

# РАСПОЗНАВАНИЕ ОРБИТАЛЬНОГО УГЛОВОГО МОМЕНТА СИНТЕЗИРОВАННЫХ МАССИВОМ ВОЛОКОННЫХ ЛАЗЕРОВ ПУЧКОВ ПРИ ИХ РАСПРОСТРАНЕНИИ В ТУРБУЛЕНТНОЙ АТМОСФЕРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

*Е.А. Богач, магистрант гр. 0ВМ02 ТПУ, инженер ИОА им. В.Е. Зуева СО РАН,  
Е.В. Адамов, м.н.с. ИОА им. В.Е. Зуева СО РАН, инженер ТПУ,  
О.М. Гергет, д.т.н., проф. ОИТ ИШИТР ТПУ,  
Томский политехнический университет  
E-mail: eab54@tpu.ru*

## Введение

Перспектива создания мощных квантовых компьютеров ставит под угрозу существующие методы защищенной передачи информации: квантовые компьютеры способны за относительно короткое время взламывать сообщения, зашифрованные методами классической криптографии [1]. Актуальной становится задача создания методов, способных обеспечить защищенную передачу информации в условиях работы квантовых компьютеров.

Одним из решений задачи защищенной связи является организация передачи информации посредством орбитального углового (ОУМ) момента синтезированных массивом волоконных лазеров пучков, распространяющихся в атмосфере [2–4]. Турбулентность атмосферы разрушает изначально передаваемые распределение интенсивности, возникает задача распознавания ОУМ после прохождения через турбулентную атмосферу.

## Описание эксперимента и реализация нейронной сети

Данная работа является продолжением работы [3], в которую добавлено влияние на распространения структурированного пучка турбулентности атмосферы используя метод фазовых экранов [5,6]. Схема эксперимента представлена на рисунке 1.

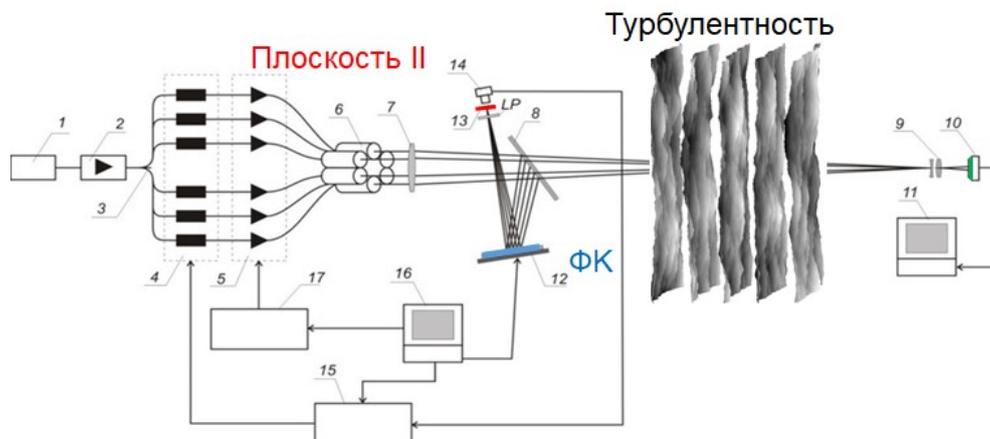


Рис. 1. Схема эксперимента: 1 – узкополосный лазер, 2 – волоконно-оптический усилитель, 3 – волоконный разветвитель 1x8, 4 – фазовые модуляторы, 5 – усилители мощности, 6 – волоконные коллиматоры, 7 – длиннофокусная линза, 8 – светоделительная пластина, 9 – коллиматор 5x, 10 – измеритель пространственных характеристик пучка, 11 – компьютер, 12 – фазовый корректор (SLM), 13 – малая диафрагма, 14 – широкополосный фотоприемник, 15 – многоканальный оптимизирующий SPGD-процессор, 16 – управляющий компьютер, 17 – контроллер усилителей мощности, LP – линейный поляризатор.

Для распознавания распределения интенсивности пучка, обладающего ОУМ и распространяющегося через турбулентную атмосферу, использована сверточная нейронная сеть [7] со следующей структурой: 4 последовательно идущих сверточных блока – 2 свертки с ядром 3x3 и функцией активации LeakyReLU [7], подвыборка с окном 2x2 и шагом 2, полносвязный слой из 128 нейронов и выходной слой. Для реализации нейронной сети использован язык программирования Python и открытая программная библиотека Tensorflow. Распознавание проводилось для ОУМ равных

0 и 1. Примеры полученных в результате моделирования изображений с учетом и без турбулентности представлены на рисунке 2.

