

ГИБРИДНЫЙ МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИСКАЖЕНИЙ ВОЛНОВОГО ФРОНТА НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

**А. В. Котов^{1,*}, Ю. А. Родимков², С. Е. Перевалов¹, К. Ф. Бурдонов¹,
И. Б. Мееров², А. А. Соловьев¹**

¹Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А. В. Гапонова–Грехова
Российской академии наук, Нижний Новгород, Россия

²Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

*E-mail: kotov@ipfran.ru

Достижение максимальной пиковой интенсивности на мощных лазерных установках ограничено искажениями волнового фронта в пучке, и в частности, аберрациями неодинакового оптического пути, которые возникают между датчиком волнового фронта и фокусом пучка. Для компенсации данных аберраций требуется дополнительная калибровка адаптивной оптической системы, цель которой найти эталонный волновой фронт обеспечивающий наилучшую фокусировку. Традиционные методы калибровки требуют длительной многоитерационной оптимизации, чувствительной к начальным условиям. Развивающиеся в последние годы подходы на основе нейронных сетей обеспечивают высокую скорость, но часто демонстрируют недостаточную точность. В данной работе предлагается гибридный метод восстановления искажений волнового фронта, основанный на анализе фазово-разнесенных изображений в окрестности фокуса. Предложенный метод сочетает сверточную нейронную сеть для предсказания начального приближения и алгоритм оптимизации для его уточнения. В эксперименте на лазерной установке PEARL при исходных искажениях волнового фронта со среднеквадратичным отклонением (СКО) от 0.15 до 0.6 длин волн разработанный метод обеспечил относительную ошибку восстановления менее 0.25. В результате в серии экспериментов фокусировка с числом Штреля порядка 0.95 достигалась за 2–4 итерации.

A HYBRID METHOD FOR WAVEFRONT DISTORTION RESTORATION BASED ON A NEURAL NETWORK

A. V. Kotov^{1,*}, Yu. A. Rodimkov², S. E. Perevalov¹, K. F. Burdonov¹, I. B. Meerov², A. A. Soloviev¹

¹Federal Research Center A. V. Gaponov–Grekhov Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences,
Nizhny Novgorod, Russia

²Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

*E-mail: kotov@ipfran.ru

Achieving maximum peak intensity in high-power laser systems is limited by wavefront distortions in the beam, particularly by unequal optical path aberrations that occur between the wavefront sensor and the beam focus. Compensating for these aberrations requires additional calibration of the adaptive optics system, the goal of which is to find a reference wavefront that provides optimal focusing. Traditional calibration methods require time-consuming, multi-iteration optimization that is sensitive to initial conditions. Neural network-based approaches developed in recent years offer high speed but often exhibit insufficient accuracy. This paper proposes a hybrid method for wavefront distortion reconstruction based on the analysis of phase-separated images in the vicinity of a focal point. The proposed method combines a convolutional neural network to predict an initial approximation and an optimization algorithm to refine it. In an experiment on the PEARL laser facility with initial wavefront distortions with a standard deviation from 0.15 to 0.6 wavelengths, the developed method achieved a relative reconstruction error of less than 0.25. As a result, focusing with a Strehl ratio of approximately 0.95 was achieved in 2–4 iterations in a series of experiments.