

**Четырнадцатая Международная научно-техническая конференция
«Оптические методы исследования потоков»
Москва, 26 – 30 июня 2017 г.**

УДК 535.016

Со Мин Каинг, Б.С. Ринкевичюс, Толкачев А.В, Зубарев Е.И

Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», Россия, 111250, Москва, Красноказарменная ул., 14, E-mail: omfi@mpei.ac.ru

**ИССЛЕДОВАНИЯ РЕФРАКЦИИ ПЛОСКОГО ОПТИЧЕСКОГО ПУЧКА ОКОЛО
НАГРЕТОГО ШАРА И ЦИЛИНДРА**

АННОТАЦИЯ

Изложены принципы оптической рефрактографии - метода диагностики оптически неоднородных сред и потоков жидкости, основанного на рефракции пространственно структурированного оптического излучения (СОИ), цифровой регистрации рефракционной картины (рефрактограммы) и ее компьютерной обработке с целью восстановления свойств среды. Приведены примеры визуализации теплофизических процессов, обусловленных свободной конвекцией в жидкости около нагретых тел.

ОПТИЧЕСКАЯ РЕФРАКТОГРАФИЯ, 2D – РЕФРАКТОГРАММА, 3D – РЕФРАКТОГРАММА, КОНВЕКЦИЯ В ЖИДКОСТИ ОКОЛО НАГРЕТЫХ ТЕЛ, ПОКАЗАТЕЛЬ ПРЕЛОМЛЕНИЯ

ВВЕДЕНИЕ

Широкое применение оптических методов для диагностики в прозрачных средах полей акустического давления, температуры, плотности, солености, скорости течения в потоках обусловлено их значительными преимуществами перед другими контактными методами. Оптические методы практически не имеют инерционных погрешностей, что позволяет проводить диагностику быстропротекающих процессов. Они позволяют исследовать поле показателя преломления, которое потом пересчитывается в искомое поле другой физической величины.

Оптическая система визуализации динамики тепловых процессов в жидкости основана на использовании структурированного оптического излучения, проходящего около нагретого тела, помещенного в жидкости. Она создает на экране рефрактограмму, параметры которой зависят от градиента температуры жидкости в пограничном слое около нагретого тела. Рефрактограмма представляет собой изображение пространственно модулированного источника излучения, созданное оптической неоднородностью в жидкости [1].

Оптическая рефрактография (ОР) – современная измерительная технология, предназначенная для визуальной и количественной диагностики процессов в объеме и пограничных слоях жидкостей.

Метод ОР основан на зондировании исследуемой среды структурированным оптическим излучением (СОИ), регистрации прошедшего среду излучения с помощью цифрового фотоаппарата и компьютерной обработке полученных изображений. Формирования СОИ позволяет сохранить его высокую когерентность и обеспечить малую

расходимость пучков, что позволяет использовать для описания СОИ представления геометрической оптики.

В работах для визуализации и количественной диагностики прозрачных градиентных неоднородностей применяется новый метод — оптическая рефрактография (ОР). В данной работе в рамках развития указанного метода разрабатываются принципы моделирования и экспериментального получения изображений структурированного оптического излучения (СОИ).

Основные виды структурированного оптического излучения

В оптической рефрактографии используется регулярно структурированное оптическое излучение (СОИ), которое представляет собой пространственно-модулированное по амплитуде излучение, получаемое в основном с помощью классических оптических элементов, дифракционных оптических элементов (ДОЭ) или структурированного экрана. Основные типы источников СОИ приведены в рис.1 и классифицируются по форме пространственных геометрических фигур, образованных лучами от источника: это источники линейно-структурированного, плоско-структурированного и конусно-структурированного оптического излучения.

Использование ДОЭ с более сложным фазовым рисунком позволяет получить СОИ другой формы: крестовидный пучок, состоящий из двух оптических плоскостей, расположенных в ортогональных плоскостях; конусный пучок; совокупность конусных пучков и т.д.


