

Оценка эффективности применения пилот-сигнала в СВЧ радиометрической системе при проведении измерений в условиях изменения фазового состояния слоя осадков на поверхности зеркальной антенны

Е.В.Федосеева, И.Н.Ростокин, Е.А.Ростокина

Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», 602264, г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, 23

E-mail: elenafedoseeva@yandex.ru

Анализируются результаты измерения радиояркостной температуры облачной атмосферы двухканальной СВЧ радиометрической системой с пилот-сигналом в условиях формирования слоя осадков на поверхности антенны при значительных изменениях его фазового состава.

Results of measurement of the radio brightness temperature of the cloudy atmosphere two-channel by the microwave oven radiometric system with the pilot signal in the conditions of formation of a layer of a precipitation on an antenna surface are analyzed at considerable changes of its phase structure.

Введение

При проведении радиометрических измерений радишумового излучения окружающего пространства, например, атмосферы для точного решения обратных задач – оценки физических параметров исследуемой среды большое значение имеет стабильность характеристик самой системы. Одним из факторов, вызывающих изменение условий приема входного сигнала радиометрической системы, – формирование слоя осадков на поверхности зеркальной антенны. Его влияние состоит в уменьшении коэффициента отражения от зеркала, что уменьшает мощность входного информационного сигнала, и в формировании собственного шумового излучения, что приводит к недетерминированному приросту помеховой составляющей входного сигнала системы [1].

Один из способов уменьшения влияния слоя осадков на поверхности антенны на результаты СВЧ радиометрических измерений, предложенный в работе [2], состоит в организации прохождения в системе дополнительного пилот-сигнала, излучаемого в сторону антенны и принимаемого в один из периодов формирования входного сигнала при отсутствии приема по области зондирования. Пилот - сигнал имеет шумовой характер и испытывает на себе аналогичное помеховое воздействие слоя осадков, как и входной сигнал. В результате величина и характер изменения пилот-сигнала определяет степень влияния слоя осадков на принимаемый сигнал, что позволяет реализовать алгоритмы оценки уровня радишумового излучения области исследования при компенсации влияния слоя осадков.

Цель работы – оценить эффективность применения способа компенсации влияния слоя осадков на поверхности зеркальной антенны при введении пилот-сигнала в сложных метеорологических условиях при изменении фазового состава слоя осадков.

Математическая модель влияния слоя осадков на входной сигнал радиометрической системы

Антенная температура радиометрической системы при наличии слоя осадков на поверхности зеркала определяется выражением [1]

$$T'_a = T_a \cdot R_{321}^2 + T_{321}, \quad (1)$$

где T_a - антенная температура при отсутствии слоя осадков на поверхности зеркала,

R_{321}^2 - коэффициент отражения по мощности от трехслойного образования (воздух – слой осадков - металл антенны),

T_{321} - температура шумов данного образования, приведенная к входу радиотеплолокационной системы.

$$R_{321}^2 = \frac{e^{-2\tau_2} + R_{21}^2 - 2 \cdot R_{21} \cdot e^{-\tau_2} \cos\left(\frac{4\pi l_2}{\lambda_2} \sin \theta_2\right)}{1 + R_{21}^2 \cdot e^{-2\tau_2} - 2 \cdot R_{21} \cdot e^{-\tau_2} \cos\left(\frac{4\pi l_2}{\lambda_2} \sin \theta_2\right)}, \quad (2)$$

где $\tau_2 = 2\chi_2 l_2 \operatorname{cosec} \theta_2$ - оптическая толщина слоя осадков,

θ_2 - угол высоты луча радиотеплового излучения в среде осадков, отсчитываемый от поверхности зеркала,

λ_2 - длина волны в среде осадков,

χ_2 - показатель поглощения электромагнитной энергии в полупрозрачной среде,

R_{21} - коэффициент отражения от границы воздух-среда осадков.

$$T_{321} = \frac{T_2(1 - e^{-2\tau_2})(1 - R_{21}^2)}{1 + R_{21}^2 e^{-2\tau_2} + 2R_{21} e^{-\tau_2} \cos \frac{4\pi l_2 \sin \theta_2}{\lambda_2}}. \quad (3)$$

где T_2 - термодинамическая температура слоя осадков на поверхности зеркала.

