

DOI: 10.17122/ntj-oil-2018-4-85-91
УДК 501.054

Р.А. Эминов, Н.З. Мурсалов (Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, г. Баку, Азербайджанская Республика), **К.Х. Исмаилов** (Национальная Академия Авиации, г. Баку, Азербайджанская Республика)

ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИНЫ И СТЕПЕНИ ЭМУЛЬСИФИКАЦИИ НЕФТЯНОЙ ПЛЕНКИ НА ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ

Ramiz A. Eminov, Nemat Z. Mursalov (Azerbaijan State Oil and Industrial University, Baku, Republic of Azerbaijan), **Kamal Kh. Ismailov** (National Academy of Aviation, Baku, Republic of Azerbaijan)

QUESTIONS TO CREATE AN OPTIMAL MODEL FOR ESTIMATION OF OIL FILM OPTICAL THICKNESS AND EMULSION DEGREE ON THE SEA SURFACE

Введение

Статья посвящена вопросам построения оптимальной модели для оценки оптической толщины и степени эмульсификации нефтяной пленки на поверхности моря.

Цели и задачи

Усовершенствование известной модели, используемой для определения степени эмульсификации нефтяных пятен. Целью исследования являются учет изменений на периферии нефтяного пятна и усовершенствование метода с помощью устранения влияния шумов, воздействующих при односторонних измерениях.

Результаты

Разработана интегрированная эквивалентная модель, оптимизированная с учетом уменьшения толщины нефтяного пятна на периферийных участках зоны загрязнения моря. Устранение влияния шумов достигается путем перехода на интегрированные измерения в некотором временном диапазоне и дальнейшего проведения оптимизационных процедур по выбору направленности измерений.

Background

The article is devoted to the problems of creating an optimal model for estimating the oil film emulsification optical thickness and the degree on the sea surface.

Aims and Objectives

Improvement of the known model used to determine the oil slicks emulsification degree. The study aim is to take into account the changes at the oil slick periphery and to improve the method by eliminating the noise influence affecting one-dimensional measurements.

Results

An integrated equivalent model has been developed, optimized to take into account the reduction in the oil slick thickness in the peripheral sections of the sea pollution zone. Elimination of the noise influence is achieved by moving to integrated measurements in a certain time range and further optimizing procedures for selecting the measurements directivity.

Ключевые слова: загрязнение моря, оптимизация, эмульсификация, нефтяные пятна, модель

Key words: pollution of the sea, optimization, emulsification, oil spills, model

Введение

Оценка степени нефтяного загрязнения моря в настоящее время осуществляется в основном двумя методами:

- визуально, на основе классификационной таблицы Боннского соглашения [1];
- методом гиперспектрального дистанционного зондирования в видимом и инфракрасном диапазонах [2, 3] и сопоставления полученных спектров отражения со спектрами специально организованной базы данных.

Вопросы моделирования отраженного сигнала с поверхности морской воды, загрязненной слоем нефти, рассмотрены, в частности, в работах [4, 5], где предусмотрены возможности оценки различных показателей загрязнения. Так, в работе [4] предлагается модель, позволяющая определить спектр отражения тонкого слоя эмульсии нефть/вода в коротковолновом инфракрасном (ИК) диапазоне. Согласно этой модели закон распределения водяных капель по размерам существенно влияет на вид спектра отражения, что создает определенные сложности при вычислении толщины и степени эмульсификации нефтяной пленки.

В работе [5] предложена относительно простая модель спектра отражения, сформулированная на базе закона Бугера-Бера. Недостаток этой модели - низкая достоверность полученных результатов из-за отсутствия возможности оценок соответствующих показателей в оптимальном режиме с учетом изменения толщины нефтяного пятна из-за его растекания на поверхности моря.

Целью настоящей статьи является усовершенствование модели, предложенной в [5], путем устранения вышеуказанных недостатков.

