

Исследование влияния излучения рабочего лазера на работу систем автоюстировки высокоточных лазерных приборов

77-30569/241632

10, октябрь 2011

Барышников Н. В., Пискунов Т. С.

УДК 535.211

МГТУ им. Н.Э. Баумана

thedistorted@yandex.ru

baryshnikov@bmstu.ru

Введение

В настоящее время существует широкий круг задач, связанных с обеспечением юстировки высокоточных лазерных систем, таких как лазерные локационные системы, системы экомониторинга, а так же системы, решающие ряд производственных и технологических задач. В простейшем случае требуется обеспечить юстировку оптических осей приёмного и передающего каналов с угловой точностью, не превышающей десятков угловых минут. Как правило, это реализуется посредством юстировки на стадии изготовления и сборки или юстировки оператором в процессе эксплуатации [1, 2]. В ряде случаев требуется осуществлять юстировку с высокой точностью порядка угловых секунд в условиях внешних механических воздействий на конструкцию. В таких случаях предусматривается создание системы автоюстировки – автоматизированной системы получения, обработки контролируемой информации и последующей юстировки системы.

Особую актуальность задача создания системы автоюстировки приобретает при разработке лазерных локационных систем. В условиях внешних механических воздействий на конструкцию, температурных уводов элементов конструкции, уводов оси излучения технологического лазера необходимо осуществлять юстировку в реальном времени. Именно в этом случае в схему устройства вводится система автоюстировки. Такая система обеспечивает выставку углового положения осей приёмного канала и оси диаграммы направленности излучения подсвета, сформированной в передающем канале. Оптическую ось приёмного канала достаточно просто материализовать: для канала, образованного приёмным объективом и матричным фотоприёмником – это ось, проходящая через главную точку объектива и назначенный элемент матричного приёмника излучения. Положение оси передающего канала не имеет

значения, так как необходимо знать только положение оси диаграммы направленности индикатрисы излучения подсвета, сформированной передающим каналом.

Схема реализации вышеописанной системы автоюстировки может выглядеть следующим образом: часть излучения подсвета на выходе передающего канала направляется в приёмный, изменяя свое направление на обратное. Измерив его положение на матричном приёмнике излучения приёмного канала, можно определить угловое рассогласование и компенсировать его механически (или другими, более точными способами). Несмотря на ценность того, что эта схема осуществляет прямое измерение, ее реализация практически не осуществима из-за ряда технических проблем, таких, как проблема отвода излучения подсвета в приёмный канал (потеря информации об истинном положении оси индикатрисы излучения подсвета, ограничения по габаритам, сложности, возникающие вследствие высокой мощности излучения технологического лазера); проблема, связанная с ограничениями, накладываемыми импульсным режимом технологического лазера и т.п.

Для исключения вышеперечисленных трудностей в систему вводится дополнительный маркерный канал (дополнительный маркерный излучатель, например твердотельный лазер, генерирующий излучение в видимом диапазоне). Ось этого канала выставляется с высокой точностью по оси излучения технологического лазера на входе в систему передающего канала. Далее в системе ось излучения маркера будет репером углового и пространственного положения излучения технологического лазера. Для высокой точности сопоставления осей диаграмм направленности излучений технологического и маркерного лазеров вводится дополнительная система автоюстировки [3].

В качестве примера, рассмотрим следующую функциональную схему высокоточного лазерного прибора (рис. 1) [4].

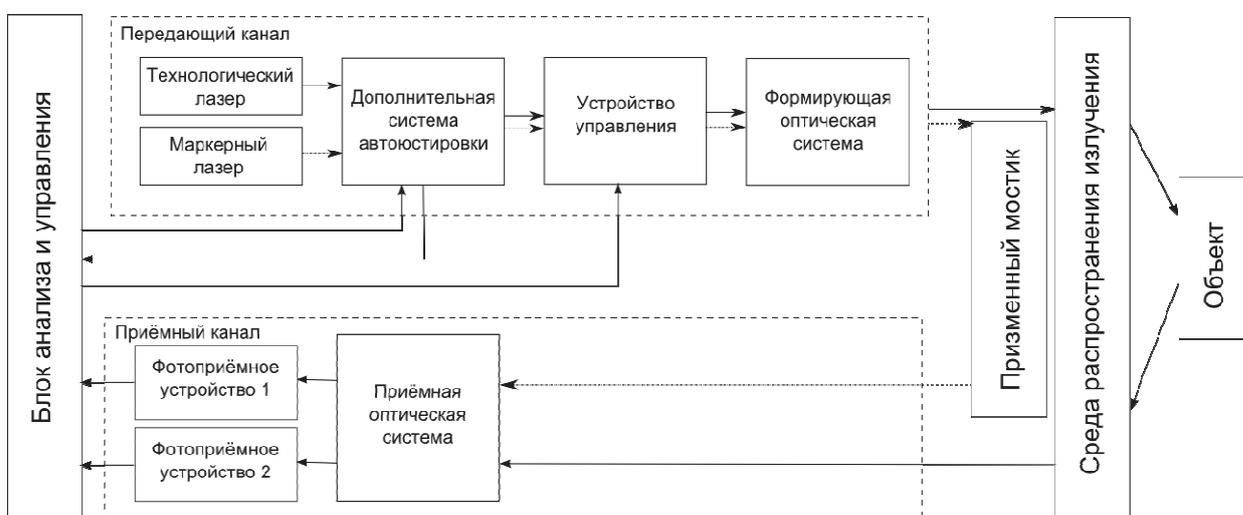


Рис. 1. Функциональная схема высокоточного лазерного прибора

Передающий канал формирует зондирующее лазерное излучение. Основными его элементами являются технологический лазер (ТЛ), формирующая оптическая система для изменения угловой расходимости лазерного излучения, устройство управления излучением для модуляции и сканирования лазерного пучка. Сформированное передатчиком зондирующее излучение проходит через среду распространения и подсвечивает объект, имеющий некоторое пространственное распределение коэффициента отражения по интенсивности $\rho_\lambda(x, y)$ для излучения данного спектрального состава. Отраженное излучение после обратного прохода через среду регистрируется приёмным каналом, содержащим приёмную оптическую систему и фотоприёмное устройство (ФПУ). Блок анализа и управления предназначен для приёма, цифрового преобразования и обработки входного сигнала с ФПУ, формирования выходного аналогового сигнала на входе монитора, а также для формирования синхронизирующих и управляющих импульсов.

Дополнительный контур автоустировки (рис. 2) обеспечивает согласование пучков излучений технологического (ТЛ) и маркерного (МЛ) лазеров и выглядит следующим образом. Излучение МЛ и ТЛ с помощью полупрозрачной пластины направляется в дополнительную САЮ, которая измеряет взаимное рассогласование между осями диаграмм направленности излучений технического и маркерного лазеров с помощью двух матричных ФПУ, работающих в видимом и ИК диапазонах. В электронном блоке системы формируется сигнал управления, который обрабатывается дефлектором.

Основной контур автоустировки обеспечивает согласование оптических осей приёмного и передающего каналов с высокой точностью, порядка угловых секунд. Излучение маркерного лазера, ось диаграммы направленности которого совпадает с осью диаграммы направленности технологического лазера, направляется в приёмный канал ЛЛС с помощью призмного мостика. В приёмном канале осуществляется измерение угловых координат излучения с помощью системы, состоящей из приёмного объектива и матричного ФПУ. В блоке анализа осуществляется измерение рассогласования, которое компенсируется с помощью системы управляемых зеркал в передающем канале.

