

КОМПЕНСАЦИЯ ТЕРМООПТИЧЕСКИХ ИСКАЖЕНИЙ АКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЛАЗЕРОВ

П. А. НОСОВ

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана,
105005, Москва, Россия
E-mail: pan@bmstu.ru*

Рассмотрены оптические системы резонаторов твердотельных лазеров, обеспечивающие компенсацию отклонения действительных параметров тепловой линзы активного элемента от расчетных, или их флуктуации. Приведена методика габаритного расчета схемы оптической системы резонатора. Получены формулы расчета величины перемещения внутрирезонаторных линз для компенсации отклонения действительных параметров тепловой линзы от расчетных. Приведенные в работе результаты расчета резонатора подтверждают возможность практической реализации рассмотренного способа компенсации термооптических искажений активных элементов твердотельных лазеров на стандартной элементной базе.

Ключевые слова: *твердотельный лазер, резонатор, активный элемент, тепловая линза, гауссов пучок*

Введение. В твердотельных лазерах используют различные источники и схемы накачки активного элемента, позволяющие получить требуемые параметры и характеристики излучения [1—4]. Особенностью твердотельных лазеров является возникновение в активном элементе термооптических неоднородностей. Эти неоднородности приближенно могут быть представлены так называемой тепловой линзой. Возникающая в твердотельных активных элементах тепловая линза приводит к изменению конфигурации резонатора — резонатор становится зеркально-линзовым [5—9].

Оптические характеристики тепловой линзы (фокусное расстояние, положение главных точек) в общем случае сложным образом зависят от параметров накачки, термооптических постоянных активного элемента, конструкции и параметров системы охлаждения. Поэтому необходимые для проектирования твердотельного лазера параметры тепловой линзы определяют в ходе экспериментальных измерений или рассчитывают по приближенным формулам [5—8].

В настоящей работе применяется активный способ управления параметрами резонатора твердотельного лазера, обеспечивающий стабильность характеристик лазерного излучения. Разработана методика, позволяющая определить конструктивные параметры резонатора, при которых формируется пучок с требуемым диаметром моды в активном элементе, и величину перемещения внутрирезонаторных линз для компенсации отклонения действительных параметров тепловой линзы от расчетных, или их флуктуации.

Габаритный расчет резонатора. При активном способе обеспечения стабильности лазерного излучения измеряют выходной параметр и за счет управления элементами резонатора лазера компенсируют отличие этого параметра от требуемого. Построим необходимую для этого схему оптической системы резонатора твердотельного лазера и выполним его габаритный расчет.

Пусть в твердотельном лазере используется активный элемент с фокусным расстоянием тепловой линзы f'_{T0} . Это значение фокусного расстояния будем называть исходным, поскольку оно может отличаться от реального (действительного). Для того чтобы обеспечить

эффективный энергосъем (большой размер моды генерации) с активного элемента и стабильность выходных параметров излучения при отклонении фокусного расстояния тепловой линзы на $\Delta f'_T$, используем в резонаторе две подвижные линзы с фокусными расстояниями f'_1 и f'_2 , между которыми расположен активный элемент [8] (на рис. 1 термооптически искаженный активный элемент представлен в виде тепловой линзы). На рис. 1 приведены схема резонатора твердотельного лазера (а) и схема эквивалентного резонатора (б): l и \tilde{R} — длины плеч исходного и эквивалентного резонаторов; R и \tilde{R} — радиусы кривизны зеркал исходного и эквивалентного резонаторов; $f_{\text{ЭКВ}}$ и $f'_{\text{ЭКВ}}$ — переднее и заднее фокусные расстояния эквивалентной оптической системы; H , H' — главные точки линзы (эквивалентной оптической системы); s_1 , s_2 — величина перемещения линз (влево — отрицательное, вправо — положительное); Δ_1 и Δ_2 — оптический интервал; вывод излучения производится через правое полупрозрачное зеркало резонатора. Отметим, что схемы резонаторов с дополнительными линзами используются с целью селекции поперечных типов колебаний лазерного излучения [10], для изменения пространственных параметров пучка твердотельного лазера [11] и в твердотельных лазерах с импульсной накачкой [7, 12].

