

УДК 621

Горюк А.А., Кузнецова А.А., Михайленко В.И.
ОНМА

ПОГЛОЩЕНИЕ И РАССЕЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА В НЕФТЕВОДЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ

Введение. Льяльные (нефтесодержащие) воды – это образующиеся в процессе эксплуатации нефтеналивных танкеров и топливных танков судов осадочные отложения. "Мёртвые запасы" (нефтешламы) по своему составу чрезвычайно разнообразны и представляют собой сложные системы, состоящие из нефтепродуктов, воды и механических примесей, соотношение которых колеблется в очень широких пределах.

В результате несовершенства систем, по которым проходит морская вода, используемая для обеспечения работы судовых установок различного назначения и типа, часть ее попадает в производственные помещения судна, где смешивается с различными загрязняющими веществами или другими, уже загрязненными водами, образуя при этом льяльные воды.

Сегодня довольно остро стоит проблема сброса льяльных вод содержащих в себе нефтепродукты [1,2]. Международная конвенция по защите окружающей среды МК МАРПОЛ 73/78 допускает сброс нефтесодержащих трюмных вод, очищенных до нормы 15 мг/л [3]. Поэтому актуальной является задача определения концентрации нефтепродуктов в льяльных водах в судовых условиях.

Теоретическая часть. Ослабление лазерного луча при прохождении через нефтеводную эмульсию может происходить как за счёт рассеяния, так и поглощения на частичках эмульсии, поэтому коэффициент ослабления k можно представить в виде

$$k = k_p + k_n, \quad (1)$$

где k_p и k_n – коэффициенты ослабления за счёт рассеяния и поглощения соответственно.

Коэффициент k_p пропорционален произведению вероятности встречи фотона с частицей эмульсии $n \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot l$ (n – число частиц в единице объёма, D – средний диаметр частицы, l – длина хода луча) на вероятность рассеяния κ_p

$$k_{p=\kappa_p n} \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot l. \quad (2)$$

Коэффициент ослабления за счёт поглощения k_n пропорционален произведению вероятности встречи фотона с частицей эмульсии на вероятность поглощения w_n

$$k_n = n \frac{\pi D^2}{4} l \cdot w_n. \quad (3)$$

Вероятность поглощения w_n можно определить так. Допустим что все частицы эмульсии имеют один и тот же объём V_0 ; тогда суммарный объём частиц, которые находятся в кювете объёмом V , будет равен $V - nV_0 = V(1 - nV_0)$, а относительный объём, занятый частицами эмульсии, равен $\frac{nV_0}{1 - nV_0}$. Относительная эффективная оптическая толщина частиц (т.е. отношение суммарной толщины частиц, которые пересекаются лазерным лучом, к длине линии, не занятой частицами) пропорциональна $\left(\frac{nV_0}{1 - nV_0}\right)^{1/3}$. Предполагая, что частицы равномерно распределены по всему объёму, можно сделать заключение, что вероятность поглощения w_n пропорциональна относительной эффективной оптической толщине частиц. поэтому

$$k_n = \kappa_n n \frac{\pi D^2}{4} l \cdot \left(\frac{nV_0}{1 - nV_0}\right)^{1/3}, \quad (4)$$

где κ_n – некоторый коэффициент, пропорциональный коэффициенту поглощения вещества, входящего в состав частицы. Как видно из формулы (4), коэффициент ослабления пропорционален площади поверхности частицы, что согласуется с результатами, полученными в [4,5]. Таким образом, суммарный коэффициент ослабления равен

$$k = \left[\kappa_p + \kappa_n \left(\frac{nV_0}{1 - nV_0}\right)^{1/3} \right] n \frac{\pi D^2}{4} l. \quad (5)$$

При концентрации введенных примесей $C \ll \rho$ относительный объём $nV_0 = C / \rho$ (ρ – плотность вещества частиц эмульсии), занимаемый частицами, не превышает 10^{-4} , поэтому

$nV_0 \ll 1$. Предполагая справедливость закона Бугера с коэффициентом ослабления k , определяемый формулой (5), после несложных преобразований можно получить

$$\frac{1}{C} \ln \frac{I}{I_0} = \frac{3}{2} \frac{l}{\rho D} \kappa_p + \frac{3}{2} \frac{l}{\rho D} \kappa_n \left(\frac{C}{\rho} \right)^{1/3}. \quad (6)$$

В области малых концентраций вторым членом в формуле (6) можно пренебречь, тогда функция $\frac{1}{C} \ln \frac{I}{I_0}$ должны быть постоянной. С ростом концентрации второй член в формуле (6) начинает играть более существенную роль, поэтому зависимость $\frac{1}{C} \ln \frac{I}{I_0}$ от $C^{1/3}$ должна быть линейной.

