

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **041775**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.12.01

(21) Номер заявки
202100267

(22) Дата подачи заявки
2021.11.08

(51) Int. Cl. **G01S 13/00** (2006.01)
G01S 13/04 (2006.01)
G01S 13/06 (2006.01)

(54) СПОСОБ ОБНАРУЖЕНИЯ НЕФТЯНЫХ ПЛЕНОК НА ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

(31) **2020140272**

(32) **2020.12.07**

(33) **RU**

(43) **2022.06.30**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ
АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ "САНКТ-
ПЕТЕРБУРГСКИЙ**

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ "ЛЭТИ" ИМ. В.И.
УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)" (СПбГЭТУ
"ЛЭТИ") (RU)**

(72) Изобретатель:
Бородин Михаил Анатольевич (RU)

(56) **RU-C1-2529886**
US-4933678
US-A1-20040257264
CN-A-111580095

(57) Изобретение относится к области радиолокации и может быть использовано для мониторинга водной поверхности акваторий с целью обнаружения нефтяных пленок. Задачей изобретения является разработка способа обнаружения нефтяных пленок на водной поверхности радиолокатором, обеспечивающего большую производительность поиска нефтепродуктов по сравнению с известными способами. Технический результат состоит в повышении дальности обнаружения пленок нефти на водной поверхности при обеспечении возможности одновременного перемещения в пространстве радиолокатора и пассивного радиолокационного отражателя. Указанный результат достигается за счет того, что осуществляют обзор водной поверхности при движении первого судна с помощью радиолокатора кругового обзора, выполняют прием отраженных эхосигналов, а также пересчет их амплитуд в удельную эффективную площадь рассеяния для каждого пространственного элемента разрешения, сравнение с пороговым значением удельной эффективной площади рассеяния для обнаружения нефтяных пленок на водной поверхности, дополнительно используют второе судно с установленным пассивным радиолокационным отражателем с возможностью переотражения поступающих на него радиоимпульсов в сторону радиолокатора, выполняют расчет судового расстояния между первым и вторым судами, первое и второе суда движутся параллельными курсами на судовом расстоянии друг от друга с одинаковой скоростью, на первом судне производят накопление амплитуд принятых радиолокатором эхосигналов и их пересчет в значения удельной эффективной площади рассеяния для элемента пространственного разрешения, содержащего пассивный радиолокационный отражатель.

B1**041775****041775****B1**

Изобретение относится к области радиолокации и может быть использовано для мониторинга водной поверхности акваторий с целью обнаружения пленок нефтепродуктов.

Одной из главных задач экологического мониторинга морской поверхности является задача обнаружения разливов нефти. Минимизация времени поиска разливов нефти на водной поверхности (акватории портов и районов нефтедобычи, районы открытого моря) позволяет уменьшить ущерб, наносимый окружающей среде, поскольку с течением времени вследствие процесса растекания увеличивается размер нефтяных пятен, а значит и загрязнённой поверхности.

Известен способ (патент РФ № 2529886 от 22.05.2013) обнаружения нефтяных пленок на водной поверхности, включающий в себя установку в районе обследуемой акватории дополнительного пассивного радиолокационного отражателя (ПРЛО) с возможностью переотражения поступающих на него радиопульсов от радиолокатора и морской поверхности в сторону радиолокатора, облучение исследуемого участка водной поверхности радиопульсами с горизонтальной поляризацией, прием и регистрацию отраженных эхосигналов, накопление амплитуд принятых эхосигналов и их пересчет в значения удельной эффективной площади рассеяния (ЭПР) для элемента пространственного разрешения, содержащего дополнительный ПРЛО, фильтрацию значений удельной ЭПР для учета искажений, сравнение с пороговым значением величины удельной ЭПР для элемента пространственного разрешения, содержащего ПРЛО, для обнаружения нефтяных пленок на водной поверхности.

