



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ(21), (22) Заявка: **2008151936/28, 29.12.2008**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
29.12.2008(45) Опубликовано: **27.04.2010** Бюл. № 12(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: **RU 2298169 C1, 27.04.2007. SU 1354073 A1,
23.11.1987. SU 1092393 A, 15.05.1984. RU
2143108 C1, 20.12.1999. JP 2003149134 A,
21.05.2003. JP 2003149146 A, 21.05.2003.**

Адрес для переписки:

**105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, МГТУ
им. Н.Э. Баумана, Центр защиты
интеллектуальной собственности (ЦЗИС),
Директору**

(72) Автор(ы):

**Белов Михаил Леонидович (RU),
Городничев Виктор Александрович (RU),
Козинцев Валентин Иванович (RU),
Федотов Юрий Викторович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Государственное образовательное
учреждение высшего профессионального
образования "Московский государственный
технический университет имени Н.Э.
Баумана" (МГТУ им. Н.Э. Баумана) (RU)**

**(54) НЕКОНТАКТНЫЙ СПОСОБ ОБНАРУЖЕНИЯ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА
ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано для оперативного обнаружения разливов нефти и нефтепродуктов в морях и внутренних водоемах. Способ включает облучение исследуемой водной поверхности воды импульсным оптическим пучком с перестраиваемой в узком спектральном диапазоне длиной волны излучения, регистрацию излучения, отраженного от водной поверхности, определение по данным измерений зависимости мощности отраженного излучения от длины волны и нахождение на основе этой зависимости

коэффициента отражения и его второй производной по длине волны. О наличии нефтяной пленки на водной поверхности судят по выполнению одновременно двух соотношений, в которые входят коэффициенты отражения от исследуемой и чистой водной поверхности и вторые производные по длине волны коэффициента отражения от исследуемой и чистой водной поверхности. Изобретение позволяет обнаруживать тонкие пленки нефтепродуктов (с толщиной от десятых долей мкм до единиц мкм) с вероятностью правильного обнаружения, близкой к единице. 1 табл., 2 ил.

RU 2 387 977 C1

RU 2 387 977 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION(21), (22) Application: **2008151936/28, 29.12.2008**(24) Effective date for property rights:
29.12.2008(45) Date of publication: **27.04.2010 Bull. 12**

Mail address:

**105005, Moskva, ul. 2-ja Baumanskaja, 5, MGTU
im. N.Eh. Baumana, Tsentr zashchity
intelektual'noj sobstvennosti (TsZIS), Direktoru**

(72) Inventor(s):

**Belov Mikhail Leonidovich (RU),
Gorodnichev Viktor Aleksandrovich (RU),
Kozintsev Valentin Ivanovich (RU),
Fedotov Jurij Viktorovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie
vysshego professional'nogo obrazovanija
"Moskovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij
universitet imeni N.Eh. Baumana" (MGTU im.
N.Eh. Baumana) (RU)**

(54) NON CONTACT METHOD FOR DETECTION OF OIL POLLUTIONS ON WATER SURFACE

(57) Abstract:

FIELD: measurement technique.

SUBSTANCE: invention refers to measurement technique and can be used for operative detection of oil and oil products spills in seas and inland water bodies. The method includes irradiation of water surface in question by pulsed optical beam with tunable in narrow spectral band length of radiation wave, recording radiation reflected from water surface, determination by measurement data of dependence between power of reflected radiation and wave length and obtaining on the base of this

dependence the reflection index and its second derivative with respect to wave length. The presence of oil film on water surface is determined by simultaneous execution of two relations which include reflection indices for investigated and pure water surface and the second derivatives with respect to wave length of reflection indices for investigated and pure water surface.

EFFECT: invention makes possible to detect thin films of oil products (with thickness from tenths of microns to microns) with close to one probability of correct detection.

Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано для оперативного обнаружения разливов нефти и нефтепродуктов в морях и внутренних водоемах.

Известен способ обнаружения нефтяной пленки на поверхности воды [1], заключающийся в том, что исследуемую водную поверхность облучают импульсным пучком оптического излучения, принимают отраженный сигнал и проводят сравнение сигналов, отраженных от чистой и исследуемой водной поверхности. В качестве параметра сравнения выбирается количество импульсных сигналов N , превысивших порог срабатывания анализатора. При $N \geq N_b$ судят о наличии нефтяной пленки, а при $N < N_b$ - об ее отсутствии (N_b - число, характеризующее вероятность приема сигналов).

Недостатком этого способа обнаружения нефтяных загрязнений является невысокая достоверность обнаружения.

