

А.Г. Бессонов, В.Ф. Лосев, А.Л. Магазинников

## Моделирование распространения излучения в ХеСl-лазерной системе

Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 31.10.2001 г.

Моделируется распространение излучения в усиливающей лазерной системе с учетом насыщения усиления. Моделирование проводится на примере эксимерной лазерной системы. Расчеты выполнены в стационарном дифракционном квазиоптическом приближении. Показано влияние дифракции на характер распределения интенсивности пучка при его прохождении в усиливающей среде и вакууме.

### Введение

Эксимерные лазеры являются наиболее эффективными и мощными источниками когерентного излучения в ультрафиолетовой области спектра. Для их использования в различных приложениях, как правило, требуется высокое качество лазерного пучка. Как известно, минимальная расходимость пучка ограничена дифракцией излучения. Одним из путей реализации качественного излучения с высокой мощностью является режим усиления [1, 2].

Теоретическое исследование режимов усиления в лазерных системах всегда представляло большой интерес. Численное моделирование позволяло проводить исследования в условиях, когда эксперимент затруднителен, дорог либо невозможен. Благодаря численному моделированию можно оптимизировать технические характеристики используемых систем либо получать дополнительную информацию, которую трудно, а порой и невозможно, получить в эксперименте.

В данной статье при помощи средств вычислительной математики реализована модель распространения излучения в усиливающей среде с насыщением и приведены результаты расчетов для ХеСl-лазерной системы.

### Результаты расчетов

Процесс распространения оптического излучения в нелинейной среде описывается квазиоптическим уравнением, которое в безразмерной форме имеет вид [3]:

$$\frac{\partial A}{\partial z} + i\Delta_{\perp}A + i\varepsilon A + \delta A = 0, \tag{1}$$

где  $A = f(x, y, z)$  – комплексная амплитуда излучения;  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды (безразмерная);  $\delta = \alpha - g$  ( $\alpha$  – безразмерный коэффициент поглощения,  $g$  – безразмерный коэффициент усиления активной среды);

$$\Delta_{\perp}A \equiv \frac{\partial^2 A}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial A}{\partial r}.$$

В нашей модели учитывается насыщение усиления активной среды, т.е. зависимость коэффициента усиления среды от интенсивности излучения:

$$g = \frac{g_0}{1 + I/I_s}, \tag{2}$$

где  $g$  – текущий коэффициент усиления;  $g_0$  – коэффициент усиления малого сигнала;  $I$  – интенсивность излучения;  $I_s$  – интенсивность насыщения.

Нами исследовался процесс распространения излучения в активной среде ХеСl-лазера с коэффициентом усиления  $g_0 = 0,05 \text{ см}^{-1}$  и коэффициентом ненасыщенного поглощения  $\alpha = 0,008 \text{ см}^{-1}$ . Поперечный размер активной среды значительно превышал размер входного пучка, который имел однородное распределение интенсивности по сечению. За интенсивность насыщения усиливающей среды  $I_s$  в расчетах принималась интенсивность, в 100 раз превышающая входную интенсивность  $I_0$ .

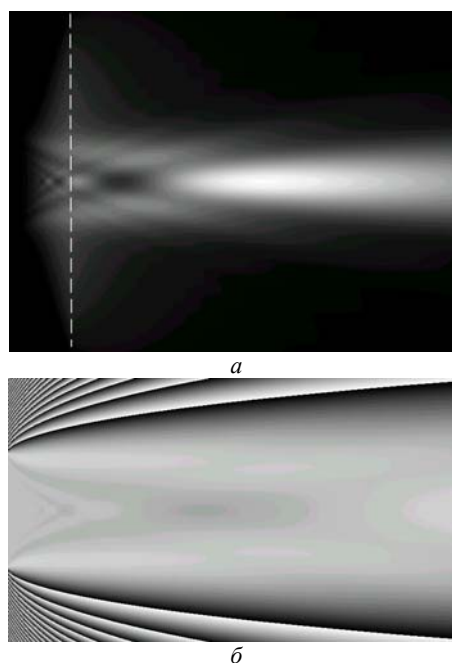


Рис. 1. Распределение интенсивности (а) и фазы (б) по сечению пучка радиуса  $r = 0,1$  см вдоль оси его распространения в системе «усилитель–вакуум» длиной 7,5 м (длина усилителя – 1 м, вакуума – 6,5 м). Штриховой линией обозначена граница усиливающей среды. Масштабы рисунков вдоль распространения пучка одинаковы

На рис. 1 показано изменение распределения интенсивности и фазы по сечению пучка радиуса  $r = 0,1$  см. Рис. 1 отражает динамику изменения интенсивности (а) и фазы (б) излучения при его распространении в системе «усилитель – вакуум». В зоне усиления заметно постепенное нарастание интенсивности. На рис. 1 это соответствует увеличению яркости. Для фазового распределения видно скачкообразное изменение фазы излучения на периферии пучка (рис. 1,б).

На рис. 2 представлены диаграммы осевой интенсивности пучков радиусами  $r_1 = 0,1$  см и  $r_2 = 0,2$  см в зависимости от пройденного расстояния. Длина усиливающей среды в обоих случаях составляла 1 м. Для пучка с меньшим радиусом в зоне усиливающей среды заметна конкуренция между процессом усиления и дифракцией. Вследствие этого нарастание интенсивности пучка меньшего радиуса происходит медленнее, чем для пучка с большим радиусом.

