

Исследование характера влияния слоя воды на поверхности зеркальной антенны на величину антенной температуры при многочастотных радиотеплолокационных измерениях дождевых облаков

Е.В.Федосеева¹, Г.Г.Щукин²

¹Муромский 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

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

Исследуется влияние слоя воды на поверхности зеркальной антенны на результаты измерений при проведении радиотеплолокационных измерений дождевых облаков в разных частотных диапазонах.

Influence of a sheet of water on surfaces of the mirror aerial on results of measurements is investigated at carrying out of radiometric measurements of rain clouds in different frequency ranges.

Введение

Радиотеплолокационные методы исследования дождевых облаков предоставляют возможности проведения дистанционной оценки их характеристик, например, водозапаса по уровню радишумового излучения в определенном частотном диапазоне [1]. Достоверность таких методов решения обратных задач зависит от точности оценки радиояркой температуры по величине антенной температуры, эквивалентной мощности выходного сигнала антенны радиотеплолокационной системы.

Влияние помеховых факторов в работе радиотеплолокационных систем приводит к аддитивному и мультипликативному воздействию на измеряемое радишумовое излучение. Так в составе антенной температуры имеют место помеховые шумовые составляющие, обусловленные фоновым шумовым излучением пространства вокруг антенны, и случайные изменения коэффициента передачи антенны, что сопровождается недетерминированным изменением уровня выходного сигнала системы. При измерениях радишумового излучения дождевых облаков дополнительно на уровень выходного сигнала антенны влияет слой воды, образующийся на поверхности зеркальной антенны.

Цель работы – исследовать влияние слоя воды на поверхности зеркальной антенны на величину антенной температуры при проведении радиотеплолокационных измерений дождевых облаков в условиях выпадения осадков в зависимости от интенсивности дождя у поверхности земли, типа облачности и частотного диапазона измерений.

Антенная температура СВЧ радиотеплолокационной системы при наличии слоя осадков на поверхности зеркала антенны

Измеряемая радиояркая температура исследуемой области пространства связана с антенной температурой уравнением антенного сглаживания [2]

$$T_a = \eta_a \cdot (1 - \beta) \cdot \bar{T}_{гл} + \eta_a \cdot \beta \cdot \bar{T}_{бок} + (1 - \eta_a) \cdot T_0, \quad (1)$$

где η_a – коэффициент полезного действия антенны; β – коэффициент рассеяния антенны; $\bar{T}_{гл}$, $\bar{T}_{бок}$ – среднее значение радиояркой температуры пространства соответственно в области главного лепестка и в области рассеяния диаграммы направленности (ДН) антенны; Ω_{pac} – угловой размер области рассеяния ДН.

Наличие слоя воды на поверхности зеркала приводит к изменению его отражательных свойств, что эквивалентно уменьшению коэффициента передачи антенны, и к до-

бавлению в состав принимаемого антенной радиотеплового излучения составляющей собственного шумового излучения слоя воды, поэтому выражение для антенной температуры радиотеплолокационной системы в данном случае может быть записано в виде [2]

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

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 радиометрической системы.

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

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.

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

где T_2 - термодинамическая температура слоя осадков на поверхности зеркала.

Влияние слоя осадков на антенную температуру радиотеплолокационной системы может быть определено через абсолютное приращение антенной температуры равное

$$\Delta T_a = T_{321} + T_a \cdot (R_{321}^2 - 1) = \Delta T_{a1} + \Delta T_{a2}. \quad (5)$$

Согласно выражению (5) влияние слоя осадков на антенную температуру проявляется в относительном уменьшении составляющей, по которой оценивается измеряемая радиояркостьная температура, и в добавлении в состав выходного сигнала шумовой составляющей, обусловленной собственным излучением слоя воды.

