ГЕОИНФОРМАТИКА

УДК [502.51:627.2:665.61]:621.396.96 doi: 10.33933/2713-3001-2022-66-81-92

Дистанционный мониторинг нефтяных разливов в акватории порта средствами радиолокационных систем

В.А. Миклуш[1], Т.М. Татарникова[2]

[1] Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, miklush-v@yandex.ru
[2] Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, tm-tatarn@yandex.ru

Обсуждается проблема организации экологической безопасности акватории морского порта средствами систем дистанционного мониторинга. Показано, что основным источником определения загрязнения акватории порта являются радиолокационные системы. Приведена математическая модель, доказывающая, что для надежного обнаружения нефтяных пятен на морской поверхности следует использовать радиолокационные станции миллиметрового и трехсантиметрового диапазонов длин волн. С учетом того, что радары являются неотъемлемой частью системы управления движением судна, то для решения задачи экологического контроля акватории порта предложено привлекать именно эти системы. Приводится сравнение структурного состава комплексной системы мониторинга акватории порта с системой управления движением судна, показывающее состоятельность предложения как по экономической целесообразности, так и техническим характеристикам.

Ключевые слова: система экологического мониторинга, акватория порта, радиолокационная система, обнаружение нефтяного пятна, отношение сигнал-шум, система управления движением судна.

Remote monitoring of oil spills in the port area by means of radar systems

V.A. Miklush[1], T.M. Tatarnikova[2]

[1] Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint-Petersburg, Russia
[2] Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”, Saint-Petersburg, Russia

The article discusses the problem of organizing ecological safety of a seaport water area by means of remote monitoring systems. The main source for determining the pollution of the port water area is shown to be the radar systems. A mathematical model for calculating the characteristics of oil slick detection is presented. It proves the necessity to use radar stations of millimeter and 3-centimeter wavelength ranges for reliable detection of oil spills on the sea surface. Considering the fact that radars are an integral part of the ship traffic control system, it is proposed to involve these systems in order to solve the problem of environmental control of the port water area. The attractiveness of the considered implementation is determined not only by economic factors, but also by the fact that the existing radar systems as part of the ship's motion control system have a high azimuthal resolution. Vessel traffic control systems can provide complete coverage of the port water area, have redundant subsystems, operate in two wave bands, each radar system having its own processor for primary information processing. At the same time, the integration of data from various sources is already being carried out in the ship's motion control system, providing the possibility

of displaying primary radar information over an electronic map. A comparison is made of the structural composition of the integrated port water area monitoring system with the vessel traffic control system, showing the consistency of the proposal both in terms of economic feasibility and technical characteristics.

Keywords: environmental monitoring system, port water area, radar system, oil slick detection, signal-to-noise ratio, vessel traffic control system.

For citation: *V.A. Miklush, T.M. Tatarnikova.* Remote monitoring of oil spills in the port area by means of radar systems. *Gidrometeorologiya i Ekologiya.* Journal of Hydrometeorology and Ecology. 2022, 66: 81—92. [In Russian]. doi: 10.33933/2713-3001-2022-66-81-92

Введение

Обеспечение экологической безопасности морских экосистем является одним из актуальных направлений развития методов и средств снижения экологических рисков [1, 2]. Основные экологические риски связаны с разливами нефти, буровых растворов и других опасных жидкостей, которые возникают в акваториях морских портов вследствие организации погрузки / разгрузки и транспортировании, возникновения аварий нефтеналивных танкеров, сброса с танкеров балластной воды с высокой концентрацией нефтепродуктов, аварий на буровых скважинах и платформах [3, 4].

Разлив нефтепродуктов должен быть обнаружен в кратчайшие сроки после возникновения аварийной ситуации, поскольку высокая скорость распространения нефтяных пятен в морской среде и ее способность накапливать загрязнения в донных отложениях может привести к гибели значительной части рыб, животного и растительного мира. Оперативное обнаружение нефтяных пятен на водной поверхности при любых погодных условиях и в любое время суток — одно из основных требований контроля за антропогенными нефтяными загрязнениями морской поверхности [5]. Цель статьи заключается в демонстрации возможностей систем управления движением судов при решении задачи обнаружения нефтяных пятен в акватории порта.

Структура системы мониторинга акватории порта

Как правило, структура системы мониторинга акваторий порта строится на множестве датчиков (подсистем) различной физической природы, реализующих активные и пассивные дистанционные методы наблюдения за акваторией. К этим подсистемам относятся [6]:

— телевизионные и инфракрасные;
— оптические (лидары);
— радиолокационные;
— гидроакустические;
— сейсмоакустические;
— метеостанции.