Наиболее близким к изобретению по технической сущности является способ [2] обнаружения нефтяной пленки на водной поверхности путем облучения поверхности воды импульсным пучком оптического излучения и приема отраженного сигнала с последующим сравнением сигналов, отраженных от чистой и исследуемой водной поверхности, облучение поверхности и прием отраженного сигнала осуществляют на двух длинах волн, в качестве параметров отраженного излучения выбирают отношения мощностей лазерных сигналов, полученных от исследуемой водной поверхности, к соответствующим мощностям лазерных сигналов, полученным от чистой водной поверхности, а о наличии нефтяной пленки судят по выполнению одновременно двух соотношений:

$$P(\lambda_1) > P_w(\lambda_1) \quad \text{или} \quad P(\lambda_2) > P_w(\lambda_2),$$

$$N > 1,$$

$$N = \left(\frac{P(\lambda_1)}{P_w(\lambda_1)} \right) / \left(\frac{P(\lambda_2)}{P_w(\lambda_2)} \right) ;$$

λ_1, λ_2 - длины волн зондирования;

$P(\lambda_1), P(\lambda_2)$ и $P_w(\lambda_1), P_w(\lambda_2)$ - мощности лазерных сигналов на длинах волн λ_1, λ_2 полученные от исследуемой и от чистой водной поверхности.

Недостатком этого метода обнаружения нефтяных загрязнений на водной поверхности является недостаточная надежность обнаружения тонких пленок нефтепродуктов.

Избежать этого недостатка можно тем, что согласно способу обнаружения нефтяных загрязнений на поверхности водоемов, включающему облучение поверхности воды импульсным пучком оптического излучения, прием отраженного сигнала и последующее сравнение сигналов, отраженных от чистой и исследуемой водной поверхности, при облучении поверхности перестраивают в узком спектральном диапазоне длину волны излучения, определяют зависимость мощности отраженного излучения от длины волны, находят на основе этой зависимости коэффициент отражения и его вторую производную, а о наличии нефтяной пленки судят по выполнению одновременно двух соотношений:

$$R_{ref} > R_w \quad \text{и} \quad \frac{d^2 R_{ref}}{d\lambda^2} > \frac{d^2 R_w}{d\lambda^2}, \quad (1)$$

где

$R_{ref}; R_w$ - коэффициенты отражения от исследуемой и чистой водной поверхности;

$\frac{d^2 R_{ref}}{d\lambda^2}$, $\frac{d^2 R_w}{d\lambda^2}$ - вторые производные по длине волны коэффициента отражения от исследуемой и чистой водной поверхности

Наличие отличительных признаков указывает на соответствие критерию "новизна".
 Указанные отличительные признаки неизвестны в патентной литературе, и поэтому предложенное техническое решение соответствует критерию "изобретательский уровень".

На фиг.1 схематично изображено устройство, реализующее предлагаемый способ.

Устройство содержит перестраиваемый по длине волны в узком спектральном диапазоне источник оптического излучения 1; фотоприемник 2, регистрирующий отраженное от водной поверхности излучение; блок обработки 3, который по данным измерений определяет зависимость мощности отраженного излучения от длины волны, находит на основе этой зависимости коэффициент отражения и его вторую производную и проводит проверку выполнения соотношений (1), что позволяет с высокой достоверностью проводить обнаружение тонких пленок нефтепродуктов.

Устройство работает следующим образом.

Источник оптического излучения 1 облучает исследуемую водную поверхность 4 (например, источник излучения 1 может находиться на авиационном носителе).

Облучение водной поверхности осуществляют вертикально вниз. Длина волны излучения перестраивается в узком спектральном диапазоне. Интенсивность отраженного излучения регистрируется фотоприемником 2. Сигнал с фотоприемника 2 поступает в блок обработки 3. В блоке обработки по данным измерений определяется зависимость мощности отраженного излучения от длины волны, находятся на основе этой зависимости коэффициент отражения и его вторая производная, проводится проверка выполнения соотношений (1) и делается вывод о наличии или отсутствии нефтяных загрязнений. Параметры отраженного излучения для чистой водной поверхности, например, регистрируются в начале измерений при полете над заведомо чистым участком водной поверхности и хранятся в памяти блока 3. При облете исследуемой акватории результатом работы блока 3 является массив данных о наличии нефтяных загрязнений.