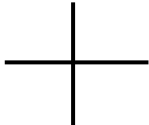
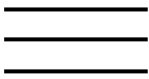
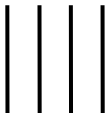
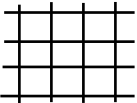



Линия	Крест	Горизонтальные линии	Вертикальные линии
			
Решетки	Линия точек	Матрица точек	Кольцо
			

Рис. 1. Основные виды источников структурированного излучения, получаемые с помощью ДОЭ

Расчет рефракции оптического луча в пограничном слое жидкости около нагретого шара

Для расчета рефракции оптического луча около нагретого тела, помещенного в прозрачную жидкость, необходимо иметь информацию о зависимости показателя преломления жидкости от температуры. Для дистиллированной воды и оптического излучения с длиной волны 0,6328 мкм эти зависимости имеются в справочной литературе и имеют вид [1-2]:

$$n(r) = 1,3328 - 0,000051 T(r) - 0,0000011 T^2(r), \quad (1)$$

где n – показатель преломления, T – температура, °C.

На основе экспериментальных данных и методов математического моделирования теплофизических процессов установлено, что для сферически симметричного

температурного поля у поверхности нагретого шара радиуса R радиальная зависимость температуры определяется выражением [1] и показаны на рис.2

$$T(r) = T_0 + \Delta T \exp\left(-\frac{(r-R-\Delta R)^2}{a^2}\right), \quad (2)$$

где T_0 – температура стенок кюветы с жидкостью, °C; r – текущий радиус, мм; R – радиус шара, мм; a – пограничный слой, мм; ΔR – линейный сдвиг, мм.

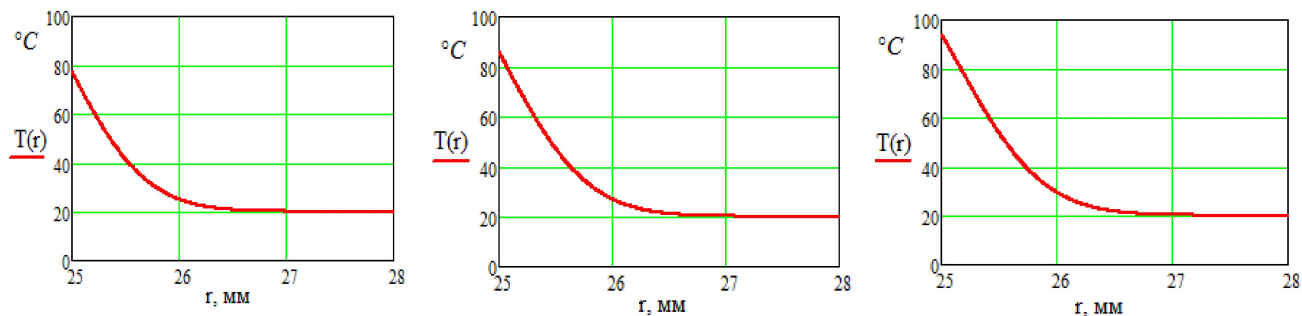


Рис. 2. Зависимости температуры воды около шара от координаты для различных температур нагретого шара

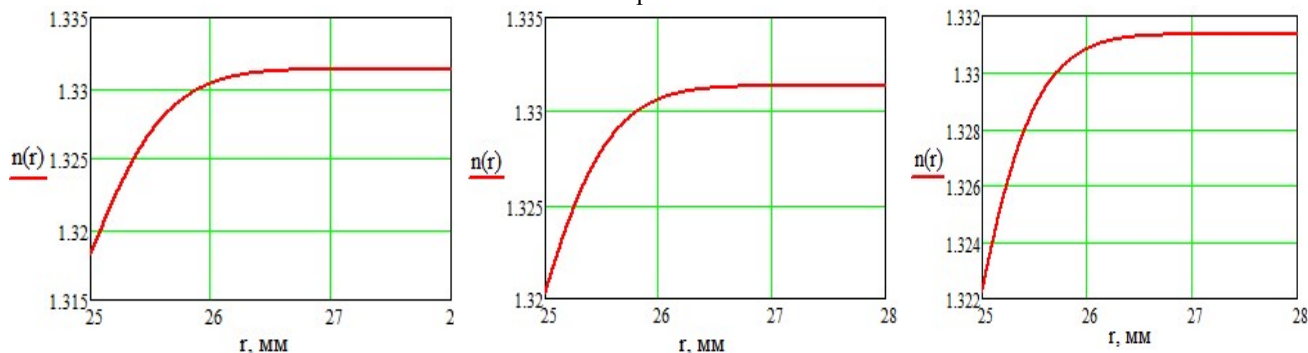


Рис. 3. Зависимость показателя преломления воды от координаты для различных начальных температур (показателей преломления воды)