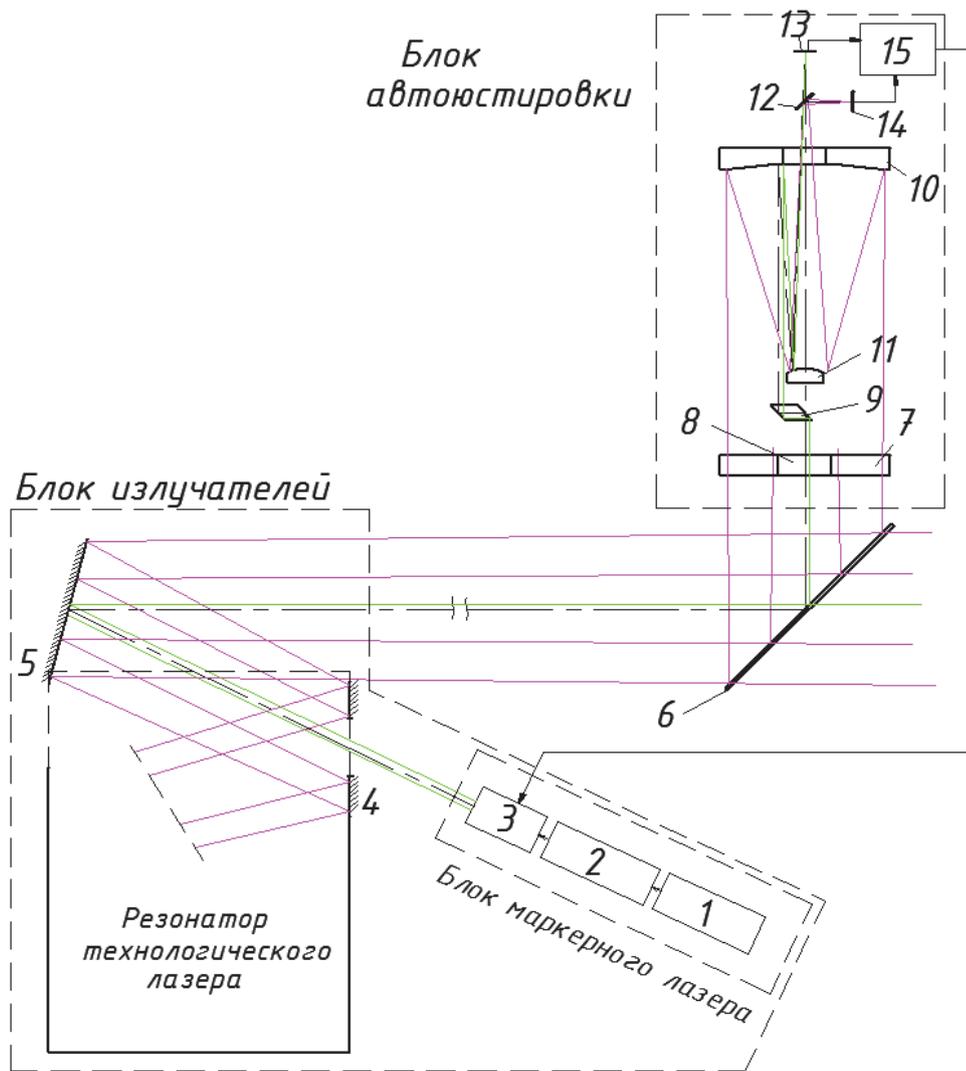


Рис. 2. Функциональная схема системы автоустировки

Для обеспечения параллельности оптических осей инфракрасного и видимого излучений излучение маркерного лазера располагается в центре излучения технологического лазера (см. рис. 3.), т.к. апертура технологического лазера имеет кольцевую структуру.

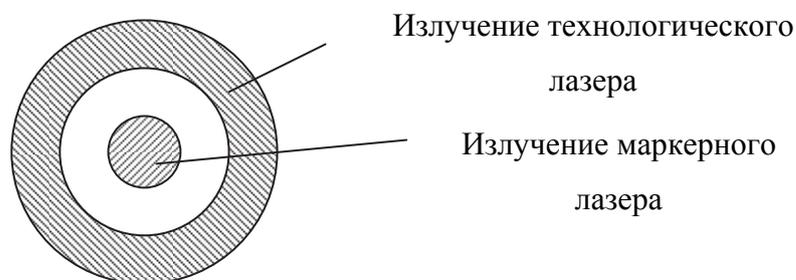


Рис. 3. Схематическое изображение взаимного расположения сечений пучков излучений лазеров

Для осуществления этого в маркерный лазер располагается определённым образом по отношению к резонатору технологического лазера с помощью кольцевого зеркала 4 (см. рис. 2).

Поскольку излучение маркерного лазера располагается вблизи мощного инфракрасного излучения технологического лазера, существует возможность воздействия мощного излучения на приёмный канал, предназначенный только для видимого излучения. Эта возможность возникает вследствие двух особенностей распространения мощного инфракрасного излучения:

1. Вследствие дифракции на кольцевой апертуре, мощное излучение может появиться в центре кольца [5];
2. Вследствие поглощения энергии излучения происходит нагрев среды распространения, что приводит к возникновению градиента показателя преломления, а значит и к изменению структуры пучка излучения. [6,7].

Необходимо избежать попадания мощного излучения технологического лазера на оптические и механические поверхности оборудования, предназначенного для работы с маломощным излучением маркерного лазера, а так же на фотоприёмное устройство, так как такое воздействие может повлиять на правильную работу системы.

Таким образом, существует актуальная задача разработки методики, позволяющей оценить наиболее опасные участки конструкции для применения каких-либо методов защиты от мощного инфракрасного излучения.

1. Исследование влияния дифракции на параметры пучка излучения рабочего лазера

Для исследования уширения пучка технологического лазера за счёт дифракции достаточно вычислить дифракционный интеграл в приближении Френеля (1) [5]. В качестве примера можно исследовать расходимость излучения пучка с распределением интенсивности, показанным на рис. 4.а.

$$\mathcal{E}(r_0, z) = \frac{2\pi i \mathcal{E}_0}{\lambda z} \exp \left[-ik \left(z + \frac{r_0^2}{2z} \right) \right] \int_0^R J_0 \left(\frac{kr r_0}{z} \right) \exp \left(-\frac{ikr^2}{2z} \right) r dr \quad (1)$$

При условии, что $\mathbf{z} \gg \mathbf{r}, r_0$ (дифракция слаборасходящихся пучков).

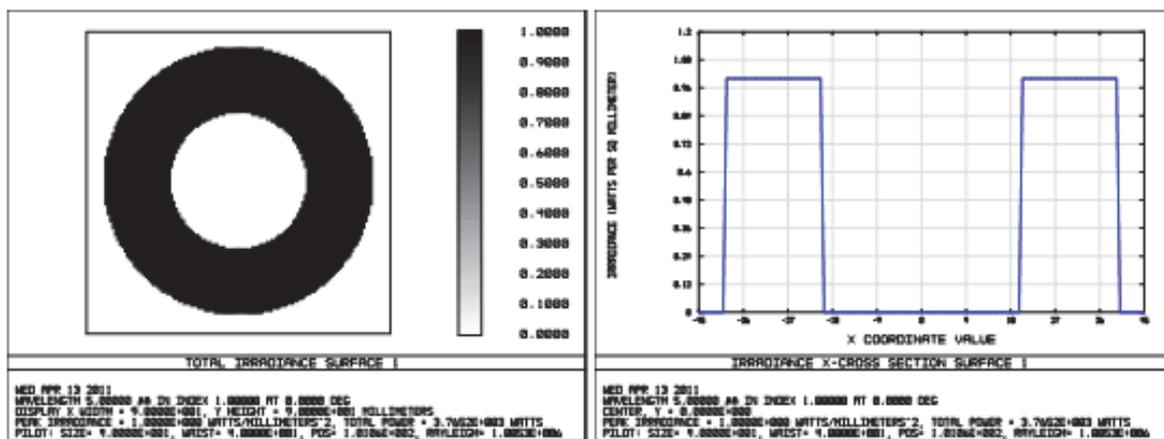


Рис. 4.а. Распределение интенсивности излучения технологического лазера на выходе из резонатора (диаметр пучка – 80 мм, длина волны – 5 мкм)

На рис. 4.б,в,г,д показано распределение интенсивности излучения технологического лазера на расстояниях 1, 5, 15, 50 метров от выходного окна резонатора. На рис. 5.а,б,в,г,д приведены функции концентрации энергии в поперечном сечении пучка на расстояниях 0, 1, 5, 15, 50 метров от выходного окна резонатора.

