

В.Л. Дмитриев, А.А. Мишукова, В.П. Лукин, В.В. Сычев

ОСОБЕННОСТИ КОРРЕКЦИИ ТЕПЛОВОГО САМОВОЗДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА АТМОСФЕРНЫХ ТРАССАХ С ПОМОЩЬЮ «МЕДЛЕННОЙ» ФАЗОСОПРЯЖЕННОЙ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ

Исследована зависимость динамики изменения осевой интенсивности лазерного излучения пучка от мощности при адаптивной «медленной» фазосопряженной коррекции искажений на протяженной неоднородной трассе распространения. Предложен вариант обеспечения устойчивости коррекции путем ограничения минимального масштаба неоднородности фазы корректирующего фазового распределения и проведена проверка его эффективности с помощью численного моделирования.

Фазосопряженные адаптивные оптические системы, используемые для коррекции искажений, вызываемых тепловым самовоздействием излучения, подразделяются на «быстрые» и «медленные» [1]. Режим компенсации является «медленным», если за время между обновлением корректирующего фазового распределения t_k происходит выход на стационарный режим искажений, связанных с тепловым самовоздействием излучения, то есть $t_k \gg \tau_{уст}$. В случае выполнения противоположного неравенства режим коррекции считается «быстрым». Время установления искажений оценивается соотношением [1]:

$$\tau_{уст} \approx 2a/v_{эф}, \quad (1)$$

где $2a$ — диаметр пучка лазерного излучения; $v_{эф}$ — эффективная скорость взаимного перемещения пучка излучения и воздушных масс.

«Медленный» режим коррекции предполагает использование контура управления фазовым распределением с меньшей полосой обрабатываемых частот, чем «быстрый». При этом возможно использование и менее широкополосного корректирующего оптического элемента, что может быть существенным при технической реализации. Однако использование «медленного» режима метода фазового сопряжения имеет лишь эвристическое обоснование. В этом случае повторение тактов коррекции не является итерационной процедурой поиска максимума интегрального критерия, достижение которого обеспечивает максимальную интенсивность излучения на объекте [2].

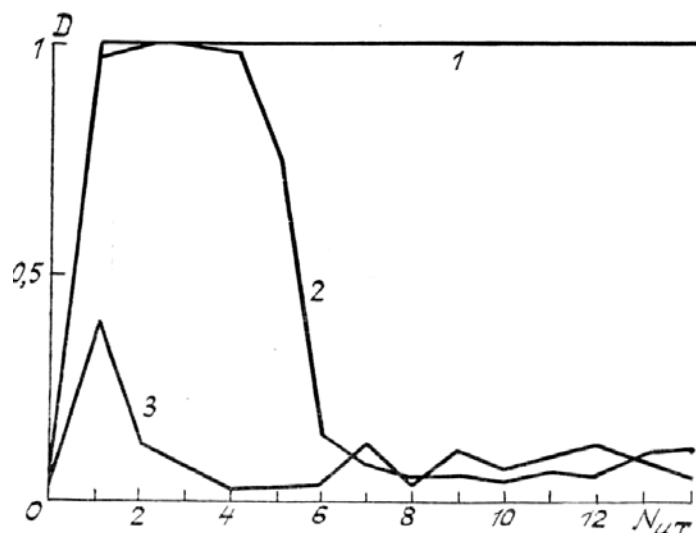


Рис. 1. Зависимость нормированной осевой интенсивности от числа тактов итерации коррекции $N_{ит}$ (кривые 1, 2, 3 соответствуют погонной мощности 2, 5, 10 усл. ед.)

Ранее на модельных задачах была показана возможность потери устойчивости коррекции за счет развития крупномасштабных неоднородностей структуры пучка излучения [3, 4]. Для режима короткого импульса численно был получен распад пучка лазерного излучения на нити [5]. Кроме того, в

[6, 7] отмечена возможность развития мелкомасштабных возмущений структуры лазерного пучка по мере продвижения вдоль оптической оси по трассе распространения.

В данной статье исследуется устойчивость коррекции теплового самовоздействия лазерного излучения на неоднородных атмосферных трассах при «медленном» режиме коррекции в условиях ветровой рефракции. Особенности математической модели и трассы распространения излучения описаны в [8]. Было проведено численное моделирование «медленной» фазосопряженной адаптивной системы. Временной режим излучения предполагался импульсно-частотным.