Теоретические расчеты и экспериментальные исследования показывают, что физической основой дистанционного обнаружения нефтяных загрязнений на водной поверхности методом оптического зондирования является наличие контраста яркости отраженного излучения от чистой водной поверхности и водной поверхности, покрытой пленкой нефти. Для гладкой водной поверхности этот контраст обусловлен тем, что коэффициент отражения R_{ref} нефтяной пленки (трехслойной системы «воздух - пленка нефтепродукта - вода») отличается от коэффициента отражения R_w чистой водной поверхности (двухслойной системы «воздух - вода») (см., например, [3, 4]).

В случае присутствия на водной поверхности нефтяных загрязнений коэффициент отражения R_{ref} будет зависеть от толщины нефтяной пленки d , оптических характеристик нефти и от длины волны излучения λ . При вертикальном падении излучения на поверхность для коэффициента отражения трехслойной системы «воздух - пленка (нефтепродукта) - вода» $R_{ref}(\lambda, d)$ имеем (см., например [5]):

$$R_{ref}(\lambda, d) \equiv \frac{r_{12}^2 + r_{23}^2 T^2(\lambda) + 2r_{12}r_{23}T(\lambda) \cos[2\beta(\lambda, d)]}{1 + r_{12}^2 + r_{23}^2 T^2(\lambda) + 2r_{12}r_{23}T(\lambda) \cos[2\beta(\lambda, d)]},$$

где

$$T(\lambda) = \exp\left(-\frac{4\pi k_2(\lambda)d}{\lambda}\right) \quad ; \quad r_{12} = -\frac{\sqrt{(1 - n_2(\lambda))^2 + k_2^2(\lambda)}}{\sqrt{(1 + n_2(\lambda))^2 + k_2^2(\lambda)}} \quad ;$$

$$r_{23} \sqrt{\frac{(n_2(\lambda) - n_3(\lambda))^2 + (k_2(\lambda) - k_3(\lambda))^2}{(n_2(\lambda) + n_3(\lambda))^2 + (k_2(\lambda) + k_3(\lambda))^2}} \quad ; \quad \beta(\lambda, d) = \frac{2\pi d}{\lambda} n_2(\lambda) \quad ;$$

$n_{2,3}(\lambda)$, $k_{2,3}(\lambda)$ - показатели преломления и поглощения нефти и воды соответственно;

r_{12}^2 , r_{23}^2 - коэффициенты отражения на границе сред «воздух - нефть» и «нефть - вода»

соответственно;

$T(\lambda)$ - пропускание пленки нефти.

Индексы 1, 2, 3 относятся к воздуху, нефти и воде (для воздуха показатель преломления принят равным 1, а показатель поглощения - 0).

Из формулы для $R_{ref}(\lambda, d)$ видно, что в общем случае из-за интерференции излучения, отраженного от границ раздела «воздух - пленка нефтепродукта» и «пленка нефтепродукта - вода», коэффициент отражения $R_{ref}(\lambda, d)$ является периодической функцией длины волны излучения λ и толщины пленки d .

При толщине пленок десятые доли и единицы микрометров периодическая зависимость величины $R_{ref}(\lambda, d)$ от длины волны излучения λ , и толщины пленки d очень существенна. Она приводит к тому, что для тонких пленок возможны ситуации, когда измеренный (в условиях шумов измерения) коэффициент отражения трехслойной системы «воздух - пленка нефтепродукта - вода» $R_{ref}(\lambda, d)$ оказывается (в точках минимума $R_{ref}(\lambda, d)$) примерно равным и даже меньшим коэффициента отражения на границе сред «воздух - вода» r_{13}^2 ; (см. фиг.2, где приведены результаты расчетов для длины волны 0,65 мкм, здесь 1 - $R_{ref}(\lambda, d)$, 2 - r_{12}^2 , 3 - r_{13}^2). Это практически

не позволяет проводить надежное обнаружение (с высокой вероятностью правильного обнаружения) тонких пленок нефти на водной поверхности при единичных измерениях и существенно ухудшает вероятность правильного обнаружения при усреднении по серии измерений. Фиг.2 приведена для случая относительного среднеквадратического значения шума измерения 4%, однако подобные ситуации возможны и при гораздо меньшем шуме (но они будут более редкие).

Для увеличения вероятности правильного обнаружения тонких пленок нефти на водной поверхности необходимо привлекать дополнительную информацию из данных измерений. Одним из вариантов является использование (для увеличения вероятности правильного обнаружения) результатов измерения второй производной (по длине волны излучения) коэффициента отражения системы «воздух - пленка нефтепродукта - вода».

Алгоритм обнаружения пленок нефтепродуктов на водной поверхности может быть пороговым: если одновременно выполняются соотношения $R_{ref} > R_w$ и $\frac{d^2 R_{ref}}{d\lambda^2} > \frac{d^2 R_w}{d\lambda^2}$, то принимается решение о наличии нефтяной пленки на водной поверхности.

