

РАЗДЕЛ III. ИЗМЕРЕНИЯ В ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУКАХ И ТЕХНИКЕ

Таким образом, смещение спектральной характеристики в область малых частот может свидетельствовать об увеличении размеров трещин и приближении их к критической величине – трещине раскола, что характеризует предразрушающую стадию, и может служить её критерием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов, В. В. Кинетика разрушения и усталостная прочность полимерных композиций / В. В. Иванов, В.И. Климов, Т.М. Черникова – Кемерово, 2003.– 233 с.
2. Черникова, Т.М. Электризация полимерных композиционных материалов при разрушении их структуры / Т.М. Черникова, В.И. Климов, В.В. Иванов // Заводская лаборатория.– 2000.– № 5.– С. 51–54.
3. Иванов, В.В. Херстовская статистика временных потоков структурных повреждений композиционных материалов как показатель эволюции очага разрушения / В.В. Иванов,

В.И. Климов, Т.М. Черникова // Прикладная механика и техническая физика. - 1997. - Т. 38, № 1. - С. 136 - 139.

4. Иванов, В.В. Определение кинетических констант и критического размера разрушения композиционных материалов на основе регистрации импульсного электромагнитного излучения при их разрушении / В.В. Иванов, П.В. Егоров, В.И. Климов [и др.]. // Прикладная механика и техническая физика. – 1994. – Т 35, № 4. – С. 153–159.
5. Харкевич А.А. Спектры и анализ / А.А. Харкевич.– М.: Изд-во физ.-мат. лит-ры, 1962. – 236 с.

Т.М. Черникова, к.т.н., доц., Кузбасский государственный технический университет, тел. (3842)39-63-63, chernika@kemt.ru; В.В. Иванов, д.т.н., профессор, Кузбасский государственный технический университет, Е.А. Михайлова, специалист 1 категории, Объединенное диспетчерское управление энергосистемами Сибири, г. Кемерово.

УДК 591.044; 577.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ (КЛАСТЕРОВ) В БИДИСТИЛЛИРОВАННОЙ ВОДЕ ОПТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ МАЛЫХ УГЛОВ

В.И. Букатый, П.И. Нестерюк

Представлены результаты экспериментов по определению распределения по размерам оптических неоднородностей (кластеров) в бидистиллированной воде методом малых углов рассеяния. Измерения показали наличие в воде спектра размеров кластеров в диапазоне (1,5 – 6,0) мкм, при этом среднеарифметический радиус составил 2,3 мкм, среднеквадратичный – 2,5 мкм.

Ключевые слова: кластер, вода, оптический метод малых углов, светорассеяние.

Введение

Известно, что жидкая вода обладает аномальными свойствами, что связано с наличием водородных связей между молекулами и особенностью её структуры. Ряд ученых, например, [1, 2] рассматривает структуру воды в виде молекулярных кластеров с характерными размерами $\sim 10^{-9}$ м и временем жизни (релаксации) $\sim 10^{-12}$ с, в то время как в экспериментальных работах [3-7] обнаружены кластеры микронных размеров $\sim 10^{-6}$ м, а также гигантские гетерофазные кластеры с диаметрами (10^{-5} – 10^{-4}) м и временем жизни несколько секунд. Опытные данные по структуре воды получены в [3-7] с помощью оптических методов, однако их аппаратная реализация, методики измерений, используемый математический аппарат не позволяют реализовать большое быстроедействие и

достаточно высокую точность окончательных результатов. Целью работы является создание измерительно-вычислительного комплекса по измерению распределения оптических неоднородностей (кластеров) в бидистиллированной воде с помощью оптического метода малых углов, предложенного К.С. Шифриным [8].

Теоретические основы метода малых углов

В основе данного метода лежит экспериментальное определение индикатрисы рассеяния света под малыми углами, содержащей информацию о размере частиц, на которых происходит рассеяние. В [9] показано, что если параллельный пучок света с длиной волны λ рассеивается совокупностью взвешенных в однородной среде частиц одинакового радиуса r , то зависимость светового потока $I(\beta)$, рассеянного на одной

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ (КЛАСТЕРОВ) В БИДИСТИЛЛИРОВАННОЙ ВОДЕ
ОПТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ МАЛЫХ УГЛОВ

частице от угла рассеяния β выражается соотношением

$$I(\beta) = I_0 \frac{J_1^2(\rho\beta)}{\beta^2} r^2, \quad (1)$$

где I_0 – интенсивность пучка света, падающего на частицу; J_1 – функция Бесселя первого порядка; $\rho = \frac{2\pi r}{\lambda}$. Применительно к нашему случаю, когда свет распространяется в воде при наличии частиц (гидрозолей) $\lambda = \lambda_0 / n$, где λ_0 – длина волны в вакууме, а n – показатель преломления воды.

