

УДК 621.378.325

В.В. Карасев, Ю.А. Коняев, В.М. Сазанович, Р.Ш. Цвык

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПУЧКОВ ИК-ЛАЗЕРОВ

Рассмотрен модифицированный метод отпечатков, позволяющий получить оценки динамики параметров ИК-лазерных пучков, в том числе и работающих в частотно-импульсном режиме. Приводятся результаты измерений динамики во времени размеров пучка, положения его центра, расходимости.

Для измерения параметров пучков ИК-лазеров достаточно больших мощностей в основном используются методы, основанные на нагреве датчиков падающим излучением. Например, проходные проволоочные измерители [1], матрицы датчиков с термопарами [2], тепловизионные методы восстановления параметров излучения по нагреву экрана [3], получение отпечатков (ожогов) на различных материалах (термочувствительная бумага с цветовыми порогами, бумага, пропитанная различными составами, магнитные пленки и т.д.) [4, 5] и др. Методы, основанные на многоэлементных приемниках, тепловизионные системы сложны в реализации и дорогие.

В данной статье предложен модифицированный метод отпечатков (простой и дешевый), позволяющий получить оценки динамики параметров ИК-лазеров, работающих в квазинепрерывном (частотно-импульсном) режиме. Приводятся результаты измерений динамики во времени размеров пучка, положения его центра, расходимости.

Методика измерений

Модификация метода заключается в том, что регистрирующий материал движется во время генерации в поперечном сечении пучка. Два варианта такого устройства приведены на рис. 1, 2. В них движение обеспечивается вращением дисков с заданным числом оборотов, а регистрирующий материал закреплен на поверхности дисков. На оси вращения выполнено конусное отверстие для установки ножки циркуля, которым на поверхности материала чертится опорный круг, относительно которого измеряются координаты краев отпечатков. Для установки необходимой скорости вращения дисков на каждом из них устанавливается оптический, магнитный или другой датчик оборотов с измерительным устройством.

Устройство Сканатор-1 (см. рис. 1) позволяет измерять положение центра пучка и его размеры одновременно в двух (вертикальном и горизонтальном) сечениях, если пучок имеет кольцевую форму или подобную ей. Перед дисками установлен металлический, полированный экран с двумя взаимно перпендикулярными щелями. При этом ось пучка совмещается

с центром экрана. Если форма пучка круглая или прямоугольная, то измерения проводятся в одном сечении с одним диском и экраном с одной щелью. Отраженное от поверхности экрана излучение направляется в поглотитель (ловушку). Излучение от каждого импульса генерации проходит через щели и оставляет отпечатки на регистрирующем материале. Ширина щелей Δl , радиус диска R и частота его вращения n выбираются из условий:

$$V = (1,5 \div 2) \Delta l f; R \geq N(1,5 \div 2) \Delta l; n = 2\pi R/V, \quad (1)$$

где V – скорость вращения диска; f – частота следования импульсов генерации; $N = t \times f$ – количество импульсов, которое необходимо зарегистрировать за время генерации t .

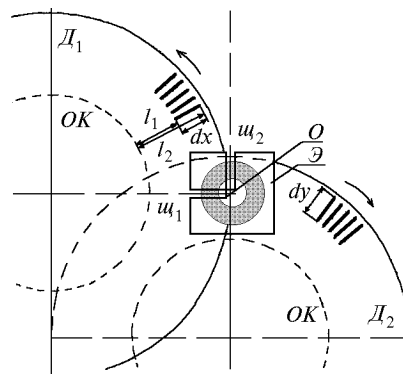


Рис. 1. Устройство Сканатор-1 для измерения размеров пучка в двух сечениях (вертикальном и горизонтальном): D_1, D_2 – вращающиеся диски; \mathcal{E} – экран с двумя взаимно перпендикулярными щелями u_1, u_2 ; O – ось пучка излучения; dx, dy – размеры пучка по осям x и y ; OK – опорная окружность

Выполнение этих условий обеспечивает раздельную регистрацию каждого импульса. В ряде случаев необходимо учесть влияние дифракции на щели, приводящей к увеличению ширины отпечатка за щелью $\Delta l_d = \Delta l + 2,44\lambda L/\Delta l$, где L – расстояние от щели до поверхности диска.

При малых размерах лазерного пучка возможна прямая регистрация каждого импульса без использования экрана.

На рис. 2 приведено устройство Сканатор-2 для измерения расходимости и смещения лазерного пучка методом двух сечений. Первый диск выполнен в виде модулятора, второй – сплошной. Часть импульсов излучения, прошедшая через щель, образованную двумя металлическими зеркалами (экранами), оставляет отпечатки каждого импульса либо на первом диске, либо на втором. Ширина лопастей модулятора равна промежутку между ними и должна быть в несколько раз больше ширины щели. Скорость вращения дисков подбирается так, чтобы за время прохождения лопасти или промежутка прошло несколько импульсов излучения. Это позволяет провести осреднение по времени по этому количеству импульсов.