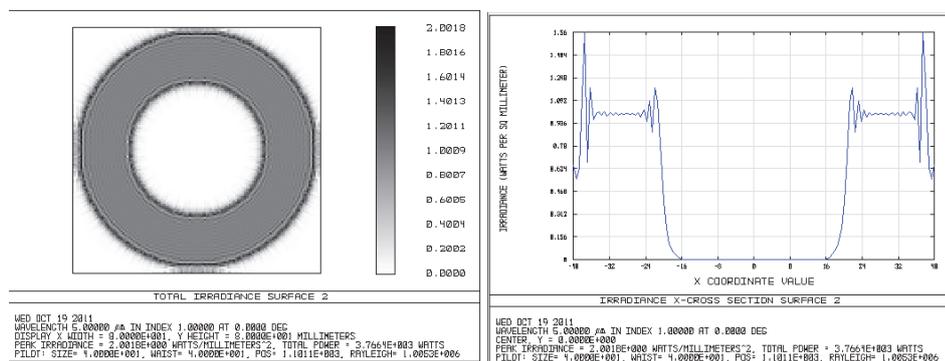


Рис. 4.б. Распределение интенсивности излучения технологического лазера на расстоянии 1 м. от выходного окна резонатора

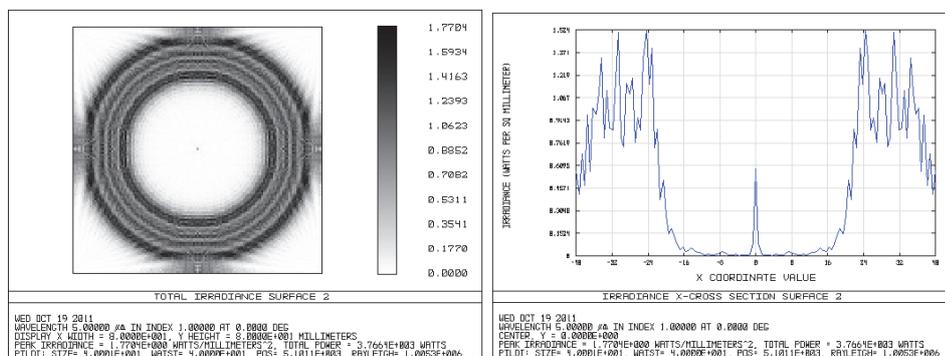


Рис. 4.в. Распределение интенсивности излучения технологического лазера на расстоянии 5 м. от выходного окна резонатора

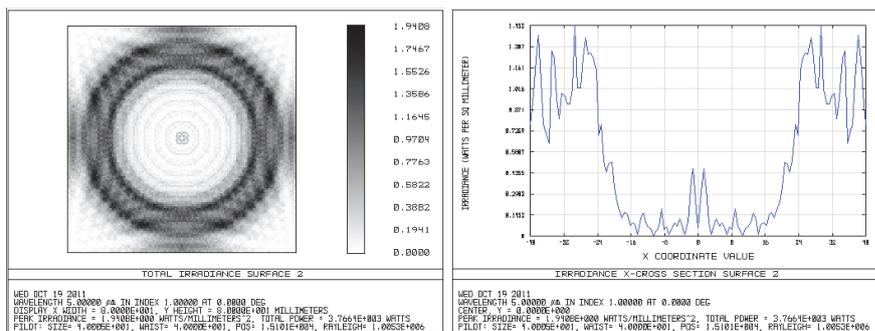


Рис. 4.г. Распределение интенсивности излучения технологического лазера на расстоянии 15 м. от выходного окна резонатора

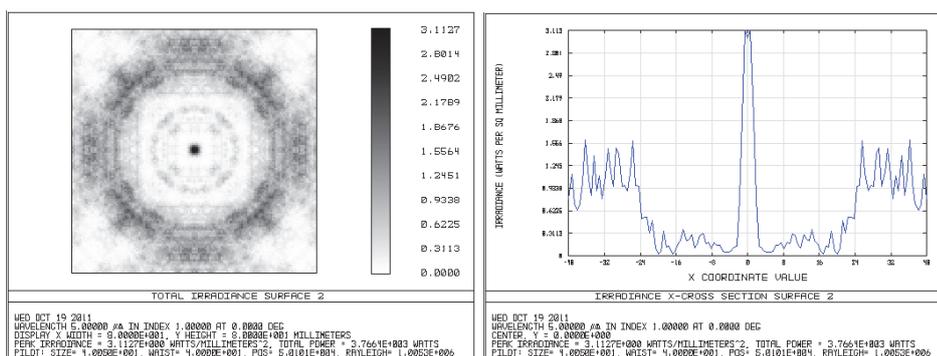


Рис. 4.д. Распределение интенсивности излучения технологического лазера на расстоянии 50 м. от выходного окна резонатора

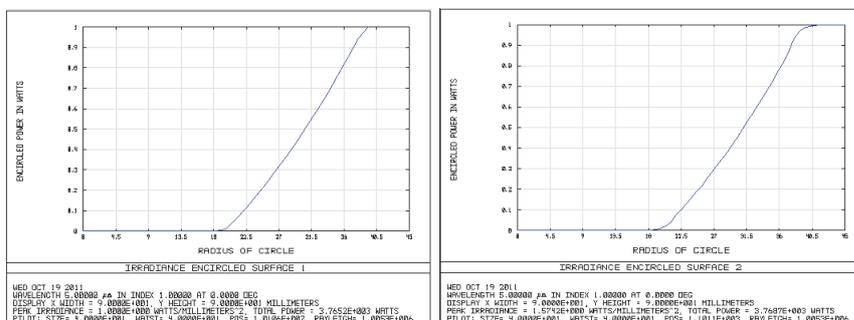


Рис. 5.а,б. Функция концентрации энергии технологического лазера на выходном окне резонатора (слева) и на расстоянии 1 м. (справа).

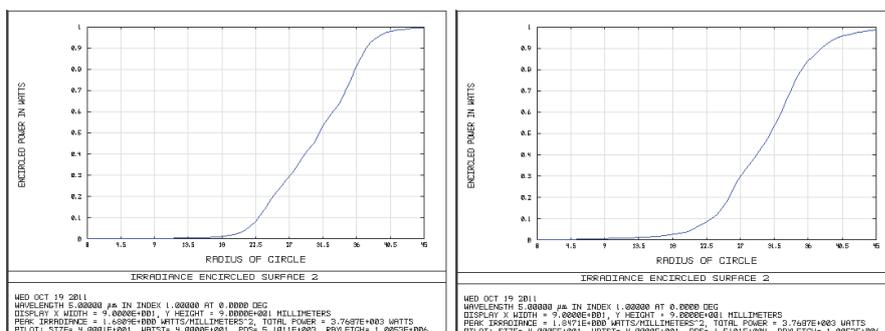


Рис. 5.в,г. Функция концентрации энергии технологического лазера на расстоянии 5 м. (слева) и 15 м. (справа) от выходного окна резонатора.

