

УДК 621.396.96

**Е.В. Масалов, С.Ю. Ещенко**

## Влияние ориентации собственного базиса метеообъекта на точностные характеристики поляризационного радиолокатора

Рассмотрены вопросы, связанные с формированием поляризационной структуры сигнала РЛС, использующей модифицированную дифференциальную отражаемость для дистанционного зондирования метеообразований. Определяются точностные характеристики. Рассматриваются результаты анализов и расчетов. Определяется направление дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** поляризация, собственный базис, степень анизотропии, модифицированная дифференциальная радиолокационная отражаемость.

Поляризационные радиолокаторы, измеряющие модифицированную радиолокационную отражаемость, представляют собой перспективные одноканальные радиолокационные системы, позволяющие увеличить информативную способность средств дистанционного мониторинга природных сред и объектов.

Интерпретация данных дистанционного зондирования с использованием поляризационных РЛС делает необходимым получение достоверной информации о анизотропных свойствах метеообразований и других объектов. При этом необходимо выполнение относительных измерений как минимум на двух различных видах поляризации сигнала.

### Постановка задачи

При аппаратурной реализации таких несложных методов поляризационной радиолокации имеет место выраженная зависимость оценки анизотропных свойств от угла ориентации собственного базиса метеообъекта относительно измерительного.

Указанные обстоятельства обуславливают необходимость поиска путей уменьшения этой зависимости.

### Методика решения

Пусть базис метеообъекта ориентирован под углом  $\theta$  относительно измерительного. Для получения оценки модифицированной дифференциальной радиолокационной отражаемости  $Z_{DR}^*$  необходимо поочередно излучить сигналы горизонтальной  $E_X^{OUT}$  и круговой (например, правой) поляризаций  $E_R^{OUT}$ , а также осуществлять прием соответствующих сигналов и измерение их амплитуд на выходе логарифмического приемника. Тогда  $Z_{DR}^*$  будет определяться по формуле (1)

$$Z_{DR}^*(\mu, \theta) = 20 \lg \left( \frac{E_R^{IN}}{E_X^{IN}} \right). \quad (1)$$

Матрица рассеяния метеообъекта  $S$  имеет вид:

$$S = 0,5(\lambda_1 + \lambda_2) \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} + \mu \begin{bmatrix} \cos 2\theta & \sin 2\theta \\ \sin 2\theta & -\cos 2\theta \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где  $\lambda_1, \lambda_2$  – собственные числа матрицы рассеяния;  $\mu = (\lambda_1 - \lambda_2)/(\lambda_1 + \lambda_2) = (1 - \rho)/(1 + \rho)$  – степень поляризационной анизотропии метеообъекта;  $\rho = \lambda_2/\lambda_1$  – электрический фактор формы метеообъекта.

Сигналы на выходе прямоугольного волновода будут иметь вид

$$E_X^{IN} = 0,5(\lambda_1 + \lambda_2) \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + \mu \begin{bmatrix} \cos 2\theta \\ 0 \end{bmatrix} = 0,5(\lambda_1 + \lambda_2)(1 + \mu \cos 2\theta), \quad (3)$$

$$E_R^{IN} = 0,5(\lambda_1 + \lambda_2)\mu \cdot e^{j(\frac{\pi}{4} - 2\theta)}. \quad (4)$$

При подстановке (3), (4) в формулу (1), получим:

$$Z_{DR}^*(\mu, \theta) = 20 \lg \left( \frac{\mu}{1 + \mu \cos 2\theta} \right). \quad (5)$$

#### Анализ полученных результатов

Результаты расчетов по формуле (5) приведены на рис. 1.

