

Обобщенный алгоритм синтеза флуоресцентного и комбинированного методов определения показателей загрязнения морских вод нефтью и нефтепродуктами

А.Ф. Ахмедов, нач. отдела, диссертант¹

С.Н. Абдуллаева, доцент, канд. техн. наук²

¹НИИ аэрокосмической информатики, г. Баку, Азербайджан

²Азербайджанская государственная нефтяная академия, г. Баку, Азербайджан

email: asadzade@rambler.ru

Ключевые слова:

контроль загрязнения,
дистанционный контроль,
нефтяные загрязнения,
флуоресценция,
лазеры.

Предложен обобщенный алгоритм комплексного определения параметров слива нефти в море на основе трех последовательных измерений выделенных признаков. На основе проведенного обзора научной литературы определены признаки для независимых измерений параметров слива нефти. Приведены результаты экспериментальной проверки предложенного комплексного алгоритма.

1. Формализация задачи

Обнаружение и количественная оценка разлива нефти в различных водоемах является важнейшей задачей защиты окружающей среды. Основные задачи дистанционной диагностики разливов нефти следующие:

- быстрое картирование масштабов разлива нефти;
- идентификация типа нефти;
- оценка количества вылитой нефти;
- измерение толщины нефтяной пленки на морской поверхности.

Очевидно, что выполнение первой из этих задач невозможно без выполнения трех остальных. В настоящей статье мы рассмотрим вопросы синтеза обобщенного алгоритма решения вышеуказанных задач и конкретные вопросы его реализации.

Для формализации задачи допустим, что параметры разлива нефти в море определяют множество X , имеющее вид

$$X = \{X_i\}; i = \overline{1, n}.$$

В число этих параметров входят: X_1 — тип нефти; X_2 — количество вылитой нефти; X_3 — толщина нефтяной пленки и др. При этом считаем, что некоторые параметры изменяются в двухмерном геометрическом пространстве. Далее, допустим, что известны признаки однозначного определения вышеуказан-

ных параметров. При этом множество признаков, по которым можно определить параметр X_i , обозначим как Y_i , где

$$Y_i = \{Y(X_j)_j\}; j = \overline{1, m}.$$

Далее, допускаем, что известны признаки неоднозначного определения вышеуказанных параметров. Такие признаки обозначим как $Z(X_i/X_k)_i$; $i \neq k$; $k = \overline{1, n}$; $l = \overline{1, d}$. При этом запись $Z(X_i/X_k)_i$ означает, что признак Z позволяет определить параметр X_i только при наличии информации о значении параметра X_k , изменчивого по полю.

Таким образом, существует множество признаков неоднозначного определения параметров слива нефти X_i

$$Z_i = \{Z(X_i/X_k)_i\}.$$

Вышеизложенный формализм позволяет синтезировать следующий обобщенный алгоритм определения параметров слива нефти в море путем последовательных измерений.

1. Измеряется один из однозначных признаков, определяющих параметр X_i . Устанавливается величина параметра X_i .

2. Измеряется один из неоднозначных признаков, определяющих X_i . Допустим, измеряемым неоднозначным признаком будет $Z(X_i/X_k)_i$. Фикси-

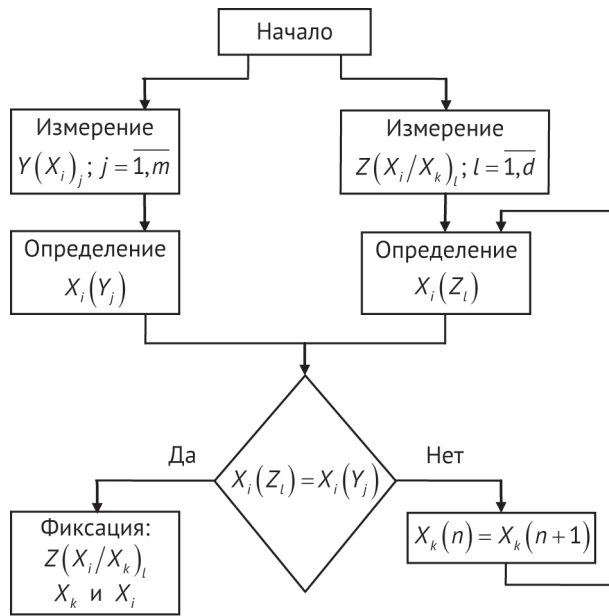


Рис. 1. Блок-схема обобщенного алгоритма определения основных показателей загрязнения поверхности морских вод нефтью

руется значение $Z(X_i/X_k)_l$. Проводится серия последовательных измерений по всем значениям параметра X_k по двумерному полю, пока полученная величина X_i не совпадет со значением, полученным в п. 1.

