

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ В МЕТОДЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ОТРАЖАЕМОСТИ В ЗАДАЧАХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ МЕТЕООБРАЗОВАНИЯ

С. С. Дьяченко

Томский университет систем управления и радиоэлектроники

Статья получена 11 декабря 2014 г.

Аннотация. Наиболее распространёнными методами получения оценки степени поляризационной анизотропии являются методы дифференциальной радиолокационной отражаемости и модифицированной дифференциальной радиолокационной отражаемости. Одним из факторов, определяющих неполную (неточную) интерпретацию определения $Z_{DR}(z)$ – зависимости величины дифференциальной радиолокационной отражаемости от длины трассы z , является наличие дифференциального фазового сдвига $\Delta\phi$ и дифференциального ослабления $\Delta\alpha$. Проводятся результаты первичного анализа возможностей усовершенствования метода дифференциальной радиолокационной отражаемости для решения задач дистанционного зондирования метеообразования. Также получены предварительные результаты дополнительных измерений, указывающие на необходимость учета воздействия дифференциальных факторов (дифференциальное ослабление и дифференциальный сдвиг) на поляризационную характеристику сигнала в процессе распределения от передней границы метеообразования к периферии. Рассматриваются зависимости модифицированной дифференциальной радиолокационной отражаемости $Z_{IDR}(z)$ от длины трассы для различной интенсивности дождя при различных значениях β_H . Изменения зависимостей приобретает более выраженный характер, проявляется периодичность поляризационных характеристик, возрастает нелинейность этих характеристик.

Ключевые слова: радиолокация, метеообразования, дистанционное

зондирование, методы дифференциальной радиолокационной отражаемости, ослабление, сдвиг, отражаемость.

Abstract. The most common methods of obtaining estimates of the degree of polarization anisotropy are the methods of differential radar reflectivity and a modified differential radar reflectivity. One of the factors determining the incomplete (incorrect) interpretation of the definition $Z_{DR}(z)$ – dependence of the magnitude of the differential radar reflectivity on the trace length z , is the presence of a differential phase shift $\Delta\varphi$ and differential attenuation $\Delta\alpha$. Results of primary analysis of opportunities to enhance the method of differential radar reflectivity for the solution of tasks of remote sensing of meteorological formations are carried out. The preliminary results of additional measurements indicating the need of the accounting of influence of differential factors (differential loosening and differential shift) on a polarization characteristic of a signal in the course of distribution are also received from front boundary of meteorological formations to the periphery. The dependence of the modified differential radar reflectivity on the path length for various rain intensity at various β_H are considered. Dependency changes become more pronounced, periodicity of the polarization characteristics arises, the nonlinearity of these characteristics increases.

Keywords: radio-location, radar methods, meteorological formations, remote sensing, methods of differential radar reflectivity, attenuation, shear, reflectivity.

В настоящее время наибольшее применение получили простейшие методы радиолокации, основанные на излучении и приеме линейных ортогональных (горизонтальная и вертикальная) и круговых (левая и правая) поляризацій. При этом следует отметить, что при использовании метода Z_{DR} , основанного на применении двух ортогональных линейных поляризацій, информативная способность повышается [1-5]. Однако остается еще много нерешенных вопросов, связанных с оцениваем изменения интенсивности осадков и, может быть, самое главное – с применением поляризационных оценок в алгоритме распознавания опасных явлений [3].

Как показано в работе [1], одним из факторов определяющих неполную (неточную) интерпретацию определения $Z_{DR}(z)$ зависимости величины дифференциальной радиолокационной отражаемости от длины трассы z , является наличие дифференциального фазового сдвига $\Delta\phi$ и дифференциального ослабления $\Delta\alpha$. Наличие их приводит к тому, что при несовпадении базисов измерительного метеообъекта в процессе распространения характеристики эллипса поляризации изменяется как по углу наклона $\beta(z)$, так и по коэффициенту эллиптичности $\alpha(z)$. В тоже время результаты работы (Вовшин и др., 2012) показывают, что указанные зависимости параметров $\alpha(z)$ и $\beta(z)$ приводят к изменению параметра $Z_{DR}(z)$.

Возможности радиолокатора ДМРЛ-С [2], измеряющий дифференциальную радиолокационную отражаемость $Z_{DR}(z)$, позволяет измерить не только основные компоненты принятого сигнала, но и ортогональные, относительно сигнала излученной линейной поляризации, составляющие.