Результаты численного моделирования прироста антенной температуры при радиотеплолокационных измерениях дождевых облаков

В практике радиотеплолокационных измерений используются определенные способы оценки радиояркостьной температуры исследуемой области по величине антенной температуры с компенсацией действия фоновых шумов и собственного шумового излучения антенны, поэтому для наглядности исследования влияния слоя воды на результаты радиояркостьных измерений была принята в качестве антенной температуры T_a в выражении (5) радиояркостьная температура дождевых облаков.

При этом важным вопросом оценки прироста антенной температуры оказался вопрос взаимосвязи радиояркостьной температуры дождевых облаков и толщины слоя воды на поверхности зеркальной антенны радиотеплолокационной системы. Сложность его решения состояла в том, что толщина слоя воды в первом приближении является функцией интенсивности дождя у поверхности земли, в то же время радиояркостьная температура зависит от ее величины и типа облачности, например, слоисто-дождевые и кучево-дождевые облака, и для ее задания могли быть использованы только результаты расчета по эмпирическим моделям облаков [1].

Данные, опубликованные в работах [1,3], позволили путем построения регрессионных зависимостей радиояркостной температуры дождевого облака от интенсивности дождя определить взаимосвязь толщины слоя воды на поверхности антенны в условиях выпадения дождя с радиояркостной температурой дождевого облака для трех частотных диапазонов 136 ГГц, 23.8 ГГц, 31.6 ГГц [4].

Кроме вопроса общей величины абсолютного прироста антенной температуры ΔT_a при наличии слоя воды на поверхности антенны анализировалось соотношение составляющих этой величины ΔT_{a1} и ΔT_{a2} , обусловленных разными процессами, влияющими на измеряемую величину T_a . На рис.1-3 приведены зависимости величин положительного ΔT_{a1} , отрицательного ΔT_{a2} и суммарного ΔT_a прироста антенной температуры радиотеплолокационной системы для трех частотных диапазонов 136 ГГц, 23.8 ГГц, 31.6 ГГц, соответственно.

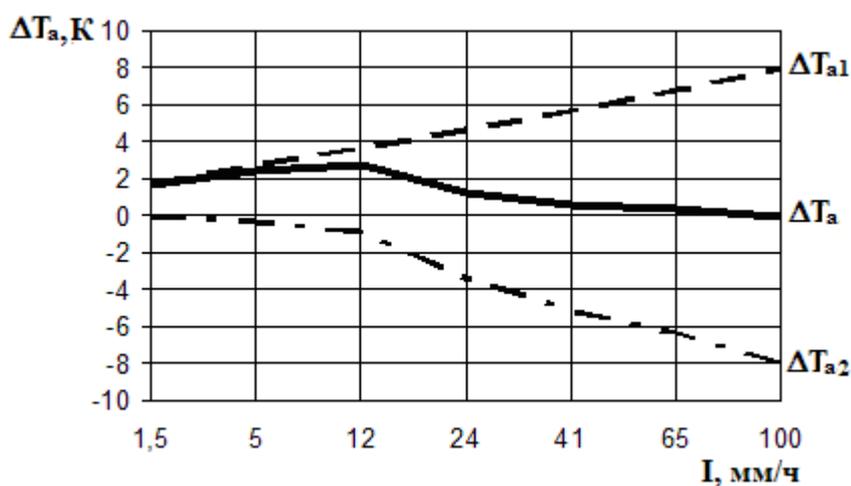


Рис.1.

