

Раздел I. Радиотехника, измерения, гидролокация

УДК 621.311.6

С.А. Гросуль

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ НА ОТРАЖЕННЫЙ РАДИОСИГНАЛ ПРИ ДВУХПОЗИЦИОННОЙ РАДИОЛОКАЦИИ

Решены задачи определения интенсивности комплексной амплитуды сигнала, отраженного взволнованной водной поверхностью и эффективной площади рассеяния водной поверхности, как функции от скорости приповерхностного ветра и геометрии расположения приемника и передатчика радиосигналов, для случая двухпозиционной радиолокации. Результаты работы применимы для построения двухпозиционных систем дистанционного зондирования параметров водной поверхности на базе сигналов спутниковой системы ГЛОНАСС.

Удельная ЭПР водной поверхности; двухпозиционная радиолокация; квазизеркальное двухпозиционное рассеяние; ветровые волны.

S.A. Grosul

EFFECT OF SEA ROUGHNESS ON REFLECTED SIGNAL FOR BISTATIC RADAR

The tasks of determination of intensity complex amplitude of the signal, reflected from sea surface and an effective scattering area of water surface as a function from speed of surface wind and geometry of location of a receiver and a signals transmitter for the bistatic radar was solved. The results of the work done can be used in construction of bistatic systems of the remote sensing of water surface variables, based on the GPS satellite system signals.

Effective scattering area of water surface; bistatic radar; the quasimirror bistatic scattering; wind waves.

Одним из параметров, определяющих характер воздействия водной поверхности на отраженный радиосигнал, является удельная эффективная площадь рассеяния (УЭПР) и ее зависимость от геометрии задачи, высоты морских волн (скорости ветра) и длины волны радиосигнала. Настоящая статья посвящена решению задач определения интенсивности комплексной амплитуды сигнала, отраженного взволнованной водной поверхностью и УЭПР водной поверхности при двухпозиционной локации.

Геометрия задачи представлена на рис. 1. В точке $A(x_0, 0, H_0)$ расположена приемная антенна, в точке $B(x_2, 0, H_c)$ – передающая (излучающей) антенна. Точки А и В принадлежат плоскости XOZ.

Определим интенсивность комплексной амплитуды напряжения на выходе приемной антенны по формуле

$$I_0 = \overline{\dot{U}^0(h)\dot{U}^{0*}(h)} - \overline{\dot{U}^0(h)\dot{U}^{0*}(h)}. \quad (1)$$

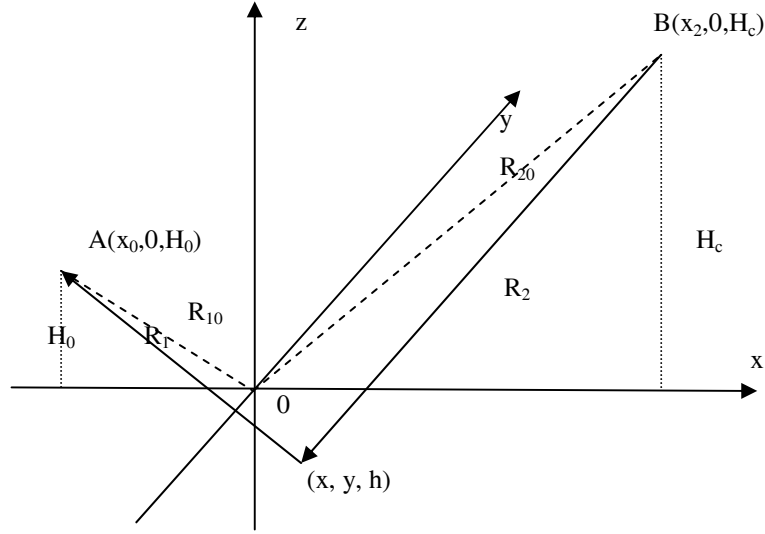


Рис. 1. Общая геометрия задачи

В соответствии с [1] выражение для интенсивности комплексной амплитуды для основных горизонтальной $\dot{I}_{\Gamma\Gamma}$ и вертикальной \dot{I}_{BB} поляризаций будет иметь вид

$$\dot{I}_{BB} \approx \dot{I}_{\Gamma\Gamma} = \frac{Q_0^2}{\lambda^2} \iint_S G(\alpha_\alpha, \beta_\alpha) dx dy \iint_S G(\alpha'_\alpha, \beta'_\alpha) \frac{1}{R_{10}R'_{10}} \frac{1}{R_{20}R'_{20}} \times \exp(-ik(L-L')) \exp(1-\rho_h(\Delta x, \Delta y)) \dot{F}_{omp} \dot{F}'_{omp} dx' dy', \quad (2)$$

