

11. *Безуглов Д.А., Сахаров И.А.* Пространственно временной алгоритм восстановления фазового фронта для датчика радиального типа. Свидетельство об официальной регистрации в Роспатенте программы для ЭВМ №2011613984 от 23.05.2011.
12. *Безуглов Д.А., Сахаров И.А.* Пространственно временной алгоритм восстановления фазового фронта для датчика тангенциального типа. Свидетельство об официальной регистрации в Роспатенте программы для ЭВМ №2011613985 от 23.05.2011.
13. *Безуглов Д.А., Сахаров И.А.* Пространственно временной алгоритм восстановления фазового фронта для датчика гибридного типа. Свидетельство об официальной регистрации в Роспатенте программы для ЭВМ №2011613986 от 23.05.2011.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.А. Костоготов.

Безуглов Дмитрий Анатольевич – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования “Донской государственный технический университет”; e-mail: bezuglovda@mail.ru; 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1; тел.: 89185548454; кафедра информационных технологии в сервисе; д.т.н.; профессор; зав. кафедрой.

Сахаров Иван Александрович – e-mail: sakharov.i.a@yandex.ru; тел.: 89034735847; кафедра информационных технологии в сервисе; старший преподаватель.

Bezuglov Dmitry Anatolievich – Federal State Educational Institution of Higher Professional Education of the Don State Technical University; e-mail: bezuglovda@mail.ru; 1, Gagarina pl., Rostov-on-Don, 344000, Russia; phone: +79185548454; the department of information technologies in the service of; head of department; dr. of eng. sc.; professor.

Sakharov Ivan Aleksandrovich – e-mail: sakharov.i.a@yandex.ru; phone: +79034735847; the department of information technologies in the service of; senior teacher.

УДК 621.311.6

В.Т. Лобач, С.А. Гросуль

УДЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНАЯ ПЛОЩАДЬ РАССЕЯНИЯ ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ДВУХПОЗИЦИОННОЙ РАДИОЛОКАЦИИ

Перспективным направлением неконтактного исследования параметров водной поверхности является полупассивная двухпозиционная радиолокация. В ее основе лежит прием отраженного от водной поверхности сигнала, источник которого находится в значительном пространственном удалении от точки приема. Одним из факторов, 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 над водной поверхностью) и длины волны радиосигнала. Знание функциональной зависимости УЭПР от названных параметров позволяет решать обратную задачу – измерения параметров морского волнения. Настоящая статья посвящена решению такой задачи.

Эффективная площадь рассеяния; водная поверхность; двухпозиционная радиолокация; параметры морского волнения.

V.T. Lobach, S.A. Grosul

SPECIFIC EFFECTIVE AREA OF DIFFUSING OF THE WATER TABLE AT ON-OFF RADIOLOCATION

Perspectiv direction of not contact research of parameters of a water table is the semi-active on-off radiolocation. In its basis reception of the reflected from a water table of a signal which source is in significant space distance from a point of reception lays. One of the factors determin-

ing character of affecting of a water table on a radio echo, the specific effective area of diffusing (SEAD) and its dependence on geometry of a problem, altitudes of sea waves (rate of a wind overwater) and wave lengths of a radiosignal is. The knowledge of functional dependence SEAD from the named parameters, allows to solve an inverse problem - measurements of parameters of sea excitement. Present paper is devoted to the solution of such problem.

Effective area of diffusing; a water table; on-off radiolocation; parameters of sea excitement.

Перспективным направлением дистанционного исследования параметров водной поверхности является полуактивная (двухпозиционная) радиолокация. В ее основе лежит прием отраженного от водной поверхности сигнала, источник которого находится в значительном пространственном удалении от точки приема [1, 2]. Источниками сигнала могут быть, например, передающие устройства спутников глобальной системы позиционирования ГЛОНАСС.

Одним из факторов, 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. Для решения обратной задачи – измерения параметров отражающей водной поверхности – важно знать функциональную зависимость УЭПР от перечисленных выше параметров и от времени прохождения отраженного сигнала от передатчика к приемнику [5]. В известных источниках отсутствует решение данной задачи для случая двухпозиционной локации, учитывающее влияние координат излучателя и приемника, направление визирования и параметров морского волнения. Настоящая статья посвящена решению такой задачи.

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.

