

ОПТИЧЕСКИЙ РЕГИСТРАТОР НЕФТЯНЫХ ПЛЕНОК НА ВЗВОЛНОВАННОЙ ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

© 2005 г. Е. Н. Анучин*, И. А. Грачев**, канд. хим. наук; А. З. Зурабян*, канд. физ.-мат. наук;
А. П. Попов**, канд. физ.-мат. наук

* ВНИИ "Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова", Санкт-Петербург

** ООО "Люмэкс-АвтоХимКонтроль", Санкт-Петербург

Разработан и апробирован дистанционный метод индикации нефтяных загрязнений водной поверхности с помощью зондирования ее расходящимся световым пучком оптического локатора. Преимуществом данного метода является существенное снижение влияния ветрового волнения на результаты работы прибора.

Коды OCIS: 010.1120, 010.4450.

Поступила в редакцию 14.09.2004.

Разработка приборов для обнаружения нефтяных загрязнений водной поверхности является одной из важных экологических задач. Преимущества применения оптических методов для ее решения основаны на возможности проводить дистанционные измерения с высоким пространственно-временным разрешением. В прежних работах по этому направлению использовалось различие коэффициентов отражения света воды и нефтепродуктов [1, 2]. Сложности, с которыми столкнулись авторы [1, 2], заключались во влиянии ветрового волнения на показания датчиков, так как отраженный световой поток зависит не только от наличия нефти, но и от формы поверхности.

В основу предлагаемого метода положены результаты, представленные в [3–5]. Авторами монографии [3] показано, что при зондировании взволнованной поверхности электромагнитным излучением от точечного источника среднее значение интенсивности отраженного светового поля при выполнении определенных условий не зависит от статистических свойств формы поверхности. Оказывается, что на среднее значение мощности отраженного излучения, принимаемого совмещенным с излучателем точечным приемником, влияют лишь коэффициент отражения невозмущенной поверхности и расстояние до нее. Очевидно, что данный результат может быть использован при обнаружении нефтяных пленок.

В работах [4, 5] приведены результаты по восстановлению пространственно-временных зависимостей статистических характеристик поля уклонов морской поверхности с помощью оптического локатора. Модернизация этого метода позволила определять коэффициент отражения гладкой поверхности, несмотря на наличие ветрового волнения во время проведения измерений.

товым пучком оптического локатора, установленного на расстоянии z_0 от невозмущенной водной поверхности. Возвышения поверхности описываются случайной функцией от координат и времени $z = z(r, t)$. Измеряемым сигналом является интенсивность отраженного назад излучения, прошедшего через приемный объектив. Регистрация сигналов осуществляется с помощью одноканального приемного фотоэлектронного устройства.

В [3] в приближении Кирхгофа проведен расчет среднего значения интенсивности $\langle I \rangle$, принимаемого совмещенным с излучателем точечным приемником (угловые скобки означают осреднение по ансамблю реализаций сигнала). Вычисления проводились для пространственно-однородной крупномасштабной поверхности (когда выполняется условие малости длины световой волны по сравнению со средним радиусом кривизны поверхности) и при малых (по сравнению с единицей) значениях модулей градиентов возвышений (наклонов) поверхности (при данной геометрии метода это позволяет пренебречь учетом многократных отражений и затенений). С учетом размеров приемного объектива и при выполнении условия

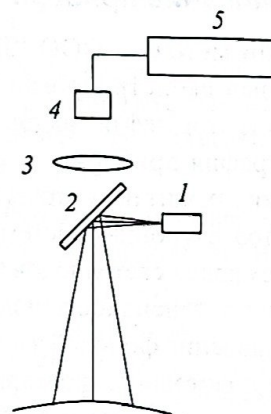


Рис. 1. Схема метода индикации загрязнений. 1 – излучатель, 2 – светоделитель, 3 – приемный объектив, 4 – приемное фотоэлектронное устройство, 5 – блок обработки.

Описание метода

Упрощенная схема метода представлена на рис. 1. Водная поверхность освещается расходящимся све-

$$\gamma \gg \langle |\nabla z| \rangle \quad (1)$$

(γ – расходимость пучка) среднее значение сигнала пропорционально величине

$$\langle I \rangle \sim \frac{VI_0 d^2}{z_0^2}, \quad (2)$$

где V – коэффициент отражения гладкой (невозмущенной) поверхности, I_0 – интенсивность светового пучка, d – диаметр приемного объектива. Из данных соотношений видно, что при зондировании водной поверхности достаточно широко расходящимся световым пучком среднее значение сигнала локатора не зависит от статистических характеристик ее формы. Данный факт имеет простое геометрическое объяснение. Действительно, появление неровностей на поверхности ведет к рассеянию света центральной частью освещенного на ней круга и попаданию отраженного света на приемник от его периферии, т. е. к перераспределению световых потоков, отраженных центром и периферией освещенной поверхности.