Лидары — оптические системы, осуществляющие контроль за состоянием водной поверхности при помощи оптического зондирования импульсными или непрерывными световыми потоками [7, 8].

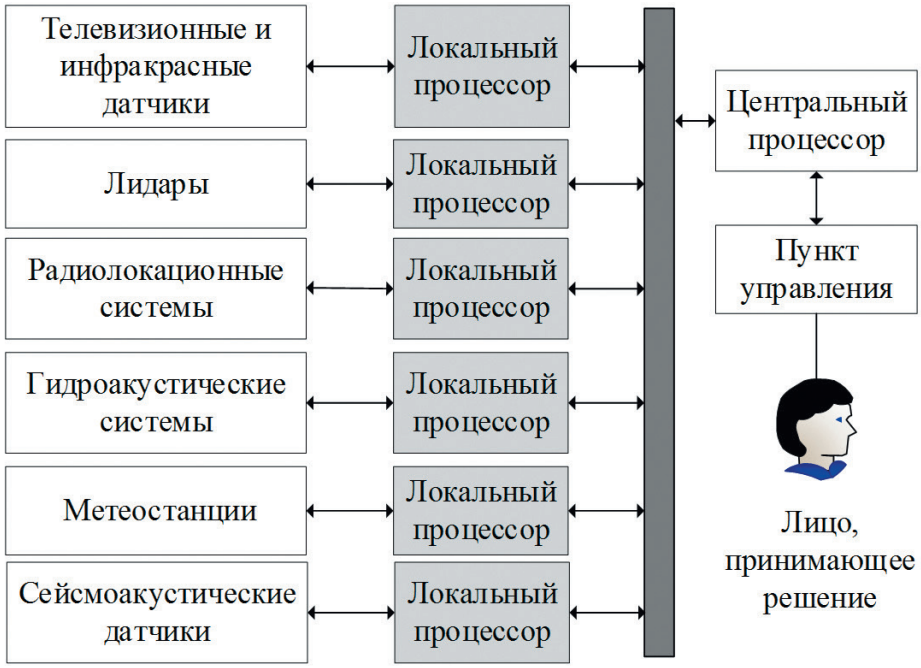

Рис. 1. Структурная схема системы мониторинга акватории порта.

Fig. 1. Structural diagram of the port water area monitoring system.

Радиолокационные системы (РЛС) предназначены для всепогодного дистанционного мониторинга водной поверхности в зоне ответственности и решают задачу обнаружения загрязняющих выбросов (разливов нефти) на водную поверхность с определением координат, размеров и контроля динамики загрязнений, например развитие, перемещение и т.п. [9, 10].

Гидроакустические системы используются для изучения глубинного строения толщи воды и дна, а также для определения и локации мест скопления пролитых нефтепродуктов. Гидроакустические средства наблюдения располагают под водой.

Метеостанция используется для наблюдения за характеристиками и параметрами приводного слоя тропосферы.

Каждая подсистема обладает своим локальным процессором, выполняющим функции обработки получаемых от нее данных [11, 12].

Управление работой локальных процессоров выполняется центральным процессором, который осуществляет совместную обработку данных различных подсистем и анализирует:

— радиолокационные сигналы и изображения, полученные с различных ракурсов на участок акватории;

— оптические изображения от сети телекамер;

— тепловые портреты акватории от сети инфракрасных телекамер;

— портреты акватории, полученные лазерными локаторами;

— результаты поверхностно-частотно-временной обработки сейсмоакустических сигналов;

— результаты объемно-частотно-временной обработки гидроакустических сигналов.

По результатам совместного анализа данных формируется заключение о наличии или отсутствии загрязнений на контролируемом участке акватории, количестве и качественном составе загрязняющих веществ. Заключения транслируются службам предотвращения и ликвидации загрязнений, а также передаются обратно на первичные информационные подсистемы экологического мониторинга [13]. Структурная схема системы мониторинга акватории порта приведена на рис. 1.

Предложения по организации системы мониторинга акватории порта

Увеличение числа различных сенсоров и точек пространства, в которых ведется наблюдение, значительно удорожают систему мониторинга акватории порта, и перед разработчиками встает задача построения ее эффективной (но не избыточной) структуры.

Как показано выше, система мониторинга акватории порта является многосенсорной, следовательно, с экономической точки зрения затратной [14].

