

УДК 551.508.85 (551.576 +551.577)

Гуденко С.Ю.
ОНМА

РАДИОЛОКАЦИОННОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ВОЗДУХА В ТРОПОСФЕРЕ

Постановка проблемы. Турбулентные неоднородности показателя преломления тропосферы при работе судовой РЛС являются ложными объектами, поэтому обнаружение и распознавание сильно турбулизованных зон в тропосфере на пути судна является актуальной задачей, решение которой позволяет повысить безопасность судовождения.

Цель исследования. Обосновать возможность использования неполяризованной электромагнитной волны, излучаемой антенной судового радиолокационного поляриметра, для обнаружения неоднородностей показателя преломления атмосферы.

Изложение основного материала. Сильно турбулизованные зоны в тропосфере являются неоднородностями показателя преломления атмосферного воздуха, которые отражают электромагнитную энергию в виде эхо-сигнала навигационного объекта [1,2]. Эхо-сигналы от таких турбулентных зон являются ложными радиолокационными объектами. Отраженная электромагнитная волна содержит когерентную и некогерентную составляющую, которые обусловлены отражением и рассеянием электромагнитной энергии. Когерентная составляющая сопровождается медленным изменением ее амплитуды и фазы, а некогерентная – быстрым [2]. Потенциальный показатель преломления тропосферной неоднородности является пассивной примесью и связан с потенциальной температурой T_p (температурой воздуха, приведенной по сухоадиабатическому закону к стандартному давлению 1000 гПа) и потенциальной упругостью водяного пара e_p следующей зависимостью:

$$N_p = \frac{77,6}{T_p} \left(1000 + \frac{4810 e_p}{\tau_p} \right) \quad (1)$$

Удельная эффективная поверхность рассеяния турбулентной зоны пропорциональна структурной постоянной показателя преломле-

ния C_N^2 и до высоты 2 км соответствует структурной постоянной потенциального показателя преломления, т.е.:

$$C_N^2 \cdot 10^{-12} = C_{Np}^2 \cdot 10^{-12} = 16\varepsilon^{-1/3} K_N \left[\frac{\partial \bar{N}_p}{\partial h} \right], \quad (2)$$

где \bar{N}_p – среднее значение потенциального показателя преломления на данной высоте h ;

ε – турбулентная кинетическая энергия, характеризующая интенсивность турбулентности;

Наибольшее значение C_N^2 принимает во влажной морской воздушной массе, равное $10^{-12} \text{ м}^{-2/3}$.

Выше пограничного слоя атмосферы находятся слои сухого воздуха, в которых турбулентность, обусловленная сдвигом ветра, приводит к изменению показателя преломления. Удельная эффективная площадь рассеяния турбулентной зоны связана со структурной постоянной показателя преломления для данной рабочей длины волны судового радиолокатора следующей зависимостью:

$$\eta(\lambda) = 0,38 C_N^2 \lambda^{-2/3} \quad (3)$$

Значение структурной постоянной показателя преломления находится в пределах $3 \cdot 10^{-13} \div 3 \cdot 10^{-17}$, а удельной эффективной поверхности рассеяния зон сильной турбулентности $10^{-6} \div 10^{-3} \text{ м}^2$.

При рассеянии электромагнитной энергии на турбулентных неоднородностях показателя преломления имеет место брэгговский механизм рассеяния при котором эхо-сигнал образуется неоднородностями показателя преломления с пространственным масштабом, равным половине длины волны, излучаемой антенной судовой РЛС. При этом в отраженном сигнале будет отсутствовать перекрестная компонента, а матрица рассеяния становится диагональной, т.е.:

$$[\dot{S}] = \begin{bmatrix} \dot{S}_{11} & 0 \\ 0 & \dot{S}_{22} \end{bmatrix} \quad (4)$$

При облучении турбулентного объема неполяризованной волной, диагональные коэффициенты матрицы рассеяния (4) равны между собой, т.е. $\dot{S}_{11} = \dot{S}_{22}$, а недиагональные коэффициенты равны нулю,

т.е. $S_{12} = S_{21} = 0$, так как интенсивности ортогональных компонент в отраженном сигнале равны между собой. Взаимосвязь поляризационных параметров Стокса с коэффициентами матрицы (4) запишется в виде:

$$\begin{aligned} I &= S_{11} + S_{22}; \\ Q &= S_{11} - S_{22}; \\ U &= S_{12} + S_{21}; \\ V &= I(S_{12} - S_{21}) \end{aligned} \quad (5)$$

Полное уравнение связи поляризационных параметров излучаемой и отраженной электромагнитной волны от турбулентного объема тропосферы с матрицей рассеяния запишется следующим образом:

$$\begin{bmatrix} I_{omp} \\ Q_{omp} \\ U_{omp} \\ V_{omp} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & S_{24} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & S_{34} \\ S_{41} & S_{42} & S_{43} & S_{44} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_{u3l} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

