Наука и Образование
МГТУ им. Н.Э. Баумана
Сетевое научное издание
ISSN 1994-0408

Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 03. С. 140–152.

DOI: **10.7463/0315.0760670**

Представлена в редакцию: 25.01.2015
Исправлена: 07.03.2015

© МГТУ им. Н.Э. Баумана

УДК 629.05+551.46

Влияние поляризации зондирующего радиосигнала на эффективность выделения отклика надводной цели

Пинчук А. Н.[1,*]

*apitan-pin@yandex.ru

[1]Черноморское высшее военно-морское училище им. П.С. Нахимова, Севастополь, Россия

Анализируются пути снижения интенсивности помех, создаваемых обратным рассеянием радиоволн морской поверхностью, при дистанционном зондировании надводных целей. Показано, что при использовании для радиолокационного мониторинга надводных целей радиолокационных станций с горизонтальной поляризацией зондирующего сигнала отношение сигнал/шум на 20-35 дБ выше, чем при использовании радиолокационных станций с вертикальной поляризацией зондирующего сигнала. Различие в уровнях рассеянного морской поверхностью радиосигнала позволяет путем выбора соответствующей поляризации снизить уровень помех при радиолокационном мониторинге надводных целей.

Ключевые слова: радиолокационный мониторинг надводных целей, радиоокеанография, рассеяние радиоволн водной поверхностью, поляризация радиосигнала

Введение

Взаимодействие радиоволн с морской поверхностью является основным физическим механизмом, определяющим уровень помех при работе судовых и береговых радиолокационных станций. Это обстоятельство послужило стимулом развития радиоокеанографии – научного направления, в рамках которого изучают отражение и рассеяние радиоволн морской поверхностью [2, 5, 15].

Основные положения теории рассеяния радиоволн морской поверхностью сформулированы к первой половине 70-х годов прошлого столетия [2]. Однако до сих пор они продолжают уточняться, что связано с углублением знаний о тонкой топографической структуре морской поверхности [4, 12], формирующей рассеянное электромагнитное поле [3].

Зондирование морской поверхности при больших углах падения радиоволн в значительной мере отличается от квазивертикального зондирования. В первом случае основным физическим механизмом, формирующим принимаемый радиолокатором сигнал, является резонансное (брегговское) рассеяние, во втором – квазизеркальное отражение [5-10]. Особенностью резонансного рассеяния является то, что энергия

электромагнитного излучения, рассеянного назад морской поверхностью, зависит от вида поляризации волны: для горизонтальной поляризации она меньше, чем для вертикальной [9, 10, 13, 14]. Различие в уровнях рассеянного морской поверхностью радиосигнала позволяет путем выбора соответствующей поляризации снизить уровень помех при радиолокационном мониторинге надводных целей.

Целью представляемого научного исследования являлся количественный анализ уровня помех при радиолокационном мониторинге характеристик надводных целей.

Зависимость уровня помехи от поляризации радиосигнала

Резонансное (брегговское) рассеяния в обратном направлении (рассеяние назад) создают поверхностные волны, распространяющиеся вдоль направления зондирования в прямом и обратном направлениях. Условие резонанса, которое связывает волновые числа поверхностных волн и радиоволн, имеет вид

$$K_{br} = k2\sin\theta \ . \qquad (1)$$

где K_{br} и k – волновые числа поверхностной и электромагнитной волны соответственно; θ – угол падения, отсчитываемый от нормали к невозмущенной поверхности. Далее поверхностные волны, на которых происходит резонансное рассеяние, будем называть брегговскими составляющими поля поверхностных волн.

В нулевом приближении, когда брегговские составляющие поля поверхностных волн распространяются по плоской поверхности, нормированное сечение обратного рассеяния (его также называют, удельная эффективная площадь рассеяния) можно представить как

$$\sigma^0_{pp}(k,\theta,\alpha) = 8\,k^4 \left| G_{pp}(\theta) \right|^2 \Xi(\vec{K}_{br}), \qquad (2)$$

где pp – вид поляризации, первый индекс обозначает поляризацию излучаемых радиоволн, второй – принимаемых; α – азимутальный угол; $\left|G_{pp}(\theta)\right|^2$ – геометрический коэффициент; Ξ – двумерный спектр поверхностных волн; $\vec{K}_{br}$ – волновой вектор брегговской составляющей [2].

