

УДК 551.508.85 (551.576 +551.577)

Заичко С.И., Князь А.И.
ОНМА

ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ СУДОВОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО ПОЛЯРИМЕТРА, РЕАЛИЗУЮЩЕГО МЕТОДЫ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ СЕЛЕКЦИИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

Постановка проблемы. До настоящего времени по данным отечественной и зарубежной печати остается актуальной задача улучшения различимости навигационных и метеорологических объектов на пути судна [1-5]. Что касается метеорологических объектов, то их необходимо рассматривать с одной стороны как естественные помехи, мешающие радиолокационному обнаружению и распознаванию навигационных объектов, а с другой стороны как опасные метеорологические образования, влияющие на безопасность судовождения. Поэтому конструктивные особенности построения современных судовых РЛС должны предусматривать различимость навигационных объектов в сложных ситуационных состояниях среды, а также обнаружение и измерение кинематических параметров метеорологических образований.

Цель исследования. Разработка функциональной схемы судового радиолокатора, реализующего методы дистанционного наблюдения различных объектов на пути судна.

Изложение основного материала. Методы поляризационной селекции радиолокационных сигналов могут быть реализованы в радиолокационных судовых поляриметрах с обязательным приемом и обработкой ортогональных эхо-сигналов. Поэтому принцип построения радиолокационных судовых поляриметров включает определенные системы, позволяющие измерять различные характеристики электромагнитных волн, по которым и производится поляризационная селекция радиолокационных сигналов объекта и фона.

Оптимальная схема построения судового поляриметра, позволяет излучать электромагнитную волну любой поляризации, в том числе и неполяризованную, осуществлять прием двух ортогональных компонент (если не используется аффинный базис) отраженной волны и производить поляризационный анализ поступившей информации. Разработанная функциональная схема судового поляриметра

представлена на рис.1. Радиолокационная система позволяет по данным о поляризации зондирующего и эхо-сигналов выделить эхо-сигнал от объекта на фоне отражений от естественного фона, а также одновременно производить прием и анализ эхо-сигналов от естественного фона.

Принцип работы измерительного поляризационного радиолокационного комплекса состоит в следующем. Передатчик 13 (магнетрон) с частотой импульсов синхронизации 300 Гц генерирует электромагнитные импульсы длительностью 2 мкс, мощность которых делится на две равные части делителем мощности 12. С помощью устройства переключения поляризации с частотой зондирующих импульсов, состоящее из модулятора 10 и циркуляторов 11, а также аттенуаторов 9 и фазовращателей 8 задается поляризация излучающей волны. Ортогональные составляющие с заданными амплитудами и фазами через газовые разрядники 3 поступают на поляризационный селектор 7 и излучаются в пространство высокополяризованной антенной 1.

В режиме приема эхо-сигналы от объекта и фона поступают на вход антенны 1, разделяются волноводным делителем 2 на две ортогональные составляющие, каждая из которых по своему волноводному каналу проходит через газовые разрядники 3 и циркуляторы 4 на линейные приемники 5, где усиливаются и преобразовываются в постоянное напряжение для получения параметров Стокса в устройстве 6. Параметры Стокса формируют на индикаторах судовой РЛС и дисплее компьютера эхо-сигналы объекта и гидрометеорологического фона. Одновременно эхо-сигналы с выходов циркуляторов 4 поступают на двойной волноводный тройник 16, причем одна из ортогональных составляющих получает фазовый сдвиг на 90° ферритовым фазовращателем 8. С выходов волноводного Т-моста обе составляющие круговой поляризации правого и левого вращения поступают на логарифмические приемники 17 и на измерительную схему для измерения коэффициента анизотропии и других характеристик радиолокационного эхо-сигнала.

Для оценки точности измерения координат и вероятности обнаружения объекта проведен расчет величины отношения мощности эхо-сигнала к мощности шума на выходе усилителя промежуточной частоты приемника с учетом следующих технических параметров:

- $P_{и} = 10^5$ Вт;
- $G = 44$ дБ ;
- $\lambda = 3,2$ см;
- $\sigma = 100$ м²;
- $R = 200$ км;
- $\Delta f = 1,6$ мГц = $1,6 \cdot 10^6$ Гц;
- $f_{повт} = 300$ Гц;
- $\omega = 10$ об/мин;
- пределы сканирования:
по азимуту - 360°
по углу места - $10 - 900$;
- $\bar{N}F = 10$ дБ ;
- L - коэффициент потерь, дБ;
- $\tau = 2$ мс.

Определим отношение сигнал/шум судового радиолокационного поляриметра путем подстановки его технических параметров в следующее соотношение, в котором учтены переводные коэффициенты мер длины и площади [2]:

$$\frac{\bar{P}_{нр}}{P_{ш}} = 12,6 \frac{P_u G^2 \lambda^2 \sigma}{R^4 \Delta f \bar{N}F_0 L}, \quad (1)$$

где $\bar{N}F_0$ - рабочий коэффициент шума, равный отношению эффективной температуры антенны T_i к общей температуре входа системы $\bar{N}F_0 = \frac{T_i}{T_0}$.