Существенным недостатком данного способа-аналога является небольшая зона обнаружения нефтяных пленок на водной поверхности, определяемая расстоянием от радиолокатора до ПРЛО и состоянием морской поверхности, при этом место размещения радиолокатора - фиксированное (жесткозакрепленная буровая платформа или земная поверхность), а ПРЛО удерживается в заданной точке водной поверхности якорным устройством. Указанный способ-аналог позволяет обнаруживать пленки нефти только в портовых акваториях или в месте добычи нефтепродуктов в открытом море, исключая возможность перемещения радиолокатора и ПРЛО в пространстве.

Наиболее близким аналогом по технической сущности к предлагаемому способу является способ обнаружения нефтяных пленок на водной поверхности с помощью радиолокатора (Patent US, № 4933678, G01S 13/00, 1990). В способе-прототипе осуществляют обзор водной поверхности при движении первого судна с помощью радиолокатора кругового обзора, при этом последовательно выполняют облучение обследуемого участка водной поверхности радиопульсами с горизонтальной поляризацией, выполняют прием и регистрацию отраженных эхосигналов, пересчет амплитуд отраженных эхосигналов в удельную эффективную площадь рассеяния для каждого пространственного элемента разрешения, производят фильтрацию значений удельной эффективной площади рассеяния для учета искажений, выполняют сравнение с пороговым значением величины удельной эффективной площади рассеяния для обнаружения нефтяных пленок на водной поверхности.

Существенным недостатком данного способа-прототипа является малая производительность поиска нефтяных пленок на водной поверхности, обусловленная малыми размерами зоны обнаружения. Зона обнаружения радиолокатора кругового обзора представляет собой окружность, радиус которой определяется дальностью обнаружения нефтепродуктов на водной поверхности.

Задачей изобретения является разработка способа обнаружения нефтяных пленок на водной поверхности радиолокатором, обеспечивающего большую производительность поиска нефтепродуктов по сравнению с известными способами.

Технический результат состоит в повышении дальности обнаружения пленок нефти на водной поверхности при обеспечении возможности одновременного перемещения в пространстве радиолокатора и пассивного радиолокационного отражателя.

Для обеспечения указанного технического результата в известный способ обнаружения нефтяных пленок на водной поверхности, в котором осуществляют обзор водной поверхности при движении первого судна с помощью радиолокатора кругового обзора, при этом последовательно выполняют облучение обследуемого участка водной поверхности радиопульсами с горизонтальной поляризацией, выполняют прием и регистрацию отраженных эхосигналов, пересчет амплитуд отраженных эхосигналов в удельную эффективную площадь рассеяния для каждого пространственного элемента разрешения, производят фильтрацию значений удельной эффективной площади рассеяния для учета искажений, выполняют сравнение с пороговым значением величины удельной эффективной площади рассеяния для обнаружения нефтяных пленок на водной поверхности, введены новые признаки: устанавливают на второе судно до осуществления обзора водной поверхности пассивный радиолокационный отражатель с возможностью переотражения поступающих на него радиопульсов в сторону радиолокатора, размещенного на первом судне, получают от датчика скорости ветра значение скорости приповерхностного ветра в обследуемой акватории, рассчитывают среднеквадратическое отклонение ординат водной поверхности в обследуемой акватории, вычисляют значение когерентной компоненты комплексного коэффициента отражения, рассчитывают значение эффективной площади рассеяния пассивного радиолокационного отражателя для водной поверхности без нефтяной пленки, выполняют расчет судового расстояния между первым судном и вторым судном, перемещают первое судно и второе судно параллельными курсами на судовом расстоянии друг от друга с одинаковой скоростью, на первом судне производят накопление ам-

плитуд принятых радиолокатором эхосигналов и их пересчет в значения удельной эффективной площади рассеяния для элемента пространственного разрешения, содержащего пассивный радиолокационный отражатель.

Таким образом, использование ПРЛО, установленного на втором судне, позволяет увеличить дальность обнаружения пленок нефтепродуктов на водной поверхности с помощью радиолокатора, а использование второго судна позволяет перемещать ПРЛО в пространстве, а вместе с ним и зону обнаружения, что повышает производительность поиска.

