

УДК 551.463

ЭПР МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ЗОНДИРОВАНИИ ШИРОКОПОЛОСНЫМ СВЧ СИГНАЛОМ

Г.Г. БАХШЯН, К.С. МОСОЯН, О.Б. ПЕТРОСЯН

Институт радиофизики и электроники НАН Армении

Научно-производственный институт «Комета»

(Поступила в редакцию 2 ноября 2000 г.)

Рассмотрено зондирование морской поверхности широкополосным СВЧ радиолокатором в случае, когда отраженный сигнал формируется согласно теории диффузного механизма рассеяния, в интервале углов $30^\circ \geq \theta > 90^\circ$. Показано, что в интервале углов наблюдения $30^\circ \geq \theta \geq 70^\circ$ существует сильная зависимость эффективной поверхности рассеяния от высоты волнения. Определены значения параметров $(z_0, k_{\Delta n}, \theta)$, при которых существенно улучшается обнаружительная способность РЛС с широкополосным зондирующим сигналом.

Целью настоящей работы является нахождение оптимальных условий наблюдения для выявления оптимальных параметров зондирования, где вклад модуляции высоты волнения в эффективную поверхность рассеяния (ЭПР) максимален. В работе [1] было показано, что при зондировании морской поверхности двухчастотным радиолокатором рассеянный сигнал, который формируется согласно теории диффузного механизма рассеяния, может быть представлен в следующем виде:

$$\sigma = \frac{I(k, X) R^2}{I_0} = 4k_i^4 \sigma_o^2 |\hat{P}(\alpha_i)|^2 SW(X) + 4k_i^2 k_j^2 \sigma_o^2 \hat{P}(\alpha_i) \hat{P}^*(\alpha_j) SW(X) \times \\ \times \frac{I_1[2r_a(k_i - k_j) \sin \theta]}{r_a(k_i - k_j) \sin \theta} \exp\{2i[(k_i - k_j)R + \cos \theta(k_i h_i - k_j h_j)]\}, \quad (1)$$

где $I(k, X)$ – интенсивность поля источника излучения вблизи рассеивающей площадки, $I_0 = 1/R^2$, R – расстояние от центра раскрытия антенны РЛС до точки наблюдения, k – волновой вектор падающего поля, $X = 2R_{\perp j}$ – резонансное условие рассеяния Брэгга, σ_o^2 – среднеквадратичная высота волнения ряби, $W(X)$ – спектр волнения, S – элемент разрешения, $\hat{P}(\alpha_i) \hat{P}^*(\alpha_j)$ – поляризационная матрица, явный вид которой представлен в работе [1], I_1 – функция Бесселя, r_a – радиус эле-

мента разрешения, θ – угол наблюдения, h_{ij} – высота волнения, i и j – индексы сигналов, разнесенных по частоте.

В случае зондирования морской поверхности СВЧ радиолокатором с предельной шириной спектра зондирующего сигнала $\pm k_{\Delta n}$ ($k_i - k_{\Delta n} \leq k_j \leq k_i + k_{\Delta n}$) и с учетом очевидного предельного соотношения $k_{\Delta n} \ll k_i$ для ЭПР получим следующее выражение:

$$\sigma_n = \frac{1}{k_{\Delta n}} \int_{\frac{k_{\Delta n}}{2}}^{\frac{k_{\Delta n}}{2}} \sigma dk_{\Delta} = 4k^4 \sigma_a^2 |\hat{P}(\alpha)|^2 SW(X) \left\{ 1 + \frac{\exp(i2k\Delta h) \cos \theta}{a} \int_{-a}^a \frac{I_1(x)}{x} \exp(ibx) dx \right\}, \quad (2)$$

где $a = r_a k_{\Delta n} \sin \theta$, $b = (z_0 + h \cos^2 \theta) / r_a \sin \theta \cos \theta$, z_0 – высота излучателя от поверхности моря.

Из формулы (2) видно, что при увеличении ширины полосы зондирования $k_{\Delta n}$ второе слагаемое сильно подавляется, т.е. получается эффект сглаживания ($k_{\Delta n} = k_i - k_j$).

Таким образом, широкополосность радиолокатора в случае сглаживания отраженного сигнала становится эквивалентной эффекту сглаживания, связанному с увеличением элемента разрешения для любой фиксированной полосы $k_{\Delta n}$ зондирования.