3. Фиксируются величины X_i , а также X_k , при которой

$$X_i(\text{пункт 1}) = X_i(\text{пункт 2})$$

Таким образом, предлагаемый обобщенный алгоритм позволяет определить искомый параметр слива нефти в двумерном поле. Блок-схема предлагаемого обобщенного алгоритма показана на рис. 1.

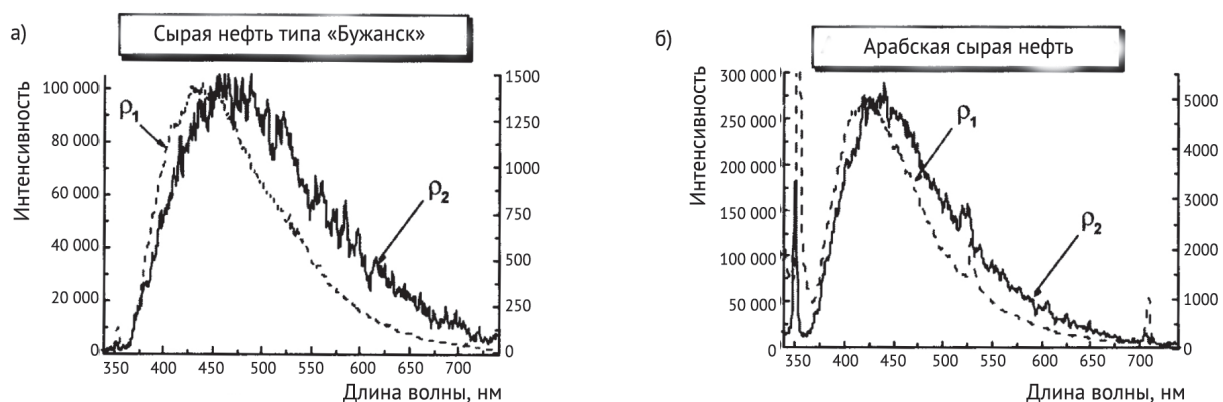


Рис. 2. Эффект смещения флуоресцентного спектра в сторону «синей» зоны при увеличении мощности возбуждающего лазера в нелинейном режиме: а) сырая нефть типа «Бужанск»; б) Арабская сырая нефть [1]

2. Признаки слива нефти

Для конкретизации проводимого анализа рассмотрим некоторые известные однозначные и двухзначные признаки определения такого параметра слива нефти, как тип слитой нефти.

Сначала приведен краткий и далеко неполный обзор однозначных признаков определения типа слитой нефти. Как сообщается в [1], для определения типа слитой в море нефти может быть применен метод нелинейной флуоресцентной спектроскопии.

Суть этого метода заключается в возбуждении нефтяной пленки с помощью мощного лазерного источника, в результате чего происходит насыщение процесса возбуждения излучаемой среды и нарушается пропорциональность между интенсивностью флуоресцентного излучения и интенсивностью излучения лазерного источника. Проведенные исследования показали, что после перехода в нелинейный режим имело место смещение флуоресцентного спектра в сторону «синей» спектральной зоны на величину 20–50 нм. При этом величина такого смещения зависит от типа исследуемой нефти. В качестве примера на рис. 2 приведены флуоресцентные спектры нефти типа «Бужанск» (тип Б, рис. 2а) и типа Арабской сырой нефти (тип А, рис. 2б) для двух режимов возбуждения:

- 1) мощными лазерными импульсами (пунктирная кривая и левая координатная шкала);
- 2) слабыми лазерными импульсами (непрерывная кривая и правая координатная шкала).