Для уменьшения стоимости системы мониторинга акватории порта целесообразно рассмотреть возможность использования уже существующих в порту радиолокационных и других подсистем. Например, системы управления движением судов (СУДС). Привлекательность рассматриваемой реализации определяется не только экономическими факторами, но и тем, что существующие радиолокационные системы СУДС обладают высокой азимутальной разрешающей способностью.

Осуществляющие мониторинг морской поверхности РЛС располагаются, как правило, на берегу и в отдельных случаях на суднах. Обычно и береговые, и корабельные РЛС совмещают решение задач мониторинга морской поверхности с основной навигационной задачей. Проблема дистанционного мониторинга акваторий наземными РЛС определяется малым уровнем отражений электромагнитных волн от водной поверхности при малых углах скольжения. То есть решается задача обнаружения 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.

В состав оборудования СУДС включаются основные технические средства, обеспечивающие получение, обработку, отображение и регистрацию информации о судоходной и навигационной обстановке и взаимодействие с судами, в том числе береговые РЛС, также установленные на прибрежных инженерных сооружениях, средства видеонаблюдения, метеорологические и гидрологические приборы, радиопеленгаторы, линии связи, средства передачи информации и другие. Кроме

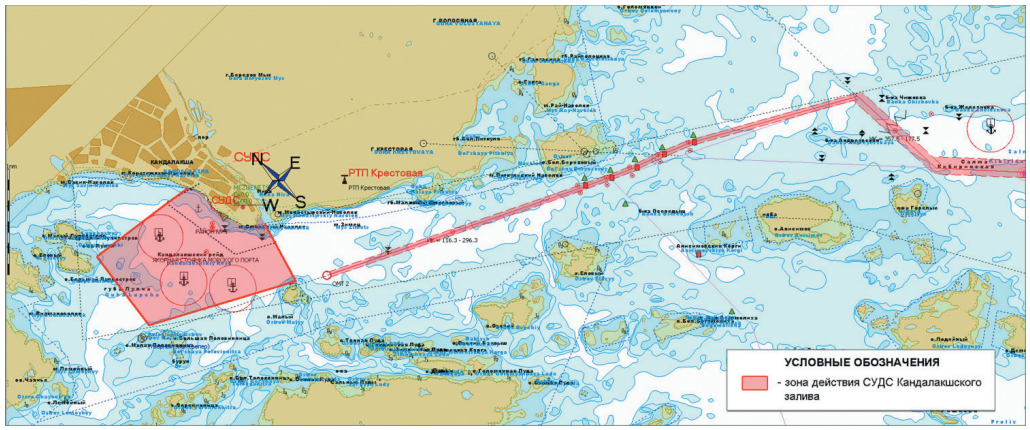

Рис. 2. Зона действия СУДС Кандалакшского залива.

Fig. 2. Coverage of the Kandalaksha Bay Vessel Traffic Control System.

того, средства обработки и отображения информации в СУДС должны обеспечивать отображение первичной радиолокационной информации на экране судовой РЛС кругового обзора на любом рабочем месте операторов с указанием РЛС — источника информации [4].

Все СУДС РФ находятся на балансе и обслуживаются персоналом ФГУП «Росморпорт». СУДС присваивается наименование морского порта, где расположен или вблизи которого расположен центр СУДС, или географического объекта, являющегося основной частью зоны действия СУДС (для СУДС, обслуживающих два или более морских порта, или СУДС, не обслуживающих морские порты). Например, в состав Мурманского филиала входят два вида:

— СУДС Кольского залива;

— СУДС Кандалакшского залива.

На рис. 2 представлена зона действия СУДС Кандалакшского залива как пример, показывающий, что зона действия СУДС включает не только акваторию порта, но и судоходные участки акватории, прилегающей к порту.

В соответствии с требованиями к СУДС в состав СУДС входят радиотехнические посты, содержащие наземные РЛС, камеры видеонаблюдения, гидрометеостанции — все те же источники информации, на которых строится система экологического мониторинга акватории порта.

Конкретно в состав СУДС Кольского залива входят:

— центр управления СУДС Кольского залива, расположенный на мысе Абрам-мыс;

— автоматизированный радиотехнический пост «Мишуково»;

— автоматизированный радиотехнический пост «Крестовый»;

— автоматизированный радиотехнический пост «Сеть-Наволок»;

— радиотехнический пост «Абрам-мыс»;

— выносной радиотехнический пост «Терминал «Абрам-мыс».

В режиме обособленного объекта СУДС Кольского залива функционирует радиолокационный пост «Обзор», расположенный в двух кабельтовых к северу от мыса Лагерный.

