

Сравнительный анализ влияния слоя осадков на поверхности антенны на погрешность измерения параметров влагосодержания пассивными и активными радиолокационными методами

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

Проведен сравнительный анализ влияния слоя воды на поверхности зеркальной антенны на погрешность измерений пассивными и активными радиолокационными системами параметров облачной атмосферы.

The comparative analysis of influence of a sheet of water on a surface of the mirror antenna on an error of measurements is carried out by passive and active radar-tracking systems of parameters of the cloudy atmosphere

Введение

Активные и пассивные радиолокационные методы широко используются в задачах исследования метеообъектов. При пассивном зондировании по измеренному уровню собственного радиошумового излучения оценивается влагозапас атмосферы, водозапас облаков и водозапас или средняя интенсивность дождя. В активных методах по временным параметрам определяются геометрические параметры метеообъектов: высота и размеры, а по уровню отраженного сигнала – водность облаков и интенсивность осадков. Комплексное применение активных и пассивных радиолокационных методов позволяет повысить информативность дистанционного зондирования. При исследовании облачной атмосферы пассивно-активное зондирование позволяет решать задачи, связанные с определением водозапаса облаков и осадков, с оценкой полного содержания жидкокапельной влаги в облаках, с определением профиля водности облаков в направлении визирования [1].

При решении задачи оценки интегральных параметров влагосодержания по результатам зондирования вероятной оказывается ситуация нахождения системы в области выпадения осадков и формирования их слоя на поверхности зеркала антенны. В таком случае при решении обратных задач определения водозапаса облаков и интенсивности осадков по величине радиояркостной температуры в пассивных системах и по величине отражаемости в активных системах возможны погрешности, обусловленные изменением отражательных свойств зеркала антенны.

Цель работы – провести сравнительный анализ влияния слоя воды, формирующегося на поверхности зеркала антенны, на погрешность измерения параметров влагосодержания метеообъектов пассивными и активными радиолокационными методами.

Математическая модель влияния слоя осадков на выходной сигнал пассивной и активной радиолокационной системы

В пассивных радиолокационных системах исследования атмосферы измеряется уровень радиошумового излучения, характеризуемый радиояркостной температурой. Влияние слоя воды на поверхности антенны на результаты измерений состоит в уменьшении доли радиояркостной температуры атмосферы в выходном сигнале систе-

мы за счет уменьшения отражательных свойств антенны и в приросте выходного сигнала системы за счет собственного радиозумового излучения слоя воды[2].

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

$$\Delta T_a = T_a \cdot (R_{321}^2 - 1) + T_{321}, \quad (1)$$

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.

При измерении параметров атмосферы активными радиолокационными системами измеряется отражаемость сигнала от метеообразования Z , которая связана с водностью облака $\omega_{обл}$ и интенсивностью дождя I следующими соотношениями

$$Z = BI^\beta, \quad Z = U^* \omega_{обл}^\alpha, \quad (2)$$

где B , U^* , α , β - параметры, изменяющиеся в пространстве и во времени и зависящие от функции распределения частиц осадков по размерам и от скорости падения.

В результате погрешность измерения отражаемости Z напрямую оказывается связанной с погрешностью определения параметров облачной атмосферы.

Влияние слоя воды на поверхности зеркала антенны в случае активной радиолокационной системы состоит в уменьшении уровня сигнала, а погрешность измерения определяется отрицательным абсолютным изменением отражаемости сигнала от метеообразования

$$\Delta Z = (R_{321}^2 - 1)Z. \quad (3)$$

Для выполнения сравнительного анализа влияния слоя воды на поверхности зеркала на результаты измерений пассивных и активных радиолокационных систем были приняты частотные диапазоны, в которых реализуется комплексное пассивно-активное исследование атмосферы, и по результатам этих исследований оцениваются параметры облаков. Для таких измерений обычно выбирают диапазон длин волн 3.2 см, 4 см и 5.3 см.

Оценка влияния слоя воды на поверхности зеркала антенны на погрешность пассивных радиолокационных измерений параметров атмосферы

Первоначально были построены зависимости коэффициента отражения R_{321}^2 и собственного радиозумового излучения слоя осадков T_{321} от толщины слоя воды для указанных длин волн.

