

УДК 551.508.85 (551.576 +551.577)

INFLUENCE OF TURBULENT TROPOSPHERE ON THE SHIP'S RADAR ANTENNA RESOLUTION BY ANGULAR COORDINATES

ВЛИЯНИЕ ТУРБУЛЕНТНОЙ ТРОПОСФЕРЫ НА РАЗРЕШАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ АНТЕННЫ СУДОВОГО РАДИОЛОКАТОРА ПО УГЛОВЫМ КООРДИНАТАМ

D. Korban. *PhD, assistant*

Д. В. Корбан, *к.т.н., ассистент*

National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine

Національний університет «Одесская морская академия», Украина

ABSTRACT

In the paper, influence of troposphere on a resolution on the angular coordinates of ship's radar antenna is considered. Dependence of relative change of width of aerial orientation diagram is set on attitude of dispersion corner toward the corner of fluctuation of arrival of wave. The rationed diagram of aerial orientation, allowing to decrease influence of troposphere on a discriminability on angular coordinates, is obtained.

Key words: antenna, diagram of orientation, angular coordinates, troposphere, corner of dispersion, free space, radiation, structural function, correlation function.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами

Турбулентная атмосфера как среда, в которой распространяются радиолокационные сигналы, существенным образом влияет на эффективность радиолокационного наблюдения навигационных объектов [1-3]. В зависимости от электрического состояния атмосферы, ее делят на ионосферу и тропосферу. Влияние ионосферы на работу РЛС подробно исследовано в работах [4-6]. Для судовождения актуальной задачей является оценка влияния тропосферы на радиолокационное обнаружение навигационных объектов судовой РЛС, в частности, степени влияния условий распространения на точность измерения угловых координат и на изменение разрешающей способности антенны по угловым координатам.

Целью данной статьи является исследование влияния тропосферы на изменение ширины диаграммы направленности проходящего сквозь нее электромагнитного излучения в микроволновом диапазоне длин волн.

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Исследования, проведенные в статье, основывались на результатах работы [7], которые были выполнены применительно к оптическому диапазону длин волн.

Рассмотрим влияние турбулентной тропосферы на разрешающую способность антенны судовой РЛС по угловым координатам. На характеристики диаграммы направленности совмещенной антенны в виде усеченного параболоида с излучателем в его фокусе будет оказывать влияние турбулентная тропосфера. На основании теоремы взаимности оценку этого влияния можно свести к нахождению средней мощности сигналов на входе излучателя – в зависимости от угла прихода волны, прошедшей сквозь слой турбулентной тропосферы. Электрическое поле волны в точке ее выхода из турбулентного слоя можно представить в виде:

$$E(t) = E_m e^{j[K(x\sin\theta + y\cos\theta) + \varphi(x,y)]} \quad (1)$$

где K – волновое число;

φ – набег фазы в турбулентном слое тропосферы;

θ – угол выхода волны из турбулентного слоя тропосферы.

Средняя интенсивность электромагнитной волны в фокусе антенны судовой РЛС связана с корреляционными функциями R_1 и R_2 поля на поверхности раскрыва антенны следующей зависимостью:

$$\overline{E^2}(\theta) = \frac{1}{\lambda^2 F^2} \iint_{-\infty}^{+\infty} R_1(\zeta, \eta) R_2(\zeta, \eta) d\zeta d\eta, \quad (2)$$

где R_1 – корреляционная функция случайного поля падающей волны;

R_2 – корреляционная функция регулярного распределения освещенности отражателя;

F – распределение энергии на входе антенны.

В уравнении (2) корреляционные функции электромагнитного поля на поверхности раскрыва параболической антенны определяются соотношениями:

$$R_1(\zeta, \eta) = A_0^2 e^{jK\zeta\sin\theta} e^{j[\varphi(x,y) - \varphi(x+\zeta, y+\eta)]}, \quad (3)$$

$$R_2(\zeta, \eta) = \iint_{-\infty}^{+\infty} K(x, y) K(x - \zeta, y - \eta) dx dy, \quad (4)$$

где $K(x, y) = 1$ – на освещенной поверхности отражателя;

$K(x, y) = 0$ – вне отражателя;

A_0 – квадрат амплитуды сигнала, содержащий поляризационную и угловую зависимость.

Для нормального распределения случайного набег фазы корреляционная функция R_1 запишется в виде:

$$R_1(\zeta, \eta) = A_0^2 e^{jK\zeta\sin\theta} e^{-\left[\frac{1}{2}D_\varphi(\zeta, \eta)\right]}, \quad (5)$$

где $D_\varphi(\zeta, \eta)$ – структурная функция комплексной фазы волны, которая для волны, падающей под углом θ на плоский турбулентный слой тропосферы, определяется соотношением:

$$D_{\varphi}^0(\zeta, \eta) = \frac{1}{\cos\theta} D_{\varphi}^0(\zeta \cos\theta, \eta), \quad (6)$$

где D_{φ}^0 - структурная функция комплексной фазы волны, падающей нормально на тот же слой.

