УДК 621.396.96:574.5

П.П.БЕСКИД, М.А.НИЛОВ

Российский государственный гидрометеорологический университет, г.Санкт-Петербург

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕРЕГОВЫХ РАДИОЛОКАТОРОВ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Рассмотрены энергетические характеристики, определяющие качество радиолокационного обнаружения нефтяных разливов на морской поверхности.

The power characteristics determining quality of radar detection of petroleum floods on a sea surface are considered.

Строительство и эксплуатация портов на Финском заливе, в том числе нефтеналивных, обусловливает актуальность проблемы обеспечения экологического контроля акватории, для чего организуются специальные службы, оснащенные средствами контроля и оценки загрязненности водной среды. Ведущая роль в обнаружении нефтяных пятен на морской поверхности отведена методам дистанционного мониторинга, использующим радиолокационные средства наблюдения, располагаемые на аэрокосмических носителях. Неоспоримо велики значение и перспективы аэрокосмического радиолокационного зондирования всей земной поверхности для решения военных, хозяйственных, научных и других задач.

Вместе с тем, задачи дистанционного мониторинга ограниченных участков морской поверхности могут успешно решаться с помощью наземных или корабельных радиолокационных средств. Достоинством использования наземных радиолокационных станций (РЛС) является, во-первых, экономическая целесообразность, обусловленная относительной дешевизной технических средств по сравнению со спутниковыми и самолетными радиолокационными системами, и, во-вторых, оперативность и непрерывность получения информации, трудно достижимые при орбитальном движении носителя РЛС. Цена лучших РЛС, пригодных для решения указанной задачи, находится в пределах от 30 до 100 тыс. долларов. Невысокая цена наземных РЛС обусловлена тем, что они являются, как правило, модернизациями серийных судовых навигационных радаров. Небольшие размеры зоны контроля не требуют большой дальности действия РЛС, поэтому их энергетический потенциал достаточен для обнаружения неоднородностей волнения (сликов), вызываемых загрязнениями водной поверхности при разливе нефтепродуктов. Известные экспериментальные данные и результаты наших испытаний подтверждают перспективность использования радиолокаторов наземного базирования для экологического мониторинга морской поверхности в прибрежной зоне.

Рассмотрим энергетические характеристики при зондировании морской поверхности однопозиционными наземными РЛС. Проблема дистанционного мониторинга акваторий наземными РЛС связана с малым уровнем отражений электромагнитных волн от водной поверхности при малых углах скольжения, т.е. задача состоит в обнаружении объектов с малой эффективной площадью рассеяния (ЭПР) и малым радиолокационным контрастом относительно фона. Необходимое качество информации об экологическом состоянии морской поверхности обеспечивается при высоком энергетическом потенциале РЛС, соответствующем требуемым вероятностям правильного обнаружения и ложной

тревоги. Главным параметром для расчета характеристик обнаружения служит отношение сигнал/шум на выходе радиолокационного приемника.

Для расчета энергии $E_{\text{пр}s}$ принимаемого сигнала используем основное уравнение радиолокации, а для расчета спектральной плотности N_0 теплового шума приемника – известную формулу Найквиста [3]. Опуская несложные математические конструкции, приведем окончательную формулу для оценки отношения сигнал/шум, характеризующего качество обнаружения неоднородностей морского волнения, типа сликов, вызываемых нефтяными и другими загрязнениями водной поверхности:

$$\frac{2E_{\text{пр}s}}{N_0} = \frac{P_{\text{изл}} T_{\text{вр}} \lambda^2 \eta^2 \sigma_{0s} \Delta R}{4\pi^2 \Psi^2 L R^3 k T_s F_{\text{ш}}}, \qquad (1)$$

где $P_{\text{изл}}$ – средняя мощность излучаемого сигнала, $P_{\text{изл}} = 10{,}4$ Вт; $T_{\text{вр}}$ – период вращения антенны, $T_{\text{вр}} = 3$ с; λ – длина волны излучаемого сигнала, $\lambda = 3{,}2$ см; η – КПД антенны, $\eta = 0{,}8$; σ_{0s} – удельная ЭПР моря; ΔR – разрешение РЛС по дальности, $\Delta R = 120$ м; Ψ – ширина дна по вертикали, $\Psi = 18° = 0{,}314$ рад; L – энергетические потери, $L = 1{,}7$; R – максимальная дальность до цели, $R = 10$ км; k – постоянная Больцмана; T_s – стандартная шумовая температура системы; $F_{\text{ш}}$ – коэффициент шума приемника, $F_{\text{ш}} = 2$.