Положение максимума интенсивности в диске Эйри хорошо согласуется с экспериментальными данными, полученными в [1].

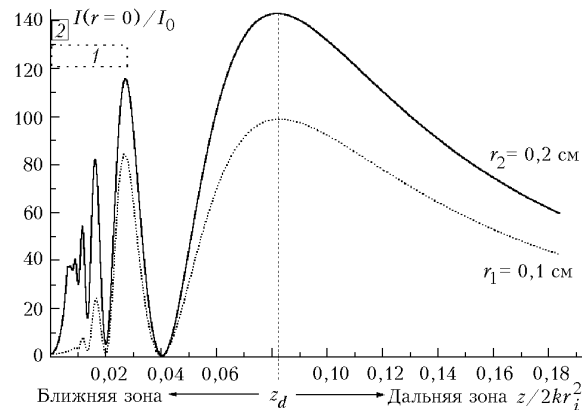
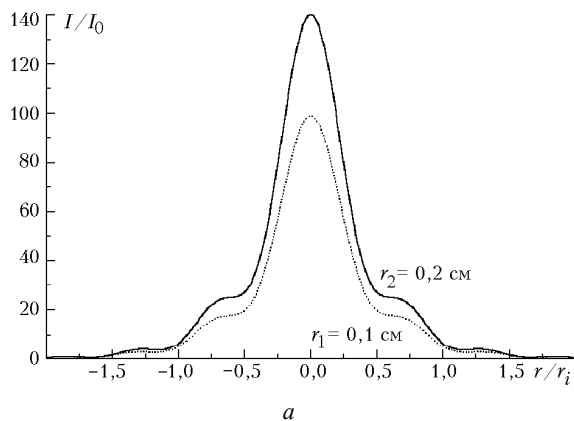


Рис. 2. Характер зависимости интенсивности излучения на оптической оси от пройденного расстояния. Прямоугольниками 1 и 2 показаны положения усиливающей среды для пучков радиуса  $r_1$  и  $r_2$  соответственно;  $z$  – расстояние (см), измеряемое вдоль оптической оси,  $z_d$  – дифракционная длина;  $k$  – волновое число;  $r_i$  – радиус пучка ( $i = 1, 2$ )

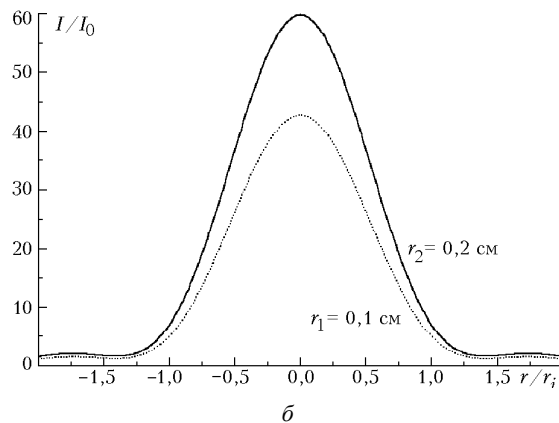


Рис. 3. Распределение интенсивности излучения в поперечном сечении для разных радиусов пучка: а – на расстоянии, равном дифракционной длине пучка; б – расстояние в 2 раза больше дифракционной длины

На рис. 3 показаны диаграммы распределения интенсивности излучения в поперечном сечении для пучков тех же радиусов на расстоянии, равном дифракционной длине (3,25 и 13 м соответственно), и расстоянии в 2 раза больше дифракционной длины. В последнем случае заметно расплывание пучка, обусловленное дифракцией.

### Заключение

В данной статье рассмотрена модель распространения излучения в усилительных системах. Проведено численное моделирование процесса распространения излучения в системе, содержащей усиливающую среду ХеСл-лазера. Исследовано поведение интенсивности и фазы излучения для пучков различного диаметра.

*A.G. Bessonov, V.F. Losev and A.L. Magazinnikov. Modeling of radiation propagation in XeCl laser system.*

Propagation of radiation through an amplifying laser system is simulated taking into account saturation of amplification. The modeling is conducted using the excimer laser system as an example. Calculations are performed in the stationary diffraction quasi-optical approximation. The influence of diffraction on the character of beam intensity distribution during its passage through the amplifying medium and vacuum is shown.

Полученные результаты позволяют заключить, что уменьшение радиуса пучка приводит к увеличению дифракционных эффектов и может являться причиной более медленного нарастания интенсивности при усилении и дальнейшем распространении излучения. Результаты расчетов хорошо коррелируют с экспериментальными данными, опубликованными в других работах.

1. Иванов Н.Г., Лосев В.Ф., Панченко Ю.Н. Степень изменения диаграммы направленности излучения при его усилении в ХеСл-лазерной системе // Квант. электрон. 2000. Т. 30. № 4. С. 325–327.
2. Коваленко С.Е., Лосев В.Ф. Управление расходимостью излучения ХеСл-лазера в режимах усиления // Квант. электрон. 1992. Т. 19. № 3. С. 219–221.
3. Карамзин Ю.Н., Сухоруков А.П., Трофимов В.А. Математическое моделирование в нелинейной оптике. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1989. 154 с.