$$\theta(r) = \theta_0 + \int_{r_n}^r \frac{n_0 \cdot x_0}{r \cdot \sqrt{n(r)^2 \cdot r^2 - n_0^2 \cdot x_0^2}} dr, \quad (3)$$

где n – показатель преломления; θ_0 – угол.

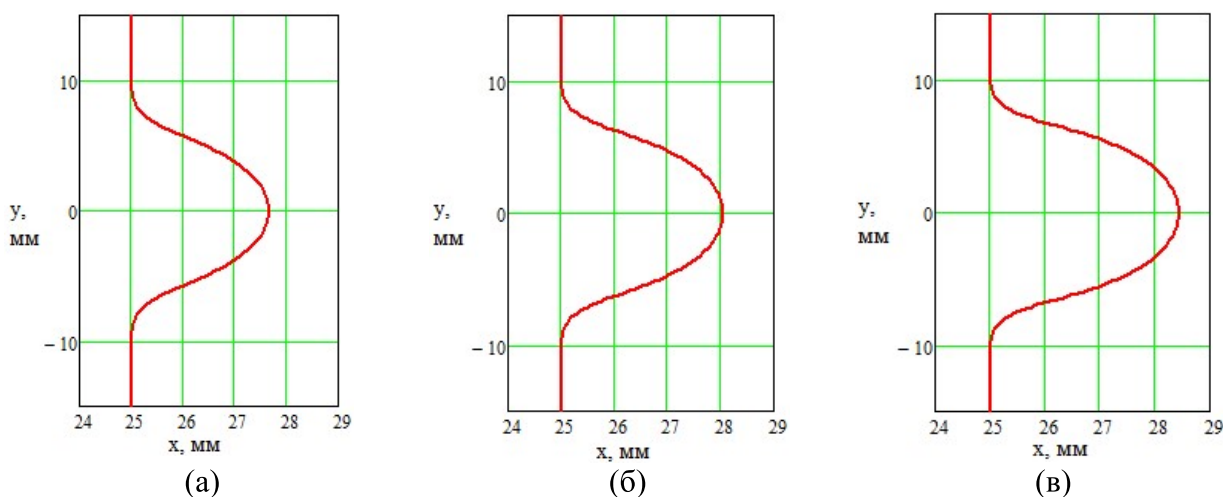


Рис.4. Зависимость толщины пограничного слоя в разные моменты времени (остывания или охлаждения):
 (а) $T_0 = 50^{\circ}\text{C}$, (б) $T_0 = 60^{\circ}\text{C}$, (в) $T_0 = 70^{\circ}\text{C}$

Экспериментальная установка для исследования теплофизических процессов в жидкости

На рис. 5 показана схема экспериментальной установки, предназначенной для визуализации тепло- физических процессов в жидкости около нагретых или охлажденных тел с помощью СОИ [4], разработанной на кафедре физики им В.А Фабриканта. Излучение от оптического модуля 1, проходит через устройство перемещения 2, в результате кювета с водой 3, зондируется плоским лазерным пучком, направляемым сверху нагретого тела 4, установленного на юстировочном столике 5. Температура нагретого тела изменяется за счет блока питания 7 и измеряется термометром 6. На экране 8 наблюдается рефрактограмма, которая фотографируется цифровым фотоаппаратом 9 и отображается на экране компьютера 10.