Распространение радиоволн сантиметрового и миллиметрового диапазонов в средах содержащих гидрометеоры является сложным процессом, влияющим не только на энергетические характеристики радиолокационного сигнала за счет удельного ослабления интенсивности волны, но и на его поляризационную структуру в силу наличия анизотропных (по поляризации) частиц [4]. Наличие анизотропных частиц приводит к появлению дифференциального ослабления $\Delta\alpha$ и дифференциального фазового сдвига $\Delta\phi$.

С учетом выше изложенного возникает необходимость анализа влияния указанных характеристик на изменение поляризационной структуры сигнала. Далее опишем алгоритм варианта оценки воздействия указанных факторов на изменения величины дифференциальной радиолокационной отражаемости Z_{DR} в процессе распространения в однородной среде вдоль трассы протяжённостью z км.

Так, например, амплитуду $|E_{XX}(z)|$ сигнала излучённого с горизонтальной поляризацией и принятого той же антенной можно получить с учетом следующих выражений:

$$\beta_H(z) = \frac{1}{2} \arctg \left(\frac{2 \cdot |\dot{P}_H| \cdot 10^{0,05\Delta\alpha \cdot z} \cdot \cos(\varphi_H + \Delta\Phi \cdot z)}{1 - 10^{0,1\Delta\alpha \cdot z} |\dot{P}_H|^2} \right) + \frac{\pi}{2}, \text{ где} \quad (1)$$

$\beta(z)$ - угла наклона.

$$\alpha_H(z) = \text{tg} \left(\frac{1}{2} \arcsin \left(\frac{2 \cdot |\dot{P}_H| \cdot 10^{0,05\Delta\alpha \cdot z} \cdot \sin(\varphi_H + \Delta\Phi \cdot z)}{1 + 10^{0,1\Delta\alpha \cdot z} |\dot{P}_H|^2} \right) \right), \text{ где} \quad (2)$$

$\alpha(z)$ - коэффициента эллиптичности,

$$E_{XX}(z) = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} \cdot |R^{-1}(\beta_H)| \cdot |R \beta(z)| \cdot \begin{vmatrix} \cos \alpha(z) \\ j \cdot \sin \alpha(z) \end{vmatrix} \quad (3)$$

Здесь $\begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}$, $\begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}$ - матрицы Джонса прямоугольного волновода с горизонтальной и вертикальной ориентации широкой стенки соответственно;

$$|R \beta(z)| = \begin{vmatrix} \cos \beta(z) & \sin \beta(z) \\ -\sin \beta(z) & \cos \beta(z) \end{vmatrix} - \text{оператор перехода в систему}$$

координат среды заполненной гидрометеорами;

$$|R^{-1}(\beta_H)| = \begin{vmatrix} \cos(\beta_H) & -\sin(\beta_H) \\ \sin(\beta_H) & \cos(\beta_H) \end{vmatrix} - \text{оператор, обратный оператору}$$

$|R \beta(z)|$, (переход в систему координат локатора);

$$\begin{vmatrix} \cos \alpha(z) \\ j \cdot \sin \alpha(z) \end{vmatrix} - \text{вектор Джонса эллиптически поляризованной волны}$$

записанной в системе координат среды.

Тогда указанная амплитуда может быть определена в следующем виде:

$$|E_{XX}(z)| = [\cos^2 \alpha(z) \cdot \cos^2(\beta_H - \beta(z)) + \sin^2 \alpha(z) \cdot \sin^2(\beta_H - \beta(z))]^{0,5}. \quad (4)$$

При измерении амплитуды сигнала, излученного с горизонтальной поляризацией и принятого с вертикальной поляризацией можно получить:

$$E_{XY}(z) = \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot |R^{-1}(\beta_H)| \cdot |R [\beta(z)]| \cdot \begin{vmatrix} \cos [\alpha(z),] \\ j \cdot \sin [\alpha(z),] \end{vmatrix}, \quad (5)$$

$$|E_{XY}(z)| = [\cos^2 \alpha(z) \cdot \cos^2[(\beta_H) + \beta(z)] - \sin^2 \alpha(z) \cdot \sin^2[(\beta_H) - \beta(z)]]^{0,5} \quad (6)$$