Как сообщается в [2], тип слитой в море нефти можно различить по расположению максимума во флуоресцентном спектре. Так, например, у легкой нефти максимум флуоресцентного спектра располагается в интервале длины волн 350–400 нм; у тяжелой нефти типа «А» в диапазоне 400–450 нм; у тяжелой нефти типа «С» в диапазоне 450–500 нм.

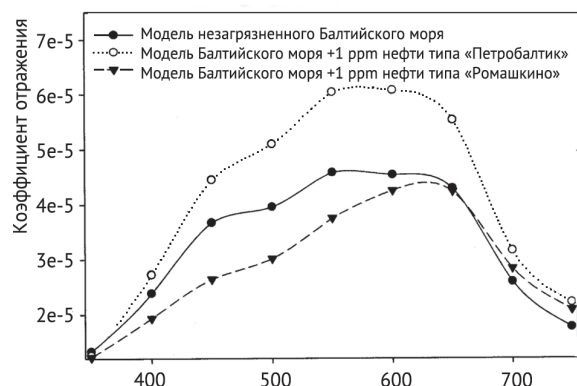


Рис. 3. Зависимость спектра отражения для модели Балтийского моря, загрязненного нефтью типа «Петробалтик» и «Ромашкино» [3]

Как отмечено в [1], по результатам экспериментальных исследований времени затухания флуоресцентного сигнала, проведенные с помощью лазера на длине волны 355 нм, а также регистрации сигнала флуоресценции на длине волны 450 нм можно сделать следующие выводы:

- время жизни различных типов сырой нефти различается и находится в пределах 1–3,5 нс;
- переработанные продукты нефти имеют более длительное время жизни (3,5–8 нс).

Определение типа нефти

Согласно [3] тип нефти на поверхности моря можно определить по измеренной величине коэффициентов поглощения, рассеяния и отражения при использовании методов дистанционного зондирования. В качестве примера на рис. 3 показана зависимость коэффициента отражения от длины волны для двух типов нефти — «Петробалтик» и «Ромашкино».

Рассмотрим многозначные признаки определения типа нефти.

Согласно [1], лидарный метод мониторинга разливов нефти в воде базируется на обнаружении и анализе флуоресцентной реакции загрязнителя, а также на оценке степени подавления сигнала Рамановского рассеяния воды нефтяной пленкой. Сообщается о применении в экспериментальных исследованиях Nd:YAG лазера с длительностью импульса 0,3 нс, работающего на третьей гармонике, на длине волны 355 нм. При возбуждении воды, покрытой тонкой нефтяной пленкой, лазером УФ-диапазона появляются следующие спектральные сигналы излучения воды:

- пик Рамановского излучения воды;
- спектральный широкополосный сигнал с максимумом в УФ-диапазоне для легких очищенных фракций нефти;
- спектральный широкополосный сигнал с максимумом в видимом диапазоне (420–490 нм) для сырой нефти.

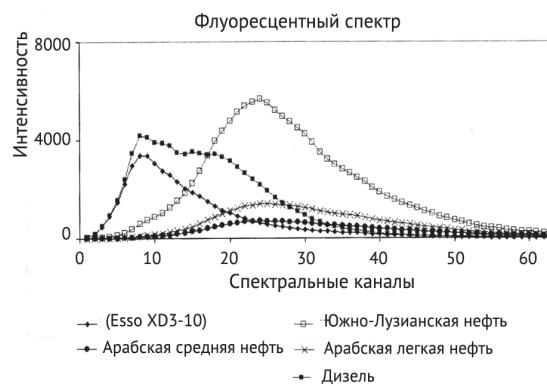


Рис. 4. Спектры флуоресцентного излучения для различных типов нефти [1].

При этом величина максимума зависит от типа нефти и толщины нефтяной пленки. Следовательно, в данном случае величина максимума является двузначным признаком.

Определение толщины пленки

Рассмотрим некоторые известные однозначные признаки определения толщины нефтяной пленки на морской поверхности. В [1] сообщается о возможности использовать признак изменения соотношения двух спектральных компонентов Рамановского спектра воды. При этом толщина нефтяной пленки d определяется как

$$d = \frac{\ln\left(\frac{\rho_0}{\rho_{film}}\right)}{k(\lambda_1) - k(\lambda_2)},$$

где ρ_0 — отношение двух Рамановских интенсивностей на длине волн λ_1 и λ_2 в чистой воде, вне нефтяного пятна; ρ_{film} — отношение Рамановских интенсивностей рассеянного излучения воды из-под пленки нефти; $k(\lambda_1)$ и $k(\lambda_2)$ — коэффициенты ослабления, соответственно на длине волны возбуждения и на длине волны Рамановского излучения.

