{осн}}$  и  $k_{\text{доп}}$  - коэффициенты передачи основного и дополнительных каналов антенны.

В реализуемом в системе методе компенсации влияния фонового шума на результаты измерений на основе двухканального приема предусматривается нахождение разности выходных сигналов основного и дополнительного каналов. Тогда различие в величинах  $k_{\text{осн}}$  и  $k_{\text{доп}}$  приводит к погрешности компенсации составляющей входного сигнала основного измерительного канала, обусловленной приемом фонового излучения  $T_{\text{бок}}\beta\eta$ . Поэтому оперативный контроль значений коэффициентов передачи основного и дополнительных каналов  $k_{\text{осн}}$  и  $k_{\text{доп}}$  позволит уменьшить погрешность компенсации помех и измерений радиояркости температуры в целом.

Для оценки соотношения коэффициентов передачи  $k_{\text{осн}}$  и  $k_{\text{доп}}$  предлагается формировать в системе разностные сигналы в каждом канале при реализации двух режимов измерений – при наличии и отсутствии внешнего тестового сигнала.

Сформированные таким образом разностные сигналы пропорциональны коэффициенту передачи соответствующих каналов

$$U_{осн\ p} = U_{осн\ гш} - U_{осн} \sim k_{осн} T_{вх\ гш}, \quad (3)$$

$$U_{доп\ p} = U_{доп\ гш} - U_{доп} \sim k_{доп} T_{вх\ гш}, \quad (4)$$

заключительный этап оценки адекватности условий приема – нахождение соотношения уровней разностных сигналов

$$U_{осн\ p} / U_{доп\ p} = k_{осн} / k_{доп}. \quad (5)$$

### Практическая оценка условий приема в радиометрической системе по внешнему тестовому шумовому сигналу

Для обеспечения адекватной компенсации влияния фоновых шумов при корректировке уровней сигналов основного и дополнительного каналов должна обеспечиваться линейность зависимости напряжения на выходе радиометра от мощности радишумового излучения на входе системы.

Для оценки адекватности условий приема по основному и дополнительному каналам в двух диапазонах микроволновой радиометрической системы (центральными длинами волн диапазонов 3,2 см и 7,5 см) был выполнен комплекс измерений при введении внешнего тестового шумового сигнала от генератора шума с рупором, устанавливаемом непосредственно перед рупором приемной части системы, и при расположении апертуры рупора источника внешнего шумового сигнала в отверстии по центру зеркала. На рис. 1-2 приведены результаты измерений для указанных вариантов расположения рупора источника внешнего тестового сигнала при трех разных уровнях ослабления -10дБ, -15дБ и -20дБ.

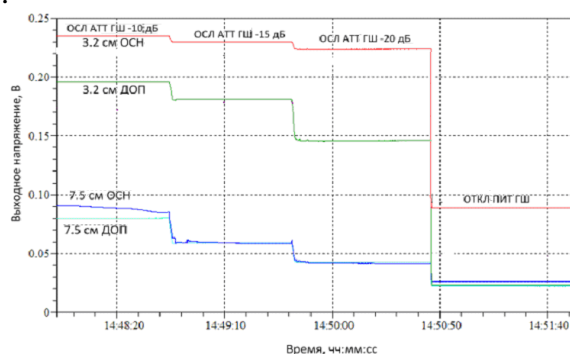


Рис. 1. Временные зависимости выходных сигналов двухдиапазонной СВЧ радиометрической системы при расположении рупора источника тестового шумового сигнала перед рупором системы