где $G(\alpha_\alpha, \beta_\alpha)$ – диаграмма направленности приемной антенны; α_α – угол между проекцией вектора R_1 на плоскость XOY и осью Ox; β_α – угол между осью диаграммы направленности приемной антенны и осью Oz; $Q_0 = \sqrt{\frac{P_a G_0 A_{эф} R_{np}}{2\pi}}$; $k = \frac{2\pi}{\lambda}$; λ – длина волны; \dot{F}_{omp} – коэффициент отражения Френеля водной поверхности; P_a – мощность, поступающая в антенну; G_0 – коэффициент усиления антенны; $A_{эф}$ – эффективная площадь антенны; R_{np} – активное сопротивление приемной антенны; $\rho_h(\Delta x, \Delta y)$ – нормированная пространственная корреляционная функция отражающей (морской) поверхности; S – окрестность точки зеркального отражения; $\Delta x = x - x'$, $\Delta y = y - y'$; $L = R_1 + R_2$.

Поскольку длина отражаемой радиоволны значительно меньше величин неровностей морской поверхности, воспользуемся приближенным значением $\rho_h(\Delta x, \Delta y)$, полученным в результате разложения в ряд по степеням Δx и Δy [1]:

$$\rho_h(\Delta x, \Delta y) \approx 1 - \left(\frac{1}{l_{hx}^2} + \frac{2\pi}{\Lambda_{hx}^2} \right) \Delta x^2 - \left(\frac{1}{l_{hy}^2} + \frac{2\pi}{\Lambda_{hy}^2} \right) \Delta y^2, \quad (3)$$

где l_{hx} и l_{hy} – радиусы корреляции поверхности вдоль осей Ox и Oy соответственно, Λ_{hx} и Λ_{hy} – длины морских волн в направлении координатных осей Ox и Oy .

Подставив в (2) выражение (3) и преобразовав, получим

$$\dot{i}_{BB} \approx \dot{i}_{\Gamma\Gamma} = \frac{Q_0^2}{\lambda^2} \frac{1}{R_{10}R'_{10}} \frac{1}{R_{20}R'_{20}} \dot{F}_{omp} \dot{F}'_{omp} \iint_S G(\alpha_\alpha, \beta_\alpha) dx dy \iint_S G(\alpha'_\alpha, \beta'_\alpha) \times \quad (4)$$

$$\times \exp\left(-ik(2A_x x \Delta x - A_x \Delta x^2 + 2A_y y \Delta y - A_y \Delta y^2) - (B_x \Delta x^2 + B_y \Delta y^2)\right) dx' dy',$$

где $A_x = \frac{\cos^2 \beta_0}{2R_{10}} + \frac{1}{2R_{20}}$; $A_y = \frac{1}{2R_{10}} + \frac{1}{2R_{20}}$; $B_x = \frac{1}{2} k^2 \gamma_{hx}^2 (\cos \beta_0 + \cos \psi_0)^2$;
 $B_y = \frac{1}{2} k^2 \gamma_{hy}^2 (\cos \beta_0 + \cos \psi_0)^2$ σ_h – среднеквадратичное отклонение ординат вод-

ной поверхности; $\gamma_{hx}^2 = 2\sigma_h^2 \left(\frac{1}{l_{hx}^2} + \frac{2\pi^2}{\Lambda_{hx}^2} \right)$ и $\gamma_{hy}^2 = 2\sigma_h^2 \left(\frac{1}{l_{hy}^2} + \frac{2\pi^2}{\Lambda_{hy}^2} \right)$ – величины среднеквадратичного угла наклона морских волн в направлении координатных осей Ox и Oy соответственно.