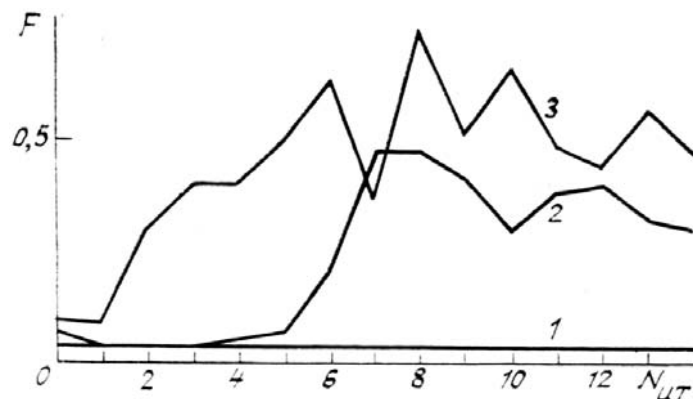


Рис. 2. Зависимость ширины энергетического спектра комплексной амплитуды на выходе искажающего слоя атмосферы от числа тактов коррекции $N_{ит}$ (кривые 1, 2, 3 соответствуют погонной мощности 10^{-4} ; 5; 10 усл. ед.)

Значения нормированной осевой интенсивности лазерного излучения D при повторении тактов коррекции представлены на рис. 1.

Кривым 1, 2, 3 соответствует мощность излучения в 2, 5 и 10 относит, единиц. Расчеты показали, что с увеличением мощности излучения при повторении тактов коррекции происходит снижение нормированной осевой интенсивности (кривые 2, 3 рис. 1), то есть происходит потеря устойчивости коррекции. При этом наблюдается развитие мелкомасштабной модуляции интенсивности и фазы пучка лазерного излучения на выходе плотных слоев атмосферы, на что указывают результаты расчетов ширины пространственного спектра комплексной амплитуды пучка лазерного излучения, представленные на рис. 2. Линиями 1, 2, 3 на рис. 2 представлен ход изменения энергетического спектра комплексной амплитуды пучка лазерного излучения на выходе трассы [8] для излучения мощностью 10^{-4} , 5 и 10 относит, единиц соответственно.

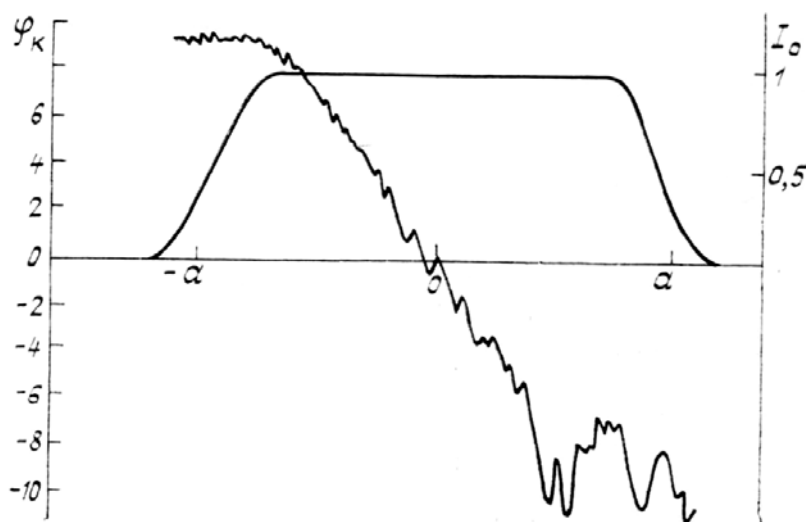


Рис. 3. Распределение корректирующего фазового фронта после первого такта коррекции при мощности 10 усл. ед.

В условиях потери устойчивости коррекции корректирующая фаза также обладает мелкомасштабной изрезанностью. На рис. 3 представлена корректирующая фаза φ_k на первом такте коррекции при мощности 10 относит, единиц.

Рассмотрим влияние на устойчивость фазосопряженной коррекции ограничения минимального масштаба неоднородности корректирующего фазового распределения. Для этого моделировалось со-

ставное фазированное зеркало. Щелевая апертура разбивалась на ряд сегментов. На рис. 4 представлена зависимость изменения осевой нормированной интенсивности при повторении тактов коррекции для излучения мощностью 5 относит. единиц (кривые 1, 2, 3 соответственно), при разбиении апертуры на 4 и 8 сегментов и при сопряжении фазы в каждой точке апертуры. Распределение корректирующей фазы на каждом из сегментов получаем из комплексно сопряженного фазового фронта опорного пучка аппроксимацией ближайшим в среднеквадратическом смысле отрезком.