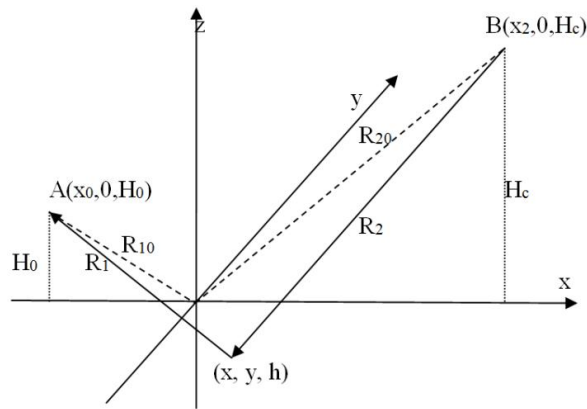


Рис. 1. Общая геометрия задачи

Определим интенсивность комплексной амплитуды напряжения на выходе приемной антенны по формуле

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

В соответствии с [3] выражение для интенсивности комплексной амплитуды для основных горизонтальной $\dot{I}_{\Gamma\Gamma}$ и вертикальной \dot{I}_{BB} поляризаций будет иметь вид

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

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 [3]:

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

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:

$$\dot{I}_{BB} \approx \dot{I}_{ГГ} = \frac{Q_0^2}{\lambda^2} \frac{1}{R_{10} R'_{10}} \frac{1}{R_{20} R'_{20}} \dot{F}_{omp} \dot{F}'_{omp} \iint_S G(\alpha_\alpha, \beta_\alpha) dx dy \iint_S G(\alpha'_\alpha, \beta'_\alpha) \times \times \exp(-ik(2A_x x \Delta x - A_x \Delta x^2 + 2A_y y \Delta y - A_y \Delta y^2) - (B_x \Delta x^2 + B_y \Delta y^2)) dx' dy', \quad (4)$$

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

водной поверхности; $\gamma_{hx}^2 = 2\sigma_h^2 \left(\frac{1}{l_{hx}^2} + \frac{2\pi}{\Lambda_{hx}^2} \right)$ и $\gamma_{hy}^2 = 2\sigma_h^2 \left(\frac{1}{l_{hy}^2} + \frac{2\pi}{\Lambda_{hy}^2} \right)$ – 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 [8]:

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

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 [3], 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}_{omp} воспользуемся соотношениями, приведенными в работе [4] для горизонтальной и вертикальной поляризации:

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

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

В соответствии с приведенным в [5,6] выражением, УЭПР можно определить как

$$\sigma^0 = \frac{8i \pi^2 R_{10}^2 R_{20}^2}{R_{np} P_a G_0 A_{эф} S_{эф}}. \quad (10)$$

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

$$\sigma_{BB}^0(x, y) \approx \sigma_{\Gamma\Gamma}^0(x, y) = \left| i \cos \beta_0 \frac{\cos \beta_0 - \sqrt{\dot{\mathcal{E}}}}{\cos \beta_0 + \sqrt{\dot{\mathcal{E}}}} \right|^2 \frac{1}{2\gamma_{hx}\gamma_{hy}(\cos \beta_0 + \cos \psi_0)^2} \times$$

$$\times \exp \left[- \frac{x^2 \left(\frac{\cos^2 \beta_0}{2R_{10}} + \frac{1}{2R_{20}} \right)^2}{\gamma_{hx}^2 (\cos \beta_0 + \cos \psi_0)^2} - \frac{y^2 \left(\frac{1}{2R_{10}} + \frac{1}{2R_{20}} \right)^2}{\gamma_{hy}^2 (\cos \beta_0 + \cos \psi_0)^2} \right]. \quad (11)$$

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.

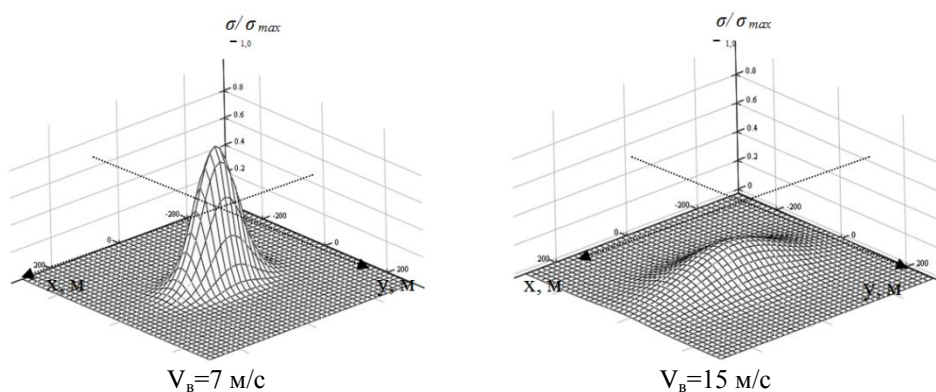


Рис. 2. Зависимость нормированной по уровню максимума отражения УЭПР от координат точки отражения, при $V_B=7$ м/с

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).