Согласно экспериментальным данным, дисперсии углов наклона морской поверхности вдоль направления ветра и в направлении, перпендикулярном к нему, связаны со скоростью V_v приповерхностного ветра (м/с) на высоте 13 м над уровнем моря соотношениями [6]:

$$\gamma_{hx}^2 = 3,16 \cdot 10^{-3} V_v, \quad \gamma_{hy}^2 = 0,003 + 1,92 \cdot 10^{-3} V_v. \quad (5)$$

Заменив $x_2 = D - x_0$, где D – расстояния между приемником и передатчиком по оси абсцисс, определим расстояние от приемника до точки отражения и от передатчика до точки отражения на водной поверхности:

$$R_1 = \sqrt{(x_0 + x)^2 + y^2 + H_0^2} = \sqrt{H_0^2 + x_0^2} \sqrt{1 + \frac{x^2 + y^2 + 2x_0x}{H_0^2 + x_0^2}},$$

$$R_2 \approx R_{20} \cdot \left[1 + \frac{x^2}{2R_{20}^2} + \frac{y^2}{2R_{20}^2} - \frac{(D - x_0)x}{R_{20}^2} \right] \approx R_{20} + \frac{x^2}{2R_{20}} + \frac{y^2}{2R_{20}} - x \sin \beta_0. \quad (6)$$

Суммарное расстояние L , которое проходит отраженный сигнал от передатчика к приемнику, получим, используя выражения (6) и (7):

$$L = R_1 + R_2 \approx R_{10} + R_{20} + x^2 \left(\frac{\cos^2 \beta_0}{2R_{10}} + \frac{1}{2R_{20}} \right) + y^2 \left(\frac{1}{2R_{10}} + \frac{1}{2R_{20}} \right). \quad (7)$$

Так как за пределами области интегрирования S значение выражения (4) практически равно нулю, то пределы интегрирования можно распространить до бесконечности и воспользовавшись решением [1], получим

$$\dot{i}_{BB} \approx \dot{i}_{\Gamma\Gamma} = \frac{Q_0^2}{\lambda^2} \frac{1}{R_{10}R'_{10}} \frac{1}{R_{20}R'_{20}} \dot{F}_{omp} \dot{F}'_{omp} G(\alpha_\alpha, \beta_\alpha)^2 \frac{1}{2\gamma_{hx}\gamma_{hy} (\cos \beta_0 + \cos \psi_0)^2} \times$$

$$\times \exp \left[- \frac{x^2 \left(\frac{\cos^2 \beta_0}{2R_{10}} + \frac{1}{2R_{20}} \right)^2}{\gamma_{hx}^2 (\cos \beta_0 + \cos \psi_0)^2} - \frac{y^2 \left(\frac{1}{2R_{10}} + \frac{1}{2R_{20}} \right)^2}{\gamma_{hy}^2 (\cos \beta_0 + \cos \psi_0)^2} \right]. \quad (8)$$

Для определения коэффициента отражения Френеля $\dot{F}_{отр}$ воспользуемся соотношениями, приведенными в работе [2] для горизонтальной и вертикальной поляризаций:

$$\dot{F}_{отр} \approx i \cos \beta_0 \frac{\cos \beta_0 - \sqrt{\dot{\epsilon}}}{\cos \beta_0 + \sqrt{\dot{\epsilon}}}, \quad (9)$$

где $\dot{\epsilon}$ – комплексная электрическая проницаемость среды отражения.

В соответствии с приведенным в [3] выражением, УЭПР можно определить как

$$\sigma^0 = \frac{8 \dot{I} \pi^2 R_{10}^2 R_{20}^2}{R_{np} P_a G_0 A_{\phi} S_{\phi}}, \quad (10)$$

Подставив в (10) выражения (8) и (9), получим

$$\sigma_{BB}^0(x, y) \approx \sigma_{IT}^0(x, y) = \left| i \cos \beta_0 \frac{\cos \beta_0 - \sqrt{\dot{\epsilon}}}{\cos \beta_0 + \sqrt{\dot{\epsilon}}} \right|^2 \frac{1}{2 \gamma_{hx} \gamma_{hy} (\cos \beta_0 + \cos \psi_0)^2} \times \exp \left[- \frac{x^2 \left(\frac{\cos^2 \beta_0}{2R_{10}} + \frac{1}{2R_{20}} \right)^2}{\gamma_{hx}^2 (\cos \beta_0 + \cos \psi_0)^2} - \frac{y^2 \left(\frac{1}{2R_{10}} + \frac{1}{2R_{20}} \right)^2}{\gamma_{hy}^2 (\cos \beta_0 + \cos \psi_0)^2} \right]. \quad (11)$$