В соответствии с [1], значения длины волн λ_1 и λ_2 определяются следующим образом: $\lambda_1 \approx 342$ нм; $\lambda_2 \approx 344$ нм. В качестве примера на рис. 4 приведена экспериментально снятая зависимость величины интегрального Рамановского излучения от толщины нефтяной пленки [1].

3. Реализация алгоритма

Как было отмечено выше, предлагаемый обобщенный алгоритм определения основных параметров слива нефти на поверхность моря предусматривает использование как однозначных, так и двузначных признаков. Рассмотрим характерный

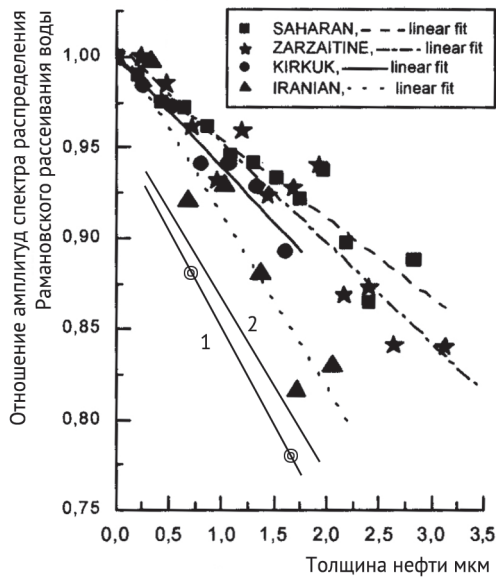


Рис. 5. Зависимость отношения амплитуд спектра Рамановского рассеяния воды от толщины нефтяной пленки и типа нефти [1]
1 – линия, соответствующая иранской нефти, полученная при экспериментальном апробировании предложенного алгоритма;
2 – линия, соответствующая иранской нефти, приведенная в [1]

двузначный признак — отношение Рамановских интенсивностей рассеянного излучения воды из-под пленки нефти ρ_{film} . Согласно [1], зависимость ρ_{film} от толщины нефтяной пленки имеет разный наклон для разных типов нефти, что отражает график на рис. 5. Указанный факт дает возможность осуществить синтез различных вариантов алгоритмов для проведения комплексного исследования нефтяных пятен с помощью лазерно-флуоресцентного анализа.

Предлагаемый обобщенный алгоритм определения параметров слива нефти показан на рис. 6.

Приведем последовательность реализации алгоритма.

1. По однозначному признаку смещения максимума определяется тип нефти.
2. По двузначному признаку — отношению амплитуд в Рамановском спектре — измеряется отношения амплитуд ρ_{film_1} и толщина пленки d_1 в первой фиксированной точке нефтяного пятна.
3. Осуществляются идентичные измерения ρ_{film_2} и d_2 во второй фиксированной точке нефтяного пятна.
4. Вычисляется крутизна

$$\chi = \frac{\rho_{film_1} - \rho_{film_2}}{d_1 - d_2}.$$

5. Используя графики, представленные на рис. 7, по вычисленной величине χ определяют тип вылитой нефти.



Рис. 6. Вариант конкретной реализации комплексного алгоритма определения параметров слива нефти в море

Экспериментальное апробирование предлагаемого обобщенного алгоритма было осуществлено по схеме, показанной на рис. 7. В сосуд 3 была налита вода, в которую добавлены последовательно 2 и 4 капли иранской нефти. Толщина пленок нефти на поверхности воды определялась расчетным путем, исходя из общего объема влитой нефти и площади поверхности сосуда. Согласно проведенным расчетам, толщина нефти в сосуде с площадью поверхности 0,25 кв.м составили 1,2 и 2,4 мкм соответственно.