Предлагаемый метод

Модель, предлагаемая в [5] для определения степени эмульсификации и толщины

эмульсии, т.е. смеси воды и нефти, имеет следующий вид:

$$R_{rs}(\lambda) = A \cdot \exp\{-\gamma[\tau \cdot \alpha_w(\lambda) + (1-\tau) \cdot \alpha_{oil}(\lambda)] \cdot Z\}, (1)$$

где $R_{rs}(\lambda)$ - амплитудная величина спектра отражения эмульсии на выбранной длине волны;

λ - длина волны;

A, γ - постоянные величины;

τ - степень эмульсификации;

Z - толщина слоя эмиссии, являющаяся переменной величиной на периферии нефтяного пятна;

$\alpha_w(\lambda)$ - коэффициент поглощения воды;

$\alpha_{oil}(\lambda)$ - коэффициент поглощения нефти.

При проведении вычислений искомым показателем считаем, что $\alpha_w(\lambda)$ и $\alpha_{oil}(\lambda)$ известны. Показатель γ также считается известной величиной. Длина волны λ выбирается с учетом свойств пропускания атмосферы. Показатели A, τ и Z подлежат определению при известном значении $R_{rs}(\lambda)$, т.е. по амплитуде величины спектра отражения эмульсии на длине волны λ .

Целью настоящего исследования являются учет изменения показателя Z на периферии нефтяного пятна и усовершенствование данного метода путем устранения влияния шумов, воздействующих при одиночных измерениях. Устранение влияния шумов достигается путем перехода на интегрированные измерения $R_{rs}(\lambda)$ в некотором временном диапазоне (t_1-t_2) и дальнейшего проведения оптимизационных процедур по выбору направленности измерений в зависимости от динамических изменений показателя τ . С учетом динамики изменения показателя τ модель (1) в общем случае принимает следующий вид:

$$R_{rs}(\lambda) = A \cdot \exp \left\{ -\gamma [\tau(t) \cdot \alpha_w + (1 - \tau(t)) \cdot \alpha_{oil}] \cdot Z(t) \right\}. \quad (2)$$

Интегрируя выражение (2) в интервале t_{\min} - t_{\max} получим эквивалентную модель

$$\frac{1}{t_1 - t_2} \int_{t_1}^{t_2} R_{rs}(\lambda) dt = \frac{1}{t_1 - t_2} \int_{t_1}^{t_2} A \cdot \exp \left\{ -\gamma [\tau(t) \cdot \alpha_w + (1 - \tau(t)) \cdot \alpha_{oil}] \cdot Z(t) \right\} dt. \quad (3)$$

Поясним физический смысл вновь введенных функций $Z(t)$ и $\tau(t)$. Смысл функции $Z(t)$ заключается в изменении значения Z в зависимости от направления проводимых измерений: направленность измерений может быть от центра пятна к периферии или наоборот. Что касается функции $\tau(t)$, то она отражает временное развитие процесса эмульсификации, возможно, под воздействием дисперсанта.

Как видно из графиков, представленных на рисунках 1 и 2, с уменьшением доли нефти в эмульсии происходит увеличение отраженного сигнала, т.е. рост степени эмульсификации приводит к увеличению отраженного сигнала.

Как показано на рисунке 3 [6], при увеличении доли дисперсанта в эмульсии происходит существенное изменение формы спектра отражения эмульсии в сторону усиления

отражения в близкой инфракрасной зоне и ослабления в видимой зоне спектра.

Общий вывод из вышеизложенного заключается в том, что процесс эмульсификации приводит к существенному изменению формы спектра отражения. Это обстоятельство позволяет применительно к модели (3) сформулировать следующую задачу оптимизации.

При существовании некоторого ограничения на изменения функции $Z(t)$ следует вычислить оптимальный вид функции $Z(t)$, при котором правая сторона модели (3) достигает максимального значения.