Геометрический коэффициент зависит от относительной диэлектрической проницаемости среды под границей атмосфера-океан, а также от поляризации излучаемого и принимаемого сигнала. Если излучение и прием осуществляются на одной и той же поляризации, то геометрический коэффициент описывается выражениями

$$G_{vv}(\theta) = \cos^4\theta \frac{(\varepsilon_r - 1)\left[\varepsilon_r\left(1+\sin^2\theta\right) - \sin^2\theta\right]}{\left[\varepsilon_r\cos\theta + \sqrt{\varepsilon_r - \sin^2\theta}\right]^2}, \qquad (3)$$

$$G_{hh}(\theta) = \cos^4\theta \frac{(\varepsilon_r - 1)}{\left[\varepsilon_r\cos\theta + \sqrt{\varepsilon_r - \sin^2\theta}\right]^2}, \qquad (4)$$

где нижние индексы v и h соответствуют вертикальной и горизонтальной поляризации радиосигнала; ε_r – комплексная относительная диэлектрическая проницаемость среды. Первый нижний индекс при геометрическом коэффициенте соответствует поляризации излучаемого радиосигнала, второй – принимаемого.

Рассмотрим ситуацию, когда излучение и прием радиосигнала осуществляют на одной и той же поляризации. Поскольку параметр ε_r зависит от длины радиоволны, на которой работает РЛС, для определенности примем, что зондирование осуществляют на длинах радиоволн 2-3 см. В этом случае коэффициент $\left|G_{pp}(\theta)\right|^2$ описывают выражениями [14]:

для вертикальной поляризации

$$\left|G_{vv}\right|^2 = \frac{\cos^4\theta\left(1+\sin^2\theta\right)^2}{\left(\cos\theta+0{,}111\right)^4}, \tag{5}$$

для горизонтальной поляризации

$$\left|G_{hh}\right|^2 = \frac{\cos^4\theta}{\left(0{,}111\cos\theta+1\right)^4}. \tag{6}$$

Изменение значений геометрических коэффициентов с изменением угла падения показано на рис. 1.

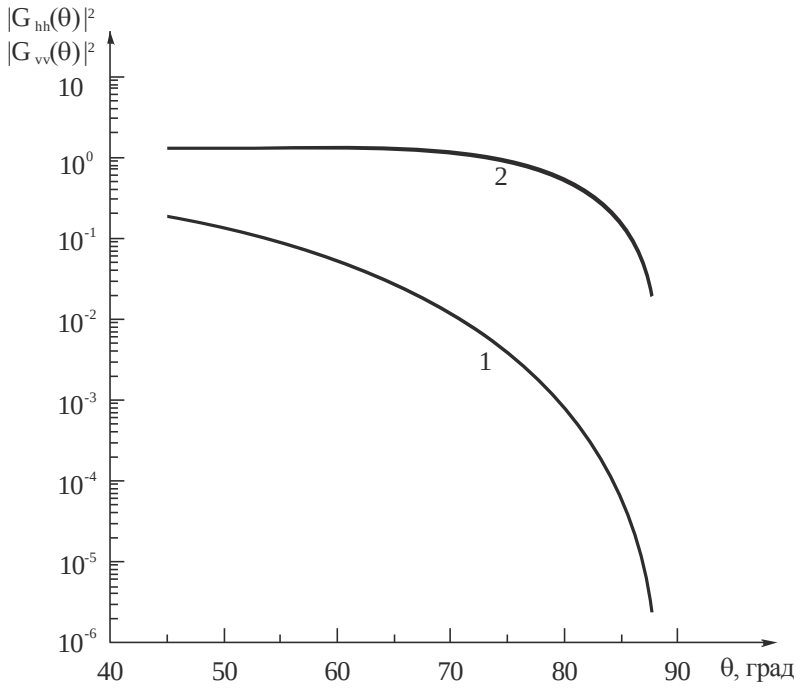

Рис. 1. Зависимости геометрических коэффициентов $\left|G_{hh}(\theta)\right|^2$ – кривая 1 и $\left|G_{vv}(\theta)\right|^2$ – кривая 2 от угла падения θ

Графики построены для области углов падения $\theta > 45°$, в которой преобладающим механизмом, определяющим взаимодействие радиоволн с морской поверхностью, является брегговское рассеяние. При больших углах падения заметную роль начинают играть эффекты, связанные с затенением отдельных участков поверхности гребнями высоких волн, поэтому в области углов падения, близких к 90° геометрические коэффициенты $\left|G_{hh}(\theta)\right|^2$ и $\left|G_{vv}(\theta)\right|^2$ не строились.

Из рис. 1 следует, что коэффициент $\left|G_{hh}(\theta)\right|^2$ более чувствителен к изменению угла падения, чем коэффициент $\left|G_{vv}(\theta)\right|^2$.

Отношение сигнал/шум на разных поляризациях

В этом разделе проведем анализ отношения сигнал/шум в ситуации, когда влиянием длинных энергонесущих волн можно пренебречь, т.е. полагать что брегговские составляющие поля поверхностных волн распространяются по плоской поверхности. Эффекты, обусловленные присутствие энергонесущих волн будут рассмотрены ниже.

Примем, что полезным сигналом является сигнал, сформировавшийся в результате отражения радиоволн от корпуса судна. Помехой является сигнал, возникающий вследствие обратного рассеяния радиоволн морской поверхностью в направлении, противоположном их распространению.