В состав СУДС Кандалакшского залива входят:

— центр СУДС порта Кандалакша;

— автоматизированный радиотехнический пост на юго-западном склоне горы Крестовая.

Результаты сравнения комплексной системы мониторинга акватории порта с СУДС представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение подсистем СУДС и комплексной системы мониторинга

Comparison of subsystems of the vessel traffic management system and the integrated monitoring system

Комплексная система мониторинга акватории порта	СУДС	Примечание
Радиолокационные	РЛС	РЛС 3 см и 10 см диапазона волн
Лидары	–	
Телевизионные и инфракрасные датчики	Система телевидения замкнутого контура	С опциональным тепловизионным каналом
Гидроакустические подсистемы	–	
Гидрометеорологическая подсистема	Гидрометеостанция	
Сейсмоакустические подсистемы	–	

Если учесть, что основным источником определения загрязнения акватории порта являются радиолокационные станции, которые есть в СУДС, то для решения задачи экологического контроля водной поверхности является целесообразным использование СУДС. При этом СУДС они обеспечивают полное перекрытие акватории порта, имеют дублирующие подсистемы, работают в двух диапазонах волн, и каждая РЛС имеет свой процессор для первичной обработки информации. При этом в СУДС уже выполняется интеграция данных от различных источников и предусмотрена возможность отображения первичной радиолокационной информации поверх электронной карты.

Математическая модель расчета характеристик обнаружения нефтяного пятна

Главным параметром для расчета характеристик обнаружения служит отношение сигнал-шум на выходе радиолокационного приемника — обнаружение отражений от водной поверхности. Спектральная плотность теплового шума (N_0, Дж,) приемника рассчитывается по известной формуле Найквиста [9]:

$$N_0 = kT_{Ш}F_{Ш} \cong 4 \cdot 10^{-21} F_{Ш}, \quad (1)$$

где k — постоянная Больцмана: $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К; $T_{Ш}$ — шумовая температура приемной системы по шкале Кельвина (стандартное значение для расчетов $T_S = 290$ *К*); $F_{Ш}$ — коэффициент шума (шум-фактор) приемника.

Для расчета энергии принимаемого сигнала используем основное уравнение радиолокации [10]:

$$P_{ПР} = \frac{P_{ИЗЛ} G^2 \sigma_{Ц} \lambda^2 F^4}{(4\pi)^3 L R^4}, \quad (2)$$

где $P_{ПР}$ — средняя мощность принимаемого сигнала, Вт; $P_{ИЗЛ}$ — средняя мощность излучаемого сигнала, Вт; G — коэффициент усиления антенны; $\sigma_{Ц}$ — ЭПР цели, квадратные метры; λ — длина волны, м; F — интерференционный множитель (для рассматриваемой задачи $F \cong 1$); R — расстояние от РЛС до цели, м; L — энергетические потери в РЛС и на трассе распространения сигнала.

Энергия сигнала, принимаемого от точечного объекта, Дж:

$$E_{ПР.Т} = \frac{P_{ИЗЛ} T_{С} \sigma_{Ц} \lambda^2 \eta^2}{4\pi \Theta^2 \Psi^2 L R^4}, \quad (3)$$

где $T_{С}$ — длительность принимаемого сигнала, с; η — коэффициент полезного действия антенны; Θ, Ψ — ширина диаграммы направленности антенны по горизонтали и вертикали соответственно, радианы.

При получении (3) использовано выражение коэффициента усиления антенны через параметры диаграммы направленности антенны [10, 15]:

$$G = \eta \frac{4\pi}{\Theta \Psi}. \quad (4)$$

Энергия сигнала, принимаемого от поверхностно распределенного объекта:

$$E_{ПР.Р} = \frac{P_{ИЗЛ} T_{С} \lambda^2 \eta^2 \sigma_0 \Delta R \sec \Phi}{4\pi \Theta \Psi^2 R^3 L}. \quad (5)$$

При выводе (5) учтено соотношение для определения ЭПР поверхностно распределенного объекта в случае зондирования под малыми углами скольжения [10]:

$$\sigma_{Р} = \sigma_0 \Theta R \, \Delta R \, \sec \Phi, \quad (6)$$

где σ_0 — удельная ЭПР поверхностно распределенного объекта; ΔR — разрешающая способность РЛС по дальности, м; Φ — угол скольжения (для рассматриваемой задачи $\sec\Phi \cong 1$).

