

В.И. Воронов, Г.И. Ильин, Л.Г. Кесель

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОХОДОВЫХ МОД КООКСИАЛЬНОГО ЛАЗЕРА
ДЛЯ ЛИДАРНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Изложены результаты исследований коаксиальных лазеров с резонатором, состоящим из плоского и асферического зеркал. Приведена оценка зависимостей допустимых углов при вершине коноида от длины резонатора и радиуса кольца выходного излучения на плоском зеркале и углов наклона выходных лучей от длины резонатора. Указанные зависимости позволяют выбрать конструктивные параметры резонаторов коаксиальных лазеров для получения необходимых характеристик выходного излучения.

В ряде работ [1, 2] предлагается использовать активные элементы кольцевого сечения для создания лазеров с большой энергией излучения. Повышение энергии в данном случае достигается путем увеличения поперечных размеров резонатора (и активной среды) при сохранении продольных габаритов.

Теоретические исследования коаксиальных лазеров представляют собой довольно сложную задачу. Предварительные оценки, выполненные в рамках плоской модели, приведены в [3]. Однако плоская модель описывает единственный «идеальный» тип колебаний, который в реальных условиях практически не реализуется. Экспериментальные исследования выходных характеристик подобных лазеров показывают, что преимущественными типами колебаний в них являются многоходовые моды (М-моды) [2].

В данной статье изложены результаты анализа М-мод в коаксиальном лазере с резонатором, состоящим из плоского и асферического зеркал. Асферическое зеркало выполнено в виде осесимметричного коноида, образующая которого – дуга окружности радиуса R_α (рис. 1, а).

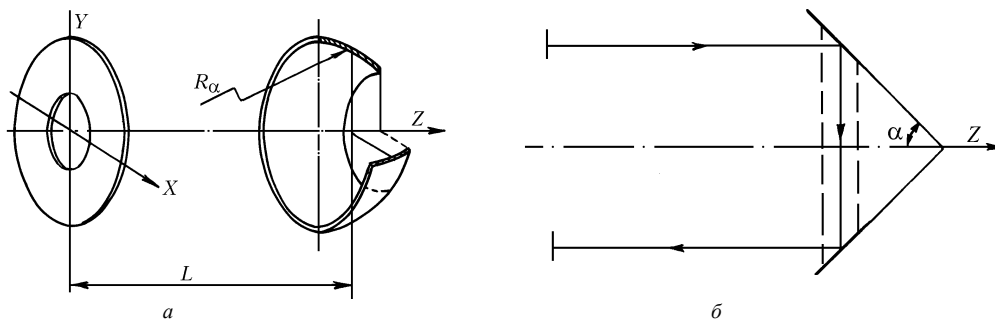


Рис. 1. Резонатор: а – схема; б – плоская модель

На рис. 1, б показано сечение резонатора плоскостью, проходящей через ось симметрии. Как следует из этого рисунка, нормальное падение оптических лучей на плоское зеркало обеспечивается только при одном угле $\alpha = 45^\circ$. Только в этом случае оптический луч не выходит за пределы резонатора при многократном проходе.

Для упрощения трехмерной задачи асферическое зеркало заменено на эквивалентное коническое с углом 2α при вершине конуса. Рассмотрим ход лучей в резонаторе в приближении геометрической оптики.

При анализе примем следующие допущения:

- оптические лучи в асферическом зеркале должны лежать в плоскости, параллельной плоскости плоского зеркала для данного резонатора;
- при падении оптического луча на коническую поверхность зеркала отраженный луч лежит в плоскости, образуемой падающим лучом и нормалью к конической поверхности;

– в силу симметрии конуса нормаль к его поверхности проходит через ось симметрии.

На рис. 2 представлен ход оптических лучей в трехмерной модели резонатора. Верхняя окружность соответствует сечению конуса Z_1 плоскостью, перпендикулярной оси симметрии OO' . Нижняя окружность является местом точек отражения оптического луча от плоского зеркала Z_2 . Луч $A'C'$ параллелен оси X и отстоит от нее на расстоянии $\Delta h = O'A'$, R – радиус рабочего сечения на конусе, L – расстояние между рабочими поверхностями резонатора, $R_{пл}$ – радиус кольца выходного излучения на плоском зеркале.