Соотношение (1) справедливо при $\beta \ll 1$ и $\rho \gg 1$.

Пусть пучок света проходит через слой различных по размеру частиц с функцией распределения частиц по размерам $f(r)$. В этом случае рассеянный световой поток выражается следующим соотношением:

$$I(\beta) = \frac{I_0}{\beta^2} \int_0^\infty f(r) r^2 J_1^2(\rho\beta) dr. \quad (2)$$

В [8] была решена задача обращения интегрального уравнения (2) с целью нахождения функции распределения частиц по размерам $f(r)$. Окончательно, следуя работе [9], запишем

$$f(r) = -\frac{C}{r^2} \int_0^\infty F(\rho\beta) \varphi(\beta) d\beta, \quad (3)$$

где $F(\rho, \beta) = \rho\beta J_1(\rho\beta) N_1(\rho\beta)$; $N_1(\rho\beta)$ – функция Неймана первого порядка; $\varphi(\beta) = \frac{d}{d\beta} [I(\beta)\beta^3]$; C – нормировочная постоянная.

Таблицы функции $F(\rho\beta)$ приведены в работе [9]. Таким образом, соотношение (3) дает возможность определения спектра размеров частиц по экспериментально найденной зависимости рассеянного светового потока $I(\beta)$ от угла рассеяния β .

Описание измерительновычислительного комплекса и результаты измерений

Для экспериментальной реализации метода нами был создан измерительновычислительный комплекс для определения

рассеянного светового потока $I(\beta)$ в области малых углов β . Принципиальная схема представлена на рисунке 1.

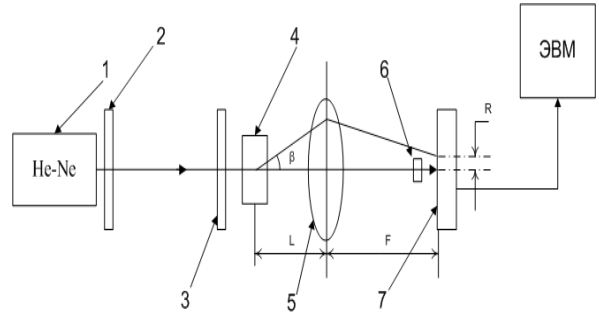


Рисунок 1 - Принципиальная схема измерительновычислительного комплекса

В качестве источника излучения (1) использовался He-Ne лазер с длиной волны $\lambda = 632,8$ нм и мощностью ~ 20 мВт. Диаметр выходного лазерного пучка составлял 3мм. Регистрация $I(\beta)$ производилась с помощью фотодиодной линейки ФУК1Л1 (7), сигнал с которой поступал на ЭВМ и обрабатывался с помощью специальной программы, разработанной в среде Lab Wiew. Временное разрешение лабораторного комплекса не превышало 0,1с. Измерения рассеянного света производились в фокальной плоскости приемной линзы (5) с фокусным расстоянием, равным 32 см. Для предотвращения попадания прямого пучка на фотодиодную линейку он экранировался темным непрозрачным экраном (6) размером 2,1 мм, что обеспечивало регистрацию рассеянного света под углами, начиная с минимального угла рассеяния $\beta = 14'$. Максимальный угол рассеяния β , регистрируемый с помощью лабораторного комплекса, составлял 5^0 . В этом случае, как следует из анализа погрешностей данного метода, приведенного в работах [8,9], ошибка измерений не превышает 10%. Цифрами 2 и 3 на рисунке отмечены диафрагмы, которые отсекали паразитное рассеянное оптического тракта гелий-неонового лазера.

Объектом исследования служила бидистиллированная вода, которая размещалась в кювете (4) длиной 30 мм. Типичная функция распределения приведена на рисунке 2.

Таким образом, измерения показали наличие в воде спектра размеров кластеров в диапазоне (1,5-6,0) мкм, при этом среднеарифметический радиус составил 2,3 мкм, среднеквадратичный – 2,5 мкм.