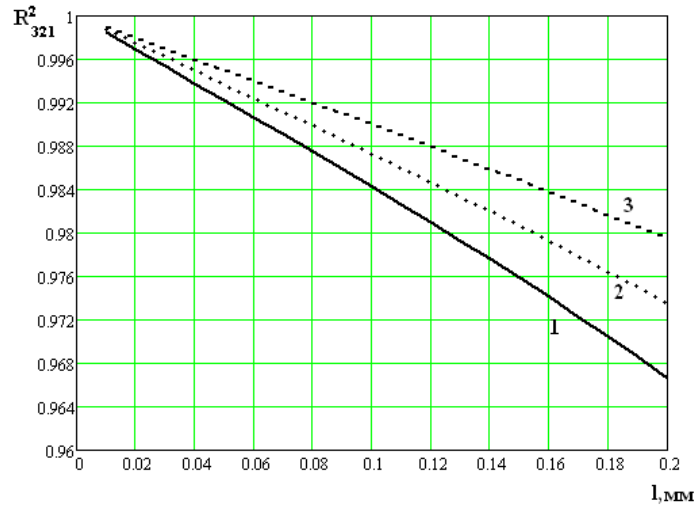


Рис. 1. Зависимость коэффициента отражения R_{321}^2 от толщины слоя воды на поверхности антенны: 1- $\lambda = 3,2\text{см}$, 2 - $\lambda = 4\text{см}$, 3 - $\lambda = 5,3\text{см}$.

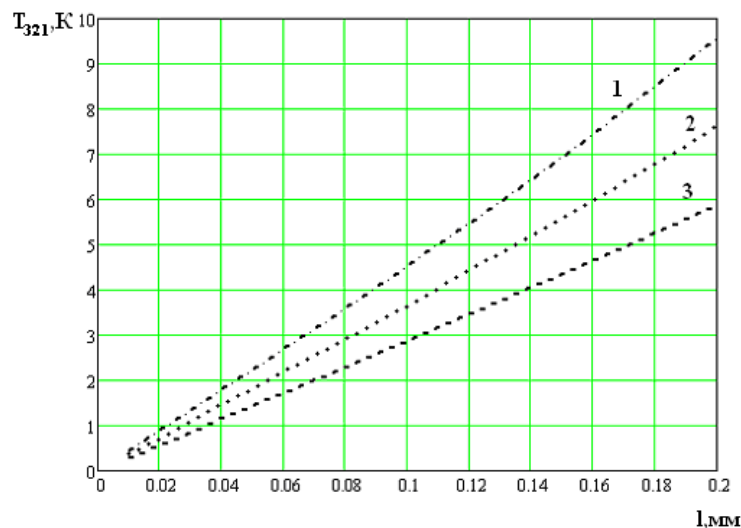


Рис.2. Зависимость температуры шумов слоя воды T_{321} от толщины слоя воды на поверхности антенны: 1- $\lambda = 3,2\text{см}$, 2 - $\lambda = 4\text{см}$, 3 - $\lambda = 5,3\text{см}$.

По полученным зависимостям для величин R_{321}^2 и T_{321} были выполнены расчеты относительной погрешности измерения антенной температуры, обусловленной влиянием слоя воды, результаты которых представлены на рис.3 – 4. На рис. 3 толщина слоя воды принята равной 0.03 мм, что соответствует случаю измерений облачной атмосферы при отсутствии интенсивных осадков, при этом слой воды образован за счет фрикционных свойств материала зеркала. На рис. 4 для зависимостей в расчетах толщина слоя воды равна 0.15 мм, что соответствует случаю проведения измерений в условиях выпадения интенсивных осадков.

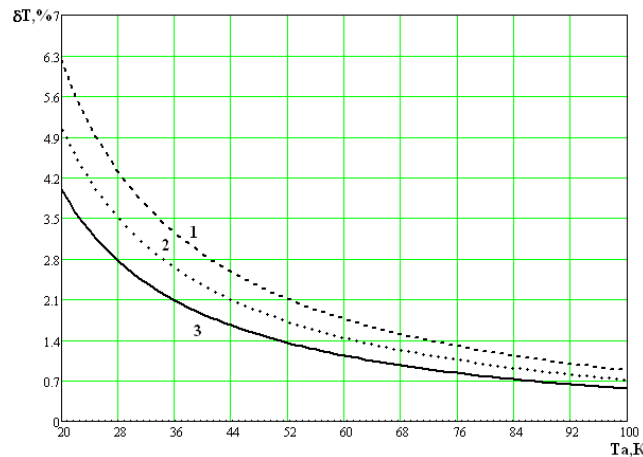


Рис. 3. Зависимость относительной погрешности измерения антенной температуры облачной атмосферы в случае образования слоя воды толщиной 0.03 мм: 1- $\lambda = 3,2\text{см}$, 2 - $\lambda = 4\text{см}$, 3 - $\lambda = 5,3\text{см}$.