Из очевидных соображений следует, что в установившемся режиме оптические лучи в коническом зеркале должны лежать в плоскости окружности с центром O' . Отраженный от конуса луч лежит в двух плоскостях: первая – плоскость $A'C'BA$, вторая перпендикулярна плоскости зеркала Z_1 – плоскость $C'BB'$. Если луч в плоскости конуса проходит на расстоянии $\Delta h = O'A'$ от оси симметрии, то расстояние $\Delta H = OA$ находится из соотношения

$$\Delta h/\Delta H = 1/k.$$

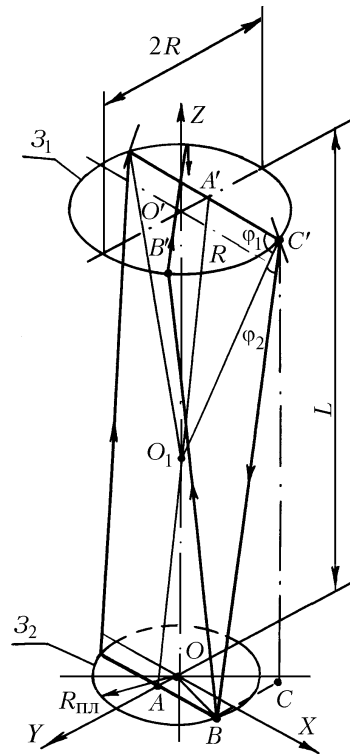


Рис. 2. Ход лучей в трехмерной модели резонатора

Точка O_1 является точкой пересечения оси симметрии резонатора с плоскостью $A'C'BA$. При этом она является и точкой пересечения всех нормалей конической поверхности при заданном R . Из рис. 2 следует также, что плоскость $C'BB'$ перпендикулярна плоскости зеркала Z_1 и в ней лежит отраженный от конуса луч. Кроме того, плоскость $C'BB'$ перпендикулярна OB . Поскольку отраженный луч лежит в этих двух плоскостях, то точка его отражения от плоского зеркала также должна принадлежать плоскостям $A'C'BA$ и $C'BB'$. Детальный анализ хода лучей в трехмерной модели резонатора позволяет определить координаты следующих точек отражения:

$$\text{т. } A' (X_{A'} = 0, Y_{A'} = -\Delta h, Z_{A'} = L);$$

$$\text{т. } C' (X_C = \sqrt{R^2 - Dh^2}, Y_C = -\Delta h, Z_C = L);$$

$$\text{т. } B (X_B = \sqrt{(R^2 - Dh^2)/2} + \sqrt{(R^2 - Dh^2)/4 - k(k+1)Dh^2}, Y_B = k\Delta h, Z_B = 0).$$

Условие самовоспроизведения трасс многоходовых мод в асферическом резонаторе выражается в виде

$$\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2. \quad (1)$$

Это условие может быть выполнено не при любых соотношениях между параметрами резонатора – L, R, α .

На рис. 3 – 5 приведены результаты расчетной оценки параметров резонатора, из которых можно определить те значения L, R и α , которые приводят к выполнению (1).

