

М.А. Афонин, В.Д. Донченко, А.А. Землянов, Ал.А. Землянов, А.М. Кабанов

ДИАГНОСТИКА СТРУКТУРЫ ИНТЕНСИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА МЕТОДАМИ РВТ

Проведено восстановление структуры канала и пучка интенсивного лазерного излучения $\lambda = 10,6$ мкм, распространяющегося в водном аэрозоле в условиях взрывного вскипания частиц. Восстановление осуществлялось по измерениям рассеянного под углом 90° излучения $\lambda = 0,49$ мкм, соосного с интенсивным. Показана возможность применения методов РВТ для диагностики сред в условиях нелинейного взаимодействия с лазерным излучением.

Методы реконструктивной вычислительной томографии (РВТ), широко применяемые для определения внутренней структуры объектов [1], могут быть использованы для исследования распределения интенсивности излучения по сечению лазерного пучка [2, 3].

Задача восстановления структуры пучка по рассеянному излучению решалась в [2] в условиях линейного взаимодействия излучения с однородной рассеивающей средой. На практике часто реализуются ситуации (например, в [4]), когда интенсивность рассеянного излучения нелинейным образом зависит от интенсивности пучка. В этих условиях для адекватного восстановления структуры пучка требуется дополнительная информация, в частности, об изменении рассеивающих свойств среды при воздействии мощного излучения.

Цель работы состояла в экспериментальном изучении возможностей томографической реконструкции структуры лазерного пучка в случае нелинейной среды. В проведенном модельном эксперименте объектом восстановления являлась структура пучка импульсного CO_2 -лазера (длительность импульса ~ 3 мкс), распространяющегося в водном аэрозоле в условиях взрывного испарения капель. По одной оси в рассеивающий объем направлялось сфокусированное излучение CO_2 -лазера (диаметр фокального пятна $d_0 = 5$ мм) и излучение лазера ЛГН-503, работающего в режиме основной моды (длина волны $\lambda = 0,49$ мкм, средняя мощность ~ 1 Вт, диаметр пучка в измеряемой области $d = 20$ мм).

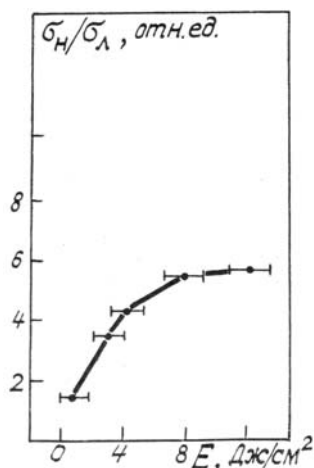


Рис. 1а. Зависимость σ_n/σ_L от плотности энергии излучения CO_2 -лазера

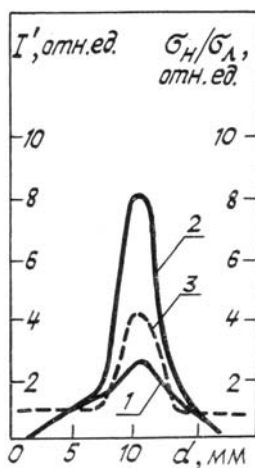


Рис. 1б. Вид проекции I' для случаев невозмущенного аэрозоля (1) и аэрозоля в режиме взрывного испарения (2); (3) — распределения σ_n/σ_L в сечении пучка

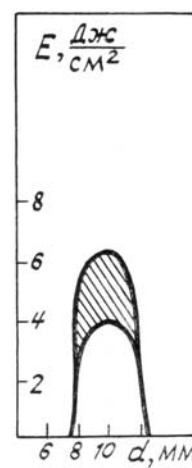


Рис. 1в. Распределение плотности энергии в сечении пучка CO_2 -лазера. Заштрихованная область — возможные реализации значений плотности энергии в пучке

Взаимодействие мощного излучения с аэрозолем сопровождалось взрывным вскипанием капель, что приводило к созданию в рассеивающем объеме локальной неоднородности с отличающимися характеристиками рассеяния.

Зависимость изменения сечения рассеяния аэрозоля в области взрыва σ_n от плотности энергии излучения CO_2 -лазера по отношению к сечению рассеяния σ_L невозмущенного аэрозоля на длине волны зондирующего излучения приведена на рис. 1а.

Измерение распределения интенсивности рассеянного под углом 90° излучения на длине волны $\lambda = 0,49$ мкм (проекции в РВТ) осуществлялось посредством сканирования пучка ЛГН-503 с шагом 1 мм. Угол поля зрения приемной системы составлял $\sim 10^{-2}$ рад. Путем сканирования по сечению пучка

ЛГН–503 измерялось реальное распределение интенсивности в сечении, которое сравнивалось с восстановленным. Измерения величины сигналов обратного рассеяния от расположенной вне зоны взрыва области рассеивающего объема позволили одновременно контролировать возможные изменения концентрации аэрозоля и стабильность генерации ЛГН–503.