Из (3) и (5) следует, что повышение угловой разрешающей способности (уменьшение Θ и Ψ) целесообразно при обнаружении как точечного, так и поверхностно распределенного объектов. В РЛС систем управления движением судов применяются антенны с высокой разрешающей способностью по азимуту. Однако, в режиме кругового обзора, используемом в РЛС СУДС, длительность сигнала $T_{С}$ задается временем контакта с объектом при проходе по нему луча антенны:

$$T_{\text{С}} = T_{\text{ВР}} \frac{\Theta}{2\pi}, \tag{7}$$

где $T_{\text{ВР}}$ — период вращения антенны, с. В этом случае (3) и (5) видоизменяются:

$$E_{\text{ПР.Т}} = \frac{P_{\text{ИЗЛ}} T_{\text{ВР}} \sigma_{\text{Ц}} \lambda^2 \eta^2}{8\pi^2 \Theta \Psi^2 L R^4}, \tag{8}$$

$$E_{\text{ПР.Р}} = \frac{P_{\text{ИЗЛ}} T_{\text{ВР}} \lambda^2 \eta^2 \sigma_0 \Delta R}{8\pi^2 \Psi^2 L R^3}. \tag{9}$$

Энергия (8) принимаемого сигнала от точечной цели в режиме кругового обзора обратно пропорциональна ширине диаграммы направленности антенны по азимуту. Энергия (9) принимаемого сигнала от морской поверхности в режиме кругового обзора не зависит от ширины диаграммы направленности антенны по азимуту, но зависит от темпа обзора, определяемого периодом вращения антенны. Итак, выигрыш от повышения разрешающей способности по азимуту остается только для обнаружителя локализованных в пространстве объектов, что, тем не менее, обусловливает необходимость выбора высоконаправленной антенны для решения основных задач судовождения.

Целесообразно оценить возможность использования РЛС СУДС для обнаружения неоднородностей морского волнения, вызванных наличием нефтяных пятен на ее поверхности. Отношение сигнал-шум определяем как удвоенное частное (9) и (1):

$$\frac{2E_{\text{ПР.Р}}}{N_0} = \frac{P_{\text{ИЗЛ}} T_{\text{ВР}} \lambda^2 \eta^2 \sigma_0 \Delta R}{4\pi^2 \Psi^2 L R^3 k T_{\text{Ш}} F_{\text{Ш}}}. \tag{10}$$

На рис. 3 представлена зависимость отношения сигнал-шум от дальности зондируемого элемента поверхности, рассчитанная в соответствии с (10) при следующих значениях параметров:

— импульсная мощность излучаемого сигнала $P_{\text{ИЗЛ.И}}$ = 120 кВт;
— средняя мощность излучаемого сигнала $P_{\text{ИЗЛ}} = P_{\text{ИЗЛ.И}} / Q$ = 62,4 Вт;
— период вращения антенны $T_{\text{ВР}}$ = 3 с;
— длина волны излучаемого сигнала λ =3,2 см;
— ширина ДНА по горизонтали $\Theta = 20'$ (0,0058 рад);
— ширина ДНА по вертикали $\Psi = 18°$ (0,314 рад);
— КПД антенны η = 0,8;
— разрешение РЛС по дальности ΔR = 120 м;
— удельная эффективная площадь рассеяния морской поверхности σ_0=10^{-4}, 10^{-5} и 10^{-6};
— коэффициент шума приемника РЛС $F_{\text{Ш}}$ = 2;
— угол скольжения (минимальный) Φ = 0,005 радиан или 0,3°;
— максимальная дальность до цели $\sigma_{\text{Ц}}$ =10 км;
— интерференционный множитель F = 1;
— энергетические потери L = 10.