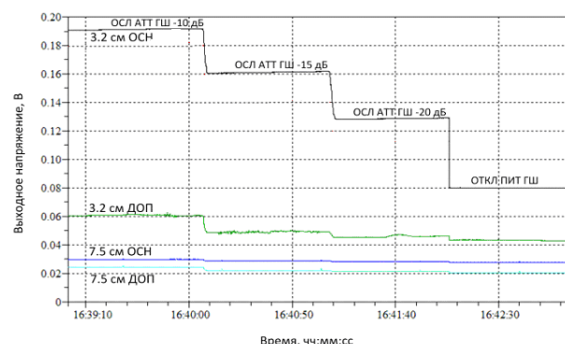
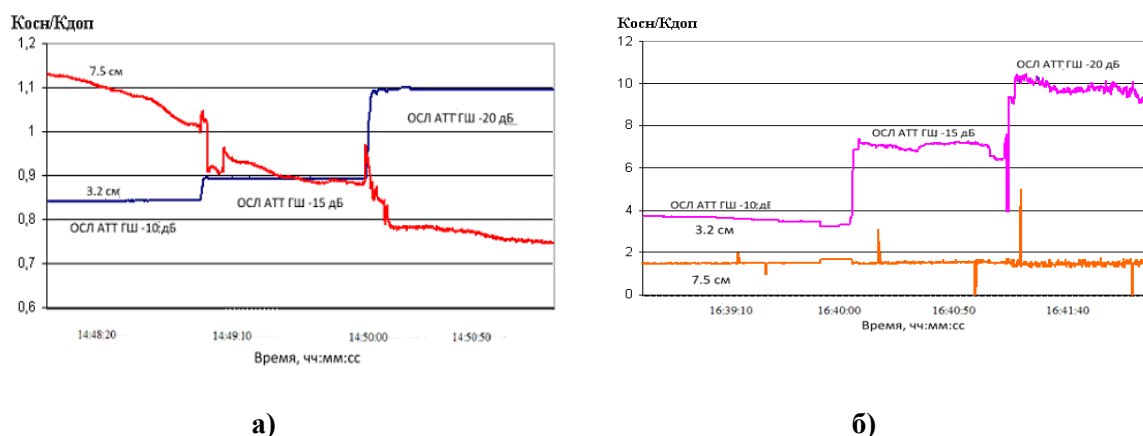


Рис. 2. Временные зависимости выходных сигналов двухдиапазонной СВЧ радиометрической системы при расположении рупора источника тестового шумового сигнала в центре зеркала антенны системы

Для оценки различий условий приема по основным и дополнительным каналам были найдены разностные сигналы согласно (3) и (4) для трех уровней ослабления аттенюатора источника внешнего тестового сигнала -10дБ, -15дБ и -20дБ для двух частотных диапазонов системы, центральные длины волн которых 3,2см и 7,5см, а также получены оценки соотношения коэффициентов передачи основного и дополнительного каналов  $k_{осн}/k_{доп}$  по (5), результаты которой приведены на рис. 3.

Результаты оценки соотношения коэффициентов передачи основного и дополнительного канала в системе с двухканальной антенной –  $k_{осн}/k_{доп}$  показали сильную зависимость величины  $k_{осн}/k_{доп}$  от уровня тестового шумового сигнала на входе антенны, особенно при измерениях на длине волны 3.2см при расположении источника тестового сигнала в дальней зоне облучателя зеркальной антенны – в центре зеркала (рис. 3б).



**Рис. 3. Соотношения коэффициентов передачи основного и дополнительного каналов двухдиапазонной СВЧ радиометрической системы с двухканальным приемом в каждом диапазоне при расположении рупора источника внешнего тестового сигнала: а) перед рупором антенны системы, б) в центре зеркала антенны системы**

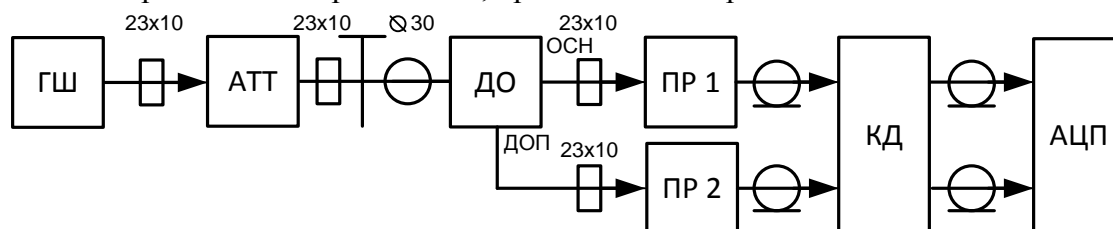
При снижении уровня внешнего шумового сигнала на длине волны 3.2см наблюдалось нелинейное уменьшение уровня выходного сигнала дополнительного канала (рис. 1-2), в то время как в диапазоне 7,5см уровни сигналов основного и дополнительного канала приблизительно одного порядка, что определило разные зависимости величины  $k_{осн}/k_{доп}$  от уровня тестового шумового сигнала.

Проведенный анализ возможных причин существенного роста величины  $k_{осн}/k_{доп}$  при уменьшении уровня внешнего тестового шумового сигнала при неизменности условий приема и функционирования микроволновой радиометрической системы позволил сделать выводы о значимости влияния нелинейности функций передачи приемников системы на результаты оценки условий приема по основному и дополнительному каналам системы, особенно когда уровни входных сигналов соответствуют разным динамическим диапазонам системы, что может быть выявлено при проведении оценки параметров системы по внешнему тестовому сигналу.