Таким образом, для обнаружения пленок нефтепродуктов на водной поверхности необходимо провести измерение коэффициента отражения системы «воздух - пленка нефтепродукта - вода», определить его вторую производную и сравнить их с пороговыми значениями (значениями коэффициента отражения и его второй

производной для чистой водной поверхности). Коэффициент отражения на длине волны λ можно определить, измеряя мощность отраженного излучения на длине волны λ при известной мощности излучения источника (например, используя схему измерения, в которой весь отраженный от поверхности оптический пучок попадает в приемный объектив). Вторая производная коэффициента отражения вычисляется по данным измерений спектральной зависимости коэффициента отражения в узком спектральном интервале, что может быть реализовано, используя один перестраиваемый по длине волны в узком диапазоне лазер видимого, ближнего или среднего ИК диапазонов спектра.

В таблице в качестве примера приведены результаты расчетов вероятности правильного обнаружения.

Вероятность правильного обнаружения пленок нефтепродуктов на водной поверхности			Таблица
Толщина пленки, мкм	$P_{по}$		
	1	2	
0,2189	0,41306	0,99519	
0,4378	0,64947	1,00000	
0,6566	0,83604	1,00000	
0,8755	0,93902	1,00000	
1,0944	0,98282	1,00000	
1,3132	0,99592	1,00000	
1,5321	0,99921	1,00000	
1,7509	0,99989	1,00000	
1,9699	0,99999	1,00000	
2,1887	1,00000	1,00000	

Расчеты в таблице проведены в точках минимума коэффициента отражения $R_{ref}(\lambda, d)$ (см. фиг.2). В точках, отличных от точек минимума $R_{ref}(\lambda, d)$, вероятности правильного обнаружения всегда больше. При расчетах значение относительного среднеквадратического значения шума измерения принималось равным 1,5%, длина волны излучения - 0,65 мкм.

Расчеты проводились для двух способов обнаружения пленок нефти на водной поверхности:

- способа, использующего только данные измерений коэффициента отражения $R_{ref}(\lambda, d)$ (колонка 1 таблицы);
- предлагаемого способа, использующего данные измерений коэффициента отражения $R_{ref}(\lambda, d)$ и его второй производной (колонка 2 таблицы).

Из Таблицы видно, что для тонких пленок нефтепродуктов (с толщиной пленок нефтепродуктов меньше 2 мкм) предлагаемый способ обнаружения обеспечивает гораздо большую вероятность правильного обнаружения.

Таким образом, предлагаемый способ, основанный на измерении коэффициента отражения и его второй производной, позволяет обнаруживать тонкие пленки нефтепродуктов (с толщиной от десятых долей мкм до единиц мкм) с вероятностью правильного обнаружения близкой к единице.

Заявляемое изобретение направлено на решение задачи увеличения надежности обнаружения нефтяных загрязнений на водной поверхности. Известные способы обнаружения нефтяных загрязнений на поверхности воды могут ошибочно идентифицировать как "чистая водная поверхность" участки водной поверхности с тонкими пленками нефтепродуктов.

Неконтактный способ обнаружения нефтяных загрязнений на поверхности воды,

основанный на измерении коэффициента отражения и его второй производной, позволяет с высокой достоверностью обнаруживать тонкие пленки нефтяных загрязнений на водной поверхности.

5 Данное устройство может быть собрано на предприятиях РФ из компонент и узлов, изготавливаемых в РФ, и соответствует критерию "промышленная применимость".

Источники информации

1. Авторское свидетельство СССР N1354073, кл. G01N 21/55, 1987.

2. Патент РФ на изобретение №2298169, кл. G01N 21/55, 2007.

10 3. Радиофизический мониторинг загрязнений природной среды / Белов М.Л., Городничев В.А., Козинцев В.И. и др. М.: Аргус, 1994, 107 с.

4. Оптико-электронные системы экологического мониторинга природной среды / Козинцев В.И., Орлов В.М., Белов М.Л. и др. М.: Изд-во МГТУ, 2002, 528 с.

15 5. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973, 719 с.