На рис. 2 представлена зависимость УЭПР от координат на водной поверхности, при различных скоростях приповерхностного ветра и постоянном угле падения ψ_0 , равном 10° . Точка с координатами (0,0) соответствует точке зеркального отражения по законам геометрической оптики. Как видно из графиков, с ростом скорости ветра при прочих постоянных параметрах задачи, размер зоны отражения возрастает, а максимум величины УЭПР падает.

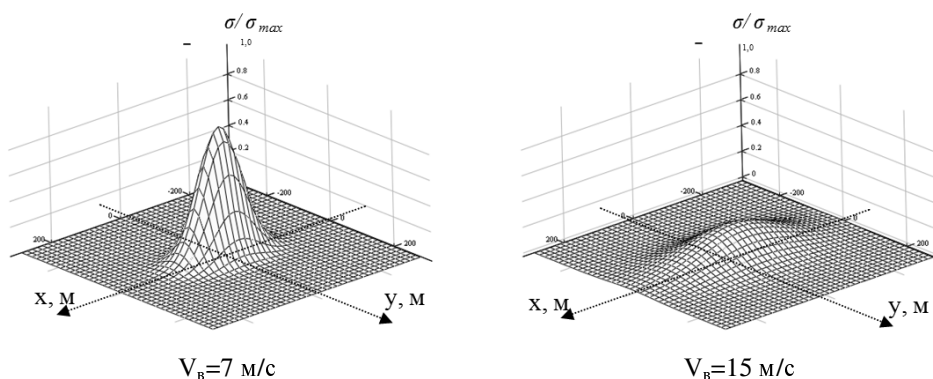


Рис. 2. Зависимость нормированной по уровню максимума отражения УЭПР от координат точки отражения, при $V_в=7$ м/с

Следует также отметить неодинаковое увеличение продольных и поперечных размеров зоны отражения. Так, при слабом ветре ее форма близка к окружности, при увеличении ветра она становится эллиптической, вытягиваясь по оси ОХ.

Аналогичная зависимость наблюдается при изменении угла падения ψ_0 (рис. 3).

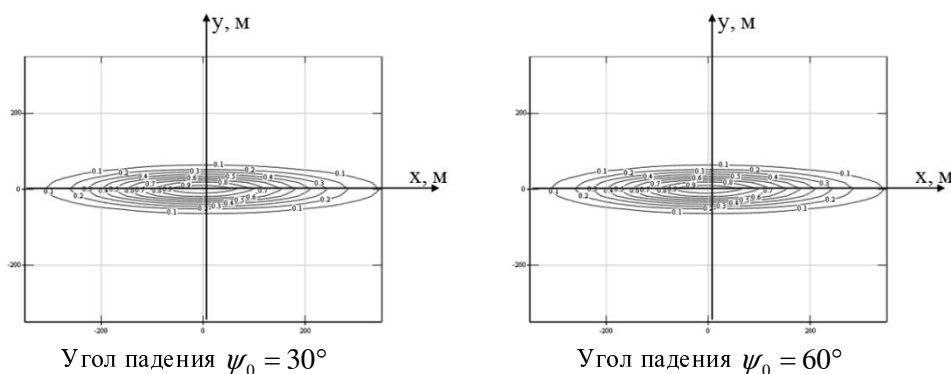


Рис. 3. Зависимость УЭПР от координат точки отражения в окрестностях точки зеркального отражения при различных углах падения ψ_0

Помимо увеличения поперечных размеров, с увеличением угла падения, возрастает несимметричность зоны отражения вдоль оси ОХ относительно точки нормального падения, проявляющаяся в увеличении поперечных размеров дальнего (относительно приемной антенны) участка зоны отражения. Подобная зависимость подтверждается экспериментальными данными, полученными в результате изучения солнечных бликов на водной поверхности [6]

В результате проделанной работы по решению задачи определения эффективной площади рассеяния водной поверхности как функции от скорости приповерхностного ветра и геометрии расположения приемника и передатчика радиосигналов было получено выражение УЭПР водной поверхности при двухпозиционной радиолокации как функции углов обзора приемной антенны на водную поверхность и скорости приповерхностного ветра.