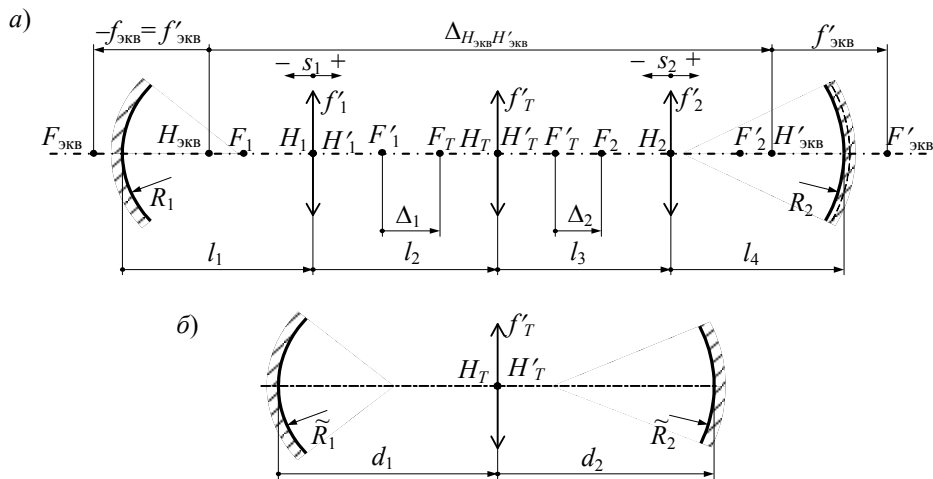


Рис. 1

Габаритный расчет резонатора проводится в параксиальной области, оптические элементы резонатора считаются идеальными (безабберационными). Габаритный расчет — определяющий этап разработки лазерных оптических систем, который включает расчет исходной схемы резонатора и перемещения линз, компенсирующего отклонение фокусного расстояния тепловой линзы. Влияние aberrаций оптической схемы резонатора учитывается на заключительном этапе проектирования.

Для получения расчетных соотношений поступим следующим образом. Приведем рассматриваемую схему резонатора к эквивалентной с одной (тепловой) линзой (рис. 1, б). Чтобы получить выражения, связывающие геометрические параметры рассматриваемого и эквивалентного резонаторов, найдем изображения концевых зеркал через внутрирезонаторные линзы. Для этого необходимо определить положение изображений центра кривизны и вершины сферического зеркала после линзы, причем для левого зеркала такое преобразование производится в прямом ходе, а для правого зеркала — в обратном. Разница этих положений определяет радиус кривизны зеркала для эквивалентной схемы резонатора [12—14]. Таким образом, параметры эквивалентной схемы рассчитываются по формулам (см. рис. 1, б):

$$\begin{aligned}\frac{1}{\bar{R}_1} &= (1 - \Phi_1 l_1) \left(\Phi_1 + \frac{1 - \Phi_1 l_1}{R_1} \right), \quad d_1 = \frac{l_1 + l_2 - \Phi_1 l_1 l_2}{1 - \Phi_1 l_1}, \\ \frac{1}{\bar{R}_2} &= (1 - \Phi_2 l_4) \left(\Phi_2 + \frac{1 - \Phi_2 l_4}{R_2} \right), \quad d_2 = \frac{l_3 + l_4 - \Phi_2 l_3 l_4}{1 - \Phi_2 l_4},\end{aligned}\quad (1)$$

где $\Phi_1 = 1/f'_1$ и $\Phi_2 = 1/f'_2$ — оптическая сила внутрирезонаторных линз. Здесь напомним правило знаков для радиусов кривизны зеркал резонатора, как принято в лазерной оптике [7, 10]: для вогнутого зеркала радиус считается положительным, а для выпуклого — отрицательным.

Замена исходного резонатора эквивалентным позволяет нам воспользоваться результатами работы [12]. В этой работе для твердотельного лазера с импульсной накачкой приведен алгоритм расчета параметров схемы резонатора с двумя сферическими зеркалами и тепловой линзой, который формирует пучок с большим размером моды в активном элементе и обеспечивает стабильность выходных параметров излучения к флуктуациям оптической силы тепловой линзы.