Рассмотрим предлагаемое решение оптимизационной задачи. Применительно к функции $Z(t)$ допускаем следующее ограничительное условие

$$\int_{t_1}^{t_2} Z(t) dt = C_1; \quad C_1 = const. \quad (4)$$

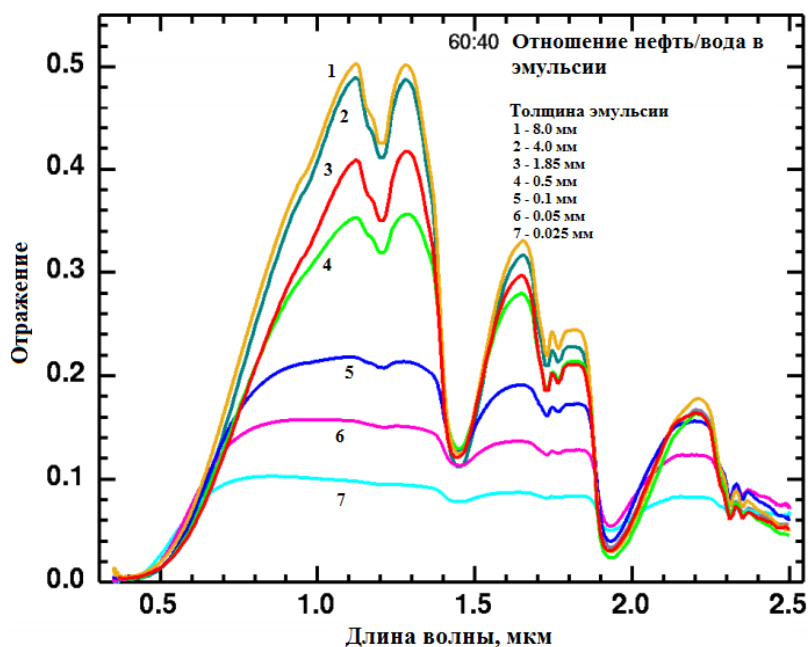


Рисунок 1. Графики зависимости отраженного сигнала от длины волны при отношении нефть/вода в эмульсии 60/40 для разных толщин слоя эмульсии