Тогда величину модифицированной дифференциальной радиолокационной отражаемости $Z_{LDR}(z)$ на выходе приёмника с логарифмической характеристикой $Z_{LDR}(z) = 20 \lg(|E_{XY}|/|E_{XX}|)$, после подстановки формул (4), (6), можно записать:

$$Z_{LDR}(z) = 10 \lg \frac{\cos^2 \alpha(z) \cdot \cos^2(\beta_H + \beta(z)) - \sin^2 \alpha(z) \cdot \sin^2(\beta_H - \beta(z))}{\cos^2 \alpha(z) \cdot \cos^2(\beta_H + \beta(z)) + \sin^2 \alpha(z) \cdot \sin^2(\beta_H - \beta(z))} \quad (7)$$

Результаты расчетов по формуле (7), приведенные на Рис. 1, показывают, что при умеренной интенсивности осадков $12,5 \text{ мм} \cdot \text{ч}^{-1}$ изменения модифицированной дифференциальной радиолокационной отражаемости имеет линейный характер в зависимости от начального угла наклона плоскости поляризации излучаемых колебаний и от длины трассы.

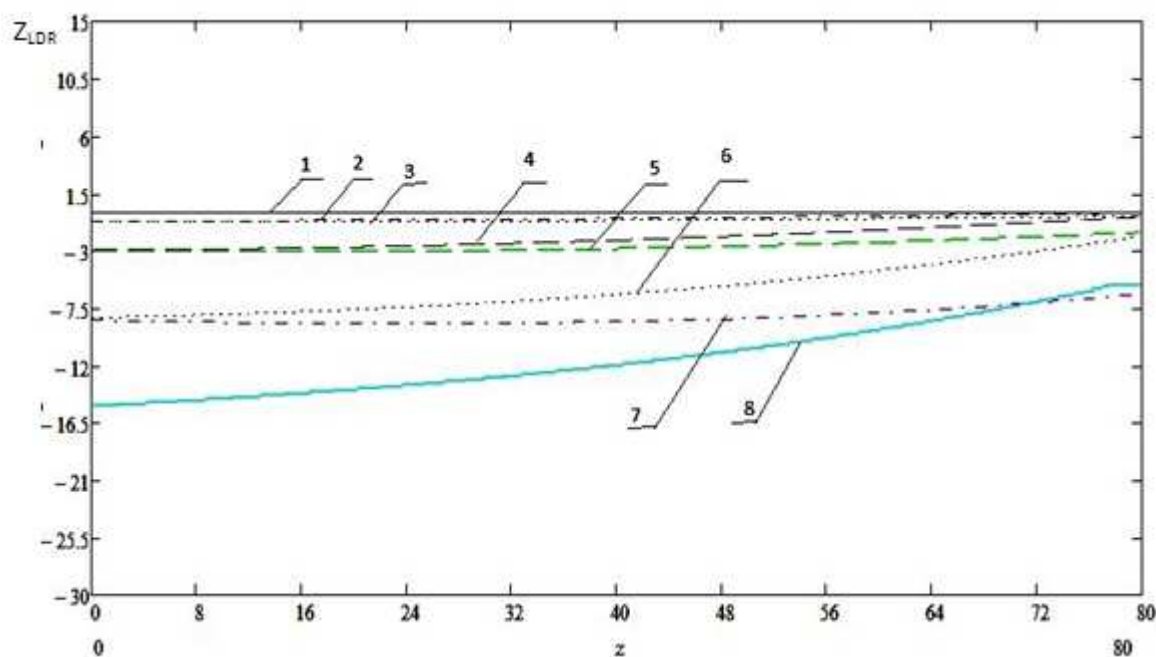


Рис. 1 - Зависимость модифицированной дифференциальной радиолокационной отражаемости $Z_{LDR}(z)$ от длины трассы для интенсивности дождя $R = 12,5 \text{ мм} \cdot \text{ч}^{-1}$ при различных значениях β_H , где, 1- 90° , 2 - $78,75^\circ$, 3 - $67,5^\circ$, 4 - $56,25^\circ$, 5 - 45° , 6 - $33,75^\circ$, 7 - $22,5^\circ$, 8 - $11,25^\circ$, 9 - 0° .

Из Рис. 1 видно, что, как и в случае $Z_{DR}(z)$ имеет место измерение величины $Z_{LDR}(z)$, зависящей от четырех параметров $z, \Delta\phi, \Delta\alpha, \beta_H$.