В общем случае уровень помехи зависит от площади облучаемой морской поверхности и ее состояния. Обозначим отношение сигнал/шум при работе РЛС на вертикальной поляризации как R_v и, соответственно, как R_h – при работе на горизонтальной поляризации. Предполагаем, что излучение и прием радиосигнала осуществляют на одной и той же поляризации, что позволяет для дальнейшего анализа использовать выражения (5) и (6). Далее проанализируем параметр

$$\Psi_{h,v} = R_h / R_v , \tag{7}$$

который является количественной оценкой того, насколько различается уровень помех, создаваемый рассеянием назад радиоволн при взаимодействии с морской поверхностью, если РЛС работает на вертикальной и горизонтальной поляризациях. Полагая, что сигнал, отраженный от надводной цели, практически не зависит от вида поляризации зондирующего радиолокационного сигнала [6], из (7) получаем

$$\Psi_{h,v} = \sigma_{vv}^0 / \sigma_{hh}^0 . \tag{8}$$

При фиксированных значениях параметров k, θ и α удельная эффективная площадь рассеяния на разных поляризациях отличается только геометрическим коэффициентом $\left|G_{pp}(\theta)\right|^2$. Изменения двумерного спектра поверхностных волн $\Xi(\vec{K}_{br})$ при изменении скорости приводного ветра, которые особенно велики при слабом ветре [11], в одинаковой мере, как следует из выражения (2), влияют на изменения параметров

σ_{vv}^0 и σ_{hh}^0. Это обстоятельство, в условиях, когда влиянием длинных волн можно пренебречь, позволяет исключить изменения спектра $\Xi(\vec{K}_{br})$ из дальнейшего анализа. Таким образом, из (5) и (6) получаем, что отношение уровня помех на разных поляризациях определяется отношением геометрических коэффициентов

$$\frac{\sigma_{vv}^0}{\sigma_{hh}^0} = \frac{\left|G_{vv}(\theta)\right|^2}{\left|G_{hh}(\theta)\right|^2}. \tag{9}$$

Изменения параметра $\sigma_{vv}^0 / \sigma_{hh}^0$, происходящие с изменением угла падения радиоволны, показаны на рис. 2. Видно, что с ростом угла падения значения этого параметра быстро увеличиваются. При угле падения 45° отношение нормированных сечений обратного рассеяния на вертикальной и горизонтальной поляризациях составляет 17 дБ, а при угле падения 75° оно достигает 47 дБ.

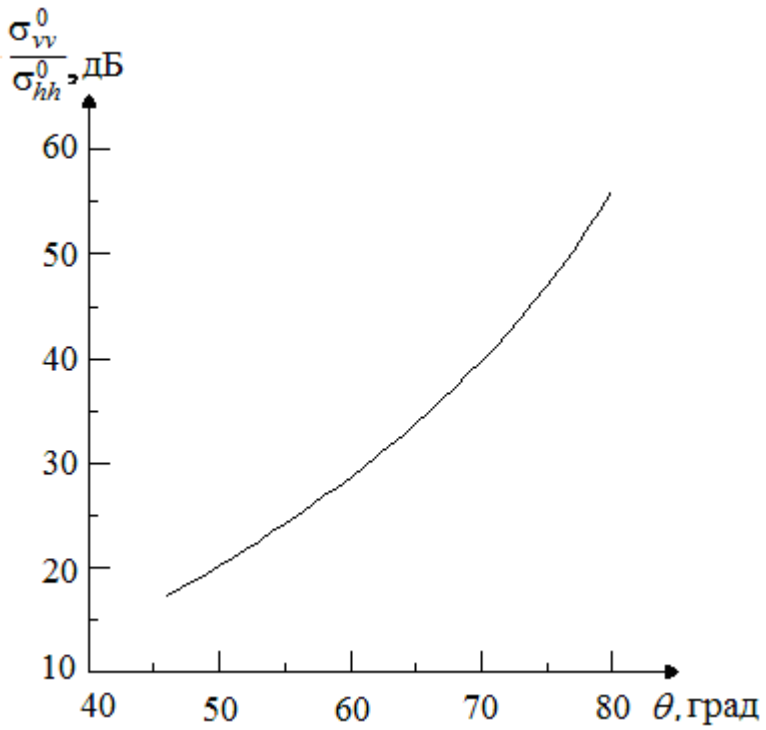

Рис. 2. Зависимости отношения уровня помех при работе РЛС на вертикальной и горизонтальной поляризациях $\sigma_{vv}^0 / \sigma_{hh}^0$ от угла падения θ.