Номинальное фокусное расстояние тепловой линзы, диаметр пучка на тепловой линзе $2h_T$ и длину резонатора l_Σ считаем известным. Задавая в цикле длины плеч резонатора ($l_{i0} = l_{i0 \min} \dots l_{i0 \max}$, $i = 1, 2, 3, 4$) и фокусные расстояния внутрирезонаторных линз ($f'_j = f'_{j \min} \dots f'_{j \max}$, $j = 1, 2$), рассчитаем радиусы кривизны концевых зеркал рассматриваемого резонатора

$$\begin{aligned}\frac{1}{R_1} &= \frac{1}{(1 - \Phi_1 l_1)(l_1 + l_2 - \Phi_1 l_1 l_2)} - \frac{A}{2(l_1 + l_2 - \Phi_1 l_1 l_2)^2} - \frac{\Phi_1}{1 - \Phi_1 l_1}, \\ \frac{1}{R_2} &= \frac{(A\Phi_{T0} + 2Bd_1 - 1)[d_2(A\Phi_{T0} + 2Bd_1 - 1) - A] + d_2}{(1 - \Phi_2 l_4)^2 \left\{ [d_2(A\Phi_{T0} + 2Bd_1 - 1) - A]^2 + d_2^2 \right\}} - \frac{\Phi_2}{1 - \Phi_2 l_4},\end{aligned}\quad (2)$$

где $A = \pi h_T^2 / \lambda$; $B = (2d_1 - A) / 2d_1^2$; λ — длина волны излучения лазера; $\Phi_{T0} = 1/f'_{T0}$ — оптическая сила тепловой линзы, соответствующая исходному фокусному расстоянию.

Для того чтобы компенсировать отклонение или нестабильность параметров тепловой линзы, необходимо обеспечить постоянство двух параметров внутрирезонаторной оптической системы — фокусного расстояния и расстояния между главными точками. Поскольку внутрирезонаторная оптическая система состоит из трех линз, параметры эквивалентной оптической системы определяются выражениями [15] (см. рис. 1, а):

$$\begin{aligned}f'_{\text{эКВ}} &= \frac{f'_1 f'_{T0} f'_2}{\Delta_{10} \Delta_{20} - f'^2_{T0}} = \text{const} = \frac{f'_1 f'_T f'_2}{\Delta_1 \Delta_2 - f'^2_T}, \\ \Delta H_{\text{эКВ}} H'_{\text{эКВ}} &= 2(f'_1 + f'_{T0} + f'_2 - f'_{\text{эКВ}}) + \Delta_{10} + \Delta_{20} + \frac{\Delta_{10} f'^2_2 + \Delta_{20} f'^2_1}{\Delta_{10} \Delta_{20} - f'^2_{T0}} = \text{const} = \\ &= 2(f'_1 + f'_T + f'_2 - f'_{\text{эКВ}}) + \Delta_1 + \Delta_2 + \frac{\Delta_1 f'^2_2 + \Delta_2 f'^2_1}{\Delta_1 \Delta_2 - f'^2_T}.\end{aligned}\quad (3)$$

Здесь индексом „0“ обозначены параметры схемы резонатора для исходного фокусного расстояния тепловой линзы; Δ_1 и Δ_2 — оптический интервал — расстояние между задними фокусами предыдущих линз и передними фокусами последующих линз резонатора (см. рис. 1, а).

Условия (3) приводят к системе уравнений, позволяющей для фокусного расстояния тепловой линзы $f'_T = f'_{T0} + \Delta f'_T$ найти оптический интервал между линзами Δ_1 и Δ_2 :

$$\Delta_1 = \frac{P \pm \sqrt{D}}{2U}, \quad \Delta_2 = \frac{P \mp \sqrt{D}}{2V}, \quad (4)$$

где

$$D = P^2 - 4UVQ, \quad P = \Delta H_{\text{эКВ}} H'_{\text{эКВ}} - 2(f'_1 + f'_T + f'_2 - f'_{\text{эКВ}}), \\ U = 1 + \frac{f'_2}{f'_1 f'_T} f'_{\text{эКВ}}, \quad V = 1 + \frac{f'_1}{f'_2 f'_T} f'_{\text{эКВ}}, \quad Q = f'^2_T + \frac{f'_1 f'_T f'_2}{f'_{\text{эКВ}}}.$$

При выполнении условия $D > 0$ из выражений (4) выбирается решение, для которого при исходном фокусном расстоянии тепловой линзы активного элемента f'_{T0} оптический интервал равен $\Delta_{10} = l_{20} - f'_1 - f'_{T0}$ и $\Delta_{20} = l_{30} - f'_{T0} - f'_2$.