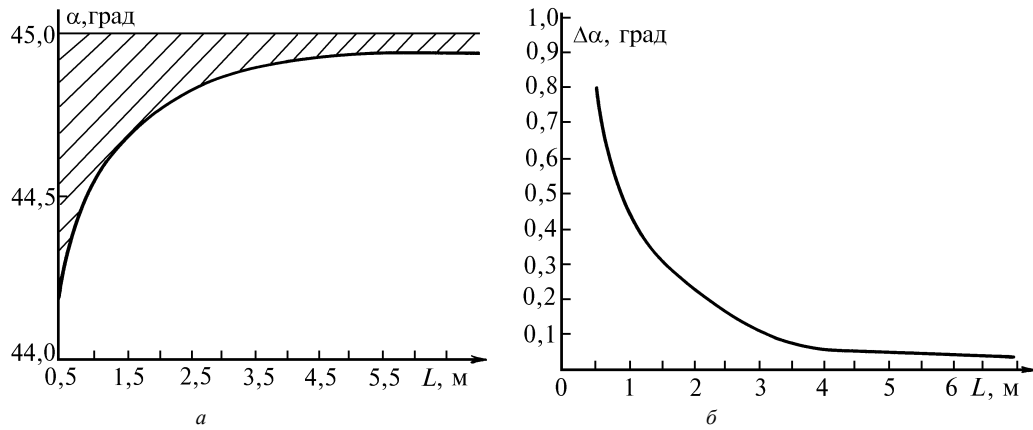


Рис. 3.

На рис. 3, а представлена зависимость допустимых углов при вершине конуса α от длины резонатора L при постоянном значении R . Заштрихованная область на графике обозначает область возможных значений угла α при вершине конуса асферического зеркала, при которых возможно существование многоходовых мод. Из анализа приведенных кривых следует, что при увеличении длины резонатора угол 2α при вершине конуса стремится к 90° , при уменьшении длины резонатора существование М-мод обеспечивается при углах 2α меньше 90° . Величина минимального значения этого угла определяется конкретными конструктивными параметрами резонатора. Отсюда следует, что плоская модель резонатора удовлетворительно описывает свойства асферического резонатора только при больших значениях L .

Изменение диапазона возможных углов при вершине конуса $\Delta\alpha$ для различных длин резонатора L представлено на рис. 3, б, из которого следует, что при малой длине резонатора требования по точности относительно угла при вершине конуса становятся менее жесткими.

На рис. 4, а представлена зависимость допустимых углов при вершине конуса α от радиуса кольца выходного излучения на плоском зеркале $R_{пл}$ при фиксированной величине R . Из графиков можно определить диапазон углов при вершине конуса для конкретного зазора в разрядной камере лазера ($R - R_{пл}$).

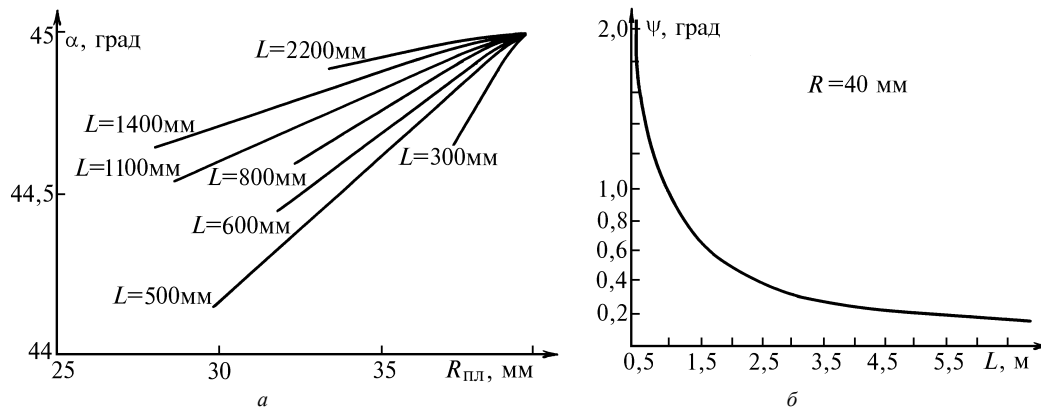


Рис. 4

Многоходовые моды характеризуются тем, что их выходные пучки идут под разными углами по отношению к зеркалу Z_2 . Для некоторых практических приложений это свойство может быть весьма интересным [4]. Методика, приведенная выше, позволяет оценить величину углов выходных лучей в зависимости от различных конструктивных параметров резонаторов.