Реализация данного способа поясняется чертежом. На чертеже показана геометрия задачи обзора водной поверхности с помощью радиолокатора 3 кругового обзора, установленного на первом судне 1, ПРЛО 4 размещен на втором судне 2.

Предложенный способ реализуется следующим образом.

На первом судне 1 размещают радиолокатор 3 кругового обзора (см. чертеж), на втором судне 2 до осуществления обзора водной поверхности устанавливают ПРЛО 4 с возможностью переотражения поступающих на него радиоимпульсов в сторону радиолокатора, размещенного на первом судне. ПРЛО 4 устанавливают на штанге, жестко закрепленной на палубе второго судна 2, на высоте относительно палубы не менее 3 м.

Получают значение скорости приповерхностного ветра в обследуемой акватории от датчика скорости ветра, установленного на первом судне 1.

Пересчитывают значение скорости приповерхностного ветра в скорость ветра на высоте 19,5 м от водной поверхности

$$U = \frac{u}{0.4} \cdot \lg \left[\frac{19.5}{0.0000684/u + 0.00428u^2 - 0.000443} \right], \quad (1)$$

где u - скорость приповерхностного ветра.

Рассчитывают среднеквадратическое отклонение ординат водной поверхности в обследуемой акватории

$$s = \sqrt{\alpha U^4 / 4\beta g}, \quad (2)$$

где U - скорость ветра на высоте 19,5 м, $\beta = 0,74$, $\alpha = 0,0081$, $g = 9,81$.

Задают диапазон значений расстояния R от радиолокатора до ПРЛО, равный от 1,5 до 15 км с дискретностью 1 м. Такой диапазон определяет границы значений дальности обнаружения нефтяных пленок на водной поверхности. Рассчитывают угол скольжения

$$\theta_1(R) = \arctg[(h+H)/R], \quad (3)$$

где h - высота установки антенны радиолокатора; H - высота установки ПРЛО над водной поверхностью; R - расстояние от радиолокатора до ПРЛО.

Вычисляют когерентную компоненту комплексного коэффициента отражения для горизонтальной поляризации

$$\Gamma_k(R) = \exp(i\pi) \cdot \exp \left[-8(\pi s \sin \theta_1(R)/\lambda)^2 \right], \quad (4)$$

где θ_1 - угол скольжения; λ - длина волны излучаемых радиолокатором электромагнитных волн; i - мнимая единица.

Рассчитывают значение ЭПР для водной поверхности без нефтяной пленки для горизонтальной поляризации

$$\sigma_{sc}(R) = \sigma_r \left| \exp(-2ikH \sin \theta_1(R)) + \Gamma_k^2(R) \exp(2ikH \sin \theta_1(R)) + 2\Gamma_k(R) \right|^2, \quad (5)$$

где H - высота установки ПРЛО над водной поверхностью; $k = (2\pi/\lambda)$ - волновое число; σ_r - значение ЭПР ПРЛО в свободном пространстве.

Определяют судовое расстояние R_2 между первым судном и вторым судном, как расстояние от радиолокатора 3 до ПРЛО 4, при котором ЭПР ПРЛО 4 будет максимальна

$$R_2 = \arg \max_R [\sigma_{sc}(R)]. \quad (6)$$

Обозначим максимальное значение ЭПР ПРЛО 4 в диапазоне расстояний от радиолокатора 3 до ПРЛО 4 как $\sigma_{\max}$. Судовое расстояние R_2 между первым судном и вторым судном есть дальность обнаружения пленок нефти на водной поверхности при использовании ПРЛО.