Сравнение с экспериментом. Для проверки справедливости соотношения (6) были проведены измерения интенсивности лазерного луча ($\lambda = 337.0; 454.5; 632.8$) *нм*, прошедшего через нефтеводяную среду толщиной 0.5 и 1.5 *см*. Нефтеводяная эмульсия приготавливалась введением разных сортов нефти соответствующей концентрации в морскую воду с несущественной примесью поверхностно активных веществ. Физико-химические свойства полученной таким образом нефтеводяной эмульсии были близки к соответствующим свойствам балластных вод, сливаемых с морских судов. Измерения проводились в условиях развитой турбулентности ($Re > 7.5 \cdot 10^4$, скорость потока изменялась от 0.5 до 3.5 *м/с*). Ослабление интенсивности лазерного луча на турбулентных пульсациях [6,7] не учитывалось поскольку интенсивность I и I_0 измерялись в подвижной среде и поэтому влияние турбулентности автоматически исключалось.

Результаты измерений показано на рис. 1. Видно, что в области малых концентраций $\frac{1}{C} \ln \frac{I}{I_0}$ практически не зависит от концентрации, т.е. ослабление лазерного луча в этой области определяется в основном за счёт рассеяния света на частицах эмульсии. С ростом концентрации вступает в силу второй механизм ослабления лазерно-

го луча (поглощение на частицах эмульсии) и зависимость $\frac{1}{C} \ln \frac{I}{I_0}$ от $C^{1/3}$ становится линейной (см. рисунок). Угловой коэффициент наклона прямой

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{3}{2} \frac{l}{\rho D} \kappa_n \quad (6)$$

определяется тремя параметрами ρ , D , κ_n . Для определения D отбирались пробы нефтеводной эмульсии из подвижного потока, а потом измерялись диаметры частиц нефти по микрофотографиям на люминесцентном микроскопе ЛЮМ-2. Средний диаметр частиц – 10.6 (моторное топливо), 2.5 (масло), 8.8 (сырая нефть), 32 мк (мазут). Эти результаты хорошо совпадают с эмпирическими формулами, предложенными в [8].

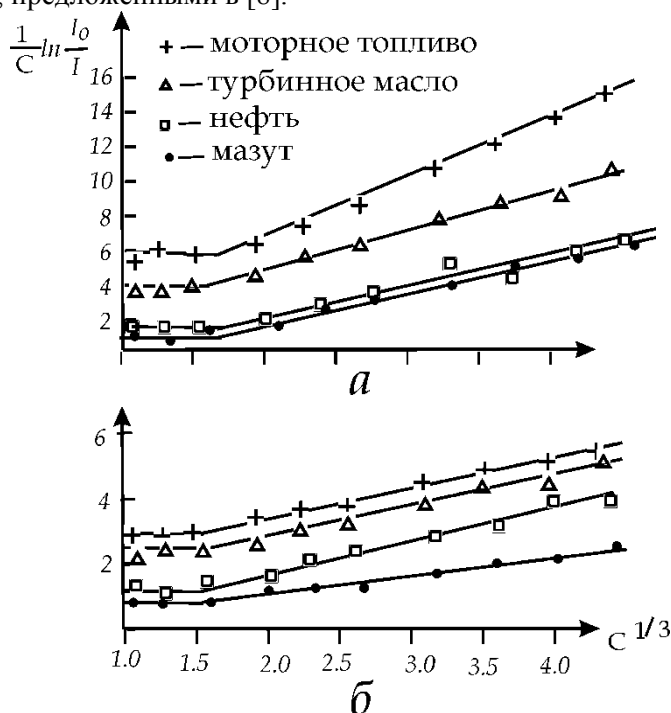


Рис. 1. Зависимость интенсивности лазерного излучения от концентрации частиц нефтепродуктов в морской воде (C – моль/л). Длина волны лазерного излучения: а – 633 нм, б – 337 нм.

Из формулы (7) был найден коэффициент κ_n , который должен быть пропорционален коэффициенту экстинкции μ_n частиц нефти.

Коэффициент μ_n определялся формулой $\mu_n = \frac{1}{l} \ln \left(\frac{I_0}{I} \right)$, где $l = 1$ мм

– толщина кюветы с нефтепродуктом. Затем было составлено соотношение κ_n / μ_n , которое для разных нефтепродуктов, как и следовало ожидать, оказалось величиной практически постоянной. Корреляция между κ_n и μ_n , а также разные значения D и ρ для данных нефтепродуктов объясняют разную скорость ослабления интенсивности лазерного луча в зависимости от сорта и концентрации частиц нефти в морской воде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зубрилов С.П. Охрана окружающей среды при эксплуатации судов // Л.: Судостроение.–1989.–256 с.
2. Экологические аспекты разлива нефти на воде [Текст] / А. А. Селуянов, Н. В. Шутов // Нефть. Газ. Новации. - 2011. - №2. - С. 75-78.
3. Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 г. Протокол 1978 г. – М. Изд-во ЦРИА «Морфлот.1980.–364с.
4. К.С.Шифрин. Тр. ВЗЛТИ, 2, 153, 1956.
5. К.С. Шифрин. Сб. «Теоретические и практические проблемы рассеяния света», Минск, изд-во «Наука и техника», 1971, с.228.
6. С.С.Кутеладзе, Д.И.Авалалян. ДАН СССР, 198, 1058,1971.
7. Д.И.Авалалян, С.С.Кутеладзе. Журн. прикл. мех. и техн. физ. 4, 435, 1972.
8. С.А. Shlechter, A.I.Ch.E.Journal 8, 4 1962.