На ЭВМ нами рассчитаны нормированные значения ЭПР отраженного сигнала по следующей формуле:

$$\sigma_n = \frac{\sigma - \bar{\sigma}}{\bar{\sigma}}, \quad \bar{\sigma} = 4k^4 \sigma_a^2 |\hat{P}(\alpha)|^2 SW(X).$$

Расчеты выполнены при фиксированном значении $z_0 = 27$ м, в интервале углов наблюдения $30^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ и высоте волнения $0,2 \leq h \leq 1,5$.

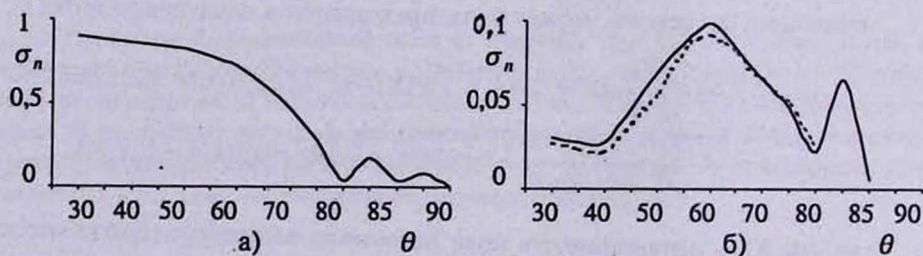


Рис.1. Зависимость модуля нормированной ЭПР от угла наблюдения θ в диапазоне волн вблизи $\lambda = 2$ см при: а) $ck_{\Delta n} = 1$ МГц, $h = (0,2 + 1,5)$ м; б) $ck_{\Delta n} = 40$ МГц, $h = 0,4$ м (—), $h = 1$ м (---).

Как видно из рис.1, когда полоса зондирующего сигнала РЛС $ck_{\Delta n} \leq 1$ МГц, то в интервале углов $30^\circ \leq \theta \leq 70^\circ$ значение амплитуды

флуктуаций ЭПР, обусловленной интерференционным членом, почти не отличается от среднего значения ЭПР. В интервале углов наблюдения $70^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ амплитуда флуктуаций резко падает за счет увеличения элемента разрешения. Здесь интересно отметить тот факт, что когда $ck_{\Delta n} \approx 1$ МГц, то вариация высот волнения в пределах $0 \leq h \leq 1,5$ м не влияет на величину амплитуды флуктуаций. Другими словами, при $ck_{\Delta n} \approx 1$ МГц величина флуктуаций ЭПР, обусловленных интерференционным членом из-за других параметров, намного существеннее, чем из-за вариации высоты волнения h . Из рис.2 следует, что чем больше значение $k_{\Delta n}$, тем меньше относительная величина амплитуды флуктуаций при вариациях угла наблюдения θ .

При значениях $ck_{\Delta n} \geq 40$ МГц вариации параметра h сильнее сказываются на величине σ_n (рис.2) и чем больше значение $k_{\Delta n}$, тем вероятнее прогноз вариации высот волнения морской поверхности. Оптимальный угол наблюдения вариаций h , как следует из рис.2, лежит в пределах $30^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$.

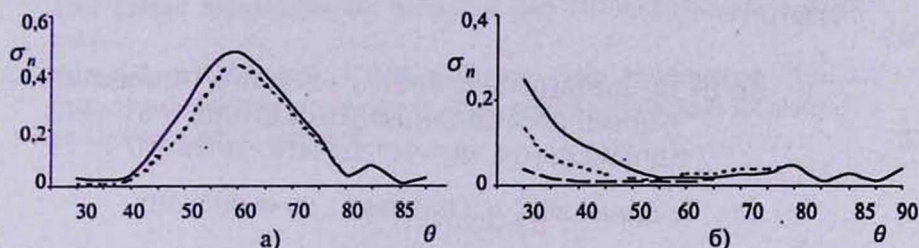


Рис.2. Зависимость модуля нормированной ЭПР от угла наблюдения θ в диапазоне волн вблизи $\lambda=2$ см при: а) $ck_{\Delta n} = 50$ МГц, $h = 0,2$ м (—), $h = 1,5$ м (---). б) $ck_{\Delta n} = 80$ МГц, $h = 0,2$ м (—), $h = 0,7$ м (---), $h = 1,1$ м (— · —).