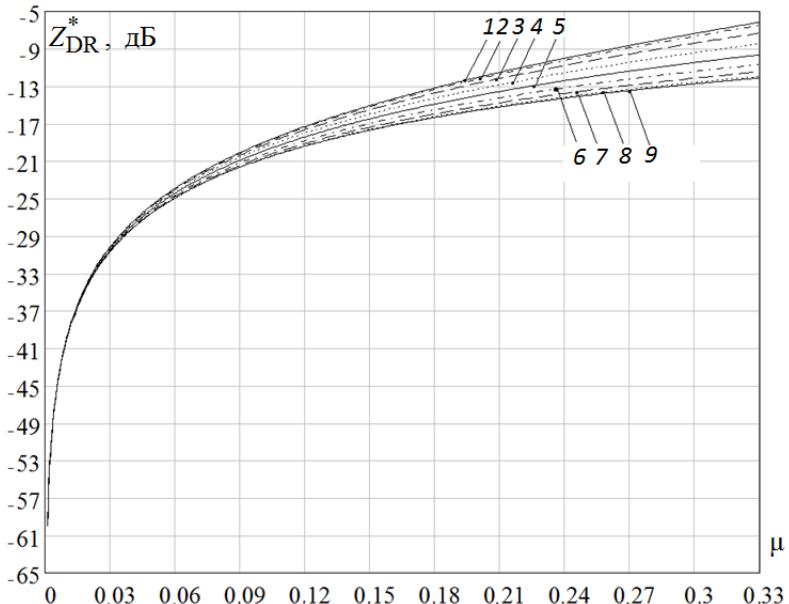
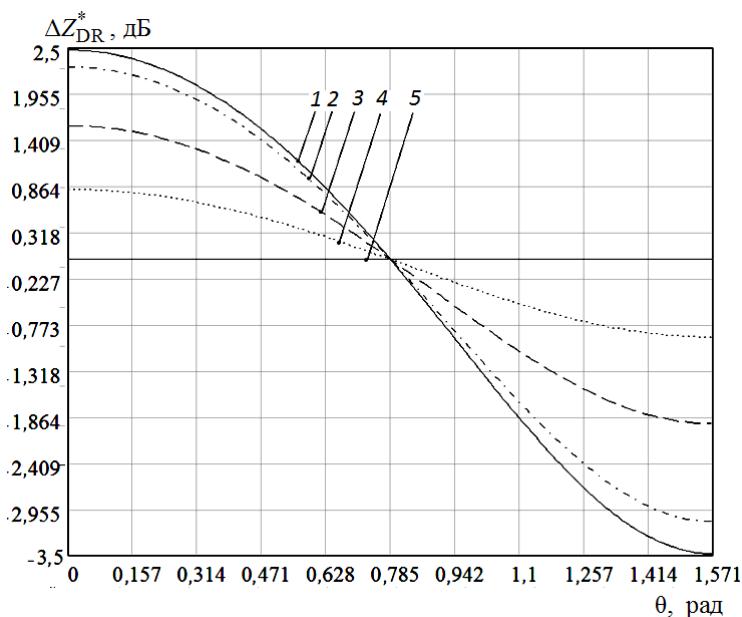


Рис. 1. Зависимость модифицированной дифференциальной радиолокационной отражаемости  $Z_{DR}^*$ , дБ, от поляризационной анизотропии метеообъекта  $\mu$  при  $\theta=\text{const}$ :  $\theta=0^\circ$  (1);  $\theta=11,25^\circ$  (2);  $\theta=22,5^\circ$  (3);  $\theta=33,75^\circ$  (4);  $\theta=45^\circ$  (5);  $\theta=56,25^\circ$  (6);  $\theta=67,5^\circ$  (7);  $\theta=78,75^\circ$  (8);  $\theta=90^\circ$  (9)

Из приведенного графика видно, что в определении величины  $Z_{DR}^*$  появляется неоднозначность, обусловленная ориентацией собственного поляризационного базиса метеообразований. Причем неоднозначность возрастает с увеличением  $\mu$ . Как видно из графика (рис. 1) на интервале  $[0; 0,03]$  величина  $Z_{DR}^*$  определяется практически однозначно. Таким образом, при малых размерах гидрометеоров (эквивалентный диаметр камель  $d < 1$  мм,  $\mu < 0,03$ ) ориентация собственного базиса практически не вносит искажений в определение  $Z_{DR}^*$ .

Для данного метода измерений величина погрешности, обусловленная ориентацией собственного базиса метеообъекта, может быть определена в виде:

$$\Delta Z_{DR}^* = \mu [\text{дБ}] - Z_{DR}^* [\text{дБ}] = 20 \lg (1 + \mu \cos 2\theta). \quad (6)$$



Из графика (рис. 2) видно, что угол в  $45^\circ$  отмечен отсутствием  $Z_{DR}^*$  и сменой знака при движении относительно него в противоположные стороны. Видна неравномерность распределения относительно нуля; так, для  $\mu=0,33$ , при  $\theta=0^\circ$  и  $\theta_2=90^\circ$ , имеем  $\Delta Z_{DR1}=2,47$  дБ, и  $\Delta Z_{DR2}=-3,47$  дБ, соответственно.