Рассчитанные при указанных значениях параметров зависимости отношения сигнал/шум от дальности до зондируемого элемента водной поверхности (рис.1) показывают, что значения отношения сигнал/шум, большие 20 дБ, обеспечивающие приемлемые характеристики обнаружения при σ_{0s}, равных 10^{-4}, 10^{-5} и 10^{-6}, реализуются в диапазонах дальностей 4, 8 и 17 км соответственно.

Верхняя кривая отображает ситуацию обнаружения отражений от слабо взволнованной (не более 3 баллов) водной поверхности. В этом случае мощность обнаруживаемого сигнала пропорциональна абсолютной величине ЭПР: $P_{\text{с}} \sim \sigma_{0s}$. Две нижние кривые иллюстрируют возможность выявления нефтяного пятна с малым радиолокационным контрастом слика $K = 0{,}9$ (–0,5 дБ) и $K = 0{,}99$ (–0,05 дБ). Здесь характеристики обнаружения определяются разностью мощностей $\Delta P_{\text{с}}$ обнаруживаемых сигналов от чистой воды и пятна. Разность мощностей пропорциональна разности абсолютных величин ЭПР чистой (σ_{0s}) и грязной ($\sigma_{0s\text{п}}$) поверхностей: $\Delta P_{\text{с}} \sim \sim \Delta\sigma_{0s} = \sigma_{0s}(1 - k)$, где $k = \sigma_{0s\text{п}}/\sigma_{0s}$.

Удельную ЭПР морской поверхности для углов скольжения, меньших критического значения, можно рассчитывать по эмпирической формуле

$$\sigma_{0s} = 10^{-5{,}62}\, \Phi^{\chi}, \qquad (2)$$

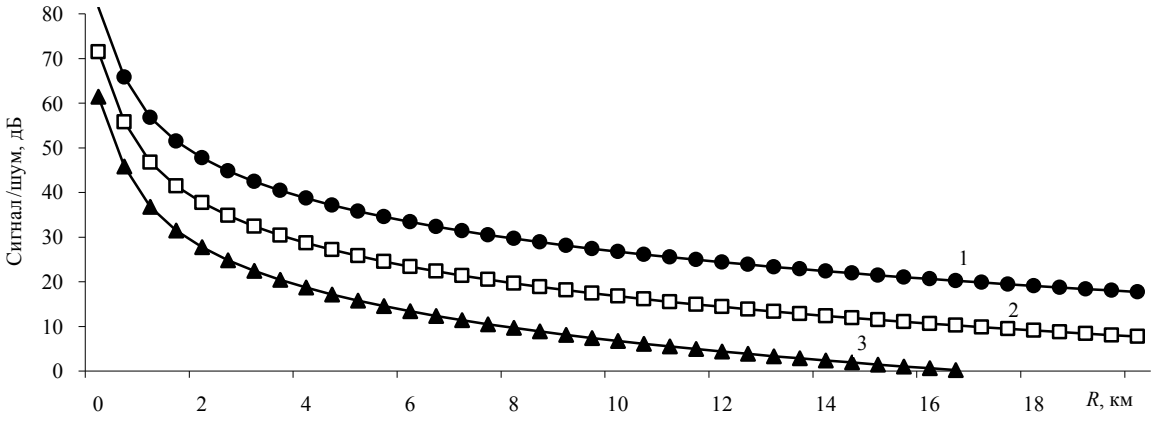


Рис.1. Зависимость отношения сигнал/шум от дальности до зондируемого элемента водной поверхности для углов скольжения, больших критического ($5 < \Phi < 30$)

1 – $\sigma_{0s} = -40$ дБ; 2 – $\sigma_{0s} = -50$ дБ, $K = 0{,}9$; 3 – $\sigma_{0s} = -60$ дБ, $K = 0{,}99$