Определив для фокусного расстояния тепловой линзы $f'_T = f'_{T0} + \Delta f'_T$ оптический интервал между линзами, найдем величину перемещения первой и второй линзы и длины плеч резонатора:

$$s_1 = \Delta_{10} - \Delta_1, \quad s_2 = -\Delta_{20} + \Delta_2, \\ l_1 = l_{10} + s_1, \quad l_2 = l_{20} - s_1, \quad l_3 = l_{30} + s_2, \quad l_4 = l_{40} - s_2. \quad (5)$$

При расчете перемещения линз необходимо контролировать „налезание“ линз на зеркала и активный элемент, а также соответствие параметров схемы резонатора условию устойчивости [2, 7, 10]: $0 < g_1 g_2 < 1$. Значение g и число Френеля резонатора с тремя линзами и сферическими концевыми зеркалами рассчитываются по формулам [13, 14]:

$$g_1 = a - \frac{b}{R_1}, \quad g_2 = c - \frac{b}{R_2}, \quad N = \frac{a_1 a_2}{\lambda |b|},$$

где $2a_1, 2a_2$ — диаметр зеркал, а коэффициенты a, b и c определяются следующими выражениями:

$$a = (l_3 + l_4 - \Phi_2 l_3 l_4)(\Phi_1 \Phi_T l_2 - \Phi_1 - \Phi_T) + (1 - \Phi_1 l_2)(1 - \Phi_2 l_4), \\ c = (l_1 + l_2 - \Phi_1 l_1 l_2)(\Phi_T \Phi_2 l_3 - \Phi_T - \Phi_2) + (1 - \Phi_1 l_1)(1 - \Phi_2 l_3), \\ b = a l_1 + l_3 + l_4 + l_2 [(1 - \Phi_T l_3)(1 - \Phi_2 l_4) - \Phi_T l_4] - \Phi_2 l_3 l_4 = \\ = c l_4 + l_1 + l_2 + l_3 [(1 - \Phi_1 l_1)(1 - \Phi_T l_2) - \Phi_T l_1] - \Phi_1 l_1 l_2.$$

Пространственные параметры сформированного резонатором гауссова пучка в плечах резонатора около концевых зеркал рассчитываются по формулам [14]:

$$z_{\text{к1}} = |b| \sqrt{\frac{g_1 g_2 (1 - g_1 g_2)}{(g_1 + a^2 g_2 - 2a g_1 g_2)^2}}, \quad z_{\text{к2}} = |b| \sqrt{\frac{g_1 g_2 (1 - g_1 g_2)}{(c^2 g_1 + g_2 - 2c g_1 g_2)^2}}, \\ s_{\text{п1}} = -b \frac{g_2 (g_1 - a)}{g_1 + a^2 g_2 - 2a g_1 g_2}, \quad s_{\text{п2}} = b \frac{g_1 (g_2 - c)}{c^2 g_1 + g_2 - 2c g_1 g_2}, \\ 2h_1 = 2\sqrt{\frac{\lambda |b|}{\pi}} \sqrt[4]{\frac{g_2}{g_1 (1 - g_1 g_2)}}, \quad 2h_2 = 2\sqrt{\frac{\lambda |b|}{\pi}} \sqrt[4]{\frac{g_1}{g_2 (1 - g_1 g_2)}}.$$

Здесь $z_{\text{к}}$, $s_{\text{п}}$ и $2h$ — параметр конфокальности пучка, положение перетяжки пучка относительно зеркала и диаметр пучка на нем. Формулы для положения перетяжки приведены согласно правилу знаков, принятому в оптике.