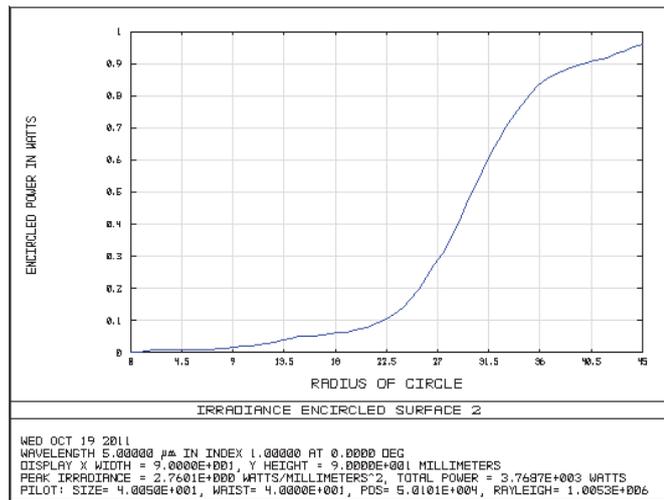


Рис. 5.д. Функция концентрации энергии технологического лазера на расстоянии 50 м. от выходного окна резонатора.

На основании такого исследования можно сделать выводы наличия незначительной части энергии излучения технологического лазера на оси на расстояниях 5 – 15 метров (см. функции концентрации энергии рис. 5. б-г). На расстоянии 50 метров и далее на оси концентрируется значительное количество энергии излучения технологического лазера (рис. 4.д.). Таким образом, можно утверждать о возможности попадания мощного инфракрасного излучения в канал, предназначенный для видимого излучения, расположенный на оптической оси, на расстоянии 50 и более метров от выходного окна резонатора. На меньших расстояниях, в рассмотренном случае, интенсивность излучения может не представлять опасности при попадании в канал, предназначенный для видимого излучения.

2. Разработка методики исследования влияния теплового самовоздействия на параметры пучка излучения рабочего лазера. Приближение тонкой линзы.

При воздействии на среду достаточно мощного излучения, вследствие поглощения энергии изменяется её показатель преломления и наблюдается эффект самодефокусировки [8]. При падении светового пучка, имеющего, например, гауссово распределение амплитуды в поперечном сечении, нелинейная среда с показателем преломления (2) становится оптически неоднородной:

$$n = n_0 + n_{нл}(|A|^2), n_{нл} < 0 \quad (2)$$

В формуле (2) A – комплексная амплитуда поля, n_0 – линейная часть показателя преломления среды, $n_{нл}$ – отрицательная нелинейная добавка к показателю преломления.

В такой среде лучи испытывают нелинейную рефракцию, отклоняясь в областях больших

значений показателя преломления. Это и приводит к возникновению эффекта самодефокусировки, а слой нелинейной среды играет роль отрицательной (рассеивающей) линзы с фокусным расстоянием, зависящем от интенсивности излучения.

Для исследования этой проблемы в общем случае необходимо решать совместно волновое уравнение и уравнение теплопроводности, что требует значительных вычислительных мощностей. Поэтому возникает необходимость в простой методике. Такая методика была разработана на основе понятия тонкой тепловой линзы (см. [9, 6, 7]).

Пусть пучок с профилем интенсивности (3), радиусом r_0 и имеющий длину волны λ проходит через слой среды толщиной l , обладающей коэффициентом поглощения α и теплопроводностью χ .

$$I(r) = I_0 \exp\left[-\frac{2r^2}{r_0^2}\right]; \quad (3)$$

В таком случае слой пространства можно заменить тонкой тепловой линзой. Фокусное расстояние такой линзы можно определить следующим образом [10]:

$$f = \frac{2\chi}{\alpha \cdot I_0 \cdot l \cdot \left|\frac{dn}{dt}\right|}; \quad (4)$$

где $\left|\frac{dn}{dt}\right|$ - это температурный градиент показателя преломления. Такая замена будет справедлива для слабой дефокусировки, когда $f \gg l$. Это неравенство ограничивает сверху допустимые значения интенсивности излучения:

$$I_0 < I_{\max} = \frac{2\chi}{\alpha \cdot l^2 \cdot \left|\frac{dn}{dt}\right|}; \quad (5)$$

С другой стороны, данное приближение делается при условии пренебрежения дифракцией. Это можно сделать, если нелинейная расходимость пучка существенно превышает дифракционную: $\theta_{\text{нл}} > \theta_{\text{д}} = \frac{\lambda}{\pi r_0}$. Последнее условие ограничивает значение интенсивности снизу:

$$I_0 > I_{\min} = \frac{2\lambda\chi}{\pi \cdot r_0^2 \cdot \alpha \cdot l \cdot \left|\frac{dn}{dt}\right|}; \quad (5')$$

Таким образом, выражения (5) и (5') являются условиями применимости методики тонкой тепловой линзы.

Для рассмотрения слоя толщиной, превышающей допустимые условиями (5) и (5') значения, предлагается использовать следующий алгоритм расчета. Если проверка условий для входных параметров задачи показывает, что формулой (4) пользоваться нельзя, то необходимо разбить слой, заданной толщиной l , на k равных слоев, толщинами l_1 в пределах которых условия (5) и (5') выполняются.

$$l = k \cdot l_1; \quad (6)$$

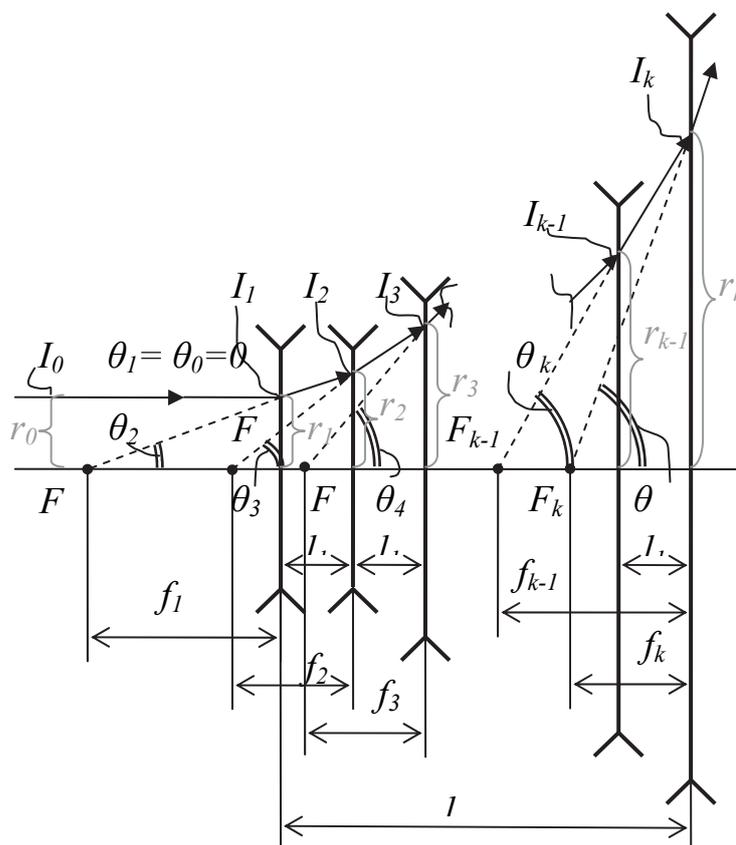


Рис. 6. Схема замещения слоя пространства системой тонких тепловых линз

Разбиение можно совершать как на слои, в которых $I_0 \approx I_{\max}$, так и на слои, в которых $I_0 \approx I_{\min}$. Первый способ удобен для исследования слоя, имеющего очень большую толщину или для исследования действия пучка малой мощности. Второй способ при больших значениях l или малых I_0 обычно дает слишком большое число разбиений (что видно из формул (5) и (5')), но в большинстве задач удобно пользоваться именно этим способом.