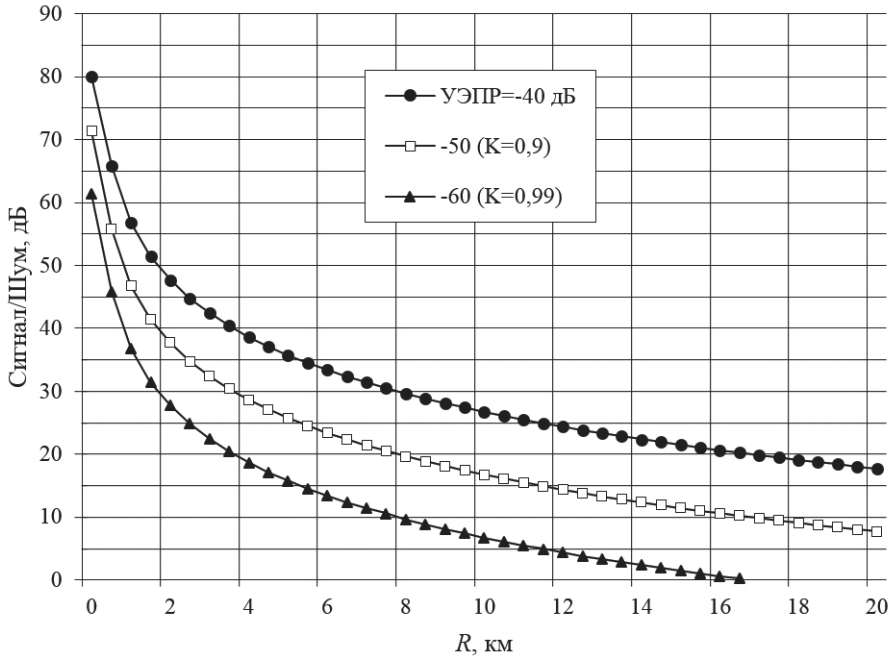

Рис. 3. Зависимость отношения сигнал-шум от дальности зондируемого элемента морской поверхности для $5 < Ф < 30$.

Fig. 3. Dependence of the signal-to-noise ratio on the distance to the sounded element of the sea surface for $5 < Ф < 30$.

Представленные на рис. 3 графические зависимости отношения сигнал-шум рассчитаны по формуле (10) (для однократного прохода антенны) при трех значений удельной ЭПР: −40, −50 и −60 дБ. Расчетные данные показывают, что значения отношения сигнал-шум больше 20 дБ, обеспечивающие приемлемые характеристики обнаружения, 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. Здесь мощность обнаруживаемого сигнала пропорциональна абсолютной величине ЭПР: $P_C \sim \sigma_0$. Две нижние кривые иллюстрируют возможность выявления нефтяного пятна с малым отношением сигнал-шум, равным 0,9 (−0,5 дБ) и 0,99 (−0,05 дБ). Здесь характеристики обнаружения определяются разностью мощностей обнаруживаемых сигналов от чистой воды и пятна. Разность мощностей пропорциональна разности абсолютных величин ЭПР чистой и грязной поверхностей.

Заключение

Представленные в разделе расчеты показывают, что для надежного обнаружения неоднородностей (в том числе нефтяных пятен) на морской поверхности

следует использовать длительное накопление принимаемых сигналов. Эффективным средством повышения мощности отражений от слабо взволнованной морской поверхности является использование радиолокаторов миллиметрового и трехсантиметрового диапазонов длин волн. При решении практических вопросов обнаружения распределенных объектов на фоне морской поверхности используют отношение ЭПР распределенной цели к ЭПР фоновой площадки.

Рассмотрев требования, предъявляемые к СУДС, можно сделать вывод, что задачи обеспечения в портовых и прибрежных акваториях дистанционного сбора информации об экологическом состоянии акваторий, в том числе, обнаружение и прогнозирование динамики распространения нефтяных и других загрязнений в прибрежных зонах с интенсивным судоходством, а также другие локальные задачи дистанционного мониторинга акваторий портов, можно успешно решать с помощью радиолокационных средств, входящих в состав СУДС.

Достоинством рассматриваемой реализации мониторинга акватории порта с использованием РЛС, входящих в состав СУДС является:

— во-первых, экономическая целесообразность, обусловленная использованием уже существующих в порту радиолокационных систем;

— во-вторых, оперативность и непрерывность получения информации;

— в-третьих, высокая азимутальная разрешающая способность, существующих радиолокаторов СУДС.

Поскольку небольшие размеры зоны контроля не требуют больших дальностей действия РЛС, то их энергетического потенциала будет достаточно для обнаружения неоднородностей волнения (нефтяных пятен), вызываемых загрязнениями водной поверхности при разливе нефтепродуктов.

