

**В. А. Кудряшов** (Москва, МИРЭА). **Анализ физического подобия при проведении и использовании результатов экспериментов по распространению лазерного излучения.**

Проведение экспериментов по распространению интенсивного лазерного излучения сопряжено с необходимостью оптимизации времени и средств. Модельные эксперименты на приземных трассах существенно ускоряют получение результатов и снижают затраты. Однако микрометеорология приземного слоя воздуха существенно отличается от микрометеорологии наклонной и вертикальной трасс распространения. В приземном слое атмосферы существует некоторый ограниченный, по сравнению с наклонными и вертикальными трассами, «набор» размеров неоднородностей [1]. Это обуславливает количественные и качественные различия в результатах экспериментов. Приводятся исследования критериев возможности распространения результатов экспериментов, проводимых на приземных трассах на реальные трассы.

Рассмотрим классическую задачу определения угловых координат точечного объекта, подсвечиваемого лазерным излучением через турбулентную атмосферу. Дисперсия эффективной оценки угловых координат при использовании четырехэлементного приемника определяется формулой [2]:

$$\sigma_{\text{эф},\alpha,\beta}^2 \cong \frac{\pi^{3/2}}{8} \frac{1 + \bar{n}_{\text{ш}}/\bar{n}_{\text{со}}}{\bar{n}_{\text{со}}} \langle \delta^2 \rangle \frac{L}{L_o} \frac{\bar{n}_o + m}{m},$$

где  $\langle \delta^2 \rangle$  — дисперсия флуктуаций показателя преломления турбулентной атмосферы,  $\bar{n}_{\text{со}}$  — среднее количество сигнальных фотоэлектронов (ФЭ) с одного фотоприемника (ФП),  $\bar{n}_{\text{ш}}$  — среднее количество шумовых (включая фоновые и шумы считывания) ФЭ с одного (ФП),  $\bar{n}_o = \bar{n}_{\text{со}} + \bar{n}_{\text{ш}}$ ,  $m$  — число пространственно-временных степеней свободы поля, определяющихся числом радиусов корреляции поля, укладываемых на апертуру приемного телескопа, шириной спектра флуктуаций отраженного сигнала и временем регистрации,  $L$  — длина турбулентной трассы,  $L_o$  — внешний масштаб турбулентности,  $\alpha, \beta$  — угловые координаты. Большее число этих параметров зависит от длины волны, времени регистрации (больше или меньше времени замороженности атмосферы). Обозначим  $\xi = (L/L_o)(\bar{n}_{\text{со}} + m)/m$  и определим  $\xi$  как показатель физического подобия (ПФП),  $\xi_r$  — ПФП для горизонтальной трассы,  $\xi_v$  — ПФП для вертикальной трассы. При этом считаем, что множитель  $(1/\bar{n}_{\text{со}})(1 + \bar{n}_{\text{ш}}/\bar{n}_{\text{со}})\langle \delta^2 \rangle$  реализуется одинаковым для обеих трасс. Положим  $\bar{n}_o = 10^3$  и для горизонтальной трассы  $L = 1$  км,  $L_o \approx 1$  м,  $m \approx 10$ , тогда  $\xi_r \approx 10^5$ , для вертикальной трассы  $L = 10$  км,  $L_o \approx 10$  м,  $m \approx 100$ , тогда  $\xi_v \approx 1,1 \times 10^4$ . Таким образом, ПФП отличаются в  $\xi_r/\xi_v \approx 9$  раз, что соответствует разнице в среднеквадратичной ошибке в 3 раза. Следует заметить, что ПФП зависит от параметров, мониторинг значений которых необходимо проводить постоянно. Особенно это относится к параметру  $m$  [2]. При использовании результатов экспериментов на приземных трассах для отработки решения задач восстановления изображений, полученных на вертикальных и наклонных трассах, ПФП будет иметь более сложную структуру, в том числе в зависимости от критериев качества восстановления. Если взять за критерий восстановления максимизацию функции резкости

$$S = \int_{\Omega} n^2(\bar{r}, m, L, L_o) d\bar{r}, \quad (1)$$

где  $\Omega$  — область изображения,  $n(\bar{r}, m, L, L_o)$  — распределение фотоэлектронов в плоскости регистрации изображения,  $\bar{r}$  — радиус-вектор в этой плоскости, то из (1) видно, что ПФП требует специальной разработки и анализа.

Проведенные исследования показывают, что разработка ПФП является важным и обязательным этапом НИЭР, которые используют результаты экспериментов на приземных трассах для их адаптации на трассах вертикальных и наклонных.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лазерное излучение в турбулентной атмосфере. М.: Наука, 1976, 277 с.
2. *Бакут П. А., Выгон В. Г., Шумилов Ю. П.* Радиотехника и электроника, 1976, т. XXI, № 7, с. 1467.