В соответствии с [7], в случае, когда структурная функция флуктуаций коэффициента преломления $D_n(r)$ удовлетворяет закону «двух третей»:

$$D_n(r) = C_n^2 r^{-2/3}, \quad (7)$$

где r - текущий масштаб неоднородностей;

C_n^2 - структурная постоянная коэффициента преломления, то структурная функция комплексной фазы будет определяться соотношением:

$$D_{\varphi}^0(\zeta, \eta) = C_{\varphi} r^{5/3}, \quad (8)$$

где $r = (\zeta^2 + \eta^2)^{1/2}$.

Для узких диаграмм направленности антенны ($\cos\theta \approx 1$, $\sin\theta = 0$) и малых углов рассеяния ($\theta \approx 0$), средняя интенсивность поля в фокусе отражателя запишется следующим образом:

$$|\overline{E(\theta)}|^2 = \frac{1}{\lambda^2 F^2} \iint_{-\infty}^{+\infty} R_1(\zeta, \eta)_{\theta=0} R_2(\zeta, \eta) e^{jk\theta\zeta} d\zeta d\eta. \quad (9)$$

В выражении (9) корреляционная функция ($\cos\theta \approx 1$, $\sin\theta = 0$) комплексного поля в максимуме диаграммы направленности определяется из условия:

$$R_1(\zeta, \eta)_{\theta=0} = A_0^2 e^{-0.5 D_{\varphi}^0(\zeta, \eta)}, \quad (10)$$

Тогда с учетом (8) и (9) средняя интенсивность волны в фокусе отражателя запишется в виде:

$$|\overline{E(\theta)}|^2 = \frac{\Sigma}{\lambda^2 F^2} \iint_{-\infty}^{+\infty} R_1(\chi_1, \chi_2) R_2(\chi - K\theta, \chi_2) d\chi_1 d\chi_2, \quad (11)$$

Рассмотрим качественную картину влияния турбулентности тропосферы на характеристики диаграммы направленности антенны. При условии, что структурная функция флуктуации фазы для всех значений ζ и η меньше единицы ($D_{\varphi}^0(\zeta, \eta) \ll 1$), а корреляционная функция фазы $R_2(\zeta, \eta)$ отлична от нуля, то ширина углового спектра рассеянного излучения $S_1(\chi_1, \chi_2)$ мала по сравнению с шириной регулярной диаграммы направленности антенны $S_2(\chi_1, \chi_2)$. В этом случае средняя диаграмма направленности антенны при прохождении ее излучения сквозь турбулентную тропосферу будет мало отличаться от диаграммы направленности антенны в свободном пространстве и определяется формой указанной диаграммы направленности:

$$|E(\theta)|^2 \approx S_2(K\theta, 0), \quad (12)$$

Если структурная функция флуктуации фазы на расстояниях x, y , имеющая порядок размеров зеркала, велика, то диаграмма направленности антенны, излучение которой проходит сквозь слой турбулентной тропосферы окажется шире диаграммы направленности этой антенны в свободном пространстве и будет определяться диаграммой направленности рассеяния:

$$|E(\theta)|^2 \approx S_1(K\theta, 0). \quad (13)$$

Применим полученные соотношения к осесимметричной диаграмме направленности антенны судовой РЛС. Для такой антенны ширина ее диаграммы направленности по точкам половинной мощности связана с размерами параболического отражателя следующей зависимостью:

$$\theta = \frac{\lambda}{4\pi D}, \quad (14)$$

где D – диаметр поверхности раскрыва зеркала антенны.

Корреляционная функция регулярного распределения освещенности в пределах отражателя равна:

$$R_2(r) = 2R_0 \left(\arccos \frac{r}{2r_0} - \frac{r}{2r_0} \sqrt{1 - \frac{r^2}{2r_0^2}} \right), \quad (15)$$

а за его пределами $R_2(r) = 0$.

Для рассматриваемого случая средняя интенсивность волны в фокусе антенны определяется следующим образом:

$$|\overline{E(\theta)}|^2 = \frac{2\pi A_0^2}{\lambda^2 F^2} \int_0^\infty R_2(r) I_0(\chi_0, \theta, r) e^{-0.5D_\varphi(r)} r dr, \quad (16)$$

где r_0 - функция Бесселя нулевого порядка.

Тогда с учетом (16), средняя интенсивность волны в фокусе антенны запишется в виде:

$$|\overline{E(\theta)}|^2 = \frac{\pi(2r_0)^4}{\lambda^2 F^2} \int_0^1 \arccos \chi - \chi \sqrt{1 - \chi^2} e^{-0.5D_\varphi(2r_0\chi)} I_0(2Kr_0\theta\chi) \chi d\chi, \quad (17)$$

где $\chi = \frac{r}{2r_0}$

Нормированная диаграмма направленности определяется соотношением:

$$G(\theta) = \frac{\int_0^1 R_2(\chi) e^{-a\chi^{5/3}} I_0\left(\frac{\theta\chi}{\theta_0}\right) \chi d\chi}{\int_0^1 R_2(\chi) e^{-a\chi^{5/3}} \chi d\chi}, \quad (18)$$

где $R_2(\chi) = \arccos \chi - \chi(1 - \chi^2)^{0.5}$,

$\theta_0 = \frac{1}{2Kr_0} = \frac{\lambda}{4\pi r_0}$ - ширина невозмущенной диаграммы направленности.