Эффекты, вызванные присутствием длинных волн

Наряду с короткими волнами, на которых происходит брегговское рассеяние радиоволн СВЧ диапазона, на морской поверхности всегда присутствуют волны, длина которых много больше длины брегговских составляющих. Будем называть эти волны длинными. Следствием присутствия длинных волн является то, что брегговские составляющие распространяются не по плоской, а по криволинейной поверхности [16]. В

результате меняется локальный наклон морской поверхности, что в свою очередь приводит к изменению условия резонанса (1), которое приобретает вид

$$\tilde{K}_{br} = k2\sin(\theta - \beta), \tag{10}$$

где β – угол наклона морской поверхности в направлении падения радиоволн. Одновременно с изменением условия резонанса происходит изменение геометрического коэффициента $\left|G_{pp}(\theta)\right|^2$. Таким образом, нормированное сечение обратного рассеяния в присутствии длинных волн становится функцией четырех переменных и описывается выражением

$$\tilde{\sigma}^0_{pp}\ (k,\theta,\alpha,\beta) = 8\,k^4 \left|G_{pp}(\theta-\beta)\right|^2 \Xi\left(\tilde{\vec{K}}_{br}\right). \tag{11}$$

Для дальнейшего анализа воспользуемся явной зависимостью нормированного сечения обратного рассеяния от угла падения, которая получена в работе [17]. Опуская промежуточные выкладки, приведем только конечное выражение,

$$\sigma^0_{pp} = 2k^2 \left|G_{pp}(\theta)\right|^2 \frac{S(k\,2\sin\theta)}{\sin\theta\cos\theta}\,\Theta(K_{br},\alpha) \tag{12}$$

где S – одномерный спектр возвышений морской поверхности, определенный в пространстве волновых чисел; $\Theta(k_{br},\alpha)$ – функция, описывающая распределение энергии поверхностных волн по направлениям α, которая удовлетворяет условию нормировки

$$\int_{-\pi}^{\pi} \Theta(K_{br},\alpha)\,d\alpha = 1. \tag{13}$$

При выводе выражения (12) использовалось представление двумерного спектра волновых чисел $\chi(K,\alpha)$ в форме.

$$\chi(K,\alpha) = S(K)\Theta(K,a). \tag{14}$$

Переход от спектра Ξ к спектру χ осуществлялся на основе соотношения [18]

$$\Xi(K_x,K_y)\frac{\partial(K_x,K_y)}{\partial(K,\alpha)} = \chi(K,\alpha), \tag{15}$$

где Якобиан $\dfrac{\partial(K_x,K_y)}{\partial(K,\alpha)} = K$.

Рассмотрим две предельные ситуации: первая – когда эта область много меньше длины длинных волны, но много больше длины брегговских составляющих, вторая – когда область на морской поверхности, от которой происходит отражение много больше длины длинных волн.

В первой ситуации, чтобы учесть влияние на нормированное сечение обратного рассеяния уклонов, создаваемые длинными волнами, достаточно в выражении (12) провести замену переменных $\theta \to \theta - \beta$. Соответственно из (9) и (12) получаем

$$\frac{\sigma^0_{vv}}{\sigma^0_{hh}} = \frac{\left|G_{vv}(\theta-\beta)\right|^2}{\left|G_{hh}(\theta-\beta)\right|^2} \tag{16}$$

Для оценки эффектов, создаваемых уклонами длинных волн будем использовать регрессионные зависимости дисперсии уклонов морской поверхности от скорости ветра, полученные в работе [19],

$$\overline{\xi_u^2} = 10^{-3} + 0.00316W \tag{17}$$

$$\overline{\xi_c^2} = 0.003 + 0.00185W \tag{18}$$

где $\overline{\xi_u^2}$ и $\overline{\xi_c^2}$ – дисперсии уклонов, ориентированных вдоль и поперек ветра; W – скорость приводного ветра. Уклоны морской поверхности, которые являются первыми пространственными производными возвышений поверхности, и углы наклонов связаны соотношением $\xi = \mathrm{tg}\,\beta$. Поскольку уклоны малы, можно использовать численное равенство $\xi \approx \beta$ [20].

Уклоны морской поверхности, как это видно из (17) и (18), в направлении ветра выше, чем в поперечном направлении, поэтому здесь ограничимся рассмотрением случая, когда горизонтальная ориентация луча РЛС совпадает с направлением ветра. Примем, что уклон облучаемого участка равен среднеквадратической величине уклона морской поверхности, т.е. равен $\sqrt{\overline{\xi_u^2}}$. При скоростях ветра 5 м/с и 10 м/с углы уклонов облучаемых площадок соответственно равны 7,4° и 10°. Участок поверхности может быть наклонен как в направлении на РЛС, чему соответствует угол β или в другую сторону, чему соответствует угол $-\beta$. Результаты расчета отношения $\tilde{\sigma}_{vv1}^0 / \tilde{\sigma}_{hh1}^0$ для двух скоростей ветра представлен на рис. 3.