Рассчитывают пороговое значение удельной ЭПР для углового направления, содержащего ПРЛО 4

$$\sigma_{sc}^0 = [\sigma_{\max} \cdot \cos \theta_1(R_2)] / [c_0 \cdot \tau \cdot R_2 \cdot \lg(0.5\Delta\theta_2)], \quad (7)$$

где c_0 - скорость света в вакууме; τ - длительность радиоимпульса в излучении; $\Delta\theta_2$ - ширина диаграммы направленности антенны радиолокатора в азимутальной плоскости; R_2 - судовое расстояние между первым судном и вторым судном.

Первое судно и второе судно движутся параллельными курсами на судовом расстоянии друг от друга с одинаковой скоростью. Второе судно может двигаться как с левого, так и с правого борта перво-

го судна.

Производят облучение радиолокатором обследуемого участка водной поверхности радиоимпульсами с горизонтальной поляризацией. Выполняют прием и регистрацию отраженных эхосигналов, производят накопление амплитуд принятых эхосигналов и их пересчет в значения удельной ЭПР для каждого элемента пространственного разрешения по формуле

$$\sigma^0 = \left[(4\pi)^3 P_r r^4 \right] / \left[\lambda^2 P_t G^2 A \right], \quad (8)$$

где r - расстояние от радиолокатора до участка морской поверхности; G - коэффициент усиления антенны радиолокатора; P_r - мощность принятых эхосигналов; P_t - мощность излученного сигнала; A - площадь элемента пространственного разрешения. Значение A определяют по формуле

$$A = \left[(c_0 \tau \operatorname{tg}(0.5\Delta\theta_2)) / \cos(\arcsin(h/r)) \right]. \quad (9)$$

Далее выполняют фильтрацию значений удельной ЭПР для учета искажений, обнаружение нефтяных пленок на водной поверхности производят по превышению порогового значения величины удельной ЭПР. Для углового направления, содержащего ПРЛО 4, в качестве порогового значения используют значение σ_{sc}^0 , определяемое формулой (7). Для остальных угловых направлений в качестве порогового значения используют значение ЭПР водной поверхности без пленок нефтепродуктов.

Покажем возможность достижения указанного технического результата.

При прямолинейном движении с постоянной скоростью первого судна 1 на расстояние L (см. чертеж) при использовании только радиолокатора кругового обзора площадь обследуемой поверхности составляет

$$S_1 = (L + 2R_1) \cdot (2R_1), \quad (10)$$

где R_1 - дальность обнаружения пленок нефти на водной поверхности.

При использовании второго судна 2 с ПРЛО 4 площадь обследуемой водной поверхности составляет

$$S_2 = (L + 2R_1) \cdot (R_1 + R_2), \quad (11)$$

где R_2 - дальность обнаружения пленок нефти на водной поверхности при использовании ПРЛО.

Производительность поиска определяется как площадь обследуемой поверхности в единицу времени. Оценим производительность поиска, достигаемую предлагаемым способом, с помощью соответствующего коэффициента увеличения производительности поиска K_v

$$K_v = \frac{S_2}{S_1} = \frac{R_1 + R_2}{2R_1} = \frac{R_1 + \alpha R_1}{2R_1} = \frac{1 + \alpha}{2}, \quad (12)$$

где $\alpha = R_2/R_1$ - параметр, выражающий увеличение дальности обнаружения пленок нефтепродуктов на водной поверхности за счет применения ПРЛО.

Оценим значение параметра α и представим (8) в следующем виде:

$$\sigma^0 = B r^4 / A, \text{ где } B = \left[(4\pi)^3 P_r \right] / \left[\lambda^2 G^2 P_t \right]. \quad (13)$$

Дальность обнаружения нефтяной пленки на морской поверхности радиолокатором кругового обзора без использования ПРЛО составляет $R_1 = 1$ км. При скользящих углах облучения и при $\lambda = 3$ см удельная ЭПР морской поверхности с нефтяной пленкой (Леонтьев В.В., Бородин М.А., Игнатьева О.А. Бистатистические диаграммы рассеяния морской поверхности, покрытой мономолекулярной нефтяной пленкой//Радиотехника, 2012. № 7. С. 42-43) для горизонтальной поляризации составляет 78 дБ при скорости ветра 2 м/с.