$a = \frac{\overline{\theta^2}}{\theta_0^2}$ - коэффициент, представляющий собой отношение среднего

квадрата флуктуации угла прихода волны к удвоенному квадрату угла θ_0 .

Нормированная диаграмма направленности позволяет установить изменение диаграммы направленности антенны при прохождении излучения сквозь слой турбулентной тропосферы.

Относительное изменение ширины диаграммы направленности антенны в зависимости от величины отношения $\frac{\theta}{\theta_0}$ при различных значениях коэффициента a представлено на рис.1.

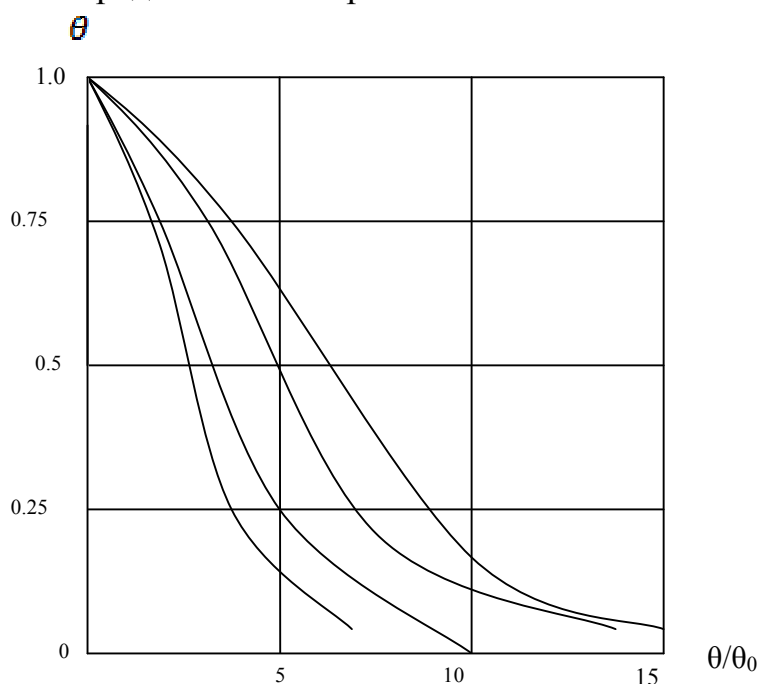


Рис.1. Относительное изменение ширины диаграммы направленности антенны судовой РЛС в зависимости от величины $\frac{\theta}{\theta_0}$ и коэффициента a .

Анализ полученных зависимостей показал, что с увеличением величины коэффициента a возрастает искажение диаграммы направленности антенны по угловым координатам при прохождении электромагнитной волны сквозь турбулентный слой атмосферы. Уже при $a = 0,1$ начинает сказываться влияние турбулентной тропосферы

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

- Установлено влияние турбулентной тропосферы на разрешающую способность по угловым координатам антенны судового радиолокатора.

– Получено относительное изменение ширины диаграммы направленности антенны в зависимости от величины отношения $\frac{\theta}{\theta_0}$ при различных значениях коэффициента a .

– Установлено изменение диаграммы направленности антенны при прохождении ее излучения сквозь слой турбулентной тропосферы.

Дальнейшие исследования будут посвящены влиянию атмосферных образований на разрешающую способность РЛС по угловым координатам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Татарский В.И. Распространение волн в турбулентной атмосфере [Текст] / В.И. Татарский– М.: Наука, 1967. – 175с.
2. Рытов С.М. Корреляционная теория тепловых флуктуаций в изотропной среде [Текст] /С.М. Рытов // ЖЭТФ. - 1957,Т.33. – 166с.
3. Степаненко В.Д. Радиолокация в метеорологии [Текст] / В.Д.Степаненко. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 350 с.
4. Современная радиолокация. Анализ, расчет и проектирование систем; [пер. с англ. под ред. Ю.Б. Кобзарева]. – М.: Изд-во “Советское радио”. – 1969. - 704с.
5. Mumford W. W. Some technical Aspects of Microwave Radiation Hazard Proc. YRE, 1961, Feb, vol.49, №2, p. 427-447.
6. Phillips H. W. The Ballistic Missill Early Warning System .RCA Engineer, 1960, May, vol. 5.p.6.
7. Денисов Н.Г. О средней диаграмме направленности излучателя в турбулентной атмосфере [Текст] /Н. Г. Денисов, Ю. А. Рыжов // Радиотехника и электроника. - 1964, №11. – С. 25-41.