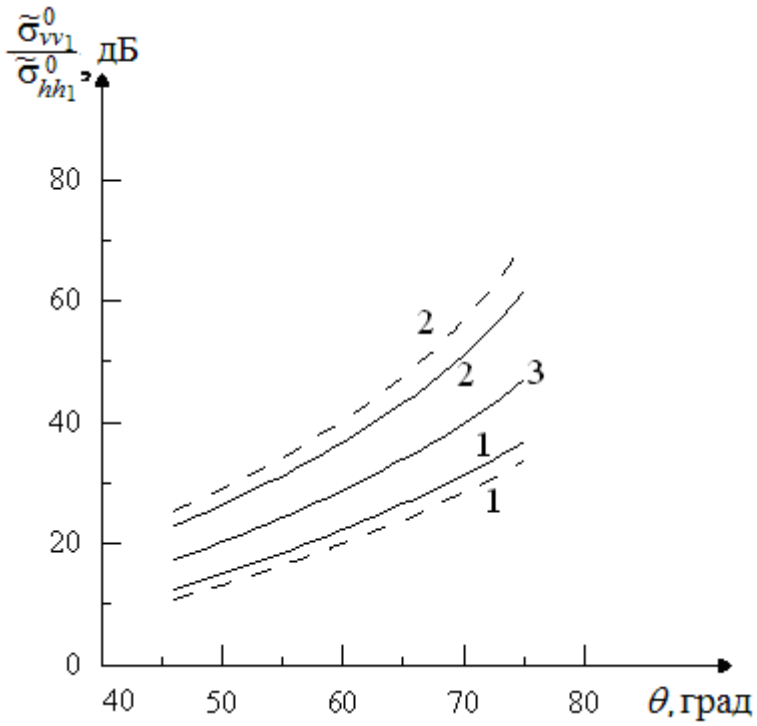

Рис. 3. Зависимости отношения $\tilde{\sigma}_{vv1}^0 / \tilde{\sigma}_{hh1}^0$ от угла падения θ: сплошные линии соответствуют скорости ветра 5 м/с, штриховые – 10 м/с; 1 – площадка поверхности наклонена навстречу РЛС, 2 – от РЛС; 3 – площадка поверхности ориентирована горизонтально

Во второй ситуации влияние длинных волн на величину рассеянного назад сигнала, можно учесть, усреднив выражение (11) по всему диапазону создаваемых ими углов наклонов морской поверхности β. При усреднении необходимо учитывать вероятность появления тех или иных значений угла β. Тогда,

$$\tilde{\sigma}^0_{pp2} = \int \tilde{\sigma}_{pp} P(\beta)\, d\beta = \int 8\, k^4 \left| G_{pp}(\theta - \beta) \right|^2 \Xi\left(\vec{\tilde{K}}_{br} \right) P(\beta)\, d\beta\,, \qquad (19)$$

где $P(\beta)$ – плотность вероятностей углов наклонов в направлении падения радиоволны. Интегрирование в (19) осуществляется по всему диапазону возможных значений параметра β.

Отметим, что во второй ситуации помеху одновременно формируют радиоволны, рассеянные как участками, которые наклонены в направлении на РЛС, так и в противоположную сторону. Как было показано выше, (см. рис. 3) соответственно отношение $\tilde{\sigma}^0_{vv1} / \tilde{\sigma}^0_{hh1}$ уменьшается, или увеличивается. Поэтому априори можно предполагать, что во второй ситуации влияние длинных волн на величину $\tilde{\sigma}^0_{vv2} / \tilde{\sigma}^0_{hh2}$ будет значительно меньше.

Это предположение подтверждают результаты, полученные в работе [17], где на основе данных натурных измерений уклонов морской поверхности анализировались изменения отношения $\tilde{\sigma}^0_{vv2} / \sigma^0_{vv}$ и $\tilde{\sigma}^0_{hh2} / \sigma^0_{hh}$ в зависимости от скорости ветра. Было показано, что в присутствии длинных волн нормированные сечения обратного рассеяния возрастают как на вертикальной, так и на горизонтальной поляризации. Причем на горизонтальной поляризации этот эффект выражен сильнее. Расхождения в росте отношений $\tilde{\sigma}^0_{vv2} / \sigma^0_{vv}$ и $\tilde{\sigma}^0_{hh2} / \sigma^0_{hh}$ с усилением ветра составляют 25-35 %. С увеличением угла падения θ влияния длинных волн снижается.

Таким образом, во второй ситуации с ошибкой, не превышающей 35% при угле падения 45° и которая уменьшается с ростом углов падения, для определения отношения уровней помех на вертикальной и горизонтальной поляризациях можно использовать отношение $\sigma^0_{vv} / \sigma^0_{hh}$.

Заключение

Одним из основных факторов, влияющих на уровень помех при радиолокационном мониторинге надводных объектов, является обратное рассеяние радиоволн морской поверхностью. Показано, что для снижения уровня помех можно использовать различия в уровне рассеянных радиосигналов разной поляризации.