Таким образом, при выполнении (1) и постоянном значении расстояния до поверхности измерение среднего значения сигнала прибора позволяет с точностью до постоянного множителя определить коэффициент V .

Так как нефть в обычно используемой области спектра (видимый и ближний ИК диапазоны) отражает свет от двух до пяти раз сильнее, чем вода, полученный результат можно применить для индикации нефтяных загрязнений водной поверхности.

Отметим, что выполнению условия (1) способствует известный факт выравнивания поверхности, покрытой нефтяной пленкой. В [3] также показано, что при возрастании уровня ветрового волнения, когда уклоны волн увеличиваются и (1) перестает выполняться, среднее значение сигнала прибора уменьшается.

Описание прибора

Для апробации метода в ООО “Люмэкс-АвтоХимКонтроль” был сконструирован и изготовлен оптический регистратор нефтяных пленок. На рис. 2 приведена фотография прибора.

В состав датчика входит излучатель и одноканальная приемная оптоэлектронная система. Излучатель собран на базе трех ярких светодиодов EP2036-150R1 и блока модуляции интенсивности излучения, необходимого для подавления фоновой засветки. Приемник включает в себя фотодиод, предварительный усилитель, резонансный усилитель и детектор.

Основные технические характеристики прибора:

диапазон толщин регистрируемых нефтяных пленок, мкм	от 1
время осреднения сигнала, с	10–20

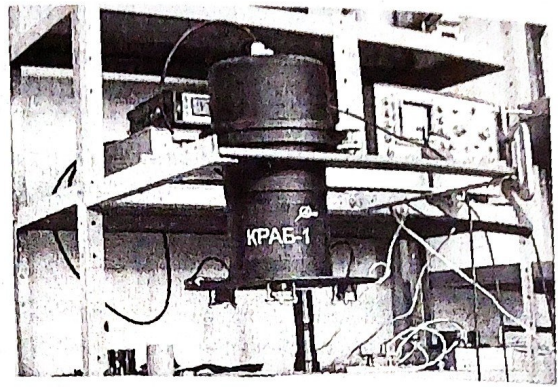


Рис. 2. Фотография экспериментального образца прибора.

угол расходимости зондирующего пучка, град	30
высота установки датчика, м	до 5
частота модуляции излучения, кГц	10
яркость зондирующего излучения, кд	24
длина волны, нм	620
потребляемая мощность, Вт	до 10
электрическое питание, В	12
габариты датчика:	
диаметр, мм	200
высота, мм	300
масса датчика, кг	3,5

Датчик прибора может находиться на мосту, буре, авиационном носителе и т. п.

Результаты испытаний

Целью выполненных лабораторных испытаний являлась проверка работоспособности метода и созданной аппаратуры. Датчик прибора устанавливался на высоте 1 м относительно водной поверхности (вода наливалась в кювету 1×1,3×0,3 м). Сигналы с датчика прибора поступали на вход встроенного в компьютер аналогово-цифрового преобразователя. Обработка сигналов проводилась в реальном масштабе времени. Для создания различной степени ветрового волнения использовался вентилятор с регулируемой частотой вращения лопастей.

На рис. 3 приведены записи усредненных сигналов, полученных при регистрации поверхностных пленок нефтепродукта (машинное масло ТМ22). Область I соответствует сигналам от чистой поверхности (Ia – невозмущенная поверхность, Ib – взволнованная поверхность). Область II соответствует сигналам от масляной пленки (IIa – невозмущенная поверхность, IIb – взволнованная поверхность). Уклоны возмущенной водной поверхности не превышали 20°. Полученная при измерении среднего сигнала от чистой невозмущенной поверхности величина использовалась в качестве порога обнаружения нефтяных загрязнений. Он равен максимальному среднему значению сигнала от чистой водной поверхности.

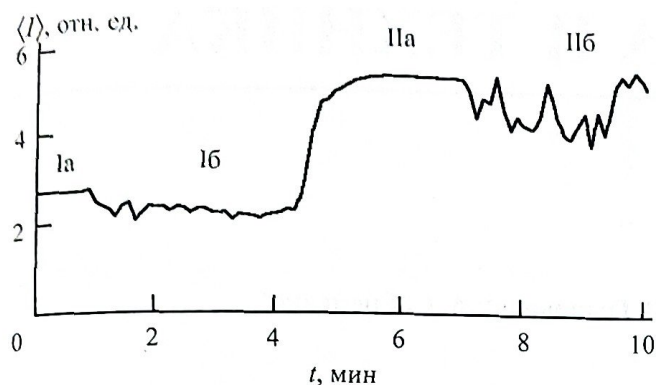


Рис. 3. Пример записи усредненных сигналов (время осреднения 10 с).

