

Ростокин И.Н.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: rostockin.ilya@yandex.ru*

### **Особенности пассивного микроволнового радиометрического контроля облачной атмосферы**

Основное отличие пассивных микроволновых радиометрических исследований атмосферы от активных радиолокационных заключается в том, что статистические свойства «полезного» сигнала, принимаемого по главному лепестку диаграммы направленности антенны и «помехового» принимаемого по боковым и задним лепесткам, одинаковы - гауссов шум, а общий вклад этих компонент сигнала может быть сопоставим по своей интенсивности. Таким образом, распознавание и выявление этих компонент по чисто статистическим признакам невозможно. Более того, в целом ряде случаев «полезный» сигнал (или его пространственно-временная вариация) составляет величину, существенно меньшую, чем вклад шумового излучения в боковое поле диаграммы направленности антенны [1].

Одна из основных проблем наземных микроволновых радиометрических систем – максимальное уменьшение мощного фонового излучения от наземных объектов и атмосферы.

При определении высотных профилей необходимы микроволновые радиометрические измерения при разных углах места. Но при смене углового положения антенны относительно поверхности Земли изменяется вклад радиотеплового излучения подстилающей поверхности в составе входного сигнала радиометрической системы - вклад фоновых шумов, принимаемых через область рассеяния диаграммы направленности антенны. Влияние фоновых шумов сказывается в случайных вариациях помехового прироста входного сигнала радиометрической системы [2, 3].

Для повышения точности радиометрических измерений при оценке высотных профилей интегральных параметров облачной атмосферы необходима компенсация влияния фоновых шумов на системном уровне [4].

Перенос микроволнового излучения от объекта исследования до микроволнового радиометра сопровождается явлениями поглощения и рассеяния на отдельных частицах облаков (капли и кристаллы) и дополнительным излучением этих частиц.

Для атмосферы находящейся в состоянии термодинамического равновесия (до высот  $h < 90$  км), в радиодиапазоне, где  $h\nu \ll kT$  справедливо приближение Релея – Джинса для функции Планка, в этом случае уравнение переноса радиотеплового излучения примет следующий вид

$$\frac{dI_\nu}{dl} = -\gamma_\nu I_\nu + \frac{2k\nu^2}{c^2} \gamma_\nu T, \quad (1)$$

где  $I_\nu$  – спектральная интенсивность радиотеплового излучения;  $\gamma_\nu$  – коэффициент поглощения;  $\nu$  – частота;  $dl$  - элемент пути.

Проводя интегрирование уравнения (1) по траектории распространения волны при граничных условиях  $I_\nu(0) = 0$  и  $I_\nu(\infty) = I_\Phi$  получаем выражение для спектральной интенсивности нисходящего радиотеплового излучения атмосферы при наблюдении с поверхности Земли в направлении визирования

$$I_\nu = \frac{2k\nu^2}{c^2} \int_0^\infty T(l)\gamma_\nu(l) \exp\left(-\int_0^l \gamma_\nu(l') dl'\right) dl + I_\Phi \exp\left(-\int_0^l \gamma_\nu(l) dl\right) \quad (2)$$

Для получения физической информации об объекте микроволнового радиометрического зондирования используется радиояркая температура исследуемого объекта  $T_\nu$ , под которой понимается температура эквивалентного абсолютно черного тела, излучающего в данном направлении излучение с интенсивностью  $I_\nu$ , равное излучению исследуемого объекта, т.е.

$$T_{\text{я}} = \frac{c^2 I_{\text{в}}}{2k\nu^2} \quad (3)$$

При использовании плоскостной модели атмосферы  $dl = dh / \cos \Theta$ , выражение (2) в значениях радиояростной температуры примет следующий вид

$$T_{\text{я}} = \frac{1}{\cos \Theta} \int_0^{\infty} T(h) \gamma_{\text{в}}(h) \exp\left(-\frac{1}{\cos \Theta} \int_0^h \gamma_{\text{в}}(h') dh'\right) dh + T_{\text{ф}} \exp\left(-\frac{\tau_0}{\cos \Theta}\right) \quad (4)$$

где  $\tau_0 = \int_0^{\infty} \gamma_{\text{в}}(h) dh$  – полное вертикальное поглощение в атмосфере;  $\Theta$  – зенитный угол визирования;  $T_{\text{ф}}$  – температура фонового излучения.

При наблюдениях с поверхности Земли значения радиояростных температур для различных состояний атмосферы могут быть определены с помощью следующих выражений [1]:

- для безоблачной (ясной) атмосферы

$$T_{\text{я}} = \bar{T}(1 - e^{-\gamma_a}), \quad (5)$$

- для облачной атмосферы без осадков

$$T_{\text{я}} = \bar{T}_1(1 - e^{-\gamma_1}) + \bar{T}_2(1 - e^{-\gamma_2})e^{-\gamma_1} + \bar{T}_3(1 - e^{-\gamma_3})e^{-(\gamma_1 + \gamma_2)}, \quad (6)$$

- для облачной атмосферы с осадками в виде дождя

$$T_{\text{я}} = \bar{T}_1(1 - e^{-\gamma_1}) + \bar{T}_2(1 - e^{-\gamma_2})e^{-\gamma_1} + \bar{T}_3(1 - e^{-\gamma_3})e^{-(\gamma_1 + \gamma_2')} + \bar{T}_4(1 - e^{-\gamma_4})e^{-(\gamma_1' + \gamma_2 + \gamma_3)}. \quad (7)$$

где  $\bar{T}$  – средняя температура среды в которой происходит перенос излучения;  $\gamma_a$  – коэффициент поглощения газами атмосферы,  $\gamma_a = \tau \sec \theta$ ;  $\tau$  – оптическая толщина излучающего слоя;  $\theta$  – угол между нормалью к слою и направлением визирования;  $\bar{T}_1, \bar{T}_2, \bar{T}_3$  – средние температуры излучающих слоев;  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$  – коэффициент поглощения в газах атмосферы, облаках и осадках для каждого слоя.

Для дальнейшей процедуры восстановления «полезного» сигнала необходимо тщательно учитывать вклад излучения боковых лепестков и собственного излучения антенны в полный сигнал, поскольку в условиях экспериментальных исследований при изменении пространственного положения главного лепестка диаграммы направленности антенны (в режиме наведения или слежения) будет изменяться и этот «помеховый» сигнал практически неконтролируемым образом [5].

### Литература

1. Радиотеплокация в метеорологии / В.Д. Степаненко, Г.Г. Щукин, Л.П. Бобылев, С.Ю. Матросов. - Л.: Гидрометеиздат, 1987. - 283 с.
2. 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.
3. Ростокин И.Н., Федосеева Е.В., Щукин Г.Г. Сверхвысокочастотная радиометрическая система с внешним тестовым шумовым сигналом. // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. Выпуск 653. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2016, С. 204 – 209.
4. Ростокин И.Н., Федосеева Е.В. Вопросы построения многочастотной СВЧ радиометрической системы дистанционного зондирования облачной атмосферы с компенсацией фонового излучения // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2015. – №1 (17). – С. 5 – 12.
5. Ростокин, И. Н. Многочастотный микроволновый радиометрический метод обнаружения и контроля опасных атмосферных метеоявлений, устойчивый к изменяющимся условиям измерений // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2018. № 1 (37). С. 6-21.