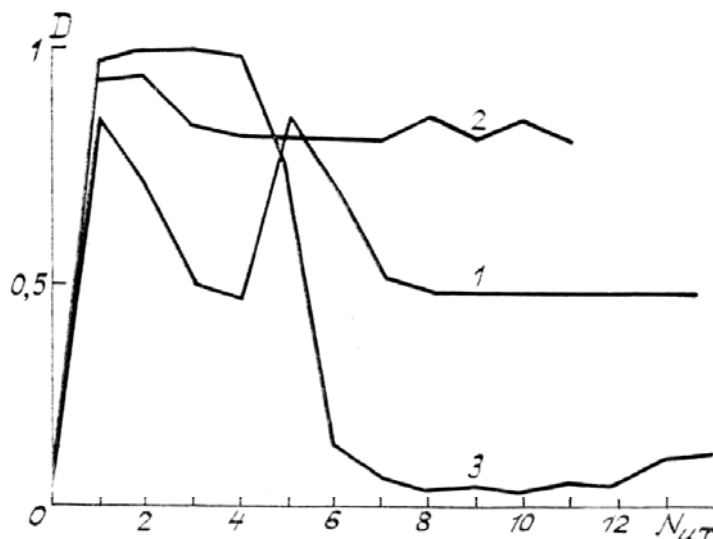


Рис. 4. Зависимость изменения осевой нормированной интенсивности от номера такта коррекции $N_{ит}$ при разбиении щелевой апертуры на 4, 8 сегментов и при сопряжении фазы в каждой точке апертуры (кривые 1, 2, 3)

Рассмотренные выше варианты ограничения минимального размера неоднородности корректирующего фазового распределения обеспечивают устойчивость коррекции, причем с увеличением числа элементов разбиения апертуры увеличивается достигаемая осевая интенсивность. Отметим, что сопряжение в каждой точке расчетной сетки можно интерпретировать как коррекцию с помощью составного фазированного зеркала с размером элемента, равным шагу сетки. Тогда из результатов, представленных на рис. 4 (кривая 3), вытекает, что дальнейшее увеличение числа элементов зеркала приводит к потере устойчивости. Следовательно, существует для каждого уровня мощности излучения оптимальный размер элемента составного фазированного зеркала, выбор которого обеспечивает устойчивость коррекции и достижение максимального значения осевой интенсивности.

Выводы

1). Неустойчивость коррекции искажений с помощью «медленной» фазосопряженной системы при импульсно-частотном временном режиме излучения лазера связана с развитием мелкомасштабной изрезанности амплитудно-фазового распределения лазерного излучения.

2). Устойчивость коррекции искажений, вызываемых тепловым самовоздействием излучения в атмосфере, можно обеспечить, если ограничить минимальный размер неоднородности корректирующего фазового распределения, используя, например, в качестве управляемого оптического элемента составное фазированное зеркало.

1. Лукин В. П. Атмосферная адаптивная оптика. Новосибирск: Наука, 1986. 248 с.
2. Воронцов М. А., Шмальгаузен В. И. Принципы адаптивной оптики. М.: Наука, 1985. 336 с.
3. Неггманн J. // JOSA. 1977. V. 67. P. 290.
4. Воробьев В. В. // Радиотехника и электроника. 1981. № 11. С. 2334.
5. Выслоух В. А., Кандидов В. П., Чесноков С. С., Шленов С. А. // Изв. вузов. Физика. 1985. № 11. С. 30.
6. Гочелашвили К. С., Чашей И. В., Шишов В. И. // Квантовая электроника. 1981. Т. 8. № 7. С. 1551–1555.
7. Гочелашвили К. С., Прохоров А. М., Стародумов А. Н. // Изв. АН СССР. Сер. Физик. 1988. Т. 52. № 2. С. 403.
8. Дмитриев В. Л., Касперский В. Б., Лукин В. И., Сычев В. В. // Оптика атмосферы. 1990. Т. 3. № 12. С. 1304–1306.

V. L. Dmitriev, A. A. Mishukova, V. P. Lukin, V. V. Sychev. **Peculiarities of Correction of Laser Radiation Self-Action along Atmospheric Paths Using «Slow» Phase-Conjugate Adaptive System.**

A dependence of dynamics of variation of laser radiation axial intensity on its power using the adaptive «slow» phase-conjugative correction of distortions on extended inhomogeneous distribution is investigated. The variant of correction stabilization by limitation of minimal scale of phase inhomogeneity of corrective phase distribution has been suggested and its efficiency has been checked by digital simulation.