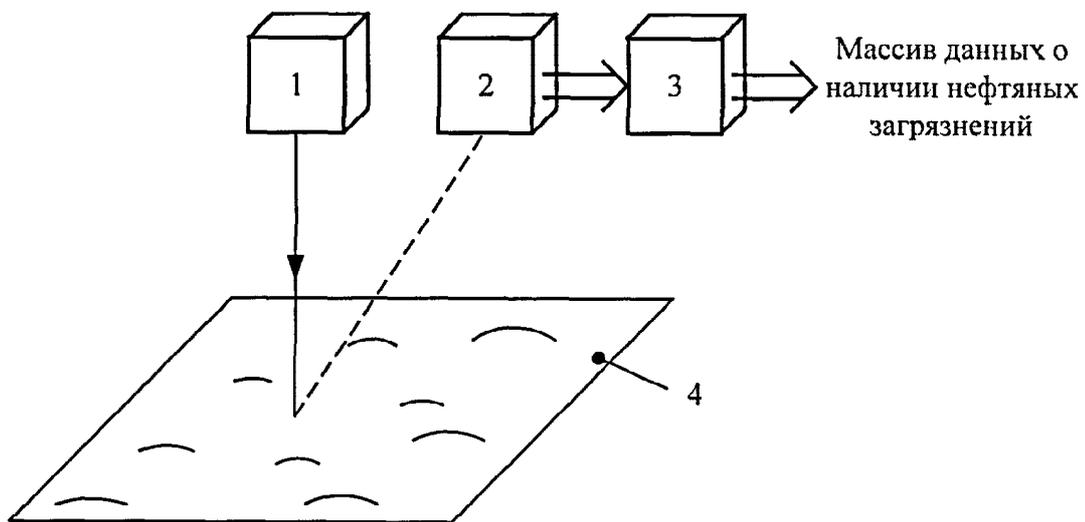
Формула изобретения

Неконтактный способ обнаружения нефтяных загрязнений на водной поверхности путем облучения поверхности воды импульсным пучком оптического излучения и приема отраженного сигнала с последующим сравнением сигналов, отраженных от поверхности чистой и исследуемой воды, для принятия решения о наличии нефтяной пленки, отличающийся тем, что при облучении поверхности перестраивают в узком спектральном диапазоне длину волны излучения, определяют зависимость мощности отраженного излучения от длины волны, находят на основе этой зависимости коэффициент отражения и его вторую производную, а о наличии нефтяной пленки судят по выполнению одновременно двух соотношений

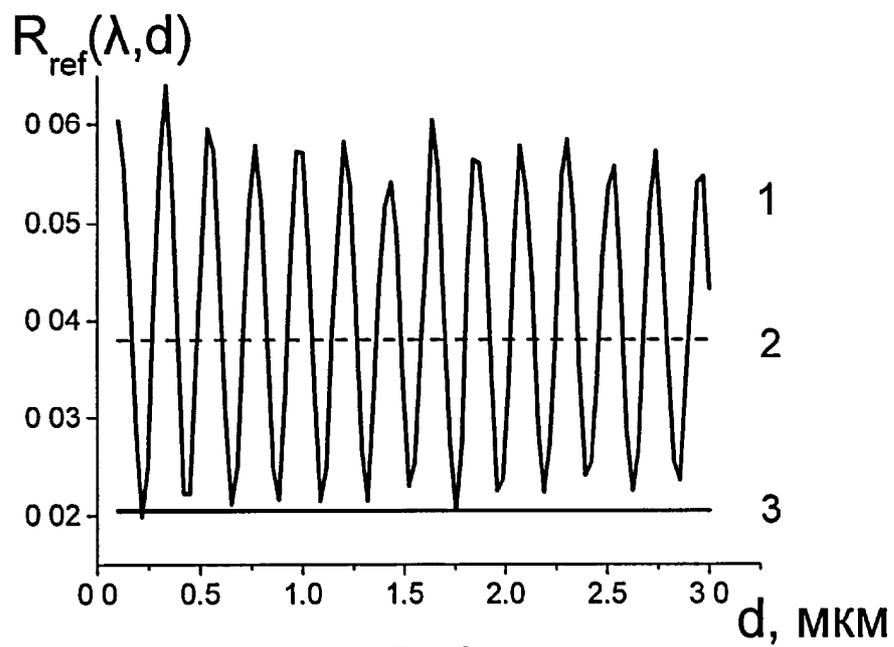
$$R_{\text{ref}} > R_w \quad \text{и} \quad \frac{d^2 R_{\text{ref}}}{d\lambda^2} > \frac{d^2 R_w}{d\lambda^2},$$

30 где R_{ref} , R_w - коэффициенты отражения от исследуемой и чистой водных поверхностей;

$\frac{d^2 R_{\text{ref}}}{d\lambda^2}$, $\frac{d^2 R_w}{d\lambda^2}$ - вторые производные по длине волны коэффициента отражения от
35 исследуемой и чистой водных поверхностей.



Фиг.1



Фиг.2