Если влиянием длинных волн на рассеянный назад радиосигнал можно пренебречь, то отношение уровня помех на вертикальной и горизонтальной поляризациях описывается выражением (9) и меняется от 17 дБ при угле падения 45° до 47 дБ при угле падения 75°.

Если отражение происходит от участка поверхности, размеры которого много меньше длины длинных волн, но много больше длины брегговских составляющих, то отношение уровня помех на вертикальной и горизонтальной поляризациях меняется в широких пределах. При скоростях ветра 5-10 м/с оно может меняться в пределах 10-12 дБ при угле падения 45° и 30-35 дБ при угле падения 75° в зависимости от того, наклонен ли облучаемый участок поверхности в сторону РЛС или в противоположную сторону.

Если отражение происходит от участка поверхности, размеры которого много больше длины длинных волн, то расчет отношения помех на разных поляризациях можно проводить с помощью соотношений полученных для ситуации, когда влиянием длинных волн можно пренебречь. При этом ошибка в определении отношения не превысит 35 %.

Автор благодарит д.ф-м.н Запевалова А.С. за полезное обсуждение проблем, рассматриваемых в настоящей работе.

Список литературы

1. Басс Ф.Г., Брауде С.Я., Калмыков А.И., Мень А.В., Островский И.Е, Пустовойтенко В.В., Розенберг А.Д., Фукс И.М. Методы радиолокационных исследований морского волнения (радиоокеанография) // Успехи физических наук. 1975. Т. 116, № 8. С. 741-742. DOI: 10.3367/UFNr.0116.197508j.0741
2. Басс Ф.Г., Фукс И.М. Рассеяние волн на статистически неровной поверхности. М.: Наука, 1972. 424 с.
3. Запевалов А.С. Статистические модели взволнованной морской поверхности для задач дистанционного зондирования. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. 69 с.
4. Запевалов А.С., Пустовойтенко В.В. Моделирование плотности вероятностей уклонов морской поверхности в задачах рассеяния радиоволн // Известия ВУЗов. Радиофизика. 2010. Т. 53, № 2. С. 110-121.
5. Калмыков А.И., Курекин А.С., Лемента Ю.А., Пустовойтенко В.В. Некоторые особенности обратного рассеяния радиоволн СВЧ диапазона поверхностью моря при малых углах скольжения. Харьков, 1974. 38 с. (Препринт / Ин-т радиофизики и электроники (ИРЭ) АН УССР; № 40).
6. Кобак В.О. Радиолокационные отражатели. М.: Советское радио, 1975. 248 с.
7. Пустовойтенко В.В., Запевалов А.С. Оперативная океанография – спутниковая альтиметрия: современное состояние, перспективы и проблемы. Севастополь: ЭКОСИ–Гидрофизика, 2012. 218 с. (Сер. Современные проблемы океанологии; вып. 11).
8. Рудаков С.В., Рудаков И.С., Богомолов А.В. Методика идентификации вида закона распределения параметров при проведении контроля состояния сложных систем // Информационно–измерительные и управляющие системы. 2007. Т. 5, № 1. С. 66-72.

9. Сухаревский О.И., Василец В.А., Горелышев С.А., Нечитайло С.В., Ткачук К.И. Эффективная поверхность рассеивания объектов с неидеально отражающей поверхностью, имеющей изломы // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. 2001. № 6. С. 41-48.
10. Сухаревский О.И., Залевский Г.С., Нечитайло С.В., Сухаревский И.О. Моделирование характеристик рассеяния воздушных объектов резонансных размеров в метровом диапазоне волн // Известия ВУЗов. Радиоэлектроника. 2010. Т. 53, № 4. С. 51-57.
11. Христофоров Г.Н., Запевалов А.С., Бабий М.В. Измерения параметров шероховатости морской поверхности при переходе от штиля к ветровому волнению // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1992. Т. 28, № 4. С. 424-431.
12. Христофоров Г.Н., Запевалов А.С., Смолов В.Е. Зависимость амплитудных характеристик высокочастотных компонент спектра ветровых волн от скорости ветра над морем // Морской гидрофизический журнал. 1993. № 3. С. 67-77.
13. Kalmykov A.I., Pustovoytenko V.V. On polarization features of radio signals scattered from the sea surface at small grazing angles // Journal of Geophysical Research. 1976. Vol. 81, no. 12. P. 1960-1964. DOI: 10.1029/JC081i012p01960
14. Plant W.J. A two–scale model of short wind generated waves and scatterometry // Journal of Geophysical Research. 1986. Vol. 91, no. 9. P. 10735-10749. DOI: 10.1029/JC091iC09p10735
15. Valenzuela G. Theories for the interaction of electromagnetic and ocean waves: a Review // Boundary-Layer Meteorology. 1978. Vol. 13, no. 1-4. P. 61-85. DOI: 10.1007/BF00913863
16. Воляк К.И. Определение характеристик волнения по радиоизображениям моря // Исследование Земли из космоса. 1982. № 6. С. 86-94.
17. Запевалов А.С. Моделирование брегговского рассеяния электромагнитного излучения сантиметрового диапазона морской поверхностью. Влияние волн более длинных, чем брегговские составляющие // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2009. Т. 45, № 2. С. 266-275.
18. Филлипс О.М. Динамика верхнего слоя океана: пер. с англ. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. 319 с.
19. Bréon F.M., Henriot N. Spaceborne observations of ocean glint reflectance and modeling of wave slope distributions // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2006. Vol. 111, no. C6. Art. no. C06005. DOI: 10.1029/2005JC003343
20. Запевалов А.С., Лебедев Н.Е. Моделирование статистических характеристик поверхности океана при дистанционном зондировании в оптическом диапазоне // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27, № 1. С. 28-33.