После перемножения матриц получим:

$$\left. \begin{aligned} I_{omp} &= S_{11} I_{u3l} \\ Q_{omp} &= S_{21} I_{u3l} \end{aligned} \right\} \begin{bmatrix} U_{omp} \\ V_{omp} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{12} & S_{13} & S_{14} \\ S_{22} & S_{23} & S_{24} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & S_{34} \\ S_{41} & S_{42} & S_{43} & S_{44} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\left. \begin{aligned} I_{omp} &= S_{11} I_{u3l} \\ Q_{omp} &= S_{21} I_{u3l} \\ U_{omp} &= S_{31} I_{u3l} \\ V_{omp} &= S_{41} I_{u3l} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Так как при отражении электромагнитной волны от турбулентных неоднородностей показателя преломления ортогональные составляющие равны т.е.

$$E_{отрх} = E_{отру}, \quad (8)$$

а параметры Стокса запишутся следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} I_{отр} &= E_{отрх} + E_{отру} \\ Q_{отр} &= E_{отрх} - E_{отру} \\ U_{отр} &= 2E_{отрх}E_{отру} \cos \Phi_{xy} \\ V_{отр} &= 2E_{отрх}E_{отру} \sin \Phi_{xy} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Тогда с учетом (8) уравнения (7) запишутся в виде:

$$\left. \begin{aligned} I_{отр} &= E_{отрх} + E_{отру} \\ Q_{отр} &= E_{отрх} - E_{отру} = 0 \\ U_{отр} &= 2E_{отрх}E_{отру} \cos \Phi_{xy} = 0 \\ V_{отр} &= 2E_{отрх}E_{отру} \sin \Phi_{xy} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Так как отраженная электромагнитная волна от турбулентных неоднородностей показателя преломления будет также неполяризована, то уравнения (7) для отраженной волны запишутся следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} I_{отр} &= S_{11}I_{у3л} \\ 0 &= S_{21}I_{у3л} \\ 0 &= S_{31}I_{у3л} \\ 0 &= S_{41}I_{у3л} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Таким образом:

$$I_{отр} = S_{11}I_{у3л} \quad (12)$$

Отсюда

$$S_{11} = \frac{I_{отр}}{I_{у3л}} \quad (13)$$

Измерив с помощью судовой поляризационной РЛС $I_{отр}$, получим значение коэффициента S_{11} , который и характеризует отражающие свойства турбулентных неоднородностей показателя преломления тропосферы на пути судна.

Создание и получение неполяризованной электромагнитной волны можно осуществить путем переключения через равные промежутки времени на излучение горизонтальной и вертикальной поляризации с помощью *Pin* диодов. Тогда за время больше, чем $4t$ будет сформирована неполяризованная волна на излучение. Каждая пара поляризаций и образует полностью неполяризованную волну, так как в каждой паре их сумма независима и является полностью неполяризованной [3].

Процесс отражения от турбулентных неоднородностей показателя преломления воздуха происходит с пространственным масштабом, равным половине длины волны, на которой работает судовой радиолокатор, поэтому, если половина рабочей длины судовой РЛС меньше внутреннего масштаба турбулентной неоднородности показателя преломления, эхо сигнал будет отсутствовать и неоднородность показателя преломления атмосферного воздуха не создаст отметку ложного объекта на индикаторе судовой РЛС

Рассмотренный процесс отражения неполяризованной волны от турбулентных неоднородностей показателя преломления соответствует оптическому принципу Вульфа-Брэгга, принципу дифракционной решетки, при котором электромагнитные волны, отраженные от смежных рассеивающих плоскостей будут в фазе, т.е. эхо-сигнал от неоднородностей показателя преломления не изменяет поляризацию падающей на отражающий объем электромагнитной волны.

Выводы

1. Предложен радиолокационный дистанционный метод обнаружения на пути судна неоднородностей показателя преломления атмосферного воздуха, основанный на использовании неполяризованной волны в ее представлении четырьмя вещественными параметрами Стокса, которые легко измеряются с помощью судового поляриметра.

2. Установлено, что эхо-сигнал от неоднородностей показателя преломления атмосферного воздуха отсутствует на индикаторе судового поляриметра в том случае, если половина рабочей длины судового

поляриметра меньше внутреннего масштаба турбулентной неоднородности.

3. Если в отраженном сигнале от неоднородностей показателя преломления ортогональные составляющие электрического вектора равны между собой ($E_x = E_y$) и на выходе приемника сформирован только первый параметр Стокса, то на пути судна имеются турбулентные неоднородности показателя преломления атмосферы, которые дают на индикаторе судовой РЛС засветки ложного объекта координаты которого измеряет судовая РЛС.

Для практической реализации рассмотренного метода обнаружения и распознавания ложного объекта на пути судна, необходимы дальнейшие исследования по построению функциональной схемы судового радиолокационного поляриметра, реализующей разработанный метод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ryzhkov A. V. Polarization methods in weather radar / A.V. Ryzhkov // Foreign radioelectronics , 1993. - № 4. - P.18-28 .
- 2 Bogorodsky V.V. The polarization of the radio emission of the scattered and own land cover / V.V. Bogorodsky , D.B. Kanareykin , A.I. Kozlov . - L .: Gidrometeoizdat , 1960. – 118p .
- 3 Kanareykin D. B. Polarization radar signals / D. B. Kanareykin, N. F.Pavlov, V. A. Potekhin. – М.: «Soviet radio», 1966. – 440p.