Полученный результат укладывается в рамки существующих выражений для УЭПР, и может быть использован для построения двухпозиционных систем дистанционного зондирования параметров водной поверхности на базе сигналов спутниковой системы ГЛОНАСС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гарнакерьян А.А., Сосунов А.С. Радиолокация морской поверхности. – Ростов: Изд-во Ростовского университета, 1978. – 144 с.
2. Гарнакерьян А.А., Захаревич В.Г., Лобач В.Т., Панатов Г.С., Явкин А.В. Радиоокеанографическое навигационное и информационное обеспечение гидроавиации. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1997. – 285 с.
3. Лобач В.Т. Статистические характеристики радиолокационных сигналов, отраженных от морской поверхности. – М.: Радио и связь, 2006. – 250 с.
4. Зубкович С.Г. Статистические характеристики радиосигналов, отраженных от земной поверхности. – М.: Советское радио, 1968. – 224 с.
5. Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. – М., 1971. – 980 с.
6. Cox C., Munk W. Slopes of the sea surface deduced from photograph of the sun glitter. – Bull. Scripps Inst. Oceanogr., Calif. Univ., 1956. – № 9.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. А.А. Федотов.

Гросуль Сергей Александрович – Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге; e-mail: Tarkus.GSA@gmail.com; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский 44; тел.: +79043470167; кафедра радиотехнических и телекоммуникационных систем; аспирант.

Grosul Sergej Alexandrovich – Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: Tarkus.GSA@gmail.com; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +79043470167; the department of radio engineering and telecommunication systems; postgraduate student.

УДК 534.222

Р.А. Козаченко, А.С. Пашня

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПУЧКА АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН, ПРОХОДЯЩИХ
ЧЕРЕЗ ГРАНИЦУ РАЗДЕЛА ДВУХ СРЕД ПРИ ИЗЛУЧЕНИИ
МНОГОЧАСТОТНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ**

Рассматривается изменение коэффициентов отражения и прохождения по давлению, колебательной скорости, интенсивности от изменения угла падения пучка акустических волн на границу раздела двух сред. В данной работе освещены параметры и критерии, которые могут быть применены для интегральной оценки свойств и характеристик биологических материалов в среде распространения и нелинейного взаимодействия при излучении пучка акустических волн многочастотным преобразователем. Основными требованиями к конструкции являются приближение формы движения преобразователя на резонансе к поршневому движению и отсутствие противофазных движений точек на поверхности преобразователя. Расчеты проводились путем численного решения трехмерных краевых задач методом конечных элементов с использованием программы ANSYS.

Акустический показатель преломления; фактор фокусировки; акустическое сопротивление; пьезоэлемент; резонансная частота.

R.A. Kozachenko, A.S. Pashnja

**RESEARCH OF THE BUNCH OF ACOUSTIC WAVES PASSING THROUGH
BORDER OF SECTION OF TWO ENVIRONMENTS AT RADIATION BY THE
MULTIFREQUENCY CONVERTER**

Change of factors of reflection and passage on pressure, oscillatory speed, intensity from change of a hade of a bunch of acoustic waves on border of section of two environments is considered. In the given work parameters and criteria which can be applied for an integrated estimation of properties and characteristics of biological materials in the environment of distribution and nonlinear interaction at radiation of a beam of acoustic waves by the multifrequency converter are covered. The basic requirements to a design are approach of the form of movement of the converter a resonance to piston movement and absence of antiphase movements of points on a surface of the converter. Calculations were carried out by the numerical decision of three-dimensional regional problems by a method of final elements with and use of program ANSYS.

Acoustic indicator of refraction; the focusing factor; acoustic resistance; piezoelectric cell; frequency response.

При проектировании современных пьезокерамических преобразователей для гидроакустических антенн необходимо обеспечение излучения на частотах высших форм колебаний. Поэтому необходимо определить возможность практического использования одного и того же преобразователя, как при работе на основном резонансе, так и на частотах в диапазоне выше 100 кГц.