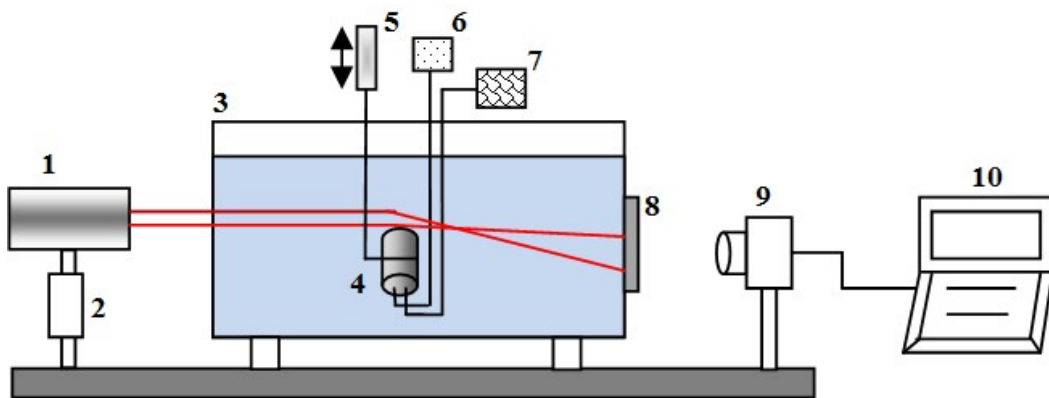


Рис. 5. Схема оптической рефрактографической системы: 1– оптический модуль+ДОЭ, 2 – устройство перемещения оптического модуля, 3 – кювета с водой, 4 – тепловой элемент, 5 – юстировочный столик, 6 – термометр, 7 – блок питания, 8 – экран, 9 – цифровой фотоаппарат, 10 – компьютер

Визуализация температурного поля около нагретого шара и цилиндра по рефракции оптического пучка

На рис. 6 приведены тепловые элементы, вокруг которых исследовались рефракционные картины.

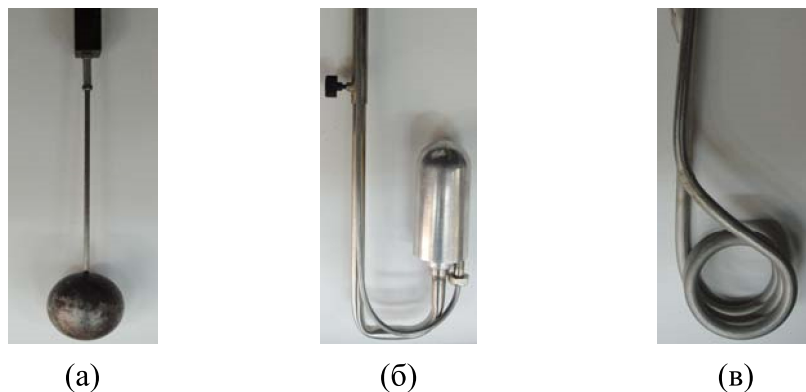


Рис. 6. Тепловые элементы: (а) металлический шар, (б) металлический цилиндр со сферической верхней частью, (в) нагревательный элемент

На рис. 7, 8, 9 и 10 приведены рефрактограммы плоского пучка для левой и правой сторон нагретого шара, сверху нагретого шара и нагретого цилиндра в воде для различных моментов времени. Из рис. 7, 8, 9 и 10 следует, что вид рефракционной картины сильно зависит от места положения оптического пучка и времени.

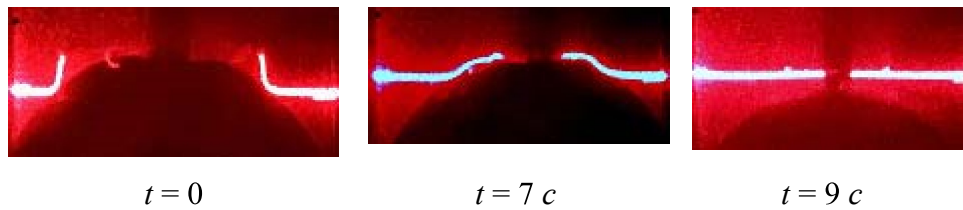


Рис. 7. Рефрактограммы плоского оптического пучка сверху нагретого шара в различные моменты времени