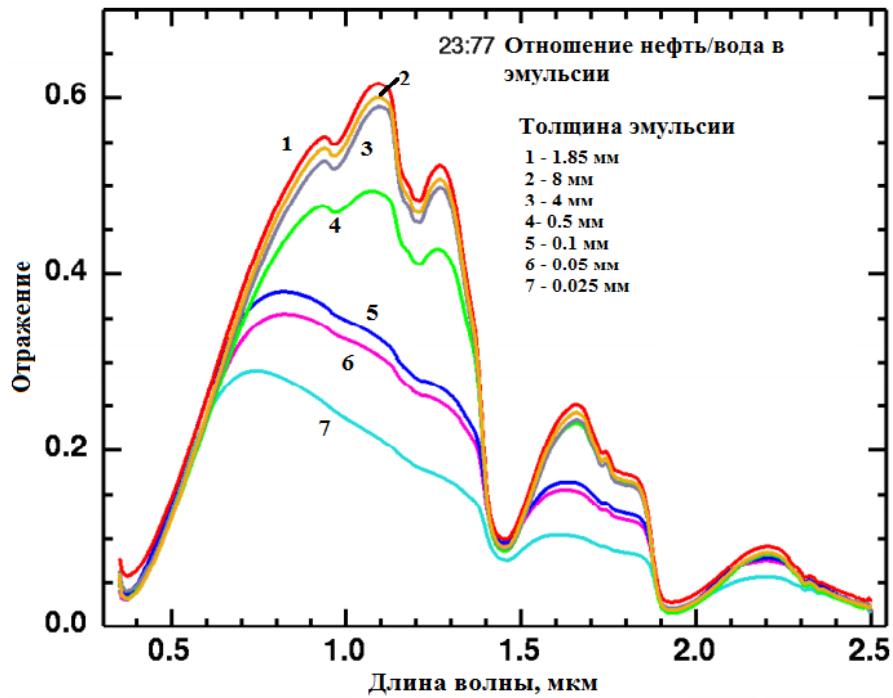
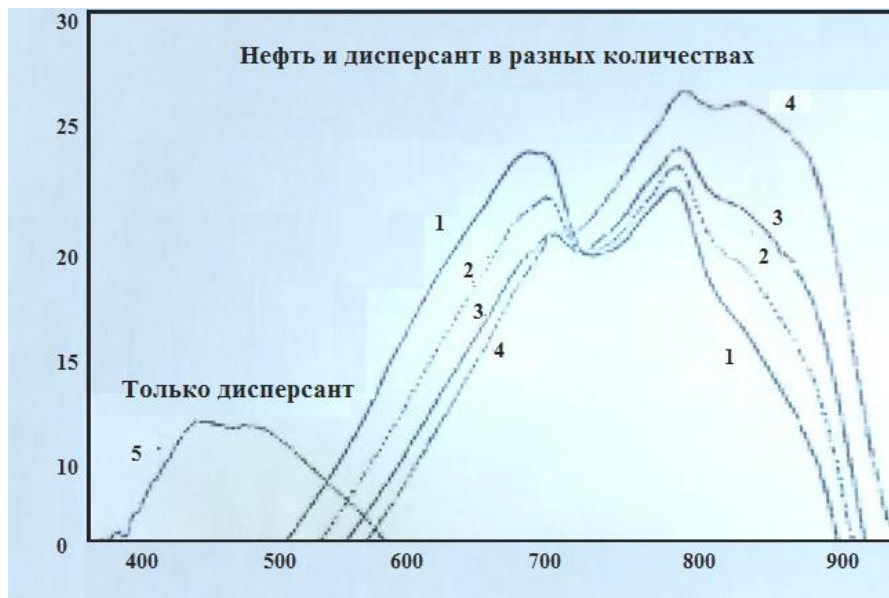


Рисунок 2. Графики зависимости отраженного сигнала от длины волны при отношении нефть/вода в эмульсии 23/77 для разных толщин слоя эмульсии



- 1 - 300 мл нефти + 100 мл дисперсанта + морская вода;
- 2 - 400 мл нефти + 150 мл дисперсанта + морская вода;
- 3 - 650 мл нефти + 350 мл дисперсанта + морская вода;
- 4 - 1000 мл нефти + 800 мл дисперсанта + морская вода;
- 5 - только дисперсant

Рисунок 3. Влияние дисперсанта на форму спектра отражения эмульсии нефть + дисперсant + вода

Далее, с учетом выражений (3) и (4), ставится задача безусловной вариационной оптимизации, заключающаяся в выборе такой функции $Z(t)$, которая привела бы нижеуказанный функционал к максимальной величине:

$$F = \int_{t_1}^{t_2} A \cdot \exp\{-\gamma[\tau(t) \cdot (\alpha_w - \alpha_{oil}) + \alpha_{oil}]\} \cdot Z(t) dt + \beta \cdot \int_{t_1}^{t_2} Z(t) dt, \quad (5)$$

где β - множитель Лагранжа.

Согласно методу Эйлера, решение оптимизационной задачи должно удовлетворять следующему условию:

$$\frac{d\{A \cdot \exp\{-\gamma[\tau(t) \cdot (\alpha_w - \alpha_{oil}) + \alpha_{oil}]\} \cdot Z(t) + \beta \cdot Z(t)\}}{dZ(t)} = 0. \quad (6)$$

Из выражения (6) находим

$$A \cdot \exp\{-\gamma[\tau(t) \cdot (\alpha_w - \alpha_{oil}) + \alpha_{oil}]\} \cdot Z(t) \cdot \{-\gamma[\tau(t) \cdot (\alpha_w - \alpha_{oil}) + \alpha_{oil}]\} + \beta = 0. \quad (7)$$