Погрешность измерений радиояростной температуры, обусловленная действием слоя осадков на поверхности зеркала, определяется абсолютным приращением антенной температуры

$$\Delta T_a = T_a \cdot (R_{321}^2 - 1) + \bar{T}_{321}. \quad (4)$$

Величина погрешности ΔT_a зависит от фазового состояния слоя осадков и его толщины. На рис. 1 приведены зависимости коэффициента отражения R_{321}^2 при наличии слоя воды, снега, льда на поверхности зеркальной антенны. Данные рис.1 позволяют сделать вывод о сильной зависимости влияния фазового состояния слоя осадков на погрешность измерения, что необходимо учитывать в условиях длительных автономных измерений при возможной сильной вариации их состояния.

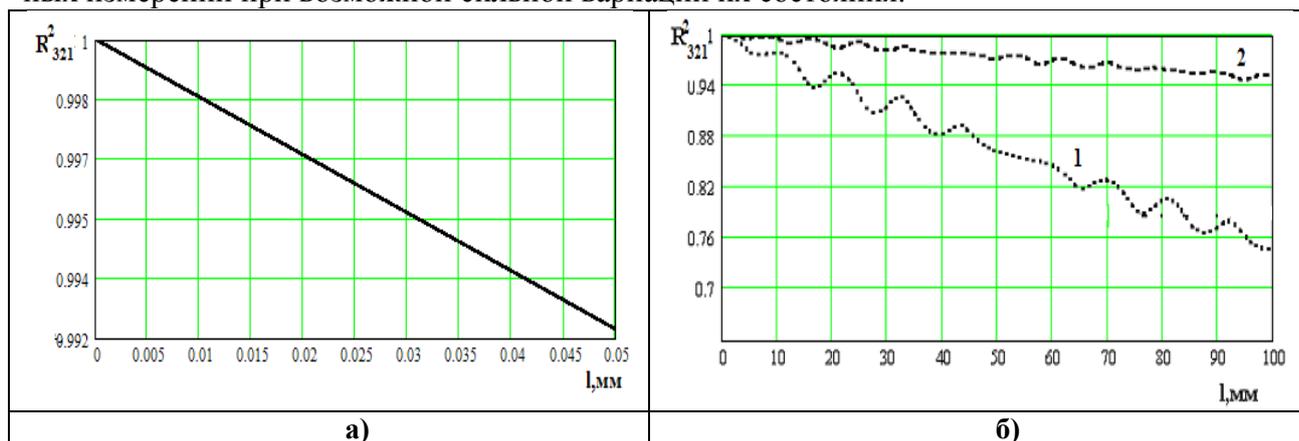


Рис. 1. Зависимость коэффициента отражения R_{321}^2 от толщины слоя на поверхности антенны: а – воды; б – снега (1), льда (2).

Алгоритм компенсации влияния слоя осадков на поверхности зеркальной антенны СВЧ радиометрической системы способом пилот-сигнала

Алгоритм выделения информационной составляющей входного сигнала способом пилот-сигнала в режиме измерения радиояростной температуры предполагает приме-

нение двухуровневого пилот-сигнала, нахождение разности и отношения двух выходных сигналов системы, формируемых в два полупериода опорного сигнала, задаваемого модуляционным способом измерения с компенсацией влияния собственных шумов радиометра.

Первый выходной сигнал формируется при приеме основного измерительного сигнала – радиошумового излучения от исследуемой области пространства

$$U_{\text{выхинф}} = K1(R_{321}^2 T_a + T_{321}). \quad (5)$$

Второй выходной сигнал обусловлен приемом пилот-сигнала при отсутствии приема радиошумового излучения исследуемой области пространства

$$U_{\text{вых1,2}} = K2(R_{321}^2 T_{э1,2} + T_{321}), \quad (6)$$

где $T_{э1}$ и $T_{э2}$ - два уровня температуры шумов эталонного источника, приведенных ко входу приемника.

Выходной сигнал системы при соответствующем выборе коэффициентов передачи сигналов в системе K1 и K2 пропорционален отношению:

$$U_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{выхинф}} - U_{\text{выхсп}}}{U_{\text{вых1}} - U_{\text{вых2}}} = \frac{R_{321}^2 (T_a - T_{эсп})}{R_{321}^2 (T_{э1} - T_{э2})} = \frac{T_a - T_{эсп}}{T_{э1} - T_{э2}}. \quad (7)$$

Из выражения (7) видно, что в выходном сигнале системы исключено помеховое воздействие слоя осадков на результаты радиометрических измерений.