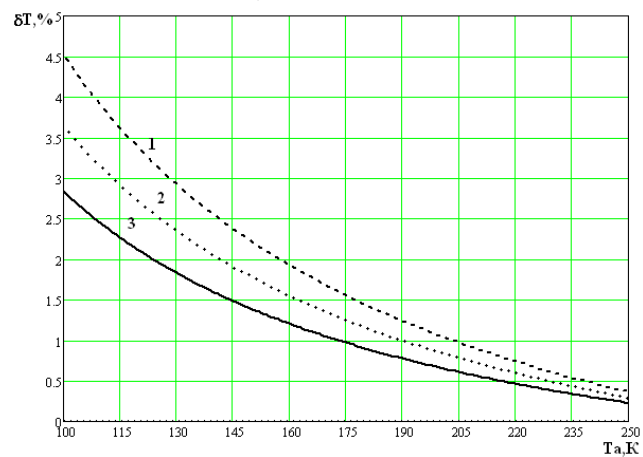


Рис. 4. Зависимость относительной погрешности измерения антенной температуры облачной атмосферы в случае образования слоя воды толщиной 0.15 мм: 1- $\lambda = 3,2\text{см}$, 2 - $\lambda = 4\text{см}$, 3 - $\lambda = 5,3\text{см}$.

Оценка влияния слоя воды на поверхности зеркала антенны на погрешность активных радиолокационных измерений параметров атмосферы

В отличие от пассивных радиолокационных систем в активных системах погрешность решения обратных задач определения параметров атмосферы обусловлена уменьшением регистрируемой величины отражаемости сигнала от метеобразований за счет уменьшения коэффициента отражения от зеркала антенны.

На рис. 5 представлена зависимость относительной погрешности измерения отражаемости от толщины слоя воды на поверхности зеркала.

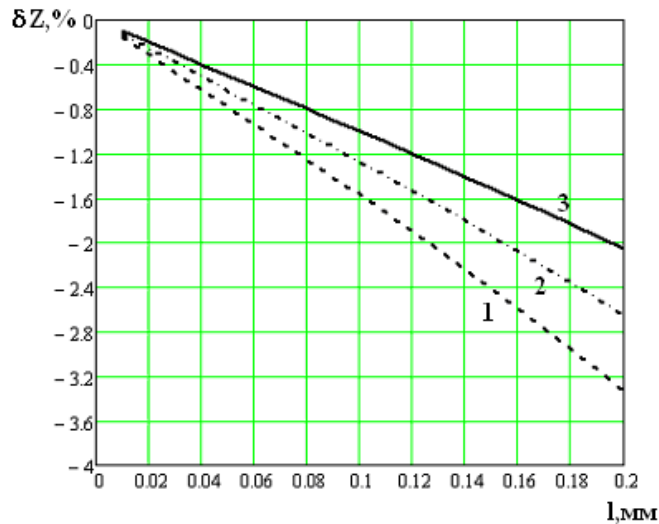


Рис. 5. Зависимость относительной погрешности измерения отражаемости сигнала от метеобразований от толщины слоя воды на поверхности зеркала.

Выводы

Полученные результаты оценки влияния слоя воды на поверхности зеркальной антенны на погрешность измерений пассивными и активными радиолокационными системами позволяют сделать следующие выводы:

- максимальная погрешность измерения радиояростной температуры (в пределах 10%) пассивной радиолокационной системой соответствует случаю малооблачной атмосферы или малой интенсивности дождя, причем абсолютная погрешность положительная, т.е. результаты измерения соответствуют завышению реального уровня радиощумового излучения;

- с увеличением длины волны от 3.2 см до 5.3 см погрешность измерения пассивной радиолокационной системой уменьшается, причем максимальная разностная относительная погрешность в рассмотренных диапазонах изменения антенной температуры достигает 2%;

- относительная погрешность измерения отражаемости активной радиолокационной системой возрастает с увеличением толщины слоя воды при возрастании интенсивности дождя в пределах 5%, причем с увеличением длины волны погрешность уменьшается, а максимальная разностная погрешность в рассмотренных условиях составляет 1.5%.

- погрешности измерения параметров облачной атмосферы пассивными и активными радиолокационными системами имеют противоположную форму зависимости от толщины слоя воды: активные системы обеспечивают более высокую точность измерения при условии наличия слоя воды на поверхности зеркала при малых интенсивностях осадков или при их отсутствии, а пассивные системы позволяют получить более точные результаты измерений в условиях интенсивных осадков.

Литература

1. Шукин, Г.Г. Метеорологические пассивно-активные радиолокационные системы: моногр. / Г.Г.Шукин, В.В.Булкин. – Муром: ИПЦ МИ ВлГУ, 2009. – 166 с.
2. Федосеева, Е.В. Исследование влияния осадков на точность СВЧ радиометрических наблюдений/ Е.В.Федосеева, Г.Г. Шукин // Труды ГГО. – 2010. - Вып. 562. –с. 226-242.