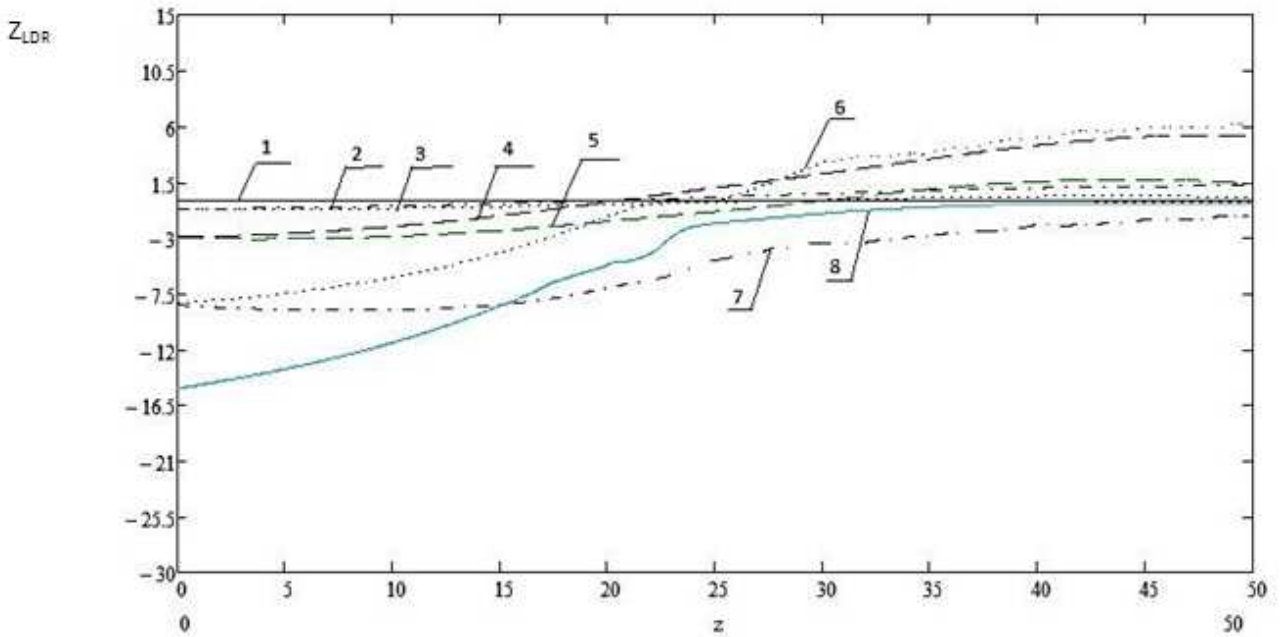


Рис. 2 - Зависимость модифицированной дифференциальной радиолокационной отражаемости $Z_{LDR}(z)$ от длины трассы для интенсивности дождя $R = 50 \text{ мм} \cdot \text{ч}^{-1}$ при различных значениях β_H , где, 1- 90° , 2 - $78,75^\circ$, 3 - $11,25^\circ$, 4 - $67,5^\circ$, 5 - $22,5^\circ$, 6 - $56,25^\circ$, 7 - $33,75^\circ$, 8 - 45° , 9 - 0° .