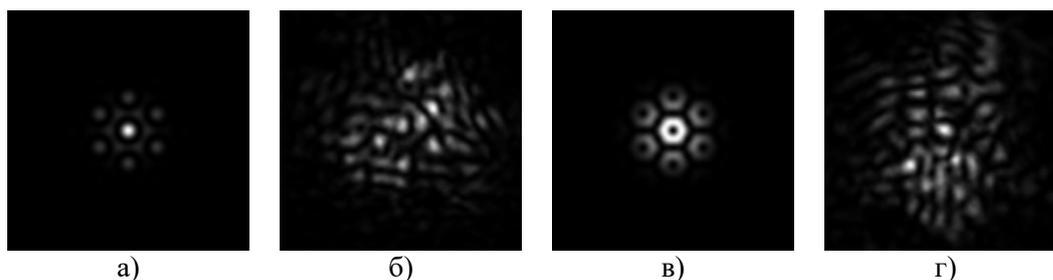


Рис. 2. Моделирование распространения электромагнитного излучения в турбулентной атмосфере: а) распределение интенсивности при ОУМ = 0 без учета турбулентности; б) распределение интенсивности при ОУМ = 0 с учетом турбулентности; в) распределение интенсивности при ОУМ = 1 без учета турбулентности; г) распределение интенсивности при ОУМ = 1 с учетом турбулентности;

На рисунке 3 представлена точность распознавания ОУМ [8] при различных значениях структурного параметра турбулентности –  $C_n^2$  [5].

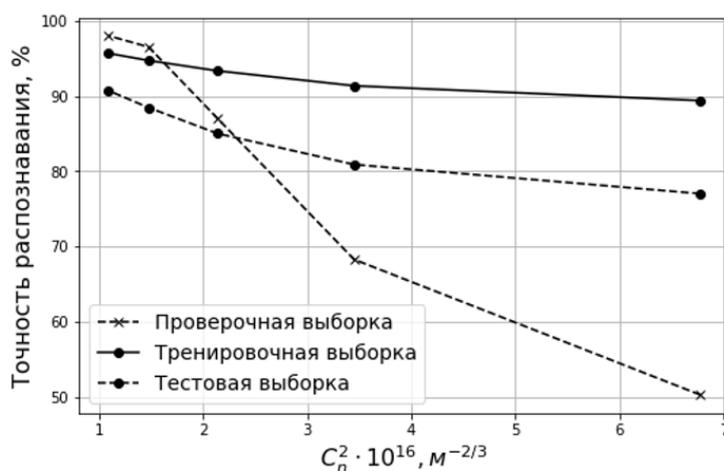


Рис. 3. Точность распознавания ОУМ при различных значениях структурного параметра турбулентности –  $C_n^2$

### Заключение

В работе представлено решение задачи распознавания распределения интенсивности пучков, синтезированных массивом волоконных лазеров, при их распространении в турбулентной атмосфере. Предложенная сверточная нейронная сеть показала высокую точность распознавания ОУМ при значениях  $C_n^2$ , лежащих в диапазоне от  $1 \cdot 10^{-16}$  до  $2 \cdot 10^{-16} M^{-2/3}$ .

### Список использованных источников

1. Mavroeidis V., Vishi K., Zych M. D., Jøsang A. The Impact of Quantum Computing on Present Cryptography. International Journal of Advanced Computer Science and Applications. – 2018. – V.9. – № 3. [Электронный ресурс]. – URL: [www.ijacsa.thesai.org](http://www.ijacsa.thesai.org)
2. Adamov E., Aksenov V., Dudorov V., Kolosov V., Levitskii M. Vortex beam generation by means of control of the piston shift of a fiber array using a phase forming DOE in active feedback loop. – 2021. [Электронный ресурс]. – URL: <https://doi.org/10.1117/12.2613693>
3. Adamov E., Aksenov V., Dudorov V., Kolosov V., Levitskii M. Phase control of an azimuthally polarized beam synthesized by an array of fiber lasers. – 2021. [Электронный ресурс]. – URL: <https://doi.org/10.1117/12.2613647>

4. Adamov E., Aksenov V., Atuchin V., Dudorov V., Kolosov V., Levitsky, M. Laser beam shaping based on amplitude-phase control of a fiber laser array. *OSA Continuum*, – 2021. – V.4(1), – 182 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://doi.org/10.1364/osac.413956>
5. Dudorov V., Vorontsov M., Kolosov V. Speckle-field propagation in “frozen” turbulence: brightness function approach. – 2018.
6. Aksenov V., Kolosov V., Pogutsa C. The influence of the vortex phase on the random wandering of a Laguerre-Gaussian beam propagating in a turbulent atmosphere: A numerical experiment. *Journal of Optics (United Kingdom)*. – 2013. – V.15(4). [Электронный ресурс]. – URL: <https://doi.org/10.1088/2040-8978/15/4/044007>
7. Николенко С., Кагурин А., Архангельская Е. Глубокое обучение. – 2017. – Издательский дом «Питер».
8. Liu W., Jin M., Hao Y., Deng D., Wu R., Wei Z., Liu H. Efficient identification of orbital angular momentum modes carried by Bessel Gaussian beams in oceanic turbulence channels using convolutional neural network. *Optics Communications*. – 2021. – 498 p. [Электронный ресурс]. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2021.127251>