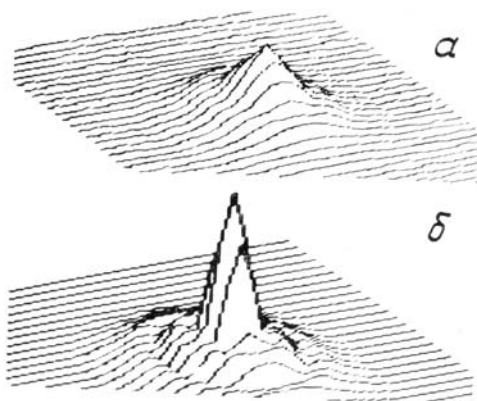


Рис. 2. Восстановленная методом РВТ энергетическая структура рассеянного пучка лазерного излучения ($\lambda = 0,49$ мкм) в случае линейной (а) и нелинейной (б) рассеивающей среды

Вид проекций, полученных для случая рассеяния в однородном аэрозоле и в условиях взрыва капель, показан на рис. 16 (кривые 1 и 2 соответственно). Видно, что частичное замутнение канала пучка приводит к резкому увеличению рассеянного сигнала, принятого из зоны взрыва. Отсчеты величины рассеянных сигналов производились в моменты времени, соответствующие максимальному замутнению.

Восстановление структуры оптического пучка по проекциям осуществлялось методом обращения по Фурье [1]. Алгоритм восстановления разработанный для реконструкции объекта по 32 проекциям, реализован на микро–ЭВМ «Электроника–60». В [5] приведены удовлетворительные результаты применения используемого нами алгоритма для восстановления модовой структуры газового лазера по рассеянному излучению. В условиях данного эксперимента, когда зона взрыва аэрозоля расположена в центре пучка одномодового излучения газового лазера, вид проекций, измеренных в разных ракурсах, будет одинаков. Это позволяет при процедуре восстановления использовать проекции, измеренные в одном ракурсе. На рис. 2 представлены полученные с помощью РВТ изображения структуры пучка излучения ЛГН–503 (в условиях однородного аэрозоля – а, в условиях локального взрыва – б). Видно, что реконструкция пучка в случае нелинейной среды не дает представления об истинном распределении интенсивности в его сечении. В то же время, в условиях нашего эксперимента проведенная реконструкция позволяет определить размеры пучка, а также размеры и расположение в сечении пучка зоны с повышенной интенсивностью излучения.

Анализируя восстановленную энергетическую структуру пучка в случаях линейной и нелинейной рассеивающих сред, можно определить вид функции, характеризующей изменение рассеивающих свойств среды в сечении пучка. В нашем эксперименте эта функция имеет вид функции окна с границами, совпадающими с границами фокального пятна излучения CO_2 –лазера (рис. 16, кривая 3). Зная вид этой функции и используя полученную зависимость σ_n/σ_d от плотности энергии излучения, получаем распределение плотности энергии в сечении излучения CO_2 –лазера. На рис. 1в показан восстановленный таким образом профиль распределения плотности энергии в сечении сфокусированного излучения CO_2 –лазера. Прямые измерения распределения энергии дали хорошее качественное согласование структуры пучка с восстановленным профилем.

1. Пикалов В. В., Преображенский Н. Т. Реконструктивная томография в газодинамике и физике плазмы. Новосибирск: Наука. 1987. 231 с.
2. Левин Г. Г., Семенов Э. Г., Старостенко О. В. //Оптика и спектроскопия. 1985. Т. 58. Вып. 5. С. 1161–1164.
3. Воробьев В. В., Грачева М. Е., Гурвич А. С. //Акустический журнал. 1986. Т XXXII. Вып. 4. С. 457–461.
4. Брусков А. В., Иващенко М. И., Панов В. П. //Квантовая электроника. 1986. Т. 13. № 10. С. 2025–2030.
5. Афонин М. А., Землянов А. А., Латышев Н. Н. //В кн.: III Всес. конференция «Теоретическая и прикладная оптика». (Тезисы докл.). Л.: Изд. ГОИ. 1988. С. 284–285.

Сибирский физико-технический институт
им. В. Д. Кузнецова
Институт оптики атмосферы СО АН СССР, Томск

Поступило в редакцию
30 июня 1988 г.

M. A. Afonin, V. D. Donchenko, A. A. Zemlyanov, A. A. Zemlyanov,
A. M. Kabanov. **Intense Laser beam Structure Diagnostics by Computerized Tomography.**

The structures of the intense laser beam at $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$ and the propagating channel in water aerosol under the explosive particle vaporization were restored from the measured radiation ($\lambda = 0,49 \mu\text{m}$) scattered at 90° to the IR beam. Computerized tomography is shown to be a useful means of investigating nonlinear propagation media.