### **Исследование нелинейности коэффициента передачи приемников в широком динамическом диапазоне изменения уровня тестового шумового сигнала**

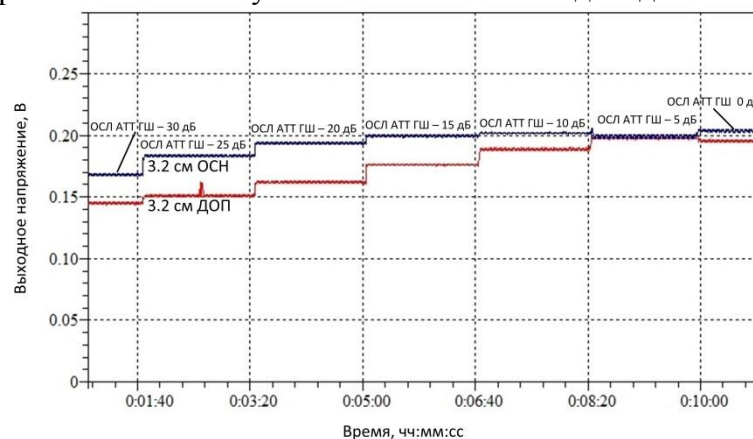
С целью экспериментальной оценки нелинейности коэффициента передачи приемников микроволновой радиометрической системы было исследовано прохождение различного уровня тестового шумового сигнала (при ослаблении от минус 30 до 0 дБ) через двухмодовый облучатель при одновременной регистрации уровня выходного сиг-

нала с выходов приемников ПР 1 и ПР 2. Структурная схема оценки нелинейности коэффициента передачи СВЧ приемников, представлена на рис. 4.



**Рис.4.** Структурная схема измерений нелинейности коэффициента передачи приемников: ГШ – полупроводниковый генератор шума; АТТ – плавный поглощающий аттенуатор; ДО – двухмодовый облучатель; ОСН и ДОП - выходы основного и дополнительного каналов двухмодового облучателя; ПР 1 и ПР 2 – исследуемые приемники; КД – многоканальный квадратичный детектор; АЦП – аналого-цифровой преобразователь

На рис. 5 приведены результаты экспериментальных исследований нелинейности коэффициента передачи приемников радиометрической системы в диапазоне изменения ослабления уровня тестового шумового сигнала от -30 до 0 дБ.



**Рис.5.** Уровни выходного сигнала СВЧ приемников при ослаблении входного сигнала от -30 до 0 дБ

Анализ экспериментальных данных представленных на рис.5 позволяет выявить диапазон нелинейности коэффициентов передачи сигналов получаемых с выходов двухмодового облучателя в области низких значений уровня тестового сигнала, чем ниже уровень входного тестового шумового сигнала, тем больше проявляется различие в уровне выходного сигнала снимаемого с выходов приемников ОСН и ДОП каналов микроволновой радиометрической системы. Устранение данного явления заключается в использовании приемников с идентичными электрическими параметрами или в применении методов модуляционного радиометрического приема, направленных на устранение различия коэффициентов передачи при использовании одного приемника с модулируемым входом по ОСН и ДОП каналам.

### Заключение

Выполненный комплекс измерений подтвердил принципиальную возможность оперативной оценки условий приема в микроволновой радиометрической системе с компенсацией фоновых помех на основе двухканального приема путем введения в состав системы внешнего источника шумового сигнала. Полученные результаты показали необходимость предварительной проработки вопроса выбора уровня внешнего тестово-

го шумового сигнала и экспериментальной оценки линейности функции передачи приемников в динамическом диапазоне входных сигналов, определяемом условиями работы и задачами оценки метеопараметров по данным измерений микроволновой радиометрической системы.

### **Литература**

1. Щукин Г.Г., Степаненко В.Д., Снегуров А.В. Перспективные направления радиолокационных наблюдений за атмосферой // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И.Воейкова, 2010, № 561. С. 223 - 241.
2. Федосеева Е.В., Щукин Г.Г. Вопросы метрологического обеспечения радиотеплолокационных измерений в условиях действия внешних шумовых помех: моногр. – Муром: ИПЦ Муромского института ВлГУ, 2012. 103 с.
3. Ростокин И.Н., Федосеева Е.В. Исследование антенного устройства трехдиапазонной СВЧ – радиометрической системы дистанционного зондирования атмосферы с компенсацией влияния фонового излучения // Радиотехнические и телекоммуникационные системы, 2015. №3(19). С. 94 – 100.
4. Fedoseeva E., Rostokin I., Fedoseev A. Research mode duai-band antenna dualchannel microwave radiometric system with compensatuon of background noise // 2015 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2015 – Proceedings. 2015. – P. 1331–1335.