Для вычисления не только угловой, но и линейной расходимости пучка, прошедшего слой пространства толщиной l , необходимо рассчитать геометрический ход лучей через k последовательно расположенных тонких линз, система которых показана на рис. 6.

При этом фокусное расстояние первой линзы вычисляется с использованием заданных I_0 и r_0 . Используя фокусное расстояние предыдущей линзы, можно вычислить I_{0i} и r_{0i} по формулам (6) и использовать их для расчета фокусного расстояния следующей линзы.

Итак, используя простые геометрические выражения, для i -того слоя пространства, получим выражения для фокусного расстояния i -той линзы, угла наклона луча на выходе i -той линзы, радиуса пучка на входе $i+1$ слоя, амплитуды интенсивности на входе $i+1$ слоя.

Фокусное расстояние получим по аналогии с формулой (4):

$$f_i = \frac{2\chi}{\alpha \cdot I_{0i} \cdot l_1 \cdot \left| \frac{dn}{dt} \right|}; \quad (7)$$

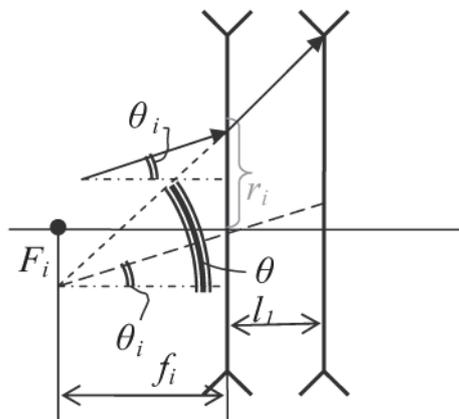


Рис. 7. Ход лучей между i и $i+1$ зонами

Угол наклона луча на выходе i -той линзы легко вывести, руководствуясь рис. 7:

$$\theta_{i+1} = \arctg\left(\frac{r_i + f_i \cdot \tg(\theta_i)}{f_i}\right); \quad (8)$$

Тогда радиус пучка:

$$r_{i+1} = r_i + l_1 \cdot \tg(\theta_{i+1}); \quad (9)$$

Формула для расчета амплитуды интенсивности на входе $i+1$ слоя получается следующим образом:

Интенсивности пучков в i -м и $i+1$ -м слоях описываются выражениями:

$$\begin{aligned} I_i(r) &= I_{0i} \exp\left[-\frac{2r^2}{r_{0i}^2}\right]; \\ I_{i+1}(r) &= I_{0i+1} \exp\left[-\frac{2r^2}{r_{0i+1}^2}\right]; \end{aligned} \quad (10)$$

Далее необходимо выразить интенсивность на входе $i+1$ слоя через интенсивность на входе i -го слоя. Положим, что $I_i(r)$ - известно. Если не учитывать поглощение среды, должно выполняться условие:

$$\int_{-r_i}^{r_i} I_i(r) dr = \int_{-r_{i+1}}^{r_{i+1}} I_{i+1}(r) dr \Leftrightarrow I_{0i} \cdot \int_{-r_i}^{r_i} \exp\left[-\frac{2r^2}{r_i^2}\right] dr = I_{0i+1} \cdot \int_{-r_{i+1}}^{r_{i+1}} \exp\left[-\frac{2r^2}{r_{i+1}^2}\right] dr; \quad (11)$$

Сделаем замену: $\frac{2r^2}{r_i^2} = t^2$. Тогда $r = \frac{r_i}{\sqrt{2}} t$; $dr = \frac{r_i}{\sqrt{2}} dt$; и $t(r=0) = 0$; $t(r=r_i) = \sqrt{2}$.

Такою же замену можно сделать для $i+1$ слоя: $\frac{2r^2}{r_{i+1}^2} = u^2$.

Тогда $r = \frac{r_{i+1}}{\sqrt{2}} u$; $dr = \frac{r_{i+1}}{\sqrt{2}} du$; и $u(r=0) = 0$; $u(r=r_{i+1}) = \sqrt{2}$.

Условие (11) можно переписать в виде:

$$I_{0i} \int_0^{r_i} \exp\left[-\frac{2r^2}{r_i^2}\right] dr = I_{0i+1} \int_0^{r_{i+1}} \exp\left[-\frac{2r^2}{r_{i+1}^2}\right] dr \Leftrightarrow I_{0i} \frac{r_i}{\sqrt{2}} \int_0^{\sqrt{2}} \exp[-t^2] dt = I_{0i+1} \frac{r_{i+1}}{\sqrt{2}} \int_0^{\sqrt{2}} \exp[-u^2] du \quad (12)$$

Тогда из (12) получим:

$$I_{0i} \frac{r_i}{\sqrt{2}} = I_{0i+1} \frac{r_{i+1}}{\sqrt{2}} \Leftrightarrow I_{0i+1} = I_{0i} \frac{r_i}{r_{i+1}} \quad (13)$$

С учетом поглощения среды, получим окончательное выражение:

$$I_{0i+1} = I_{0i} \cdot \frac{r_i}{r_{i+1}} \exp[-\alpha \cdot l_1] \quad (14)$$

Перепишем выражения (6-13) в виде, удобном для последовательного вычисления программным способом:

$$\begin{aligned} f_i &= \frac{2\chi}{\alpha \cdot I_{0i} \cdot l_1 \cdot \left| \frac{dn}{dt} \right|}; \\ \theta_{i+1} &= \arctg\left(\frac{r_i + f_i \cdot \tg(\theta_i)}{f_i}\right); \\ r_{i+1} &= r_i + l_1 \cdot \tg(\theta_{i+1}); \\ I_{0i+1} &= I_{0i} \cdot \frac{r_i}{r_{i+1}} \exp[-\alpha \cdot l_1] \end{aligned} \quad (15)$$

Таким образом, используя полученные выражения мы имеем возможность определить радиус пучка, его интенсивность и угловую расходимость на выходе нелинейного слоя пространства толщиной l .

Такая методика позволяет определить участки конструкции, где наиболее значительно проявляются эффекты теплового самовоздействия, и воспользоваться какими-либо методами защиты. В качестве её основного достоинства можно отметить простоту и скорость вычислений.

3. Соответствие методики расчёта тепловой самодефокусировки экспериментальным данным

Анализ соответствия методики расчёта проводился путём сравнения результатов расчёта и результатов, полученных экспериментальным путём. За основу взяты результаты исследования явления нелинейной дефокусировки пучков лазеров непрерывного действия в жидкостях на примере аргонового лазера [9].

Для расчёта по методике, основанной на понятии тонкой тепловой линзы, были заданы следующие исходные данные: коэффициент поглощения излучения $3,4 \text{ м}^{-1}$ (для всех жидкостей), толщина слоя 44 см., длина волны излучения 488 нм. Данные задавались на основе исходных данных эксперимента в работе [9]. Результаты расчёта приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты расчёта по методике с отрицательными линзами

Жидкость	$\left \frac{dn}{dt} \right , \text{ К}^{-1}$	$\kappa, \text{ Вт}/(\text{см}\cdot\text{К})$	$P_0, \text{ Вт}$	$a, \text{ см}$	Предельная дефокусировка, угл. мин.
Вода	$0,8 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-3}$	0,1	0,09	10,58
			0,15	0,09	14,82
			0,15	0,16	9,65
Ацетон	$0,5 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	0,1	0,07	24,45
			0,15	0,07	33,07
Спирт	$0,4 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	0,1	0,07	19,67
			0,15	0,07	26,79

Сравнивая результаты расчёта с результатами эксперимента, приведёнными в таблице 2, можно сделать вывод, что результаты эксперимента и расчёта по методике с отрицательными линзами в достаточной степени совпадают.