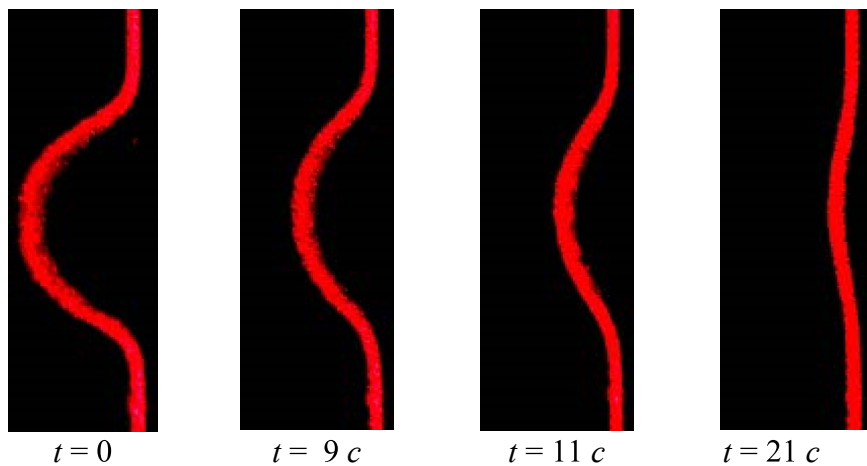


Рис. 8. Рефрактограммы плоского оптического пучка с левой стороны нагретого шара в воде в различные моменты времени при остывании шара

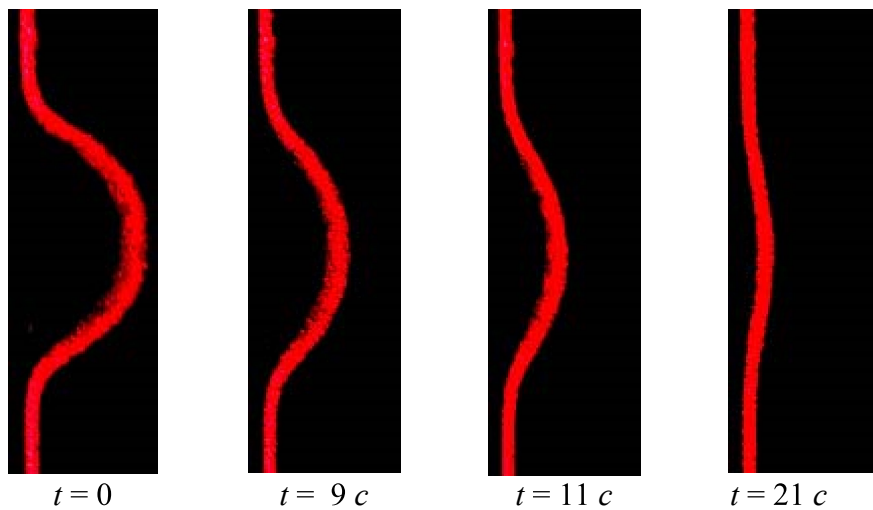


Рис. 9. Рефрактограммы плоского оптического пучка с правой стороны нагретого шара в воде в различные моменты времени при остывании шара

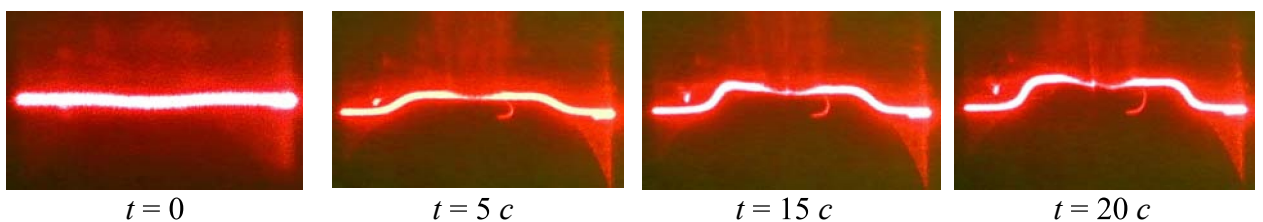


Рис. 10. Рефрактограммы плоского оптического пучка сверху нагретого цилиндра в воде в различные моменты времени

На рис. 11 показаны процесс перемешивания жидкости при нагревании воды кольцевым нагревательным элементом.