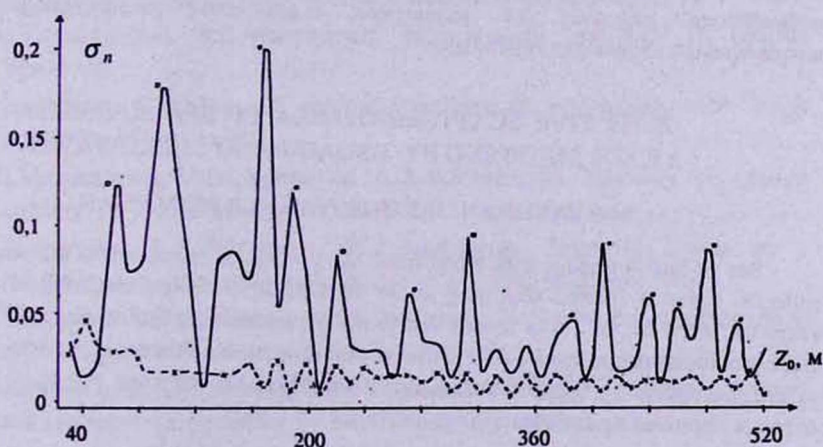


Рис.3. Расчетная зависимость нормированной ЭПР от высоты излучателя при значениях $ck_{\Delta n} = 80$ МГц, $h = 0,4$ м (—), $\theta = 40^\circ$, (---) $\theta = 84^\circ$.

Из формулы (2) следует также, что величина флуктуаций сильно зависит и от высоты платформы РЛС, т.е. от z_0 . На рис.3 представлены расчетные зависимости величины σ_n от z_0 при значениях параметров $ck_{\Delta n} = 80$ МГц, $h = 0,4$ м, для двух углов наблюдения $\theta = 40^\circ$ и 84° . Из рисунков следует, что существуют определенно выбранные значения высоты платформы РЛС, где амплитуда флуктуаций ЭПР, обусловленных интерференционным членом, сильно ощутима (отмечены кружками на рис.3). Именно эти режимы РЛС являются благоприятными для обнаружения вариаций высот волнения.

Обобщая полученные результаты, можно сделать вывод, что для оценки высоты волнения необходимо применять зондирующий сигнал с широким спектром и оптимизировать параметры z_0 и θ .

ЛИТЕРАТУРА

1. К.С.Мосоян, Г.Г.Бахсян, О.Б.Петросян. Известия НАН Армении, Физика, 34, 177 (1999).
2. Г.Г.Бахсян, Г.И.Мариносян, К.С.Мосоян. Изв. вузов, Радиофизика, 34, 630 (1991).

ԾՈՒԿԻ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹԻ ԶՐՄԱՆ ԷՖԵԿՏԻՎ ՄԱԿԵՐԵՄԸ ԳԵՐՔԱՐԶՐ ՀԱՃԱԽՈՒԹՅԱՆ ԼԱՅՆԱՇԵՐՏ ԱԶԴԱՆՇԱՆՈՎ ԶՈՆԴԱՎՈՐՄԱՆ ԴԵՊԶՈՒՄ

Հ.Հ.ԲԱԽՏԻԱՆ, Կ.Ս.ՄՈՍՈՅԱՆ, Հ.Բ.ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

Քննարկված է փրքարձր հաճախության ռադիոլոկատորով ծովի մակերևույթի զոնդավորման այն դեպքը, երբ անդրադարձող ազդանշանը ձևավորվում է ցրման դիֆուզ օրենքով, $30^\circ \leq \theta < 90^\circ$ անկյունային տիրույթում: Ցույց է տրված, որ դիտարկվող անկյունային տիրույթում $30^\circ \leq \theta < 70^\circ$ գոյություն ունի ցրման էֆեկտիվ մակերեսի ուժեղ կախվածություն ալիքի բարձրությունից: Որոշված են $z_0, k_{\Delta n}, \theta$ պարամետրների արժեքները, որոնց դեպքում անհամեմատ լավանում են լայնաշերտ ազդանշանով ռադիոլոկացիոն սարքի տեղատվական հնարավորությունները:

EFFECTIVE SCATTERING AREA OF SEA SURFACE AT ITS SOUNDING BY BROAD-BAND MICROWAVES

H.G.BAKHSIAN, K.S.MOSOYAN, H.B.PETROSSIAN

Sea surface sounding with broad-band radar waves is considered in the case when the reflected signal is formed according to the mechanism of diffuse scattering in the angular range of $30^\circ \leq \theta < 90^\circ$. It is shown that in the observation angular range of $30^\circ \leq \theta < 70^\circ$ there is a strong dependence of the effective scattering area on the sea roughness. The values of the parameters $z_0, k_{\Delta n}, \theta$ are determined for which the detecting power of broad-band radars is improved essentially.