Таблица 2. Результаты эксперимента, приведённые в [9]

Жидкость	$\frac{\partial n}{\partial T}$, град ⁻¹	κ , $\frac{вт}{см \cdot град.}$	P_0 , вт	a , см	Предельная дефокусировка	
					$\Delta \theta$ эксп. пред., мин	$\Delta \theta$ теор. пред., мин
Вода	$0,8 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-3}$	0,10	0,09	$10,0 \pm 0,7$	12,0
			0,15	0,09	$14,8 \pm 0,7$	18,2
			0,15	0,16	$9,0 \pm 0,7$	10,3
Ацетон	$5 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	0,10	0,07	$28 \pm 1,5$	34,5
			0,15	0,07	$41 \pm 1,5$	51,5
Спирт	$4 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	0,10	0,07	$20,5 \pm 1,5$	26
			0,15	0,07	$30,5 \pm 1,5$	37,5

Также для проверки методики была построена зависимость расходимости пучка после прохождения слоя воды от мощности и коэффициента поглощения (рис. 8, 9). Исходные данные для расчёта были взяты из таблицы 2. Толщина слоя 44 см., длина волны излучения 488 нм, начальный радиус пучка 0,12 см.

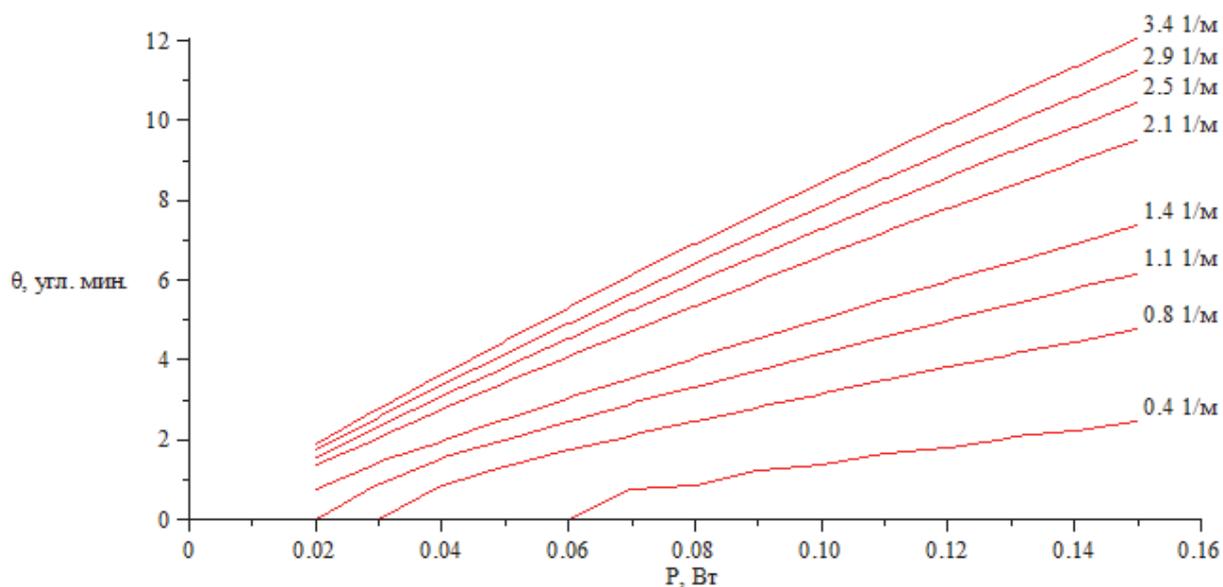


Рис. 8. Зависимость расходимости пучка после прохождения слоя воды от мощности и коэффициента поглощения

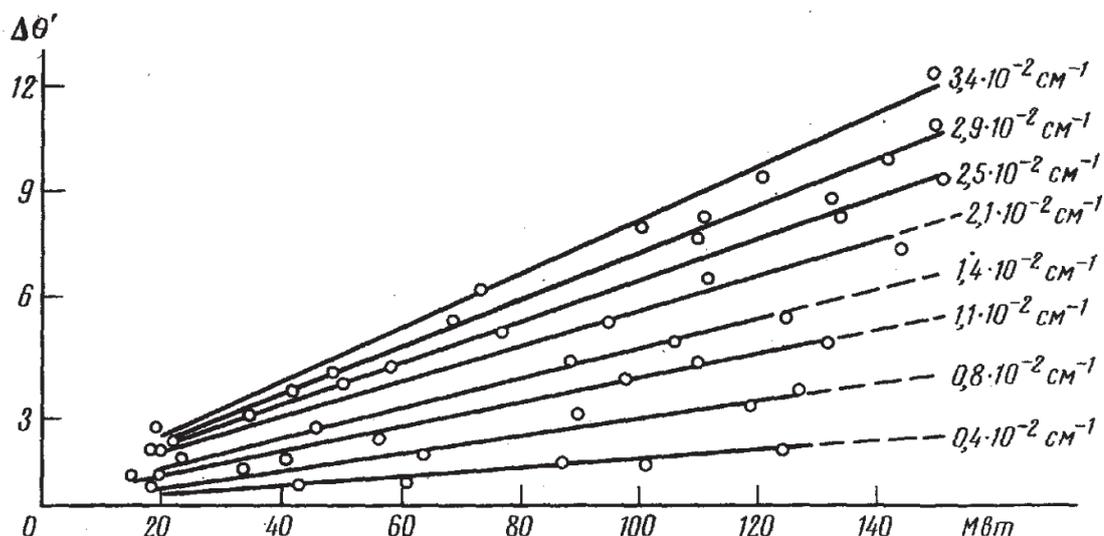


Рис. 9. Экспериментальный график зависимости увеличения расходимости пучка аргонового лазера после прохождения кюветы с водой от мощности на входе в кювету

Сравнивая зависимость, полученную при расчёте по методике, основанной на приближении тонкой линзы и экспериментальные данные, можно сказать, что результаты эксперимента и расчёта в достаточной степени совпадают.

На основании всего вышеизложенного можно сделать вывод, что методика расчёта тепловой самодефокусировки в приближении тонкой линзы является в достаточной мере точной по отношению к геометрическим параметрам пучка. Однако, пользуясь этой методикой, надо иметь в виду, что при больших мощностях величина температурного градиента растёт, и у тепловой линзы начинают проявляться нелинейные aberrации, которые наблюдались в эксперименте в [9].

4. Пример расчёта влияния теплового самовоздействия

В качестве примера можно провести расчёт для кольцевой структуры излучения технологического лазера. Поскольку методика, основанная на приближении тонкой линзы, предназначена для исследования характера распространения кругового, а не кольцевого излучения, то в первом приближении можно принять, что кольцевое излучение технологического лазера складывается из набора круговых излучений, как показано на рис. 10.