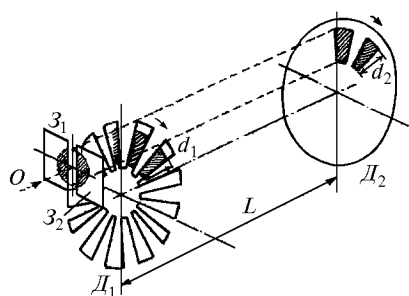


Рис. 2. Устройство Сканатор-2 для измерения расходимости и смещения лазерного пучка методом двух сечений: D_1, D_2 – вращающиеся диски; Z_1, Z_2 – зеркала, образующие щель; L – расстояние между дисками; d_1, d_2 – размеры пучка; O – ось пучка

При обработке отмечают верхний и нижний края каждого отпечатка на выбранном уровне (на глаз или по уровню калибровки) и по радиусу измеряется расстояние до опорной окружности l_1, l_2 на каждом из дисков. Затем рассчитываются размеры dx_i, dy_i , координаты центра x_i, y_i для каждого импульса (i – номер импульса) и смещение центра $\Delta x, \Delta y$ от среднего положения x_c, y_c :

$$d_i = l_2 - l_1; x_i = (l_1 + l_2)/2;$$

$$\Delta x = x_i - x_c; \Delta y = y_i - y_c. \quad (2)$$

Проведенные испытания с устойчивым CO_2 -лазером показали, что среднеквадратическая ошибка измерений $\sigma(d) = 0,23$ мм, $\sigma(x_i) = 0,25$ мм при средних значениях $d_c = 61,4$ мм и $x_c = 89,2$ мм относительно опорной окружности.

Во втором варианте оцениваются общая расходимость пучка Θ , радиус кривизны волнового фронта F и смещение направления его распространения Δl по щели, например за счет теплового самовоздействия:

$$\Theta = \frac{d_1 - d_2}{L}; F = \frac{L d_2}{d_2 - d_1}; \Delta l = y_2 - y_1, \quad (3)$$

где d_1, d_2, y_1, y_2 – средние значения по импульсам, регистрируемым на одной лопасти или в одном промежутке; L – расстояние между дисками.

Результаты измерений

Измерения выполнены в условиях отсутствия ветра на участке между CO_2 -лазером и оптической системой. Распределение интенсивности по пучку было близко к равномерному. Режим генерации – квазинепрерывный (частотно-импульсный).

На рис. 3 приведен пример измерения размеров пучка в сечениях по осям x, y . По вертикальной оси отложены размеры пучка dx, dy , нормированные на средний размер dx_c, dy_c , по горизонтальной оси – номер импульса N_i , нормированный на общее количество импульсов N .

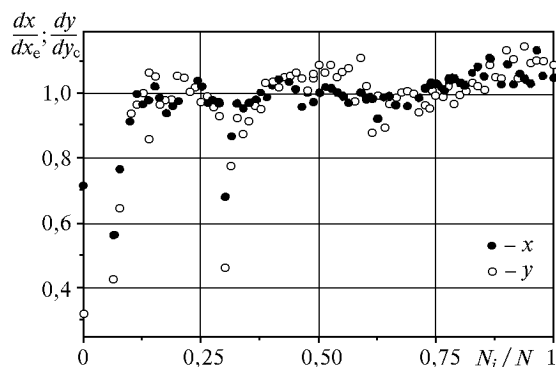


Рис. 3. Нормирование на средние значения размера пучка в двух сечениях

На рис. 4 приведено отклонение центра пучка $\Delta x, \Delta y$ по осям x, y от среднего положения в миллиметрах.

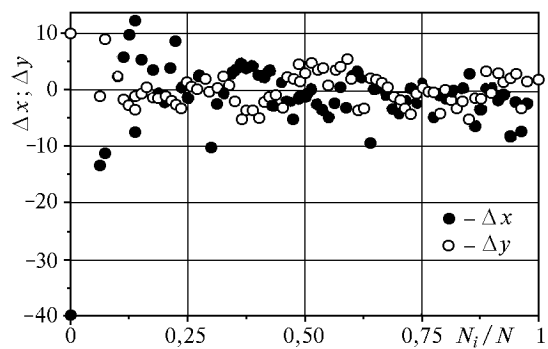


Рис. 4. Смещение центра пучка $\Delta x, \Delta y$ относительно среднего положения

Из результатов измерений следует ряд характерных особенностей работы исследуемого лазера. Первая – неустойчивый режим генерации после первых нескольких импульсов от $(0,01 \text{ до } \approx 0,07)N_i/N$ и вторая – уменьшенный размер пучка первых импульсов генерации. Второй срыв генерации при $0,3N_i/N$ не является характерным, проявился в данном конкретном измерении и показывает возможности данной методики. Наблюдаются достаточно значительные флуктуации $\approx \pm 10\%$ размера пучка и положения его центра. Флуктуации размера пучка могут быть связаны с двумя факторами. Первый – изменение

энергии от импульса к импульсу, так как размер определяется по пороговому уровню отпечатка. Второй – реальные измерения размера пучка. При достаточно длительном воздействии устойчивое уширение пучка наблюдается после $\approx 0,8$ с, что согласуется с результатами измерений другими средствами и определяется тепловым самовоздействием.