Список литературы

1. *Гурьева М.Н., Журавель Ю.Н., Тишкин Р.В.* Алгоритм мониторинга экологического состояния прибрежных акваторий в районе их интенсивного хозяйственного использования // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2016. № 3. С. 223—232. doi: 10.18287/2541-7533-2016-15-3-223-232.
2. *Бескид П.П., Шишкин А.Д.* Об опыте проведения экологического мониторинга состояния морской поверхности радиолокационными средствами // Безопасность жизнедеятельности. 2011. № 2 (122). С. 20—24.
3. *Lozhkina O., Rogozinsky G., Lozhkin V., Malygin I., Komashinsky V.* Smart Technologies for Decision-Support in the Management of Environmental Safety of Transportation in Big Port Cities // Marine Intellectual Technologies. 2020. Vol. 1. № 2(48). P. 125—133. doi: 10.37220/MIT.2020.48.2.010.
4. *Иванов А., Хлебников Д., Коновалов Б., Клименко С., Терлеева Н.* Керченский пролив и его техногенное загрязнение: возможности оптического и радиолокационного зондирования // Экология и промышленность России. 2021. № 25(8). С. 21—27. doi: 10.18412/1816-0395-2021-8-21-27.
5. *Коршунова Т.Ю., Логинов О.Н.* Нефтяное загрязнение водной среды: особенности, влияние на различные объекты гидросферы, основные методы очистки // Экобиотех. 2019. Т. 2, № 2. С. 157—174. doi: 10.31163/2618-964X-2019-2-2-157-174.
6. *Миклуш В.А., Татарникова Т.М., Палкин И.И.* Решение задачи экологического мониторинга акватории порта с помощью распределенной системы датчиков // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2021. Т. 64, № 5. С. 404—411. doi: 10.17586/0021-3454-2021-64-5-404-411.
7. *Polombi L., Lognoli D., Raimondi V.* Fluorescence LIDAR remote sensing of oils: merging spectral and time-decay measurements // Proceedings of SPIE. 2013. Vol. 8887. P. 88870F-1— 88870F-8. doi: 10.1117/12.2030204.

8. *Yang J., Gong W., Shi S., Du L., Sun J., Song S.* The effective of different excitation wavelengths on the identification of plant species based on fluorescence lidar // The International Archives of the Photogrammetry, Remote sensing and Spatial Information Sciences. 2016. Vol. XLI-B1. P. 147—150. doi: 10.5194/isprsarchives-XLI-B1-147-2016.
9. *Ахияров В.В., Нефедов С.И., Николаев А.И., Слукин Г.П., Федоров И.Б., Шустиков В.Ю.* Радиолокационные системы. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. 349 с.
10. *Richards M.A., Scheer J.A., Holm W.A.* Principles of modern radar. Basic principles. Edison, New Jersey: SciTech Publishing, 2010. 924 p. doi: 10.1049/SBRA021E.
11. *Venkatasubramaniam P., Adireddy S., Tong L.* Sensor networks with mobile access: Optimal random access and coding // IEEE J. Sel. Areas Commun. Special Issue on Sensor Networks. 2004. Vol. 22. P. 1058—1068. doi: 10.1109/JSAC.2004.830899.
12. *Бескид П. П., Богданов П.Ю., Миклуш В.А., Татарникова Т.М.,Чернецова Е.А., Шишкин А.Д.* Результаты исследований в области дистанционных методов обнаружения нефтяных загрязнений на водной поверхности, проводимых в РГГМУ // Гидрометеорология и экология. 2020. № 60. С. 371—391. doi: 10.33933/2074-2762-2020-60-371-391.
13. *Беликов В.А., Галянин В.В., Орлов С.П.* Анализ данных дистанционного зондирования земли для обнаружения нефтяных разливов // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2017. Т. 25. № 2. С. 7—12. doi: 10.14498/tech.2017.2.%u.
14. *Dziubenko I.N., Tatarnikova T.M.* Algorithm for solving optimal sensor devices placement problem in areas with natural obstacles // Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). 2018. P. 1—4. doi: 10.1109/WECONF.2018.8604325.
15. *Berenshtein I., Paris C.B., Perlin N., Alloy M.M., Joye S.B., Murawski S.* Invisible oil beyond the Deepwater Horizon satellite footprint. Sci Adv. 2020. Vol. 6(7). P. 1—11. doi: 10.1126/sciadv.aaw8863.