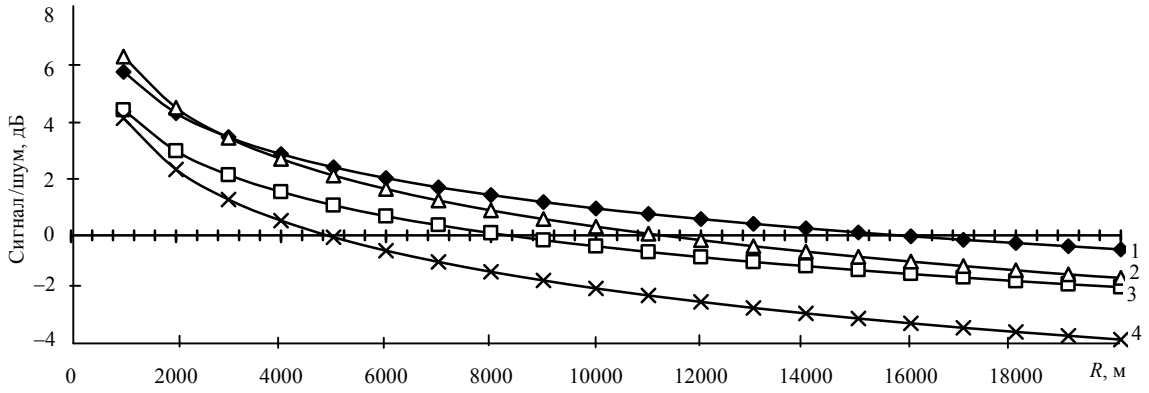


Рис.2. Зависимость отношения сигнал/шум от дальности до зондируемого элемента в одной поверхности для углов скольжения ниже критического (Ф < 2,5°)

1 и 2 – h_a = 50 м; 3 и 4 – h_a = 10 м; 1 и 3 – χ = 1,98; 2 и 4 – χ = 3,22

где χ – эмпирический коэффициент, χ = 1,98 для высоты волны $H_в$ = 1÷1,5 м, Ф < 1,5°; χ = 3,22 для $H_в$ = 0,3÷1 м, Ф < 2,5°.

Формула (2) получена на основе экспериментальных данных [1, 2]. Выражая угол скольжения через дальность до точки зондирования при заданной высоте установки антенны h_a, получим зависимость удельной ЭПР от дальности:

$$\sigma_{0s} = 10^{-5,62}\left(\frac{180}{\pi}\arcsin\frac{h_a}{R}\right)^{\chi} \cong$$

$$\cong 2,4\cdot 10^{-6}\left(\frac{57,3h_a}{R}\right)^{\chi}. \qquad (3)$$

Формулу (3) можно использовать при h_a/R < 0,025 и $H_в$ = 1÷1,5 м и при h_a/R < 0,045 и $H_в$ = 0,3-1 м. Дальности, определяемые критическими углами, соответствующими силе волнения, равны 2 и 1 км при h_a = 50 м. Эмпирическая зависимость (2) получена на базе измерений с использованием РЛС сантиметрового диапазона [2]. Расчетные значения отклоняются от измеренных не более, чем вдвое.

Подставляя (3) в (1), получим формулу для расчета отношения сигнал/шум при зондировании под углами скольжения, меньше критического:

$$\frac{2E_{\text{пр}.s}}{N_0} = \frac{1,14\cdot 10^{14}}{R^3}\left(57,3\arcsin\frac{h_a}{R}\right)^{\chi}. \qquad (4)$$

Расчеты по формуле (4) показывают, что для надежного обнаружения неоднородностей (в том числе нефтяных пятен) на морской поверхности следует использовать длительное накопление принимаемых сигналов (рис.2). Эффективным средством повышения мощности отражений от слабо взволнованной морской поверхности является использование радиолокаторов миллиметрового диапазона длин волн.

Приведенные расчетные данные показывают реальную возможность использования РЛС системы управления движением судов в припортовых акваториях для экологического контроля морской поверхности. Собственные экспериментальные данные авторов показывают перспективность использования радиолокаторов наземного базирования для обнаружения распределенных неоднородностей на водной поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мищенко Ю.А.* Радиолокационные цели. М.: Воениздат, 1966.

2. *Сколник М.* Введение в технику радиолокационных систем: Пер. с англ. М.: Мир, 1965.

3. Справочник по радиолокации: Пер. с англ. / Под ред. М. Сколника. Том 1. Основы радиолокации / Под ред. Я.С.Ицхоки. М.: Сов. радио, 1976.