На рис. 4, б представлена зависимость углов наклона выходных лучей Ψ от длины резонатора L при фиксированном R . При малых длинах резонатора имеется возможность работать на М-модах в большом диапазоне углов наклона. Увеличение длины резонатора ограничивает этот диапазон. Зависимости углов наклона выходных лучей Ψ от радиуса кольца излучения на выходном зеркале $R_{пл}$ представлены на рис. 5, а. Эти зависимости можно использовать для определения зазора в разрядной камере, обеспечивающего генерацию М-мод с заданными параметрами.

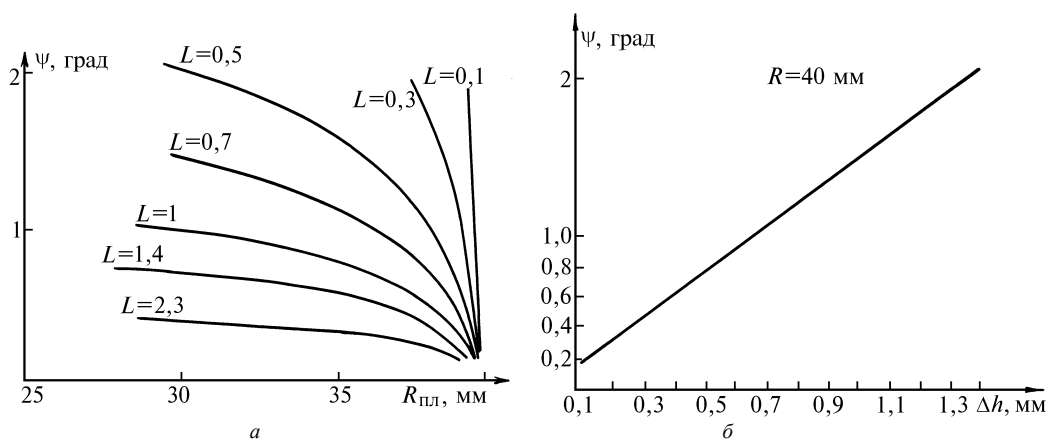


Рис. 5

На рис. 5, б представлена зависимость углов наклона выходных лучей Ψ от смещения лучей, проходящих внутри конуса, и от оси симметрии резонатора Δh . При необходимости работы на М-модах с большими углами наклона в область оси симметрии можно вводить поглощающий стержень, размеры которого следует определять из этого графика для обеспечения генерации с заданными углами наклона.

Полученные в настоящей работе зависимости позволяют определить основные конструктивные параметры резонаторов коаксиальных лазеров для заданной группы многоходовых мод. Показано, что многоходовые моды могут существовать только в резонаторах с углами при вершине эквивалентного конуса 90° и менее. Величина минимального значения этого угла определяется конкретными конструктивными параметрами резонатора.

Предлагаемые результаты теоретического исследования хорошо согласуются с экспериментальными данными, полученными в работе [2].

1. Бученков В. А., Винокуров Г. И., Мак А. А. и др. // Квантовая электроника. 1985. Т. 12. № 8. С. 1702.
2. Воронов В. И., Большаков С. С., Ляпахин А. Б. и др. // Приборы и техника эксперимента. 1993. № 3. С. 161.
3. Воронов В. И., Кесель Л. Г., Польский Ю. Е. Разъюстировка резонатора с двухгранным цилиндрическим зеркалом. Деп. ВИНТИ, 1984.
4. Воронов В. И. // II Межреспубликанский симпозиум «Оптика атмосферы и океана»: Тезисы докладов. Ч. 2. Томск: ИОА СО РАН, 1995. С. 361.

Казанский государственный технический университет
им. А. Н. Туполева

Поступила в редакцию
7 июля 1995 г.

V. I. Voronov, G. I. Il'in, L. G. Kesel. Investigation of Multipass Modes of Coaxial Laser for Lidars.

The results of investigation of coaxial lasers with plane and aspheric cavity mirrors are presented in the paper. The following parameters of the cavity have been estimated: dependence of admissible angles at the conoid top on the cavity length, on radius of output radiation ring on the plane mirror, and of output beams slope on the cavity length. The pointed dependencies allow one to choose the structural parameters of the coaxial lasers cavity in so way as to obtain the necessary characteristics of output radiation.