References

1. *Guryeva M.N., Zhuravel Y.N., Tishkin R.V.* Algorithm of monitoring the ecological state of coastal waters in areas of heavy economic use. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2016, 15(3): 223—232. doi: 10.182872541-7533-2016-15-3-223-232. [In Russian].
2. *Beskid P.P., Shishkin A.D.* On the experience of environmental monitoring of the state of the sea surface by radar tools. *Bezopasnost' zhiznedeyate.* Life Safety. 2011, 2(122): 20—24. [In Russian].
3. *Lozhkina O., Rogozinsky G., Lozhkin V., Malygin I., Komashinsky V*. Smart Technologies for Decision-Support in the Management of Environmental Safety of Transportation in Big Port Cities. *Marine Intellectual Technologies*. 2020, 2(48): 125—133. doi: 10.37220/MIT.2020.48.2.010.
4. *Ivanov A., Khlebnikov D., Konovalov B., Klimenko S., Terleeva N.* Kerch Strait and Its Technogenic Pollution: Possibilities of Optical and Radar Remote Sensing. *Ekologiia i promyshlennost' Rossii.* Ecology and Industry of Russia. 2021, 25(8): 21—27. doi: 10.18412/1816-0395-2021-8-21-27. [In Russian].
5. *Korshunova T.Yu., Loginov O.N.* Oil pollution of water environment: features, influence of various objects of hydrosphere, main methods for cleaning. *Ekobiotekh*. Ecobiotech Journal. 2019, 2(2): 157—174. doi: 10.31163/2618-964X-2019-2-2-157-174. [In Russian].
6. *Miklush V.A., Tatarnikova T.M., Palkin I.I.* Solving the problem of environmental monitoring of a port water area using a distributed system of sensors. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Priborostroenie*. Journal of Instrument Engineering. 2021, 64(5): 404—411. doi: 10.17586/0021-3454-2021-64-5-404-411. [In Russian].
7. *Polombi L., Lognoli D., Raimondi V.* Fluorescence LIDAR remote sensing of oils: merging spectral and time-decay measurements. Proceedings of SPIE. 2013, 8887: 88870F-1—88870F-8. doi: 10.1117/12.2030204.
8. *Yang J., Gong W., Shi S., Du L., Sun J., Song S.* The effective of different excitation wavelengths on the identification of plant species based on fluorescence lidar. The International Archives of the Photogrammetry, Remote sensing and Spatial Information Sciences. 2016, XLI-B1: 147—150. doi: 10.5194/isprsarchives-XLI-B1-147-2016.
9. *Akhiyarov V.V., Nefedov S.I., Nikolaev A.I., Slukin G.P., Fedorov I.B., Shustikov V.Yu. Radiolokatsionnyye sistemy.* Radar systems. Moscow: MSTU by N.E. Bauman Publ., 2016: 349 p. [In Russian].

10. *Richards M.A., Scheer J.A., Holm W.A.* Principles of modern radar. Basic principles. Edison, New Jersey: SciTech Publishing, 2010: 924 p. doi: 10.1049/SBRA021E.
11. *Venkatasubramaniam P., Adireddy S., Tong L.* Sensor networks with mobile access: Optimal random access and coding. IEEE J. Sel. Areas Commun. Special Issue on Sensor Networks. 2004, 22: 1058—1068. doi: 10.1109/JSAC.2004.830899.
12. *Beskid P.P., Bogdanov P.Yu., Miklush V.A., Tatarnikova T.M., Chernetsova E.A., Shishkin A.D.* Results of research in the field of remote sensing methods for detecting oil pollution on the water surface conducted at RSHU. *Gidrometeorologiya i Ekologiya.* Hydrometeorology and Ecology (Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University). 2020, 60: 371—391. doi: 10.33933/2074-2762-2020-60-371-391. [In Russian].
13. *Belikov V.A., Galyanin V.V., Orlov S.P.* Analysis of earth remote sensing data for oil spill detection. *Vestnik of Samara State Technical University. Technical Sciences Series*. 2017, 25(2):7—12. doi: 10.14498/tech.2017.2.%u.
14. *Dziubenko I.N.,Tatarnikova T.M.* Algorithm for solving optimal sensor devices placement problem in areas with natural obstacles. Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). 2018: 1—4. doi: 10.1109/WECONF.2018.8604325.
15. *Berenshtein I., Paris C.B., Perlin N., Alloy M.M., Joye S.B., Murawski S.* Invisible oil beyond the Deepwater Horizon satellite footprint. Sci Adv. 2020, 6(7): 1—11. doi: 10.1126/sciadv.aaw8863.

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила 15.01.2022
Принята в печать 02.02.2022

Сведения об авторах

Миклуш Виктория Александровна, старший преподаватель кафедры информационно-сетевых технологий Санкт-Петербургского аэрокосмического университета, miklish-v@yandex.ru.

Татарникова Татьяна Михайловна, д-р техн. наук, профессор кафедры Информационные системы Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), tm-tatarn@yandex.ru.

Information about authors

Miklush Victoria Alexandrovna, Senior Lecturer, Department of Information and Network Technologies of Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Tatarnikova Tatiana Mikhailovna, Grand PhD (Tech. Sci.), Professor, Department of Information Systems of Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”.