Science & Education of the Bauman MSTU
Electronic journal
ISSN 1994-0408

Science and Education of the Bauman MSTU, 2015, no. 03, pp. 140–152.

DOI: **10.7463/0315.0760670**

Received: 25.01.2015
Revised: 07.03.2015

© Bauman Moscow State Technical Unversity

The Probing Radio Signal Polarization Effect on Separation Efficiency of Surface Target Response

A.N. Pinchuk[1,*]

*apitan-pin@yandex.ru

[1]Black Sea Higher Naval School named after P.S. Nakhimov, Sevastopol, Russia

Keywords: radar monitoring of surface targets, radiookeanografiya, scattering of radio waves the water surface, the polarization of the radio signal

The aim of the study was a quantitative analysis of the level of interference with radar monitoring characteristics of surface targets, caused by the scattered electromagnetic field, arising due to the interaction between radio waves and sea surface, which is a study aspect a radio-oceanography encompasses. Backscatter signal, arising from the interaction of radio waves and sea surface, extends in a direction opposite the probing radar signal of spread marine and coastal radar stations.

With radar sounding of sea surface at high incidence angles of radio waves, a basic physical mechanism to form the received signal is resonant (Bragg) scattering, and at small incidence angles of radio waves it is quasi-specular reflection. Consequently, the energy of electromagnetic radiation, backscattered by the sea surface, depends on the type of wave polarization: for horizontal polarization it is less than for vertical one.

The paper presents a mathematical model, which describes dependence of interference level caused by interaction between radio waves and sea surface, on the radio wave polarization for the case when the same polarization is used to sent-out and receive a radio wave.

To determine the noise reduction to be achievable with radar monitoring the surface targets by selecting the polarization of the probing radar signal, a signal/noise ratio is analyzed for its different polarizations.

It is shown that in order to reduce the noise level caused by the interaction between radio waves and sea surface, it is possible to use the differences in the level of scattered radio signals of different polarization: with horizontally-polarized radar operation at incidence angles of 75°-85° a signal/noise ratio is by 20-35 dB higher than that of vertically- polarized one.

References

1. Bass F.G., Braude S.Ya., Kalmykov A.I., Men' A.V., Ostrovskii I.E, Pustovoitenko V.V., Rozenberg A.D., Fuks I.M. Radar Methods for the Study of Ocean Waves (Radiooceanography). *Uspekhi fizicheskikh nauk*, 1975, vol. 116, no. 8, pp. 741-742. DOI:

10.3367/UFNr.0116.197508j.0741 (English version of journal: *Soviet Physics Uspekhi*, 1975, vol. 18, no. 8, pp. 641-642. DOI: 10.1070/PU1975v018n08ABEH004920).