Чтобы определить параметры пучка в других плечах резонатора, воспользуемся формулами лазерной оптики для преобразования гауссова пучка линзой [10]:

$$z'_k = z_k \alpha_\Gamma, \quad z'_\Pi = -z_\Pi \alpha_\Gamma, \quad \alpha_\Gamma = \frac{f'^2}{z_\Pi^2 + z_k^2}.$$

Здесь параметры пучка, преобразованного линзой, обозначены штрихом; z_Π — положение перетяжки пучка на входе линзы относительно ее переднего фокуса; z'_Π — положение перетяжки преобразованного линзой пучка относительно ее заднего фокуса; α_Γ — коэффициент продольного увеличения линзы. Правило знаков для z_Π и z'_Π : вправо от фокусов — положительные, влево — отрицательные.

При проведении расчетов удобно пользоваться свойством инвариантности гауссова пучка при его преобразовании линзой [10]:

$$2h_\Pi 2\theta = 4 \frac{h_\Pi^2}{z_k} = 2h'_\Pi 2\theta' = 4 \frac{h'^2_\Pi}{z'_k} = \text{const} = 4 \frac{\lambda}{\pi},$$

где штрихом обозначены пространственные параметры гауссова пучка, преобразованного линзой; $2h_\Pi$ — диаметр перетяжки пучка; 2θ — угловая расходимость пучка.

При расчете резонатора по приведенным соотношениям возможны ситуации, когда имеется бесчисленное множество решений либо ни одного. В первом случае для поиска лучшего решения используется целевая функция. Параметры лучшей схемы будут соответствовать наименьшему значению целевой функции. Целевая функция, учитывающая три параметра — длину резонатора, диафрагменные числа линз и перемещение линз, имеет вид [11]:

$$Fz = p_l \frac{l}{m_l} + p_{Nd} \frac{m_{Nd}}{Nd_{\min}} + p_s \frac{s_{\max}}{m_s},$$

где p_l , p_{Nd} и p_s — весовые коэффициенты длины резонатора, диафрагменного числа линз и их перемещения (назначаются оптиком-расчетчиком исходя из требований к резонатору); m_l , m_{Nd} и m_s — коэффициенты масштаба соответствующего параметра целевой функции, которые рассчитываются как среднее значение по всем решениям. При расчете целевой функции достаточно учитывать минимальное диафрагменное число линз и их максимальное перемещение, т.е. $Nd_{\min} = \min[Nd_1, Nd_2]$, $s_{\max} = \max[|s_1|, |s_2|]$.

Если для заданных исходных данных и требований не удастся определить конструктивные параметры резонатора, следует изменить расчетную схему и предъявляемые к резонатору требования и для них заново провести расчет.

Пример расчета резонатора. Рассмотрим для примера расчет параметров резонатора твердотельного лазера АИГ:Nd³⁺ ($\lambda = 1,06$ мкм), в активном элементе которого образуется тепловая линза с фокусным расстоянием $f'_{T0} = 250,0$ мм. Схема резонатора должна обеспечивать формирование пучка с диаметром на тепловой линзе 5,0 мм и стабильность характеристик лазерного излучения при относительной флуктуации фокусного расстояния тепловой линзы $\Delta f'_T / f'_{T0} = \pm 5,0$ %. Длина резонатора не должна превышать 600 мм.

Будем полагать, что имеются две отрицательные линзы с $f'_1 = f'_2 = -70,0$ мм. Задавая в цикле длину плеч резонатора и учитывая заданное ограничение на длину резонатора, по формулам (2) рассчитаем радиусы кривизны концевых зеркал. Для решения задачи может быть использована схема резонатора со следующими параметрами: $R_1 = -196,72$ мм, $l_{10} = 220,0$ мм, $l_{20} = 195,0$ мм, $f'_{T0} = 250,0$ мм, $l_{30} = 100,0$ мм, $l_{40} = 75,0$ мм, $R_2 = 145,11$ мм. Длина рассчитанного резонатора равна 590,0 мм. Пространственные параметры гауссова

пучка в плечах резонатора со сферическими зеркалами имеют значения: $z_{к1} = 85,37$ мм, $2\theta_1 = 3,98$ мрад, $s_{п1} = -49,5$ мм, $2h_{п1} = 0,34$ мм, $2h_1 = 0,39$ мм, $z_{к2} = 0,27$ мм, $2\theta_2 = 0,07$ рад, $s_{п2} = -145,11$ мм, $2h_{п2} = 0,02$ мм, $2h_2 = 10,32$ мм.