Как видно из данного рисунка, величина среднего значения сигнала при работе с масляной пленкой существенно возросла и превысила порог обнаружения загрязнений даже при взволнованной поверхности.

Пределы применимости метода

Пределы применимости метода определяются методической погрешностью измерения коэффициента отражения I водной поверхности с помощью созданного прибора. На данную погрешность влияют ограниченность выборки реализации сигналов прибора (статистическая погрешность) и то, насколько выполнимо условие (1) (степень волнения). Контроль и учет характеристик формы поверхности в натурных условиях для более точного восстановления величины I является достаточно сложной задачей, которая не рассматривается в настоящей работе.

Для экспериментальной оценки статистической погрешности измерений I определялся разброс значений $\langle I \rangle$ при заданном ветровом волнении. В условиях эксперимента относительная погрешность $\langle I \rangle$ при времени осреднения 10 с и наклонах поверхности до 20° не превышала 10%. При определении влияния выполнимости (1) на погрешность определения I измерения проводились при различной степени взволнованности поверхности.

На рис. 4 представлены примеры записи сигналов, полученных при отражении от чистой водной поверхности при разной силе ветра.

Линии I, II и III получены при среднеквадратичных значениях наклонов поверхности, близких к 0° (невозмущенная поверхность), 10° и 20° соответственно. Средние значения сигналов составили $9,0 \pm 0,8$, $7,8 \pm 0,6$ и $6,2 \pm 0,5$ относительных величин. Таким образом, уменьшение среднего уровня сигнала при возмущении поверхности в данном эксперименте составляло величину порядка 30%.

Следовательно, методическая погрешность измерения I с помощью созданного прибора при на-

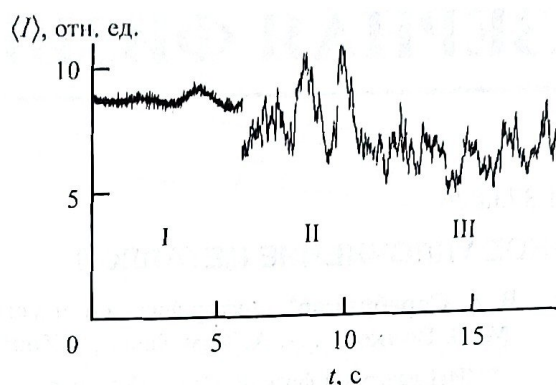


Рис. 4. Записи сигналов от чистой водной поверхности при различной степени ветрового волнения.

клонах поверхности до 20° и времени осреднения 10 с в условиях эксперимента составляет 40%. С учетом разницы коэффициентов отражения воды и нефтепродуктов на используемой длине волны ($\approx 100\%$) данной точности достаточно для индикации поверхностных нефтяных загрязнений.

Выводы

Создан экспериментальный образец оптического индикатора нефтяных пленок на взволнованной водной поверхности.

По результатам проведенных лабораторных испытаний показана работоспособность разработанного метода индикации нефтяных загрязнений водной поверхности и созданной аппаратуры.

Относительная погрешность измерения коэффициента отражения водной поверхности с помощью созданного прибора не превышает 40% при уклонах волн до 20° .

ЛИТЕРАТУРА

1. Шифрин К.С. Дистанционное изучение загрязнения моря нефтью // Оптика океана и атмосферы. Баку: ЭЛМ, 1983. С. 5.
2. Кропоткин М.А., Шевелева Т.Ю. Лазерная локация нефтяных загрязнений вод // Оптические методы изучения океанов и внутренних водоемов. Новосибирск: Наука, 1979. С. 188.
3. Басс Ф.Г., Фукс И.М. Рассеяние волн на статистически неровных поверхностях. М.: Наука, 1972. 424 с.
4. Зурабян А.З., Тибилов А.С. Определение статистических характеристик уклонов морской поверхности при помощи оптического лоатора // Изв. АН СССР. Сер. ФАО. 1987. Т. 23. № 2. С. 194–199.
5. Зурабян А.З., Качурин В.К. Определение статистических характеристик поля уклонов морской поверхности при помощи многоканального оптического лоатора // Оптический журнал. 2003. № 3. С. 3–7.