Результаты измерений радиояркостной температуры атмосферы при формировании слоя осадков разного фазового состояния на поверхности зеркальной антенны при наличии пилот-сигнала в системе.

Для оценки эффективности применения способа пилот-сигнала были проведены измерения радиошумового излучения безоблачной атмосферы при наличии слоя осадков, фазовый состав которого значительно изменялся в процессе измерений.

При проведении измерений основная задача состояла в оценке адекватности влияния слоя осадков на информационный сигнал и пилот-сигнал в случае твердого (снег) и жидкого (вода) фазового состояния слоя осадков на поверхности антенны.

В ходе эксперимента воспроизводились следующие условия измерения:

- кратковременные воздействия осадков большой интенсивности путем искусственного полива поверхности зеркала антенны;
- формирование слоя снега с изменяющейся влажностью на поверхности антенны путем его искусственного увлажнения.

Возможности практической реализации измерений с одноуровневым пилот - сигналом определило ограничения по реализации компенсационных алгоритмов. Оценка эффективности использования пилот-сигнала для компенсации влияния слоя осадков на результаты радиометрических измерений выполнялась по величине разности и отношения двух выходных сигналов

$$\Delta U_{\text{вых}} = R^2 (T_a - T_{э}) + T_{321} (K1 - K2), \quad (8)$$

$$\frac{U_{\text{вых1}}}{U_{\text{вых2}}} = \frac{T_a R^2 + T_{321} K_1}{T_{э} R^2 + T_{321} K_2}. \quad (9)$$

Результаты изменения приведены на рис.2 – 3. На рисунках 2-3 сигнал 1 – выходной сигнал системы в режиме пилот - сигнала; сигнал 2 – выходной сигнал системы в режиме измерения радиошумового излучения исследуемой области атмосферы

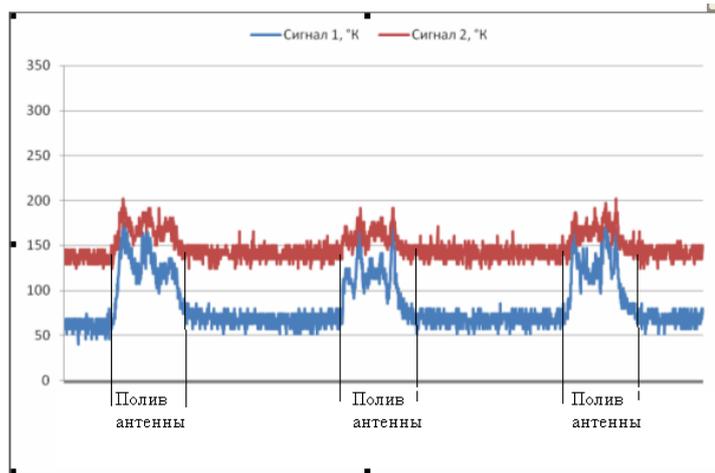


Рис. 2. Результаты измерения радиояркостной температуры облачной атмосферы радиометрической системой с пилот-сигналом при образовании слоя воды на поверхности зеркала антенны.

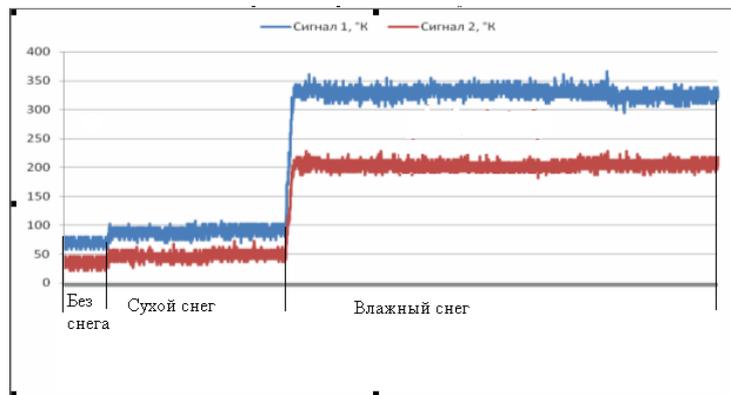


Рис. 3. Результаты измерения радиояркостной температуры облачной атмосферы радиометрической системой с пилот-сигналом при формировании слоя снега (а – сухого, б – мокрого) на поверхности зеркала антенны.

