

В.Л. Дмитриев, В.Б. Касперский, В.П. Лукин, В.В. Сычев

МОДЕЛЬ ЩЕЛЕВОГО ПУЧКА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ АДАПТИВНОЙ КОРРЕКЦИИ ТЕПЛООВОГО САМОВОЗДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПРОТЯЖЕННЫХ НЕОДНОРОДНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ТРАССАХ

Проведен сравнительный анализ результатов использования модели «щелевого» пучка и пучка с двумерной апертурой при численном исследовании искажений, вызываемых тепловым самовоздействием излучения на атмосферных неоднородных трассах. Получены коэффициенты пересчета значения максимальной интенсивности и углового смещения максимума пучка.

Численное моделирование на ЭВМ является одним из основных методов исследования потенциальных возможностей адаптивной коррекции тепловых искажений пучков лазерного излучения в атмосфере [1]. При этом наиболее широко используется подход, связанный с решением системы нелинейного параболического уравнения для комплексной амплитуды поля A и материального уравнения, определяющего связь между показателем преломления среды n и интенсивностью излучения. Уравнение для комплексной амплитуды обычно решается методом расщепления [2] с применением быстрого преобразования Фурье.

С целью сокращения затрат машинного времени и требований к используемой ЭВМ была предложена модель пучка излучения с пространственно-одномерной апертурой или модель щелевого пучка [3, 4, 5]. В этой модели предполагается, что амплитуда поля вдоль бесконечно длинной стороны щели постоянна, а вдоль короткой стороны — меняется. Данная модель использовалась в исследованиях коррекции теплового самовоздействия излучения на коротких однородных трассах [3, 4] и в исследованиях автомодуляционной неустойчивости теплового самовоздействия в режиме короткого импульса [5].

В данном сообщении рассматриваются вопросы применения модели щелевого пучка для оценок уровня искажений и возможностей их компенсации при тепловом самовоздействии пучков с конечной площадью поперечного сечения. При этом учитываются такие особенности протяженных атмосферных трасс, как неоднородность показателя преломления n вдоль оптической оси пучка излучения, сканирование пучком излучения, а также импульсно-частотный временной режим работы источника излучения.

Трассу распространения излучения разобьем на два участка. На первом участке, включающем плотные слои атмосферы, пучок излучения подвергается искажениям, связанным с развитием теплового самовоздействия. На втором участке трассы распространение происходит практически в вакууме, при этом пучок излучения претерпевает изменения структуры, связанные с трансформацией амплитудно-фазовых искажений, приобретенных излучением при прохождении первого участка трассы, и формируется угловое распределение интенсивности.

Начальное амплитудно-фазовое распределение излучения для одномерной (щелевой) апертуры имеет вид

$$A(x, y) = \exp\left(-\left(x/a\right)^{10}\right). \quad (1)$$

Для двумерной апертуры соответственно имеем

$$A(x, y) = \exp\left(-\left(x/a\right)^{10}-\left(y/a\right)^{10}\right). \quad (2)$$

Корректирующее фазовое распределение находится с использованием фазы отраженного от объекта излучения, которое моделируется более широким, чем основное излучение, пучком с плоским фазовым фронтом на входе на первый участок трассы со стороны объекта. Мощность отраженного излучения предполагается малой и не вызывающей изменений показателя преломления n . Ширина пучка отраженного излучения выбирается из условия малости дифракционных эффектов при прохождении первого участка трассы в обратном направлении.

Для сопоставления результатов расчетов для моделей с щелевым пучком и с двумерной апертурой, начальное амплитудное распределение которых описывается выражениями (1) и (2), введем масштабирующий коэффициент по углу увода максимума интенсивности

$$K_{\text{угл}} = \Delta x^{(2)}/\Delta x^{(1)}, \quad (3)$$

где верхние индексы 1 и 2 соответствуют одномерной и двумерной апертурам. Кроме того, введем масштабирующий коэффициент по интенсивности в максимуме углового распределения

$$K_{\max} = I_{\max}^{(2)} / I_{\max}^{(1)} .$$

(4)

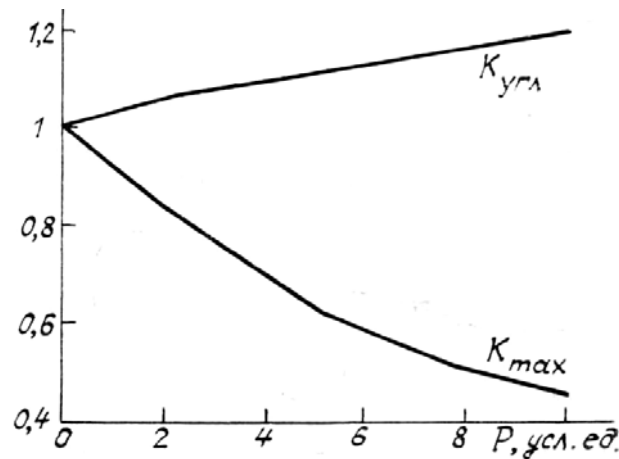


Рис. 1. Зависимость масштабирующих коэффициентов по интенсивности $K_{\text{угл}}$ и K_{max} от мощности

Расчеты проводились при разбиении первого участка трассы на 8 интервалов. На рис. 1 приведены зависимости коэффициентов $K_{\text{угл}}$ и K_{max} от мощности.