2. Bass F.G., Fuks I.M. *Rasseyanie voln na statisticheski nerovnoi poverkhnosti* [Wave scattering from statistically rough surface]. Moscow, Nauka Publ., 1972. 424 p. (in Russian).
3. Zapevalov A.S. *Statisticheskie modeli vzvolnovannoi morskoi poverkhnosti dlya zadach distantsionnogo zondirovaniya* [Statistical models of rough sea surface for remote sensing]. Saarbrücken, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. 69 p. (in Russian).
4. Zapevalov A.S., Pustovoitenko V.V. Modeling of the probability distribution function of sea surface slopes in problems of radio wave scattering. *Izvestiya VUZov. Radiofizika*, 2010, vol. 53, no. 2, pp. 110-121. (English version of journal: *Radiophysics and Quantum Electronics*, 2010, vol. 53, iss. 2, pp. 100-110. DOI: 10.1007/s11141-010-9206-z).
5. Kalmykov A.I., Kurekin A.S., Lementa Iu.A., Pustovoitenko V.V. *Nekotorye osobennosti obratnogo rasseianiia radiovoln SVCh diapazona poverkhnost'iu moria pri malykh uglakh skol'zheniia.*[Some features of the inverse scattering of radio microwave surface of the sea at low grazing angles]. Preprint no. 40. Kharkov, IRE AS USSR, 1974. 38 p. (in Russian, unpublished).
6. Kobak V.O. *Radiolokatsionnye otrazhateli* [Radar reflectors]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1975. 248 p. (in Russian).
7. Pustovoitenko V.V., Zapevalov A.S. *Operativnaya okeanografiya – sputnikovaya al'timetriya: sovremennoe sostoyanie, perspektivy i problem* [Operational oceanography - satellite altimetry: current status, prospects and problems]. Sevastopol, EKOSI–Gidrofizika Publ., 2012. 218 p. (Ser. *Sovremennye problemy okeanologii* [Modern Problems of Oceanology]; iss. 11). (in Russian).
8. Rudakov S.V., Rudakov I.S., Bogomolov A.V. Technique of identification of a kind of the law of distribution of parameters at realization of the control of a condition of difficult systems. *Informatsionno–izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy = Information-measuring and Control Systems*, 2007, vol. 5, no. 1, pp. 66-72. (in Russian).
9. Sukharevskii O.I., Vasilets V.A., Gorelyshev S.A., Nechitailo S.V., Tkachuk K.I. Effective surface scattering objects imperfectly reflecting surface of the having the kinks. *Zarubezhnaya radioelektronika. Uspekhi sovremennoi radioelektroniki = Achievements of Modern Radioelectronics*, 2001, no. 6, pp. 41-48. (in Russian).
10. Sukharevsky O.I., Zalevsky G.S., Nechitaylo S.V., Sukharevsky I.O. Simulation of scattering characteristics of aerial resonant-size objects in the VHF band. *Izvestiya VUZov. Radioelektronika*, 2010, vol. 53, no. 4, pp. 51-57. (English version of journal: *Radioelectronics and Communications Systems*, 2010, vol. 53, iss. 4, pp. 213-218. DOI: 10.3103/S0735272710040060).
11. Khristoforov G.N., Zapevalov A.S., Babii M.V. Measurements of sea surface roughness parameters in the transition from calm to wind waves. *Izvestiya AN SSSR. Fizika atmosfery i okeana*, 1992, vol. 28, no. 4, pp. 424-431. (in Russian).

12. Khristoforov G.N., Zapevalov A.S., Smolov V.E. Dependence of the amplitude characteristics of high frequency components of the spectrum of wind waves on the wind speed over the sea. *Morskoi gidrofizicheskii zhurnal = Marine Hydrophysical Journal*, 1993, no. 3, pp. 67-77. (in Russian).
13. Kalmykov A.I., Pustovoytenko V.V. On polarization features of radio signals scattered from the sea surface at small grazing angles. *Journal of Geophysical Research*, 1976, vol. 81, no. 12, pp. 1960-1964. DOI: 10.1029/JC081i012p01960
14. Plant W.J. A two–scale model of short wind generated waves and scatterometry. *Journal of Geophysical Research*, 1986, vol. 91, no. 9, pp. 10735-10749. DOI: 10.1029/JC091iC09p10735
15. Valenzuela G. Theories for the interaction of electromagnetic and ocean waves: a Review. *Boundary-Layer Meteorology*, 1978, vol. 13, no. 1-4, pp. 61-85. DOI: 10.1007/BF00913863
16. Volyak K.I. Characterisation of sea waves from radio image of sea surface. *Issledovanie Zemli iz kosmosa = Earth Observation and Remote Sensing*, 1982, no. 6, pp. 86-94. (in Russian).
17. Zapevalov A.S. Bragg scattering of centimeter electromagnetic radiation from the sea surface: The effect of waves longer than Bragg components. *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana*, 2009, vol. 45, no. 2, pp. 266-275. (English version of journal: *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2009, vol. 45, iss. 2, pp. 253-261. DOI: 10.1134/S0001433809020108).
18. Phillips O.M. *The Dynamics of the Upper Ocean*. Cambridge, Cambridge University Press, 1977. (Russ. ed.: Phillips O.M. *Dinamika verkhnego sloya okeana*l. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1980. 319 p.).
19. Bréon F.M., Henriot N. Spaceborne observations of ocean glint reflectance and modeling of wave slope distributions. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2006, vol. 111, no. C6, art. no. C06005. DOI: 10.1029/2005JC003343
20. Zapevalov A.S., Lebedev N.E. Simulation of statistical characteristics of sea surface during remote optical sensing. *Optika atmosfery i okeana*, 2014, vol. 27, no. 1, pp. 28-33. (English version of journal: *Atmospheric and Oceanic Optics*, 2014, vol. 27, iss. 6, pp. 487-492. DOI: 10.1134/S1024856014060220).