РАЗДЕЛ III. ИЗМЕРЕНИЯ В ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУКАХ И ТЕХНИКЕ

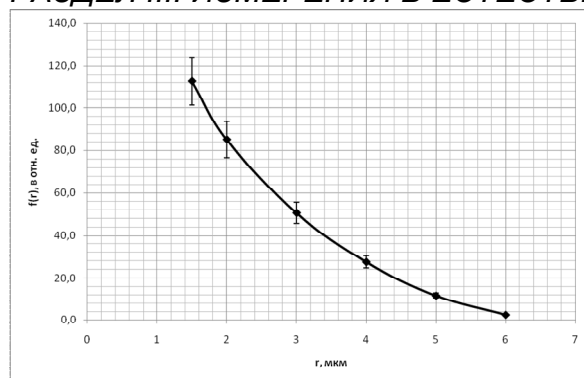


Рисунок 2 - Типичная функция распределения оптических неоднородностей по размерам в бидистиллированной воде

Выводы

Эксперименты по изучению светорассеяния при прохождении низкоинтенсивного лазерного излучения через бидистиллированную воду с использованием апробированного метода малых углов показали в ней наличие оптических неоднородностей (кластеров) микронного масштаба. Необходимо отметить, что в ранее проведенных другими авторами экспериментах по определению кластеров в воде приведены противоречивые результаты. В работах [3, 4, 6] утверждается, что обнаруженные в воде неоднородности являются скоплением молекул H_2O , находящихся в жидкой фазе и поэтому считаются оптически более плотными образованиями, чем окружающая объемная вода. В то же время, экспериментальные результаты работы [5, 7] косвенно подтверждают выдвинутую ими ранее гипотезу о наличии микропузырьковых газовых кластеров в жидкости, возникающих при коагуляции микропузырьков (бабстонов). В вышеуказанных случаях, найденные неоднородности (кластеры) также имеют микронные размеры. Действительно, все используемые в [3-7] оптические методы по обнаружению кластеров в воде дают информацию только о их размерах и концентрации, в то же время, используя только приведенные оптические методы, нельзя полу-

чить данные о фазовом составе найденных неоднородностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонченко, В.Я. Основы физики воды [Текст] / В.Я. Антонченко, А.С. Давыдов, В.С. Ильин – Киев: Наукова думка, 1991.-669с.
2. Маленков, Г.Г. Структура и динамика жидкой воды [Текст] / Г.Г. Маленков // Журнал структурной химии. Т.47. 2006. – С. 5-35.
3. Смирнов, А.Н. Структура воды: гигантские гетерофазные кластеры воды [Текст] / А.Н. Смирнов, В.Б. Лапшин, А.В. Балышев И.М. Лебедев, В.В. Гончарук, А.В. Сыроешкин // Химия и технология воды. Т. 27. № 2. 2005. -С. 111-136.
4. Гончарук, В.В. Влияние температуры на кластеры воды [Текст] / В.В. Гончарук, Е.Л. Орехова, В.В. Маляренко // Химия и технология воды. Т. 30. № 2. 2008. -С. 150-158.
5. Бункин, Н.Ф. Фрактальная структура бабстонных кластеров в воде и водных растворов электролитов [Текст] /Н.Ф. Бункин, А.В. Лобеев // Письма в ЖЭТФ. Т.58. Вып. 2. 1993. -С. 91-97.
6. Коваленко, В.Ф. Кластерная природа светорассеяния воды [Текст] / В.Ф. Коваленко, П.Г. Левченко, С.В. Шутов // Биомедицинская радиоэлектроника. № 5. 2008. –С. 36-45.
7. Бункин, Н.Ф. Малоугловое рассеяние лазерного излучения на стабильных образованиях микронного масштаба в дважды дистиллированной воде [Текст] / Н.Ф. Бункин, Н. В. Суязов, Д.Ю. Ципенюк // Квантовая электроника. Т. 35. № 2. 2005. – С. 180-184.
8. Шифрин, К.С. Рассеяние света в мутной среде [Текст] / К.С. Шифрин – М.: Гостехиздат, 1951. -288 с.
9. Байвель, Л.П. Измерение и контроль дисперсности частиц методом светорассеяния под малыми углами [Текст] / Л.П. Байвель, А.С. Лагунов – М.: Энергия, 1977. -86 с.

Д.ф.-м.н., проф. **В.И. Букатый** – Институт водных и экологических проблем СО РАН, v.bukaty@mail.ru. Аспирант **П.И. Нестерюк** – Алтайский Государственный университет, кафедра общей и экспериментальной физики, p.nesteryuk@mail.ru.