При значениях параметров $\tau = 500 \cdot 10^{-19}$ с, $\Delta\theta_2 = 1^\circ$, $h = 15$ м, типичных для судовых радиолокаторов кругового обзора, на расстоянии $r = R_1 = 10^3$ м получим $\theta_1 = 0.86^\circ$, тогда из (13) значение $B = 2.08 \cdot 10^{-17}$ ЭПР участка морской поверхности связана с удельной ЭПР соотношением (Справочник по радиолокации под ред. М. Скольника. Т. 1. Основы радиолокации. М.: Сов. радио, 1976, С. 321)

$$\sigma = \sigma^0 A. \quad (14)$$

Учитывая (13) и (14), дальность обнаружения нефтяной пленки на водной поверхности

$$R_2 = \sqrt[4]{\sigma/B}. \quad (15)$$

При использовании ПРЛО с ЭПР $\sigma = 10$ м² дальность обнаружения нефтяной пленки составляет $R_2 = 2.63$ км, тогда значение параметра $\alpha = R_2/R_1 = 2.63$, при этом значение коэффициента $K_v = 1.82$ по формуле (12).

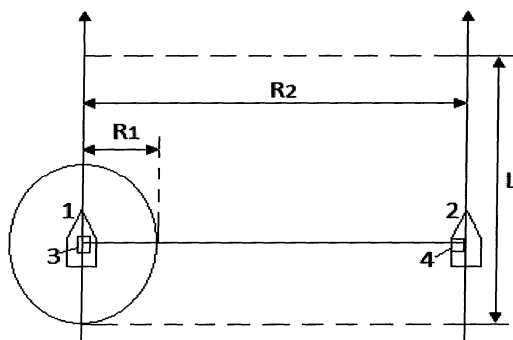
В результате получаем, что производительность поиска нефтяных пленок для предлагаемого способа больше в 1,82 раза по сравнению с производительностью способа-прототипа за счет использования ПРЛО, устанавливаемого на втором судне, который перемещается в пространстве синхронно с перемещением радиолокатора, установленного на первом судне.

Использование третьего судна с ПРЛО с целью повышения производительности поиска является экономически нецелесообразным.

Таким образом, технический результат изобретения достигнут.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Способ обнаружения нефтяных пленок на водной поверхности, в котором осуществляют обзор водной поверхности при движении первого судна с помощью радиолокатора кругового обзора, при этом последовательно выполняют облучение обследуемого участка водной поверхности радиоимпульсами с горизонтальной поляризацией, выполняют прием и регистрацию отраженных эхосигналов, пересчет амплитуд отраженных эхосигналов в удельную эффективную площадь рассеяния для каждого пространственного элемента разрешения, производят фильтрацию значений удельной эффективной площади рассеяния для учета искажений, выполняют сравнение с пороговым значением величины удельной эффективной площади рассеяния для обнаружения нефтяных пленок на водной поверхности, отличающийся тем, что устанавливают на второе судно до осуществления обзора водной поверхности пассивный радиолокационный отражатель с возможностью переотражения поступающих на него радиоимпульсов в сторону радиолокатора, размещенного на первом судне, получают от датчика скорости ветра значение скорости приповерхностного ветра в обследуемой акватории, рассчитывают среднее квадратическое отклонение ординат водной поверхности в обследуемой акватории, вычисляют значение когерентной компоненты комплексного коэффициента отражения, рассчитывают значение эффективной площади рассеяния пассивного радиолокационного отражателя для водной поверхности без нефтяной пленки, выполняют расчет судового расстояния между первым судном и вторым судном, перемещают первое судно и второе судно параллельными курсами на судовом расстоянии друг от друга с одинаковой скоростью, на первом судне производят накопление амплитуд принятых радиолокатором эхосигналов и их пересчет в значения удельной эффективной площади рассеяния для элемента пространственного разрешения, содержащего пассивный радиолокационный отражатель.



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2