По формулам (4) и (5) определим величину перемещения внутрирезонаторных линз для обеспечения стабильности выходных характеристик излучения при относительной флуктуации фокусного расстояния тепловой линзы в пределах $\pm 5,0$ %. На рис. 2 приведены зависимости перемещения линз резонатора от относительной флуктуации фокусного расстояния тепловой линзы (а) и диаметра пучка на тепловой линзе от относительной флуктуации фокусного расстояния тепловой линзы с учетом перемещения внутрирезонаторных линз (б). Представленные зависимости позволяют для конкретного значения относительной флуктуации фокусного расстояния тепловой линзы определить перемещение каждой линзы, при котором компенсируются эта нестабильность, и соответствующее ей изменение диаметра пучка на тепловой линзе.

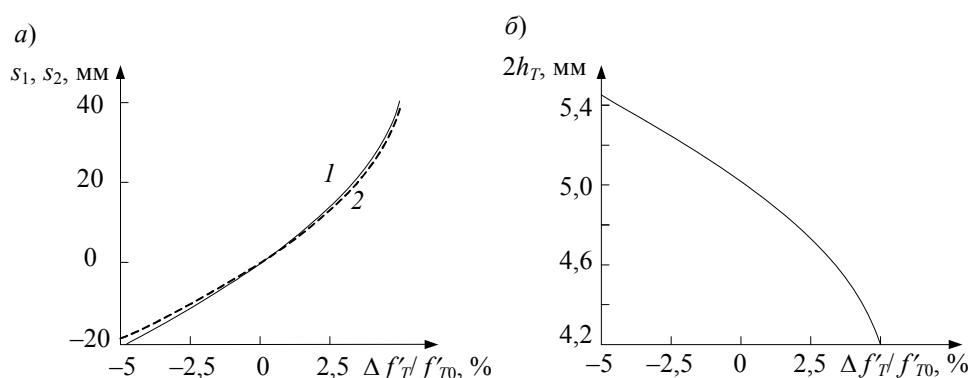


Рис. 2

Анализ рис. 2, б позволяет сделать следующий вывод. Если исходное фокусное расстояние тепловой линзы, которое использовано при расчете параметров резонатора, меньше действительного, то для обеспечения стабильности пространственных параметров выходного пучка диаметр и, как следствие энергосъем с активного элемента, уменьшается, в противоположной ситуации — увеличивается. Таким образом, при реализации рассматриваемой в работе схемы компенсации термооптических искажений активного элемента следует учитывать изменение энергетических параметров лазерного излучения.

Закключение. В работе на базе теории лазерной оптики разработана методика расчета резонаторов твердотельных лазеров с учетом термооптических искажений активного элемента (возникновение тепловой линзы). Приведены расчетные соотношения, позволяющие определить параметры исходной схемы резонатора и величину перемещения линз для компенсации отклонения действительных параметров тепловой линзы активного элемента от расчетных, или их флуктуации. Величина перемещения внутрирезонаторных линз определяется пространственными параметрами формируемого пучка лазера, конструктивными параметрами оптической системы резонатора, а также величиной отклонения или нестабильности фокусного расстояния тепловой линзы активного элемента. Приведенные в работе результаты расчета резонатора подтверждают возможность практической реализации рассмотренного способа компенсации термооптических искажений активных элементов твердотельных лазеров на стандартной элементной базе.

