



УДК: 535.31: 681.7.069.24

*И.Л. Расковская, О.А. Евтихиева, Б.С. Ринкевичюс, А.В. Толкачев, М.В. Есин*

Московский энергетический институт (технический университет), Россия

## ПРИНЦИПЫ ЛАЗЕРНОЙ РЕФРАКТОГРАФИИ

*Рассмотрены принципы нового метода диагностики прозрачных оптически неоднородных сред – лазерной рефрактографии, основанного на рефракции структурированного лазерного излучения и визуализации двумерных и трехмерных рефрактограмм.*

ЛАЗЕРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ, НЕОДНОРОДНАЯ СРЕДА, СТРУКТУРИРОВАННОЕ ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, РЕФРАКЦИЯ

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Лазерная рефрактография (ЛР) [1] – новая информационно-измерительная технология количественной диагностики неоднородных сред – основана на рефракции структурированного лазерного излучения (СЛИ), получаемого преимущественно с помощью дифракционных оптических элементов (ДОЭ).

Метод ЛР относится к классу градиентных рефракционных методов (рис.1), однако отличительной его особенностью является то, что зондирование исследуемой среды осуществляется структурированными лазерными пучками, т.е. пучками с пространственной модуляцией интенсивности, что позволяет получать рефракционные изображения с дискретной контурной структурой (рефрактограммы).



Рис. 1. Классификация лазерных рефракционных методов по виду излучения

Использование структурированных пучков в ЛР позволяет осуществлять многоканальное зондирование среды с пространственным разделением идентифицируемых каналов и с возможностью пространственной адаптации к форме исследуемой неоднородности. Цифровая регистрация рефрактограмм совместно с оригинальными компьютерными алгоритмами обработки изображений обеспечивает высокое пространственное разрешение и возможность количественной диагностики микронеоднородностей.

## 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лазерная рефрактография (ЛР) – новый метод лазерной диагностики оптически неоднородных сред, в частности потоков жидкости, газа и плазмы. Рефрактограмма (изображение) СЛИ, прошедшего через исследуемую неоднородную среду, регистрируется в плоскости наблюдения и после предварительной обработки сравнивается с эталонными изображениями, соответствующими разным моделям неоднородностей. 2D-рефрактограммы СЛИ в методе ЛР можно трактовать как пространственный двумерный дискретный многопозиционный сигнал. Такой подход позволяет использовать методы корреляционного анализа дискретных пространственных многопозиционных сигналов, каковыми, собственно, и являются рефрактограммы. По результатам сравнения экспериментальной рефрактограммы (рис. 2) с эталонной – на основе корреляционной или иной выбранной метрики – осуществляется выбор модели неоднородности, наилучшим образом соответствующей экспериментальной рефрактограмме.

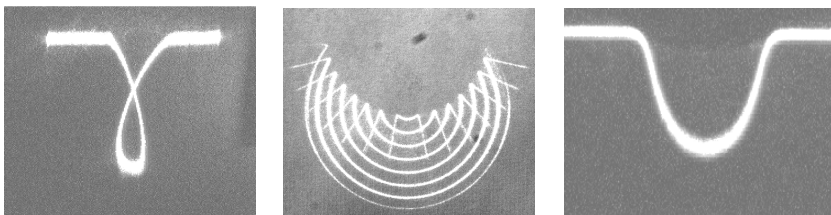


Рис.2. Типичные экспериментальные рефрактограммы

Основные элементы источников излучения классифицируются по форме пространственных геометрических фигур, образованных лучами от источника: это линейно-структурированное, плоско-структурированное (лазерная плоскость), конусно- или цилиндрически-структурированное лазерное излучение. Комбинацией основных элементов излучения можно создавать и другие источники, адаптированные к структуре неоднородности и к форме поверхности тел, вблизи которых исследуются пограничные слои. 3D-рефрактограмма представляет собой 3D-изображение поверхности, образованной рефрагирующими в среде лучами от источника СЛИ, и может быть

получена на основе совокупности экспериментальных или расчетных двумерных рефрактограм в разных сечениях с помощью специальных методов обработки. 3D-рефрактограмма может быть экспериментально визуализирована в рассеянном излучении. 2D- и 3D-рефрактограммы регистрируются с помощью цифровой видеокамеры, выход которой соединен с персональным компьютером, с помощью которого производится их обработка. Фотография двухракурсной экспериментальной установки для визуализации рефрактограмм изображена на рис. 3.



Рис. 3. Внешний вид двухракурсной рефрактографической системы

Рассмотрим этапы количественной диагностики на примере анализа рефрактограмм для температурного пограничного слоя: регистрируется с помощью ПЗС фотокамеры 2D-рефрактограмма; проводится ее специальная компьютерная обработка, минимизирующая дифракционные эффекты; оцифрованная экспериментальная рефрактограмма сравнивается с набором библиотечных рефрактограмм, рассчитанных для данной установки и типичных профилей температурного слоя; на основе критерия минимизации среднеквадратичного отклонения выбирается расчетная рефрактограмма, наилучшим образом совпадающая с экспериментальной; в качестве экспериментально полученного температурного профиля выбирается профиль, соответствующий выбранной расчетной рефрактограмме (рис. 4).

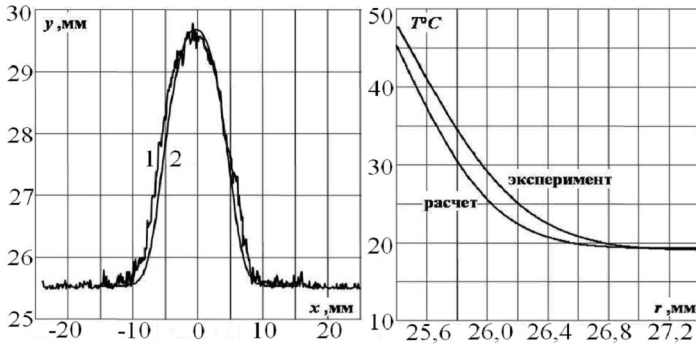


Рис. 4. Иллюстрация методики восстановления температурного профиля в пограничном слое: экспериментальная (1) и расчетная (2) рефрактограммы

**3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Различные комбинации, ориентация и расположение элементарных составляющих СЛИ позволяют адаптировать измерительную систему к структуре неоднородности, причем в силу протяженности источника излучения обеспечивается одновременность диагностики процесса в разных областях. Дискретный характер СЛИ оптимально соответствует современным цифровым методам регистрации и обработки изображений, что позволяет с высокой точностью проводить количественную диагностику среды. Метод ЛР адаптирован для исследования краевых эффектов и тонких пограничных слоев в жидкостях и может быть использован для диагностики быстротекающих и нестационарных процессов.

**4. БЛАГОДАРНОСТИ.** Работа выполнялась при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (проект РНП 2.1.2.686) и Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 07-07- 13529).

## 5. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евтихиева О.А., Расковская И.Л., Ринкевичюс Б.С. Лазерная рефрактография. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 176 с.

*I.L. Raskovskaya, O.A. Evtikhieva, B.S. Rinkevichius, A.V. Tolkachev, M.V. Yesin*

Moscow Power Engineering Institute (Engineering University), Russia

## LASER REFRACTOGRAPHY PRINCIPLES

*The new diagnostics technology of the temperature layered inhomogeneities in liquids by using of the computer laser refraction measuring method (laser refractography) is on consideration. 2D- and 3D-refractogrammes are visualized.*

LASER MEASUREMENTS, INHOMOGENIOUS MEDIA, LASER STRUCTURED RADIATION, REFRACTION