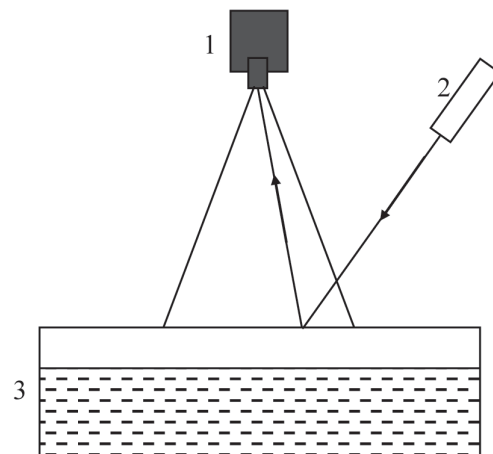


Рис. 7. Схема проведения измерительного эксперимента: 1 – гиперспектрометр; 2 – лазер; 3 – сосуд с водой, загрязненной нефтью

Вычисленные значения отношения амплитуд спектра Рамановского рассеяния составили $0,91 \pm 10\%$ и $0,75 \pm 10\%$. Линия, которая соединяет указанные точки (1,2; 0,91) и (2,4; 0,75), отмеченные двойными кругами, показана на рис. 5. Как видно из приведенных на рис. 5 графиков, крутизна двух линий, характеризующих иранскую нефть, приблизительно совпадает, что подтверждает практическую пригодность предложенного алгоритма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Patsayeva S., Yuzhakov V., Varlamov V., Barbini R., Fantoni R., Frassantino C., Palucci A. Lazer spectroscopy of mineral oils on the water surface // Proceedings of EARSeL-SIG-Workshop LIDAR, Drezden / FRG, June 16–17, 2000. P. 106–114.
2. Yamagishi S., Hitomi K., Yamanouchi H., Yamaguchi Y., Shibata T. Scientific approach to improve slicks monitoring using a fluorescence lidar // From the Nakhodka to the

В заключение сформулируем основные выводы и положения проведенного исследования.

1. Предложен обобщенный алгоритм комплексного определения параметров слитой в море нефти на основе трех последовательных измерений выделенных признаков.
2. На основе проведенного обзора научной литературы определены однозначные и многозначные признаки для измерения параметров слива нефти.

Erika: exchange of experience in at-sea response to offshore oil spills by passing ships. Brest, France, 6th–7th July 2000. P. 77–85.

3. Rudz K., Baszanowska E., Rohde P., Zielinski O. Fluorescence Methods and Monte Carlo Radiative Transfer Simulation Applied to Oil Detection in Baltic Sea // Joint Proceedings. 2011. No 24. Bremerhaven. <http://kepler.amgny.pl/~karudz/publikacje.html>.

Generalized Synthesis Algorithm of Fluorescent and Combined Methods related to Definitions of Indicators of Sea Waters Pollution by Oil and Oil Products

A.F. Akhmedov, Head of Department, Defender of Thesis, Aerospace Informatics Research Institute, Baku, Azerbaijan
S.N. Abdullaeva, Associate Professor, Ph.D. of Engineering, Azerbaijan State Oil Academy, Baku, Azerbaijan

A generalized algorithm of complex determination of marine oil spills parameters based on three consecutive measurements of allocated signs has been offered. Signs for independent measurements of oil spills parameters have been defined based on carried-out scientific literature review. The offered complex algorithm's experimental check results have been reported.

Keywords: pollution control, remote control, oil pollutions, fluorescence, lasers.

Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие науки и технологий» на 2013–2020 годы

Постановлением Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 г. № 301 утверждена государственная программа Российской Федерации «Развитие науки и технологий» на 2013–2020 годы. Программа размещена на официальном сайте Правительства, а также государственных программ Российской Федерации в информационно-телекоммуникационной сети Интернет.

О проведении открытых конкурсов в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы»

Министерство образования и науки Российской Федерации сообщает о проведении конкурсного отбора организаций на предоставление субсидий из федерального бюджета и о проведении открытого конкурса на право заключения государственных контрактов на выполнение работ (оказание услуг) для государственных нужд в рамках реализации федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы».

Конкурсная документация размещена на специализированном сайте Программы, расположенном в сети Интернет по адресу: <http://2014.fcpir.ru> (http://2014.fcpir.ru/participation_in_program/contests/list_of_contests/).

По состоянию на конец апреля объявлены конкурсы по 169 лотам. Регулярно следите за информацией и подавайте заявки на проведение научных исследований.