Из выражения (7) находим

$$Z(t) = \frac{q}{-\gamma[\tau(t) \cdot (\alpha_w - \alpha_{oil}) + \alpha_{oil}]} \cdot \ln \frac{\beta}{A \{-\gamma[\tau(t) \cdot (\alpha_w - \alpha_{oil}) + \alpha_{oil}]\}}. \quad (8)$$

Опуская математические процедуры по вычислению множителя Лагранжа β путем учета выражения (8) в интеграле (4), обозначим вычисленную величину множителя Лагранжа как λ_0 .

Для выявления типа экстремума вычислим вторую производную интегранта функционала (5). Нетрудно убедиться, что вторая производная всегда положительна, т.е. выражение (8) определяет такой порядок изменения $Z(t)$ во времени, при котором функционал (3) достиг бы минимального значения.

Следовательно, можно заключить, что для достижения обратного эффекта, т.е. наибольшего значения критерия (3), направленность изменения во времени показателя $Z(t)$ должна быть обратной к вычисляемой по формуле (8).

Обсуждение и заключение

Согласно полученной формуле (8), функция $Z(t)$ должна убывать во времени, что означает проведение измерений по траектории прохода от центра к периферии, поэтому наиболее целесообразным оказывается проведение измерений по обратной траектории, т.е. от периферии к центру нефтяного пятна.

Это позволяет достичь наибольшей величины функционала (3), а, следовательно, и отношения сигнал/шум при дальнейшей обработке данных на базе критерия (3).

Что касается вычисления конкретных значений параметров A , τ , Z , то для нахождения этих величин достаточно провести измерения $R_{rs}(\lambda)$ на трех длинах волн и решить

систему уравнений типа выражения (1), используя при этом интегрированное значение $R_{rs}(\lambda)$, приведенное в выражении (3).

Вывод

Показано, что известная модель, используемая для определения степени эмуль-

сификации нефтяных пятен, может быть улучшена путем перехода на интегрированную эквивалентную модель и оптимизации с учетом уменьшения толщины нефтяного пятна на периферийных участках зоны загрязнения моря.

Список литературы

1. Agreement Bonn Counter Pollution Manual. 1999.
2. Lennon M., Babichenko S., Thomas N., Mariette V., Mercier G., Lisin A. Detection and Mapping of Oil Slicks in the Sea by Combined Use of Hyperspectral Imagery and Laser Induced Fluorescence. *EARSel. eProceedings*. 2006. 5 (1). P. 120-128.
3. Otremba Z., Piskozub J. Modeling the Bidirectional Reflectance Distribution Function (brdf) of Seawater Polluted by an Oil Film. *Optics Express*. 2004. 12 (8). P. 1671-1676.
4. Sicot G., Lennon M., Miegbielle V., Dubucq D. Analysis of the Reflectance Spectra of Oil Emulsion Spilled on the Sea Surface // *SPIE Remote Sensing, International Society for Optics and Photonics*. 2014. P. 924007-924007.
5. Sicot G., Lennon M., Miegbielle V., Dubucq D. Estimation of the Thickness and Emulsion Rate of Oil Spilled at Sea Using Hyperspectral Remote Sensing Imagery in the SWIR Domain // *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2015 ISPRS Geospatial Week 2015, 28 Sep. - 03 Oct. 2015, Vol. XL-3/W3. 2015. La Grande Motte, France.
6. Clark R.N., Swayze G.A., Leifer I., Eric Livo K., Kokaly R., Hoefen T., Lundeen S., Eastwood M., Green R.O., Pearson N., Sarture Ch., McCubbin I., Roberts D., Bradley E., Steele D., Ryan Th., Dominguez R., and the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) Team. A Method for Quantitative Mapping of Thick Oil Spills Using Imaging Spectroscopy. *Open-File Report 2010 - 1167*. U.S. Department of the Interior. U.S. Geological Survey.