Тогда $N = K T_0 \Delta f \bar{N}F_0$, где K - постоянная Больцмана, равная $1,38 \cdot 10^{-23}$ Вт/Гц/К.

После подстановки технических параметров РЛС в соотношение (1) и проведя расчет в логарифмических единицах - децибелах, получим:

$$\begin{aligned} \frac{\bar{P}_{\text{пр}}}{P_{\text{ш}}} \text{дБ} = & 11 + (P_{\text{и}}) \text{дБ Вт} + 2(G) \text{дБ} + 2(\lambda) \text{дБ см} + (G) \text{дБ м}^2 - 4(R) \text{дБ км} - \\ & - (\Delta f) \text{дБ Гц} - 2 \cdot \left(\overline{NF}_0 \right) \text{дБ} - (L) \text{дБ} \end{aligned} \quad (2)$$

Проведем алгебраическое сложение значений соответствующих параметров в децибелах:

$$\begin{aligned} 12,6 &= 11 \text{ дБ} = 11,0 \\ (P_{\text{и}}) &= 60 \text{ дБ Вт} = 60,0 \\ (G) &= 44 \text{ дБ} \\ 2(G) &= 88 \text{ дБ} = 88,0 \\ (\lambda) &= 5,05 \\ 2(\lambda) &= 10,0 = 10,0 \\ \sigma &= 20 \text{ дБ м}^2 = 20,0 \\ (R) &= 20 \text{ дБ км} \\ -4(R) &= -92 \\ (\Delta f) &= 62 \text{ дБ Гц} = (-62,0) \\ \left(\overline{NF}_0 \right) &= 10 \text{ дБ} = (-10,0) \\ (L) &= 4 \text{ дБ} = (-4 \text{ дБ}) \\ \frac{\bar{P}_{\text{пр}}}{P_{\text{ш}}} &= +189 - 168 = +21 \text{ дБ}. \end{aligned}$$

Определим дальность R_0 , на которой отношение мощности импульсного сигнала к мощности шума на промежуточной частоте равно единице (0 дБ).

Мощность эхо-сигнала объекта, находящегося на расстоянии R от судовой РЛС, находится из следующего соотношения:

$$\bar{P}_{\text{пр}} = \left(\frac{P_{\text{и}} G}{4\pi R^2} \right) \left(\frac{\bar{\sigma}}{4\pi R^2} \right) A_e K_{\text{осл}}, \quad (3)$$

где $A_e = \frac{G\lambda^2}{4\pi}$ - площадь приемной антенны.

Тогда уравнение (3) запишется в виде:

$$\bar{P}_{\text{пр}} = \frac{P_{\text{и}} G^2 \bar{\sigma} \lambda^2 K_{\text{осл}}}{(4\pi)^3 R^4} \quad (4)$$

Мощность шума при приеме эхо-сигнала объекта, равна:

$$P_{\text{ш}} = K T_0 \Delta f \bar{N} F. \quad (5)$$

Здесь T_0 - стандартная температура приемника, равная 291 K, K – постоянная Больцмана, равная $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.

Тогда отношение средней мощности эхо-сигнала объекта к мощности шума определится из условия:

$$\frac{\bar{P}_{\text{пр}}}{P_{\text{ш}}} = \frac{P_{\text{и}} G^2 \bar{\sigma} \lambda^2 K_{\text{осл}}}{(4\pi)^3 K T \Delta f \bar{N} F R^4}. \quad (6)$$

Тогда приняв $\bar{P}_{\text{пр}} / P_{\text{ш}} = 1$ решим уравнение (6) относительно R_0^4 :

$$R_0^4 = \frac{P_{\text{и}} G^2 \bar{\sigma} \lambda^2 K_{\text{осл}}}{(4\pi)^3 K T \Delta f \bar{N} F} \quad (7)$$

Выразим Δf через длительность импульса $\tau_{\text{и}}$. Для прямоугольной формы импульса

$$\Delta f \tau_{\text{и}} \approx 1,00. \quad (8)$$

С учетом (8) R_0^4 запишется в виде:

$$R_0^4 = \frac{P_{\text{и}} \tau_{\text{и}} G^2 \bar{\sigma} \lambda^2 K_{\text{осл}}}{\bar{N} F}. \quad (9)$$

В уравнении (9) будем использовать следующие единицы:

R_0 - в морских милях,

$P_{\text{и}}$ - в мегаваттах,

$\tau_{и}$ - в микросекундах,

λ - в сантиметрах,

$\bar{\sigma}$ - в квадратных метрах,

G , $K_{осл}$, \overline{NF} - безразмерные.