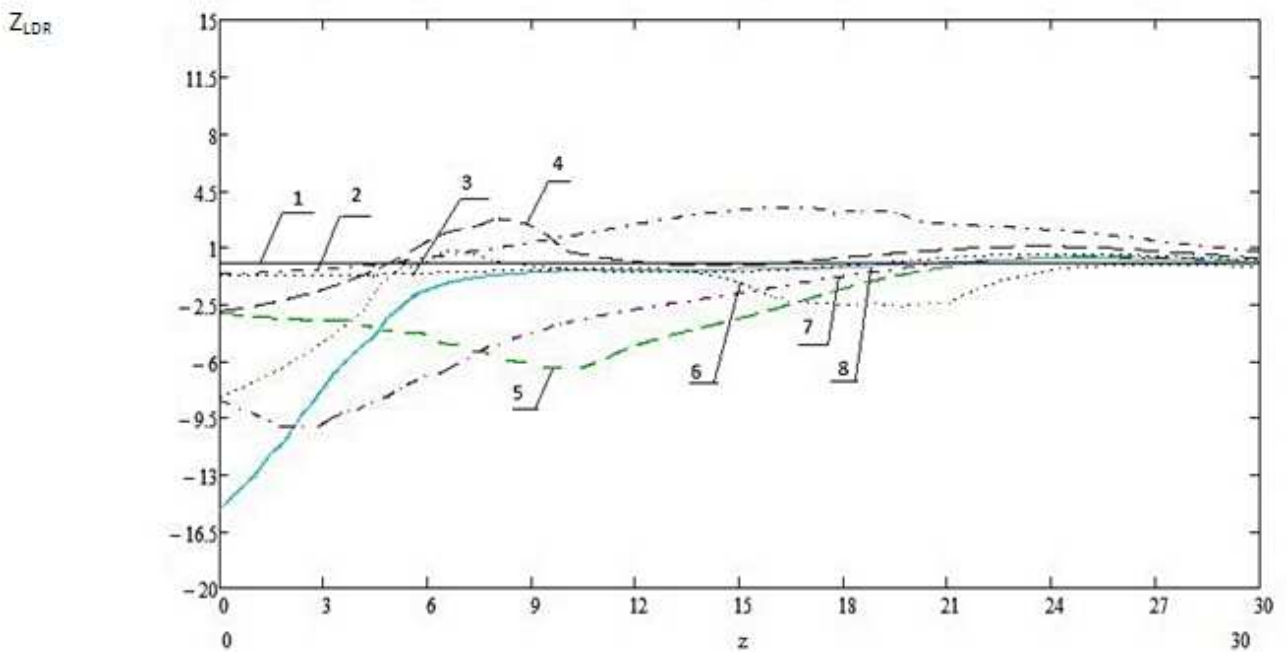


Рис. 3 - Зависимость модифицированной дифференциальной радиолокационной отражаемости $Z_{LDR}(z)$ от длины трассы для интенсивности дождя $R = 150 \text{ мм} \cdot \text{ч}^{-1}$ при различных значениях β_H , где, 1- 90° , 2 - $78,75^\circ$, 3 - $11,25^\circ$, 4 - $67,5^\circ$, 5 - $22,5^\circ$, 6 - $56,25^\circ$, 7 - $33,75^\circ$, 8 - 45° , 9 - 0° .

Из Рис. 2 видно, что при зависимости модифицированной дифференциальной радиолокационной отражаемости $Z_{IDR}(z)$ от длины трассы для интенсивности дождя $R = 50 \text{ мм} \cdot \text{ч}^{-1}$ в целом сохраняет линейную зависимость. На трассах протяженности 20-30 км наблюдается изменение знака.

А как видно из Рис. 3, при зависимости модифицированной дифференциальной радиолокационной отражаемости $Z_{IDR}(z)$ от длины трассы для интенсивности дождя $R = 150 \text{ мм} \cdot \text{ч}^{-1}$ появляется ярко выраженная нелинейная зависимость.

С увеличением интенсивности осадков, зависимости дифференциальной радиолокационной отражаемости принимают всё более выраженный характер, проявляется периодичность поляризационных характеристик, возрастает нелинейность этих характеристик. Полученные предварительные результаты указывают на необходимость учета воздействия дифференциальных факторов (дифференциальное ослабление и дифференциальный сдвиг) на поляризационную характеристику сигнала в процессе распространения от передней границы метеообразования к периферии.

Литература

1. *Вовшин Б.М. , Вылегжанин И.С. , Жуков В.Ю. , Пушков А.А. , Щукин Г.Г.* Теория и практика поляризационных измерений в метеорологической радиолокации./[Электронный ресурс].//Материалы V Всероссийской научной конференции «Вторые Всероссийские Армандовские чтения». 2012. Т.1. С.49-54.
2. *Ефремов В. С., Вовшин Б. М., Вылегжанин И. С., Лаврукевич В. В., Седлецкий Р. М.* Поляризационный доплеровский метеорологический радиолокатор С-диапазона со сжатием импульсов/[электронный ресурс].// Материалы III Всероссийской конференции «Радиолокация и радиосвязь»-ИРЭ РАН, 2009 . №10 С. 366

3. *Рыжков А.В., Журавлев А.Б., Рыбакова Н.А.* Комплексные исследования поляризационных характеристик радиолокационных сигналов от облаков и осадков. – Известия РАН, Физика атмосферы и океана, 1992. 28, № 12. С. 36-42.
4. *Шупяцкий А.В., Диневич Л.А., Тычина Р.П.* Дистанционная индикация града в облаках по поляризационным характеристикам радиолокационного сигнала. - Тр. ЦАО, вып. 121, 1975. С. 18-27.
5. *Dusan S. Zrnica and Alexander V. Ryzkov.* Polarimetry for Weather Surveillance Radars. Bulletin of the American Meteorological Society. Vol. 80, No. 3, 1999, p. 389 – 406.