Авторы

• Эминов Рамиз Ахмед оглы, канд. техн. наук
Азербайджанский государственный университет
нефти и промышленности
Доцент кафедры «Поиск и разведка
месторождений нефти и газа»
Азербайджанская Республика, AZ 1010, Баку,
пр. Азадлыг, 20
e-mail: Eminovramiz@mail.ru

References

1. *Agreement Bonn Counter Pollution Manual*, 1999.
2. Lennon M., Babichenko S., Thomas N., Mariette V., Mercier G., Lisin A. Detection and Mapping of Oil Slicks in the Sea by Combined Use of Hyperspectral Imagery and Laser Induced Fluorescence. *EARSel. eProceedings*, 2006, 5 (1), pp. 120-128.
3. Otremba Z., Piskozub J. Modeling the Bidirectional Reflectance Distribution Function (brdf) of Seawater Polluted by an Oil Film. *Optics Express*, 2004, 12 (8), p. 1671-1676.
4. Sicot G., Lennon M., Miegbielle V., Dubucq D. Analysis of the Reflectance Spectra of Oil Emulsion Spilled on the Sea Surface. *SPIE Remote Sensing, International Society for Optics and Photonics*, 2014, pp. 924007-924007.
5. Sicot G., Lennon M., Miegbielle V., Dubucq D. Estimation of the Thickness and Emulsion Rate of Oil Spilled at Sea Using Hyperspectral Remote Sensing Imagery in the SWIR Domain. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2015 ISPRS Geospatial Week 2015, 28 Sep. - 03 Oct. 2015, Vol. XL-3/W3. 2015. La Grande Motte, France.
6. Clark R.N., Swayze G.A., Leifer I., Eric Livo K., Kokaly R., Hoefen T., Lundeen S., Eastwood M., Green R.O., Pearson N., Sarture Ch., McCubbin I., Roberts D., Bradley E., Steele D., Ryan Th., Dominguez R., and the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) Team. A Method for Quantitative Mapping of Thick Oil Spills Using Imaging Spectroscopy. *Open-File Report 2010 - 1167*. U.S. Department of the Interior. U.S. Geological Survey.

The Authors

• Eminov Ramiz Ahmed oglu, Candidate
of Engineering Sciences
Azerbaijan State Oil and Industrial University
Assistant Professor of Search and Survey of Oil
and Gas Deposits Department
20, Azadliq ave., Baku, Republic of Azerbaijan,
AZ 1010
e-mail: Eminovramiz@mail.ru

• Мурсалов Немат Закир оглы
Азербайджанский государственный университет
нефти и промышленности
Инженер кафедры «Поиск и разведка
месторождений нефти и газа»
Докторант Института водных проблем
Азербайджанская Республика, AZ 1010, Баку,
пр. Азадлыг, 20
e-mail: mursalovnemat@mail.ru

• Mursalov Nemat Zakir oglu
Azerbaijan State Oil and Industrial University
Engineer of Search and Survey of Oil and Gas
Deposits Department
Doctorant of Institute of Water Problems
20, Azadliq ave., Baku, Republic of Azerbaijan,
AZ 1010
e-mail: mursalovnemat@mail.ru

• Исмаилов Камал Хейраддин оглы, д-р техн. наук
Национальная Академия Авиации
Доцент кафедры «Аэрокосмический мониторинг»
Азербайджанская Республика, AZ 1045, Бина,
25-км
e-mail: kamalismailov@mail.ru

• Ismailov Kamal Kheyreddin oglu, Doctor
of Engineering Sciences
National Academy of Aviation
Assistant Professor of Aerospace Monitoring
Department
Bina, 25-th km, AZ 1045, Republic of Azerbaijan
e-mail: kamalismailov@mail.ru