Преобразовав R_0^4 в логарифмическую форму, получим:

$$P_{и} = +60 \text{ дБ},$$

$$\tau_{и} = 3 \text{ дБ},$$

$$G^2 = +88 \text{ дБ},$$

$$\lambda^2 = +10 \text{ дБ},$$

$$K_{осл} = -12,2 \text{ дБ},$$

$$\bar{\sigma} = +20 \text{ дБ},$$

$$\overline{NF} = -10 \text{ дБ},$$

$$R_0^4 = 158,8 \text{ дБ относительно единицы (морская миля)}.$$

Поэтому $R_0 = 158,8/4 = 39,4 \text{ дБ}$ относительно морской мили, т.е. *93,5 морских миль* или *182,4 км*.

В радиолокационном поляриметре электромагнитная волна на излучение и прием задается параметрами Стокса.

Так как отражательные характеристики морских объектов разнообразны, поэтому эхо-сигнал в общем случае частично поляризован и имеет место следующее соотношение параметров Стокса отраженной от объекта электромагнитной волны:

$$I^2 > Q^2 + U^2 + V^2 . \quad (10)$$

Частично поляризованная волна состоит из полностью поляризованной компоненты и полностью неполяризованной с параметрами Стокса

$$\left\{ \sqrt{Q^2 + U^2 + V^2}, Q, U, V \right\} ,$$

$$\left\{ I - \sqrt{Q^2 + U^2 + V^2}, 0, 0, 0 \right\} . \quad (11)$$

Для излучения и приема в радиолокационном поляриметре используется всеполяризованная антенна, разделяющая эхо-сигнал по двум ортогональным приемным каналам с раздельным анализом принятых эхо-сигналов, что существенно увеличивает вероятность приема. Эхо-сигнал объекта на фоне помехи и собственных шумов

может быть выделен, если точка на сфере Пуанкаре [6], соответствующая поляризации принимаемой волны, лежит внутри шарового сегмента C телесным углом $\frac{2\nu_{\max}}{\pi}$. Превышение полезного сигнала принятой мощности порогового уровня определяется из известного условия

$$\cos \nu_{\max} = \sqrt{\frac{P_{\text{нп}}}{P_{\text{ш}}}} \quad (12)$$

Вероятность P_1 превышения эхо-сигнала в основном канале над порогом найдем из условия

$$P_1 = \frac{2\nu_{\max}}{\pi} = \frac{2}{\pi} \arccos \sqrt{\frac{P_{\text{нп}}}{P_{\text{ш}}}} \quad (13)$$

При $2\nu_{\max} \geq \frac{\pi}{2}$ прием возможен всегда, при $2\nu_{\max} < \frac{\pi}{2}$, вероятность P_2 приема в ортогональном канале равна

$$P_2 = 1 - (1 - P_1)^2 \quad (14)$$

Проведенный расчет вероятности P_1 и P_2 обнаружения морских объектов на фоне естественных помех по формулам (13) и (14) представлен в табл.1.

Таблица 1 - Значение вероятностей P_1 и P_2 обнаружения морских объектов при различных пороговых уровнях

$\frac{P_{\text{нп}}}{P_{\text{ш}}}$	1,0	1,10	1,25	1,41	1,57	2,1	2,5	3,2	5,0	10,0
P_1	0	0,2	0,3	0,36	0,44	0,5	0,57	0,62	0,7	0,79
P_2	0	0,36	0,57	0,6	0,7	0,76	0,81	0,85	0,91	0,96
$\frac{P_2}{P_1}$	0	1,8	1,9	1,7	1,6	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2

Из табл.1 видно, что наибольшие значения вероятностей обнаружения морских объектов на фоне естественных помех радиоло-

кационным поляриметром будут при отношении средней мощности эхо-сигнала объекта к мощности шума равное 10.

Выводы

- Разработана функциональная схема судового поляризационного измерительного комплекса, позволяющая:
- обнаруживать и распознавать навигационные объекты в сложных ситуационных условиях среды;
- обнаруживать метеорологические образования и измерять их кинематические параметры;
- измерять некинематические параметры навигационных объектов на фоне выпадающего дождя;
- излучать электромагнитную волну любой заданной поляризации и осуществлять прием двух ортогональных составляющих эхо-сигнала с последующей их обработкой и представлением на индикаторах поляриметра и цветном дисплее компьютера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Krasnyuk N. P. The influence of the troposphere and the underlying surface on the radar / N.P. Krasnyuk, V.L. Koblov, V.N communication», 1988. - 213 p.. Krasnyuk. - М.: «Radio and

2 Modern radar. Analysis, calculation and design of systems. / Under the editorship of J. B. Kobzareva, translated from English.. - М.: Publishing house «Soviet radio», 1969. - 704 p.

3 Krasnyuk N.P. The ship's radar and meteorology/ N.P. Krasnyuk., V. I. Rosenberg. - L.: «Shipbuilding», 1970. - 327 p.

4 Marine radars; edited by A. M. Bajrashevskaja. - М.: «Transport», 1977. - 352 p.

5 Dougherty H.T. Regent Progres in Duct Propagation Predictions . – IEEE Traus, 1979. – Vol, Ap-27, №4. – P. 542-548.

6 Kanareykin D. B. Polarization radar signals / D. B. Kanareykin, N. F.Pavlov, V. A. Potekhin. – М.: «Soviet radio», 1966. – 440p.