Изменение размера пучка на расстоянии L показано на рис. 5. Точки – средний размер пучка по группе импульсов на дисках d_1 и d_2 , сплошные кривые – аппроксимации уравнениями 4-го порядка, рассчитанные методом наименьших квадратов:

$$d_1 = 20,30 + 50,53t - 125,38t^2 + 130,39t^3 - 48,95t^4;$$

$$r = 0,893,$$

$$d_2 = 19,52 + 80,87t - 220,85t^2 + 260,85t^3 - 112,19t^4;$$

$$r = 0,945, \quad (4)$$

где r – коэффициент корреляции.

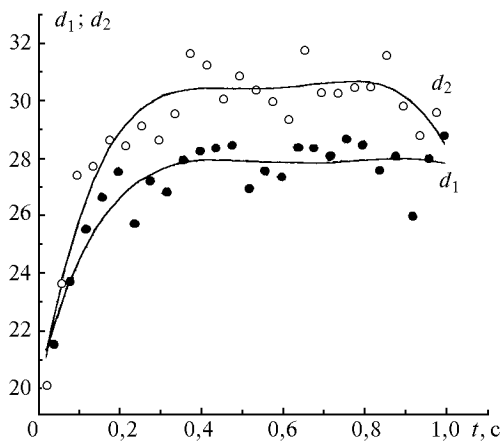


Рис. 5. Размеры пучка (мм) по вертикальной координате на первом d_1 и втором d_2 дисках

С помощью соотношения (3) и аппроксимации (4) были рассчитаны расходимость Θ'' и радиус кривизны волнового фронта F (рис. 6). Из рисунка видно, что вначале генерируется фокусированный пучок ($F \leq -200$ м, $\Theta \leq -200''$), который быстро ($t \approx 0,04$ с)

переходит в коллимированный ($F = \infty$, $\Theta = 0$), и по истечении $t \geq 0,15$ с устанавливается стационарный режим генерации ($F \approx 86$ м, $\Theta \approx 700''$). Такой временной ход объясняет уменьшенный размер пучка при первых импульсах генерации (см. рис. 1) и неустойчивость генерации в начальный момент времени из-за быстрого изменения эффективного фокусного расстояния резонатора лазера. Изменения F и Θ в конце генерации обусловлены, в большей степени, ошибками аппроксимации.

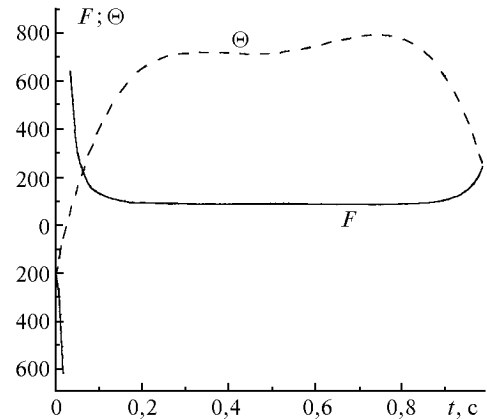


Рис. 6. Изменение эквивалентной расходимости Θ'' и радиуса кривизны волнового фронта F (м) от времени

Таким образом, полученные результаты показали применимость используемых устройств, не требующих больших затрат, для оценки параметров ИК-лазеров, работающих в частотно-импульсном режиме.

1. Ситников В.Н., Чистякова Л.К. Томографическое восстановление пространственно-временного профиля оптических пучков // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. № 5. С. 618–624.
2. Хирд Г. Измерение лазерных параметров. М.: Мир, 1970. 539 с.
3. Аксенов В.П., Захарова Е.В., Исаев Ю.Н., Исаков А.В., Рейно В.В., Цвык Р.Ш. Восстановление интенсивности лазерного пучка по зашумленному температурному полю мишени // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т. 9. № 10. С. 1359–1366.
4. Абакумов Б.М., Паньшин И.А., Подпальый Е.А., Степанов Б.М., Фабриков Б.А. Регистрация оптической информации на тонкие магнитные пленки. М.: Атомиздат, 1976. 150 с.
5. Васильев Л.А., Морозов Ю.Б., Пыхтин В.А., Семенов А.К., Тимофеев Ю.П., Фридман С.А. Применение люминесцентных экранов для измерения спектральных характеристик импульсных ИК-лазеров // Квантовая электроника. 1978. Т. 5. № 1. С. 201–203.

Институт оптики атмосферы СО РАН,
Томск

Поступила в редакцию
9 января 1998 г.

V.V. Karasev, Yu.A. Konyaev, V.M. Sazanovich, R.Sh Tsvyk. Measurement of IR-laser Beam Parameters.

A modified method of imprints is treated in the paper allowing one to estimate the dynamics of the IR-laser beam parameters, including the frequency-pulse regime of the IR-laser operation. The measurement results on temporal dynamics of the beam size, center location, and divergence are presented.