Рис. 2. Зависимость абсолютной погрешности модифицированной дифференциальной радиолокационной отражаемости  $\Delta Z_{DR}^*$ , дБ, от угла ориентации метеообъекта  $\theta$  при  $\mu=\text{const}$ :  $\mu=0$  (1);  $\mu=0,1$  (2);  $\mu=0,2$  (3);  $\mu=0,3$  (4);  $\mu=0,33$  (5)

Также видно, что при  $\theta \rightarrow 0^\circ$   $\Delta Z_{DR}^* \rightarrow \max$  но уменьшается неоднозначность  $Z_{DR}^*$ , при  $\theta \rightarrow 45^\circ$   $Z_{DR}^* \rightarrow 0$ , но увеличивается неоднозначность  $Z_{DR}^*$ .

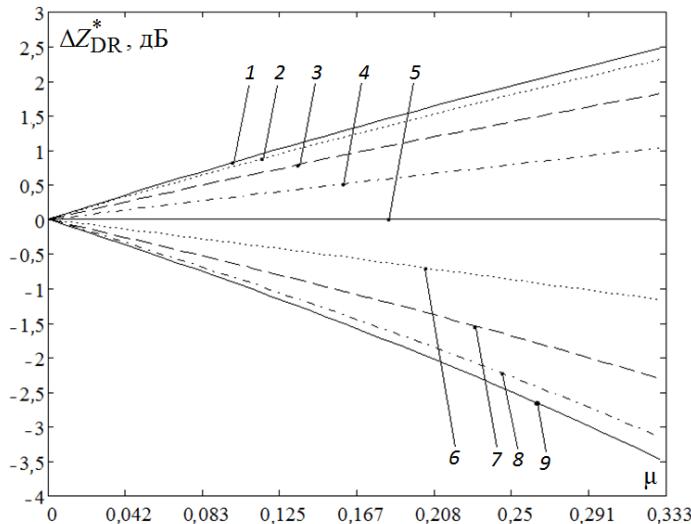


Рис. 3. Зависимость абсолютной погрешности модифицированной дифференциальной радиолокационной отражаемости  $\Delta Z_{DR}^*$ , дБ, от поляризационной анизотропии метеообъекта  $\mu$  при  $\theta = \text{const}$ :  $\theta = 0^\circ$  (1);  $\theta = 11,25^\circ$  (2);  $\theta = 22,5^\circ$  (3);  $\theta = 33,75^\circ$  (4);  $\theta = 45^\circ$  (5);  $\theta = 56,25^\circ$  (6);  $\theta = 67,5^\circ$  (7);  $\theta = 78,75^\circ$  (8);  $\theta = 90^\circ$  (9)

### Заключение

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости проведения дальнейших исследований в части совершенствования алгоритмов и устройств как формирования поляризационной структуры сигнала, так и обработки принятого сигнала с целью уменьшения влияния ориентации собственного базиса на оценку анизотропных свойств метеобразований.

### Литература

1. Масалов Е.В. Оценка влияния ориентации собственного базиса метеообъекта на оценку модифицированной дифференциальной радиолокационной отражаемости / Е.В. Масалов, С.Ю. Ещенко // Матер. науч.-техн. конф. «Научная сессия ТУСУР–2011». – Томск : В-Спектр. – Ч. 6. – С. 281–284.

**Масалов Евгений Викторович**  
Д-р техн. наук, профессор каф. КИПР  
Тел.: 8 (382-2) 53-21-84  
Эл. почта: e-v-masalov@yandex.ru

**Ещенко Святослав Юрьевич**  
Студент 4-го курса каф. КИПР  
Тел.: 8-952-88-95-714  
Эл. почта: sv\_61a@mail.ru

Masalov E.V., Eschenko S.Y.

### Influence of hydrometeor eigen basis on the accuracy parameters of polarization radar

The problem is connected with the formation of polarization structure of radar signals. Radar uses modified differential reflectivity for hydrometeor remote sensing. There are considered the parameters of accuracy, the results of the analysis and calculations.

**Keywords:** polarization, eigen basis, anisotropy degree, modified differential radar reflectivity.