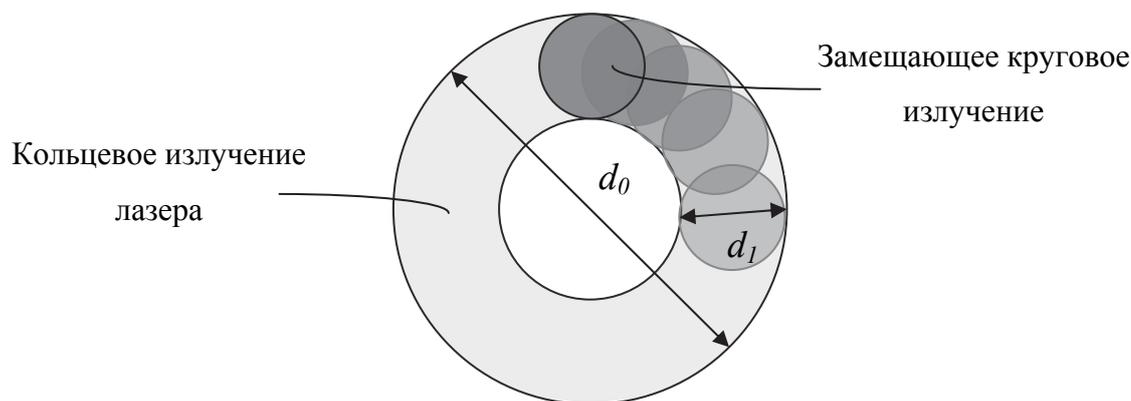
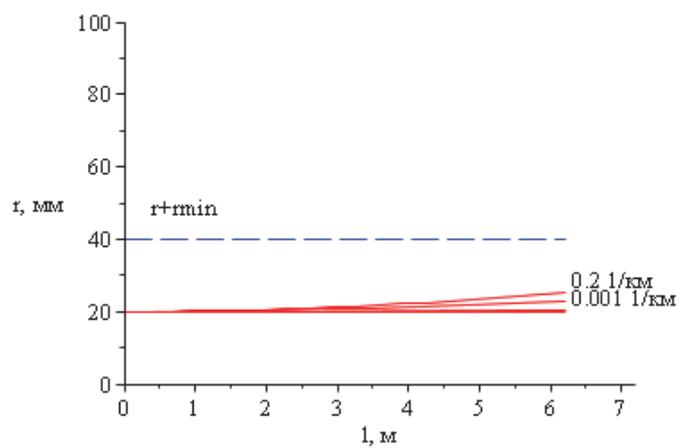
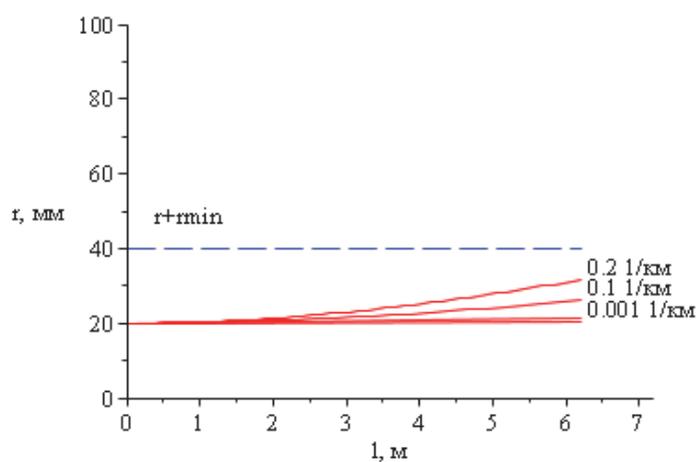


Рис. 10. Представление кольцевого излучения технологического лазера в виде набора круговых излучений

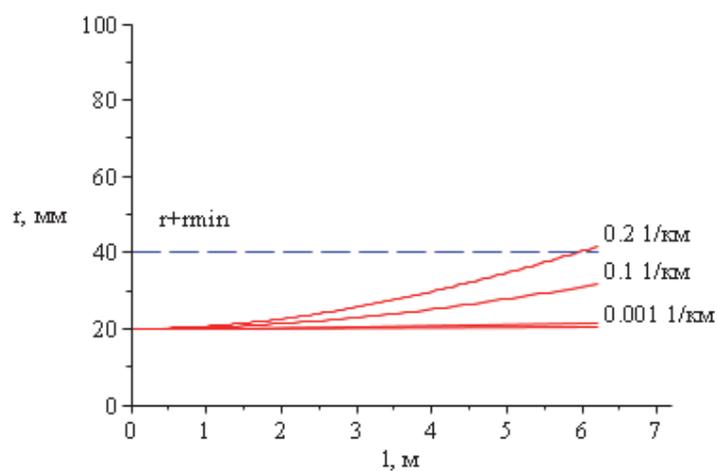
Проведём расчёт расходимости одного замещающего кругового излучения. Зададим следующие исходные данные: диаметр внешнего кольца d_0 – 80 мм, диаметр внутреннего кольца – 40 мм, тогда $d_1 = 20$ мм. Коэффициент теплопроводности воздуха $0,026 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$, коэффициент поглощения воздухом инфракрасного излучения $0,001 \dots 0,2 \text{ км}^{-1}$, температурный градиент показателя преломления -10^6 К^{-1} , длина волны излучения 5 мкм. На основании этого можно построить следующую зависимость, позволяющую определить $L_{\text{кр}}$ для различных мощностей излучения технологического лазера (см. рис. 11.а,б,в).



а. мощность лазера 50 кВт



б. мощность лазера 125 кВт



в. мощность лазера 250 кВт

Рис. 11. Зависимость радиуса пучка от толщины слоя, показателя поглощения среды и мощности излучения

На основании этого расчёта, аппроксимируем кольцевое излучение лазера набором круговых излучений графически, см. рис. 12.

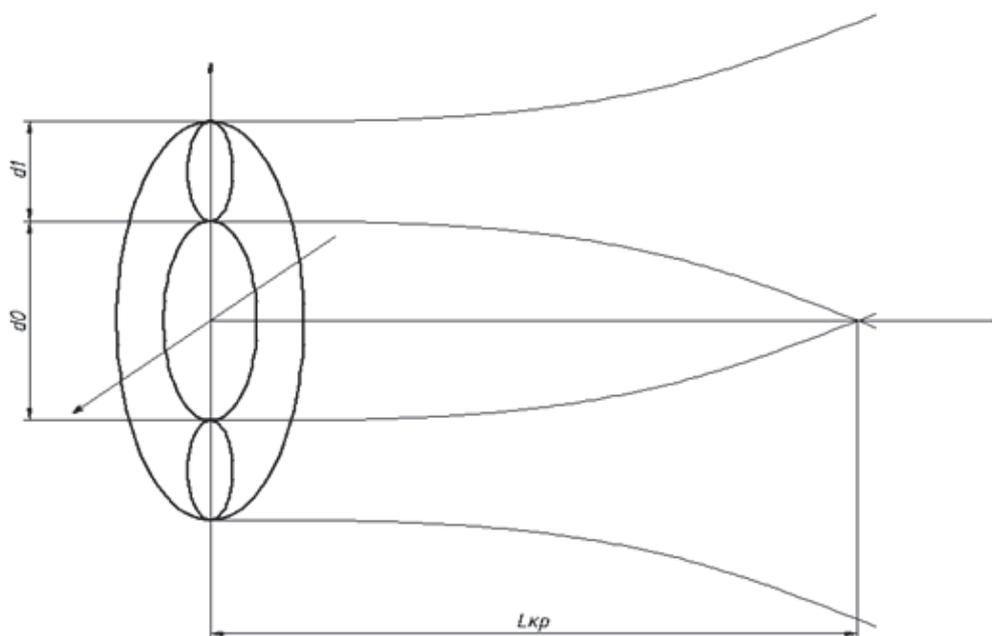


Рис. 12. Аппроксимация излучения технологического лазера

Видно, что расходимость излучения вследствие самодефокусировки приводит к «заплыванию» излучения на ось, где это излучение нежелательно. Таким образом, можно говорить о том, что существует некое безопасное расстояние $L_{кр}$, на котором можно расположить элементы конструкции для вывода маркерного излучения без риска попадания мощного ИК излучения в приёмный канал. Это расстояние можно определить по рис. 11.а-в. для различных мощностей лазера и при различных показателях поглощения (т.е. различных средах распространения).