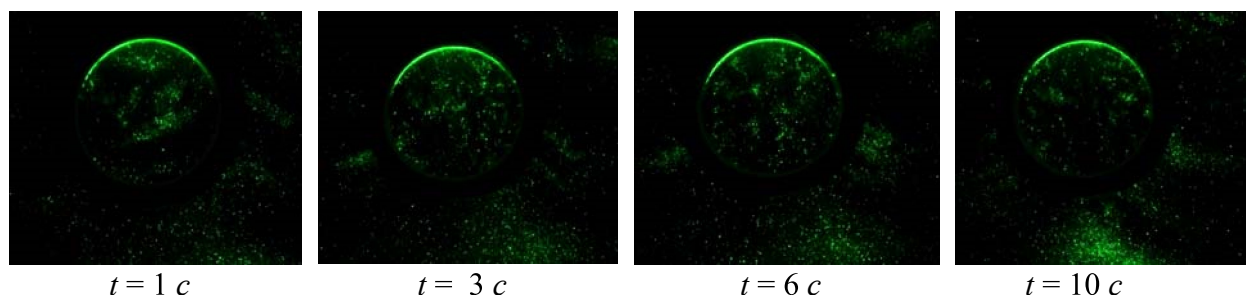


Рис. 11. Рефрактограммы для нагревательного элемента. Процесс перемешивания жидкости при нагревании воды кольцевым нагревательным элементом, используемом в бытовых приборах

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На экспериментальной установке проведены исследования нестационарных тепловых процессов, происходящих в пограничном слое прозрачной жидкости вокруг нагретых тел. В установке используется источник излучения с мощностью 5 мВт. Длина волны излучения равна 0,53 мкм, для различных расстояний от исследуемых тел до экрана. Исследуемые тела нагревались до различных температур и опускались в кювету с водой. Температура исследуемых тел измерялась термопарой. Показаны экспериментальные рефрактограммы оптической плоскости, полученные на экране в различные моменты времени.

При разработке алгоритмов и методик численного моделирования рефракции СОИ в тепловом пограничном слое нагретых тел станет возможным сопоставление расчетных рефракционных картин с экспериментальными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евтихиева О.А., Расковская И.Л., Ринкевичюс Б.С. Лазерная рефрактография. М: Физматлит, 2008. – 176 с.
2. Сойфер В.А., Безус Е.А., Быков Д.А., Досколович Л.Л., Ковалев А.А. и др. Дифракционная оптика и нанофотоника. Физматлит. 2014. 608 с.
3. Расковская И.Л., Ринкевичюс Б.С., Толкачев А.В. Лазерная рефрактография оптически неоднородных сред // Квантовая электроника. 2007. № 12. 1176 с.
4. Ринкевичюс Б.С., Есин М.В., Расковская И.Л., Толкачев А.В. Система визуализации и измерения параметров физических процессов в жидкой среде. Патент на полезную модель № 105433.

Soe Min Khaing, B.S. Rinkevichyus, A.B. Tolkachev, E.I. Zubarev

National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Russia,
111250, Russia, Moscow, Krasnokazarmennaya st., 14, E-mail: omfi@mpei.ac.ru

STUDIES OF THE REFRACTION OF THE FLAT OPTICAL BEAM NEAR THE HEATED BALL AND CYLINDER

Abstract

The principles of optical refractography - method for diagnostics of optically inhomogeneous media and flows of the liquid based on the refraction spatially structured optical radiation (SOR), digital registration refractive picture (refractogram) and its computerization with the aim of restoring the properties of the medium. Examples of visualization of thermal processes caused by free convection in liquids near heated objects.

OPTICAL REFRACTOGRAPHY, 2D REFRACTOGRAM S, 3D REFRACTOGRAM,
CONVECTION IN LIQUIDS NEAR HEATED BODIES, THE REFRACTIVE INDEX