Исследование выполнено при поддержке гранта Президента РФ МК-6960.2016.8.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гречин С. Г., Николаев П. П. Квантроны твердотельных лазеров с поперечной полупроводниковой накачкой // Квантовая электроника. 2009. Т. 39, № 1. С. 11—17.
2. Звельто О. Принципы лазеров. СПб: Лань, 2008. 720 с.
3. Koechner W. Solid-state laser engineering. NY: Springer, 2006. 750 p.
4. Кравцов Н. В. Основные тенденции развития твердотельных лазеров с полупроводниковой накачкой // Квантовая электроника. 2001. Т. 31, № 8. С. 661—677.
5. Montmerle Bonnefois A., Gilbert M., Thro P.-Y., Weulersse J.-M. Thermal lensing and spherical aberration in high-power transversally pumped laser rods // Optics Communications. 2006. Vol. 259, N 1. P. 223—235. DOI:10.1016/j.optcom.2005.08.041.
6. Мезенов А. В., Сомс Л. Н., Степанов А. И. Термооптика твердотельных лазеров. Л.: Машиностроение, 1986. 199 с.
7. Быков В. П., Силичев О. О. Лазерные резонаторы. М.: Физматлит, 2004. 320 с.
8. Морозов А. В., Пахомов И. И. К расчету зеркально-линзовых оптических резонаторов // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2004. № 2. С. 3—11.
9. Носов П. А. Синтез резонатора твердотельного лазера с термооптически искаженным активным элементом // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 9. С. 750—758. DOI 10.17586/0021-3454-2016-59-9-750-758.
10. Пахомов И. И., Рожков О. В., Рождествен В. Н. Оптико-электронные квантовые приборы: Учеб. пособие для вузов / Под. ред. И. И. Пахомова. М.: Радио и связь, 1982. 456 с.
11. Носов П. А., Батиев В. И. Резонаторы твердотельных лазеров для изменения пространственных параметров пучка // Прикладная физика. 2017. № 1. С. 51—57.
12. Носов П. А. Синтез зеркально-линзового резонатора твердотельного лазера с импульсной накачкой // Инженерный журнал: наука и инновации. 2012. № 11. С. 25.
13. Носов П. А., Пахомов И. И., Ширанков А. Ф. Анализ и синтез зеркально-линзовых резонаторов // Оптический журнал. 2010. Т. 77, № 1. С. 28—35.
14. Nosov P. A., Pakhomov I. I., Shirankov A. F. Analysis of multielement laser cavities of an arbitrary configuration // Physics of Wave Phenomena. 2011. Vol. 19, N 3. P. 202—209. DOI: 10.3103/S1541308X11030071.
15. Заказнов Н. П., Кирюшин С. И., Кузичев В. И. Теория оптических систем. СПб: Лань, 2008. 448 с.

Сведения об авторе

Павел Анатольевич Носов

— канд. техн. наук, доцент; МГТУ им. Н. Э. Баумана, кафедра лазерных и оптико-электронных систем; E-mail: pan@bmstu.ru

Рекомендована кафедрой
лазерных и оптико-электронных
системПоступила в редакцию
13.06.17 г.

Ссылка для цитирования: Носов П. А. Компенсация термооптических искажений активных элементов твердотельных лазеров // Изв. вузов. Приборостроение. 2017. Т. 60, № 12. С. 1161—1168.

COMPENSATION OF THERMO-OPTICAL DISTORTIONS
OF ACTIVE ELEMENTS OF SOLID-STATE LASERS

P. A. Nosov

Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, Russia
E-mail: pan@bmstu.ru

Optical systems of resonators of solid-state lasers affording compensation of deviations of actual parameters of the active element thermal lens from their calculated values and fluctuations of the parameters are considered. A method of overall calculation of the scheme of resonator optical system is presented. Formulas for calculating the intracavity lenses displacement to compensate the deviation of actual parameters of the thermal lens from the calculated ones (or fluctuations of the parameters) are derived.

The results of calculations presented in the paper confirm the feasibility of practical implementation of the method of compensation for thermo-optical distortions of parameters of active elements of solid-state lasers on a standard element base.

Keywords: solid-state laser, resonator, stable resonator, active element, thermal lens, Gaussian beam

Data on author

Pavel A. Nosov — PhD, Associate Professor; Bauman Moscow State Technical University, Department of Laser and Optoelectronic Systems; E-mail: pan@bmstu.ru

For citation: Nosov P. A. Compensation of thermo-optical distortions of active elements of solid-state lasers. *Journal of Instrument Engineering*. 2017. Vol. 60, N 12. P. 1161—1168 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2017-60-12-1161-1168