Анализ результатов измерений СВЧ радиометрической системы с пилот - сигналом при наличии слоя осадков на поверхности антенны

В обоих случаях в результате обработки данных измерения были получены численные значения отношения и разности двух выходных сигналов радиометрической системы.

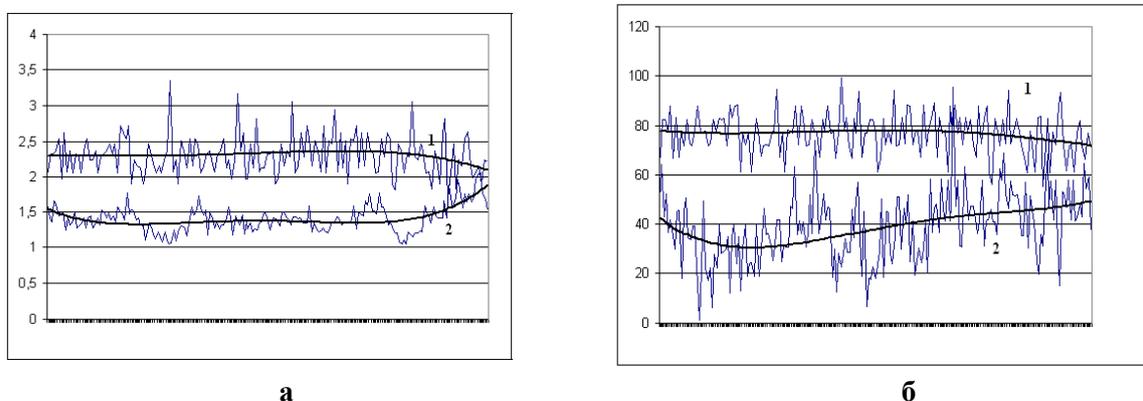


Рис. 4. Величина отношения (а) и разности (б) двух входных сигналов СВЧ радиометрической системы с пилот – сигналом при отсутствии (1) и наличии (2) слоя воды на поверхности антенны.

Анализ рисунка 4 показал, что в случае формирования слоя воды на поверхности антенны численные значения отношения и разности выходных сигналов меньше, чем при отсутствии слоя воды, что при имевших место соотношениях коэффициентов K_1 и K_2 передачи по двум каналам обусловлено влиянием в первую очередь уменьшения вклада антенной температуры в выходной сигнал за счет ухудшения отражательных свойств антенны.

В случае формирования слоя снега на поверхности антенны при изменяющейся его влажности средние значения отношения и разности выходных сигналов удобнее сравнивать по средним значениям, т.к. временной тренд зависимости данных величин достаточно линейный. Данные по средним значениям отношения и разности двух выходных сигналов СВЧ радиометрической системы с пилот-сигналом приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Состояние поверхности антенны	Отношение выходных сигналов	Разность выходных сигналов
Без снега	2,109	34,85
Сухой снег	1,911	40,52
Влажный снег	1,617	126,5

В случае формирования слоя снега отношение выходных сигналов уменьшается при возрастании влажности снега, а их разность увеличивается, что обусловлено преобладанием влияния собственного радишумового излучения слоя снега на уровень выходного сигнала системы.

Выводы

Полученные результаты проверки эффективности применения СВЧ радиометрической системы с пилот-сигналом в условиях формирования слоя осадков на поверхности антенны показали высокую степень адекватности изменения пилот-сигнала и сигнала в режиме измерения, а также определили необходимость применения двухуровневого пилот-сигнала с обязательной предварительной оценкой коэффициентов передачи двух входных каналов системы.

Литература

1. Тучков, Л.Г. Естественные шумовые излучения в радиоканалах / Л.Г.Тучков. – М.: Сов.радио, 1968. – 152 с.
2. Федосеева, Е.В. Радиометрическая система с дополнительным каналом формирования сигнала компенсации/ Е.В.Федосеева, И.Н.Ростокин // Труды ГГО. – 2010. - Вып. 562. –с. 242-256.