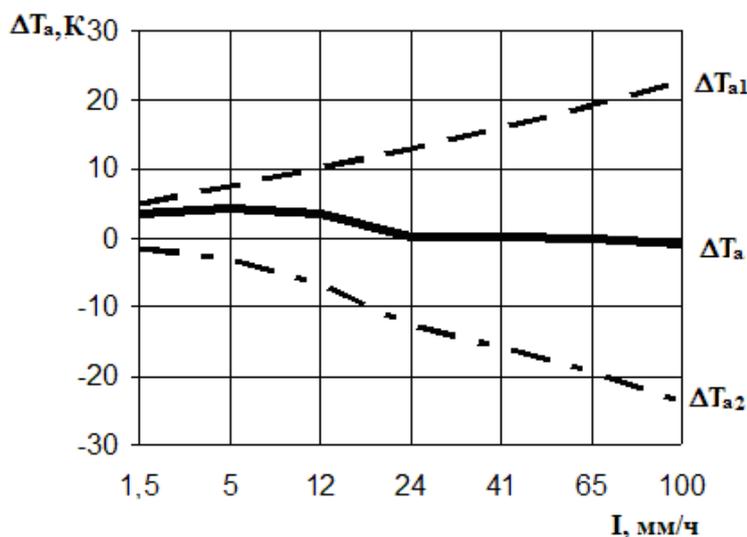


Рис.2.

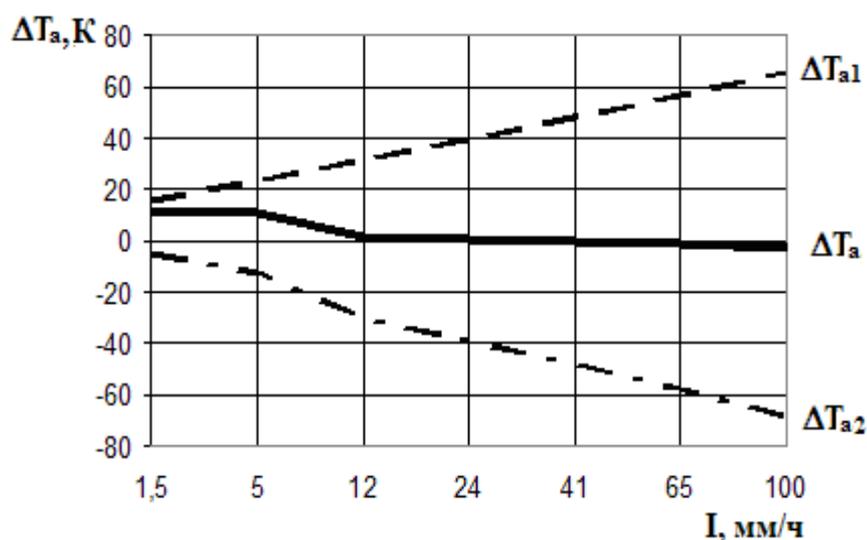


Рис.3.

Анализ графических зависимостей прироста антенной температуры ΔT_a и ее составляющих ΔT_{a1} , ΔT_{a2} , представленных на рис.1-3, показывает о преобладании положительного прироста антенной температуры при малых интенсивностях дождя за счет собственного радиозумового излучения слоя воды на поверхности антенны. При дальнейшем увеличении интенсивности дождя отрицательное приращение за счет снижения отражательных свойств поверхности зеркала практически полностью компенсирует положительное приращение антенной температуры.

Указанная зависимость прироста антенной температуры от интенсивности дождя наблюдается во всех трех рассмотренных частотных диапазонах, а различие состоит в величине прироста: чем выше частота, тем больше прирост антенной температуры. Так при частоте 13.6 ГГц максимальная величина полного прироста ΔT_a равна 3К а на частоте 31.6 ГГц – 11 К.

Выводы

Полученные результаты исследований показывают, что образующийся на поверхности антенны слой воды при проведении радиотеплолокационных измерений дождевых облаков дает погрешность в виде положительного прироста антенной температуры в большей степени при малых интенсивностях дождя, что может привести к завышенной оценке водозапаса таких облаков.

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 / В.В.Фалин. – М.: Луч, 1997. – 440 с.
3. Marzano, F.S. Ground-Based Multifrequency Microwave Radiometry for Rainfall Remote Sensing / F.S.Marzano, P. Ciotti, A. Martellucci // IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing. – 2002. - vol. 40. - pp. 749 – 759.
4. Федосеева, Е.В. Исследование влияния осадков на точность СВЧ радиометрических наблюдений/ Е.В.Федосеева, Г.Г. Щукин // Труды ГГО. – 2010. - Вып. 562. –с. 226-242.