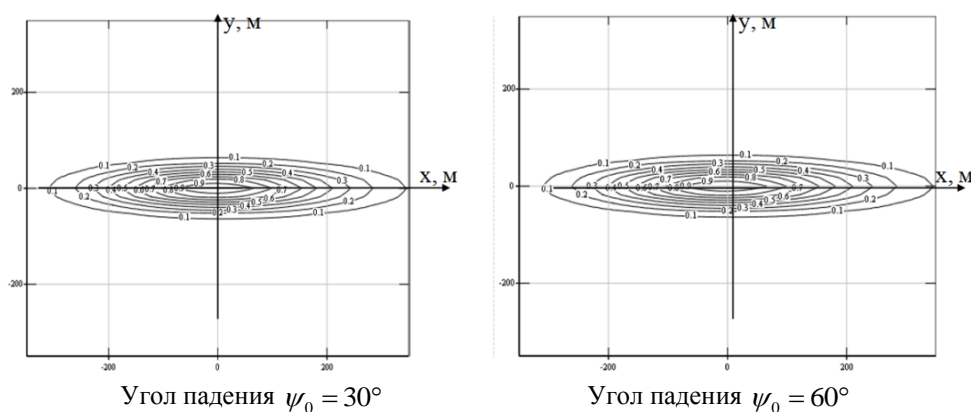


Рис. 3. Зависимость УЭПР от координат точки отражения в окрестностях точки зеркального отражения при различных углах падения ψ_0

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 [7].

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 радио-

сигналов 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 спутниковых навигационных систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лобач В.Т.* Современное состояние и перспективы развития исследований в области инновационных технологий гидроавиационных систем радионавигации и управления // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. – № 12 (89). – С. 94-102.
2. *Лобач В.Т.* Радиолокационное измерение углового спектра и степени анизотропности морского волнения // Известия ТРТУ. – 2006. – № 5 (60). – С. 109-114.
3. *Гарнакерьян А.А., Сосунов А.С.* Радиолокация морской поверхности. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского университета, 1978. – 144 с.
4. *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.
5. *Лобач В.Т.* Статистические характеристики радиолокационных сигналов, отраженных от морской поверхности. – М.: Изд-во “Радио и связь”, 2006. – 250 с.
6. *Зубкович С.Г.* Статистические характеристики радиосигналов, отраженных от земной поверхности. – М.: Изд-во “Советское радио”, 1968. – 224 с.
7. *Cox C., Munk W.* Slopes of the sea surface deduced from photograph of the sun glitter. – Bull. Scripps Inst. Oceanogr., Calif. Univ. – 1956. – Т. 6, № 9.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Ю.С. Расщепляев.

Лобач Владимир Тихонович – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: rts@tti.sfedu.ru; 347922, г. Таганрог, пер. 1-й Крепостной, 34, кв. 245; тел.: 88634371637, 8634360865; кафедра радиотехнических и телекоммуникационных систем; зав. кафедрой.

Гросуль Сергей Александрович – ООО «НКБ “Импульс”»; e-mail: rts@tti.sfedu.ru; 347913, г. Таганрог, ул. Панфилова, 109/1, кв. 74; тел.: 89043470167, 88634310535; инженер-программист.

Lobach Vladimir Tixonovich – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: rts@tti.sfedu.ru; 34, 1-st Krepostnoy, fl. 245, Taganrog, 347922, Russia; phone: +78634371637, +7634360865; the department of radio engineering and telecommunication systems; head the department.

Grosul Sergey Aleksandrovich – Open Company «NKB the Pulse»; e-mail: rts@tti.sfedu.ru; 109/1, Panfilov street, fl. 74, Taganrog, 347913, Russia; phones: +79043470167, +78634310535; engineer-programmer.