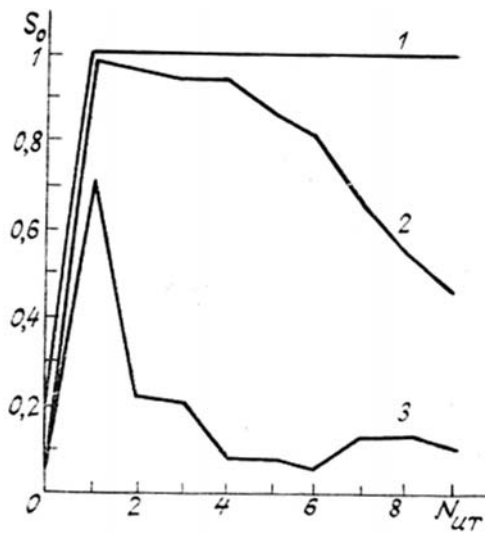


Рис. 2. Изменение осевой нормированной интенсивности для одномерной апертуры (кривые 1, 2, 3 соответствуют погонной мощности излучения 2, 5, 10 усл. ед.)

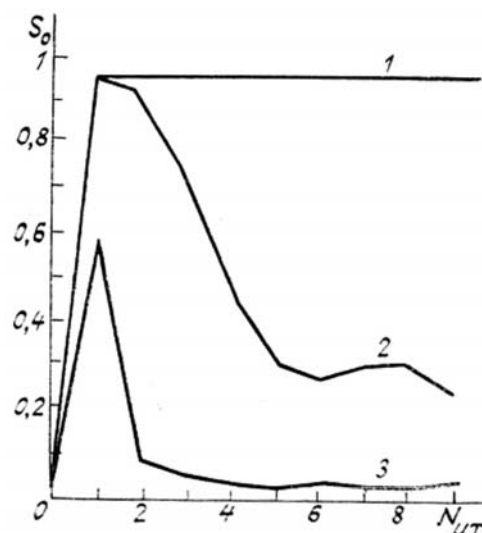


Рис. 3. То же, что и на рис. 2, для двумерной апертуры

Сравнение результатов численного моделирования коррекции искажений, вызываемых тепловым самовоздействием излучения, проводилось при одинаковых условиях и параметрах распространения. На рис. 2 показано изменение осевой нормированной интенсивности для одномерной апертуры, а на рис. 3 — для двумерной при размерности вычислительных сеток в плоскости, перпендикулярной оптической оси 256 и 256×32 соответственно. Результаты моделирования показывают, что одномерная модель дает результаты, близкие к полученным для двумерной модели, правильную качественную картину коррекции для двумерных пучков. На основе проведенного анализа полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Модель «щелевого» пучка позволяет исследовать качественные особенности коррекции тепловых искажений лазерного излучения на неоднородных атмосферных трассах, что существенно смягчает требования к вычислительным ресурсам, обеспечивающим моделирование.

2. Получены коэффициенты пересчета, позволяющие делать оценки эффективности компенсации искажений для пучков с двумерной апертурой по результатам моделирования пучков с одномерной для протяженных неоднородных атмосферных трасс.

1. Лукин В. П. Атмосферная адаптивная оптика. Новосибирск: Наука, 1986. 248 с.
2. Марчук Г. И. Методы вычислительной математики. М.: Наука, 1980 535 с.
3. Ulrich P. V., Carston L. W. //Proc. SPIE. 1983. V. 410. P. 37–50.
4. Захарьев Л. Н., Валуев В. В., Исаева О. А. //II Всесоюз. конф. «Оптика лазеров». (Тезисы докл.). Л., 1979. С. 296–297.
5. Выслоух В. А., Кандидов В. П., Чесноков С. С., Шленов С. А. //Изв. вузов. Физика. 1985. Т. XXVIII. № 11. С. 30–41.
6. Чесноков С. С. //Вестн. Моск. ун-та. Физика и астрономия, 1980. Т. 21. № 6. С. 27.
7. Sziklas E. A., Siegman A. E. //Appl. Opt. 1975. V. 14. P. 1874–1889.

Научно-производственное объединение «Астрофизика», Москва
Институт оптики атмосферы СО АН СССР, Томск

Поступила в редакцию
23 июня 1989 г.

V. L. Dmitriev, V. B. Kasperskii, V. P. Lukin, V. V. Sychev. **Split Beam Model when Investigating Adaptive Correction of Laser Radiation Thermal Blooming at Atmospheric Extended Inhomogeneous Paths.**

A comparative analysis of the results of using the model of «split» beam and two-dimensional-aperture beam in digital simulation of thermal blooming distortions at atmospheric inhomogeneous paths has been made and coefficients for fitting maximal intensity and angle displacement of maximum intensity of laser radiation have been derived.