Заключение

Приведённая методика позволяет достаточно просто исследовать особенности распространения мощного инфракрасного излучения в системах автоюстировки высокоточных лазерных приборов. Однако, анализируя подробно допущения, которые принимались для упрощения расчётов, необходимо сказать, что, несмотря на точное совпадение экспериментальных и теоретических данных, методика имеет ряд существенных недостатков, которые могут стать предметом дальнейших исследований.

Во-первых, расчёт влияния дифракции проводится в полностью когерентном случае, когда как в преобладающем большинстве случаев излучение лазера необходимо описывать, как квази-когерентное излучение.

Во-вторых, методика расчёта влияния эффекта теплового самовоздействия основывается на предположении, что пучок излучения имеет круговую структуру, а профиль интенсивности описывается функцией Гаусса. В ряде случаев это предположение является неверным (например, в случае кольцевого излучения), и оценка влияния эффекта получается весьма условной.

В связи с этим, можно сделать вывод о существовании следующих задач.

1. Определение реальной формы профиля интенсивности пучка излучения требуемого рабочего лазера;
2. Определение градиента показателя преломления, создаваемого данным пучком;
3. Аппроксимация градиента показателя преломления тонкой линзой и вычисление фокусного расстояния этой линзы.

Приближение тонкой линзы – методика, не требующая больших вычислительных мощностей, однако для того, чтобы уверенно пользоваться этой методикой для решения практических задач, необходимо проверить соответствие этой методики реальным процессам. Прежде всего, необходимо исследовать уширение пучка в общем случае с помощью совместного решения волнового уравнения и уравнения теплопроводности и на основании этого исследования необходимо скорректировать методику в приближении тонкой линзы.

Другой задачей, возникающей в данном случае, является определение показателя поглощения среды на длине волны лазера. В видимом диапазоне для большинства жидкостей и газов показатели поглощения известны, когда как в инфракрасном диапазоне, в области 3 .. 5 мкм показатели поглощения, например, воздуха, определены нечётко и колеблются в пределах 1 .. 10 км⁻¹. К тому же показатель поглощения сильно зависит от таких параметров среды, как её давление и температура (которая, к тому же, увеличивается при воздействии на среду мощного излучения). Такой достаточно широкий разброс не позволяет уверенно утверждать о корректности результатов расчётов, соответственно чёткое определение величины показателя поглощения среды также является немаловажной задачей.

Вышеописанная методика исследования уширения пучка рассматривает излучение только с одной длиной волны. Необходимо дополнить эту методику описанием излучения с набором длин волн, так как такое излучение наиболее часто наблюдается при работе лазера.

Список литературы

1. Барышников Н.В.; Бокшанский В.Б.; Карасик В.Е.; Ковалев А.В.; Хомутский Ю.В. Оптико-электронный прибор для дистанционного обнаружения систем скрытого видеонаблюдения. Патент: RU 2191417, 2002.
2. Барышников Н. В., Бокшанский В. Б., Карасик В. Е., Сахаров А. А. Одноканальное устройство для обнаружения световозвращающих оптических систем и определения дальности до них. Патент: RU 2400770, 2008.
3. В. В. Карачунский, А. С. Румянцев, Д. В. Худяков, Н. В. Барышников, В. И. Козинцев. Разработка и экспериментальные исследования оптико-электронной системы автоюстировки.
4. В.М. Орлов, В.Е. Карасик. Лазерные системы видения. Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000.
5. С. А. Ахманов, С. Ю. Никитин. Физическая оптика: Учебник. Москва: Наука, 2004.
6. С. А. Ахманов, А. П. Сухоруков, Р. В. Хохлов. Самофокусировка и дифракция света в нелинейной среде. Успехи физических наук, Москва, том 93, выпуск 1, 1967.
7. В. Н. Луговой, А. М. Прохоров. Теория распространения мощного излучения в нелинейной среде. Успехи физических наук, 1973, том 111, выпуск 2.
8. А. М. Прохоров, А. А. Гусев, Ю. Г. Рудой и др. Физическая энциклопедия. Москва: Научное издательство "Большая Российская энциклопедия", том 4, 1994.
9. С. А. Ахманов, Д. П. Криндач, А. П. Сухоруков, Р. В. Хохлов. Нелинейная дефокусировка лазерных пучков. Письма в ЖЭТФ, том 6, выпуск 62, стр. 509-513, 1967.
10. В. А. Алешкевич, Д. Ф. Киселев, В. В. Корчажкин; ред. Л. В. Левшин. Лазеры в лекционном эксперименте. Москва: МГУ, 1985.

**Research of influence of radiation of the main laser on the systems
of automatic adjustment of precision laser devices**

77-30569/241632

10, October 2011

Baryshnikov N., V., Piskunov T.S.

Bauman Moscow State Technical University

thedistorted@yandex.ru

baryshnikov@bmstu.ru

The article considers a system of automatic adjustment of high-precision laser devices that are using a powerful mainlaser radiation. This system performs alignment of optical axes of receiving and transmitting channels with additional marker laser. Considered problems arising due to the spread of high-power infrared operating laser close to receiving channel, designed for visible light. A method for study of the influence of diffraction on parameters of radiation of the mainlaser is proposed. The technique of study of influence of thermal blooming on the parameters of radiation of the mainlaser on the basis of approximation of the thin lens is developed.

Publications with keywords: [auto adjustment system](#), [computer simulation](#), [optoelectronic system](#), [alignment optical axis](#), [thermal blooming](#)

Publications with words: [auto adjustment system](#), [computer simulation](#), [optoelectronic system](#), [alignment optical axis](#), [thermal blooming](#)

Spisok literatury

1. Baryshnikov N.V.; Bokshanskii V.B.; Karasik V.E.; Kovalev A.V.; Homutskii Yu.V. Optiko-elektronnyi pribor dlya distancionnogo obnaruzheniya sistem skrytogo videonablyudeniya. Patent: RU 2191417, 2002.

2. Baryshnikov N. V., Bokshanskii V. B., Karasik V. E., Saharov A. A. Odnokanal'noe ustroystvo dlya obnaruzheniya svetovozvraschayuschih opticheskikh sistem i opredeleniya dal'nosti do nih. Patent: RU 2400770, 2008.
3. V. V. Karachunskii, A. S. Romyancev, D. V. Hudyakov, N. V. Baryshnikov, V. I. Kozincev. Razrabotka i eksperimental'nye issledovaniya optiko-elektronnoi sistemy avtoyustirovki.
4. V.M. Orlov, V.E. Karasik. Lazernye sistemy videniya. Moskva: MGTU im. N. E. Baumana, 2000.
5. S. A. Ahmanov, S. Yu. Nikitin. Fizicheskaya optika: Uchebnik. Moskva: Nauka, 2004.
6. S. A. Ahmanov, A. P. Suhorukov, R. V. Hohlov. Samofokusirovka i difrakciya sveta v nelineinoy srede. Uspehi fizicheskikh nauk, Moskva, tom 93, vypusk 1, 1967.
7. V. N. Lugovoi, A. M. Prohorov. Teoriya rasprostraneniya moschnogo izlucheniya v nelineinoy srede. Uspehi fizicheskikh nauk, 1973, tom 111, vypusk 2.
8. A. M. Prohorov, A. A. Gusev, Yu. G. Rudoj i dr. Fizicheskaya enciklopediya. Moskva: Nauchnoe izdatel'stvo "Bol'shaya Rossiiskaya enciklopediya", tom 4, 1994.
9. S. A. Ahmanov, D. P. Krindach, A. P. Suhorukov, R. V. Hohlov. Nelineinaya defokusirovka lazernykh puchkov. Pis'ma v JETP, tom 6, vypusk 62, str. 509-513, 1967.
10. V. A. Aleshkevich, D. F. Kiselev, V. V. Korchajkin; red. L. V. Levshin. Lazery v lekcionnom eksperimente. Moskva: MGU, 1985.