

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОРБИТАЛЬНЫХ УГЛОВЫХ МОМЕНТОВ
ФОТОНОВ В ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ СВЯЗИ****Кузяков Борис Алексеевич**

канд. физ. – мат. наук, доцент, Российский Технологический Университет МИРЭА, РФ, г.
Москва

**PROSPECTS OF USING THE ORBITAL ANGULAR MOMENTS OF PHOTONS IN HIGH-
SPEED OPTICAL COMMUNICATION LINES*****Boris Kuzyakov***

*Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Russian Technological
University MIREA, Russia, Moscow*

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы перспективного использования вихревых лазерных пучков в высокоскоростных оптических линиях связи на примере одного из вариантов блок-схемы. Для создания вихревых пучков могут применяться: спиральные фазовые пластины, пространственные модуляторы света и q - пластины. Показаны примеры распределения интенсивности излучения в вихревых пучках с разными модовыми индексами. Приведены данные по значительному снижению среднеквадратичных ошибок приёмных сигналов, в условиях турбулентной атмосферы, при использовании вихревых пучков. Перечислены преимущества использования векторных вихревой пучков в оптических линиях телекоммуникации.

Abstract. The paper deals with the prospective use of vortex laser beams in high-speed optical communication lines on the example of one of the variants of the block diagram. To create vortex beams, the following methods can be used: spiral phase plates, spatial light modulators, and q-plates. Examples of the distribution of the radiation intensity in vortex beams with different mode indices are shown. The data on a significant reduction in the root-mean-square errors of the receiving signals in the conditions of a turbulent atmosphere, when using vortex beams, are presented. The advantages of using vector vortex beams in optical telecommunications lines are listed.

Ключевые слова: оптические линии связи; вихревые лазерные пучки; приёмные сигналы; среднеквадратичные ошибки; спиральные фазовые пластины; пространственные модуляторы света; q – пластины; распределения интенсивности излучения; преимущества использования.

Keywords: optical communication lines; vortex laser beams; receiving signals; root-mean-square errors; spiral phase plates; spatial light modulators; q-plates, radiation intensity distributions; advantages of use.

В наше время, интенсивно исследуются вопросы перспективного использования вихревых лазерных пучков в высокоскоростных оптических линиях связи. Пример одного из вариантов блок-схемы линии связи, приведен на рисунке 1.

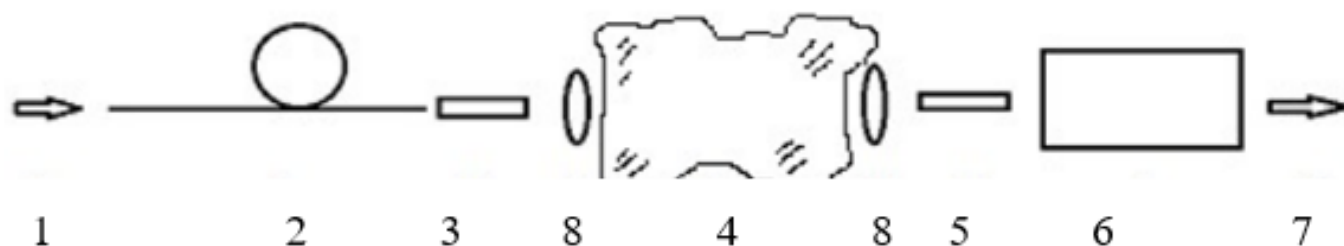


Рисунок 1. Перспективный вариант блок-схемы оптических комбинированных телекоммуникационных систем: 1- информационный сигнал; 2 - сегмент ВОЛС; 3 - модуль передатчика сегмента АОЛС; 4 -сегмент атмосферной трассы; 5 - модуль приемника системы АОЛС; 6 - система обработки сигнала; 7 - выходной сигнал; 8 - оптический телескоп

Векторные вихревые пучки (ВВБ), обладающие состояниями, в которых поляризация и орбитальный угловой момент (ОАМ) связаны, привлекают все больше внимания в науке и технике, благодаря уникальной природе светового поля. Однако искажение атмосферной передачи является постоянной проблемой, несколько препятствующей практическому применению, например, в связи и визуализации [1]. Здесь рассматривается адаптивная оптическая система для компенсации турбулентных aberrаций векторной вихревой моды с учетом фазового распределения и чистоты моды. Хорошо разработана модель сверточной нейронной сети с коррекцией турбулентных aberrаций (ТАCCNN), которая позволяет изучить взаимосвязь отображения профиля интенсивности искаженных векторных вихревых мод и фазы турбулентности, генерируемой первыми 20 модами Цернике. После подробного учёта многочисленных экспериментальных данных модель ТАCCNN быстро и точно компенсирует aberrацию турбулентности для ВВБ (см. рисунок 2). На рисунке 2 приведен вариант эффективной компенсации aberrаций турбулентности (пунктирная кривая) для ВВБ, в сравнении с вариантом без компенсации (сплошная линия) для случая $D/r_0 = 5.28$. На этом рисунке, видно, что в варианте без компенсации, величины средней квадратичной ошибки (СКО) в максимумах, достигают значительных величин: 53; 32; 20 В варианте с эффективной компенсацией aberrаций турбулентности, все величины СКО – менее 5, во всем диапазоне реализаций турбулентности (1-10). Нужно отметить, что в варианте без компенсации, для $D/r_0 = 3.74$, величины СКО, в максимумах достигают значений: 27; 29; 14 В таком же варианте, для $D/r_0 = 6.90$, величины СКО, в максимумах достигают значений: 48; 26; 22. При введении компенсаций, для $D/r_0 = 3.74$ и 6.90 , все величины СКО – так же менее 5, во всем диапазоне реализаций турбулентности (1-10), хотя виды зависимостей немного отличаются от зависимости, приведенной на рисунок 2 (пунктирная линия).

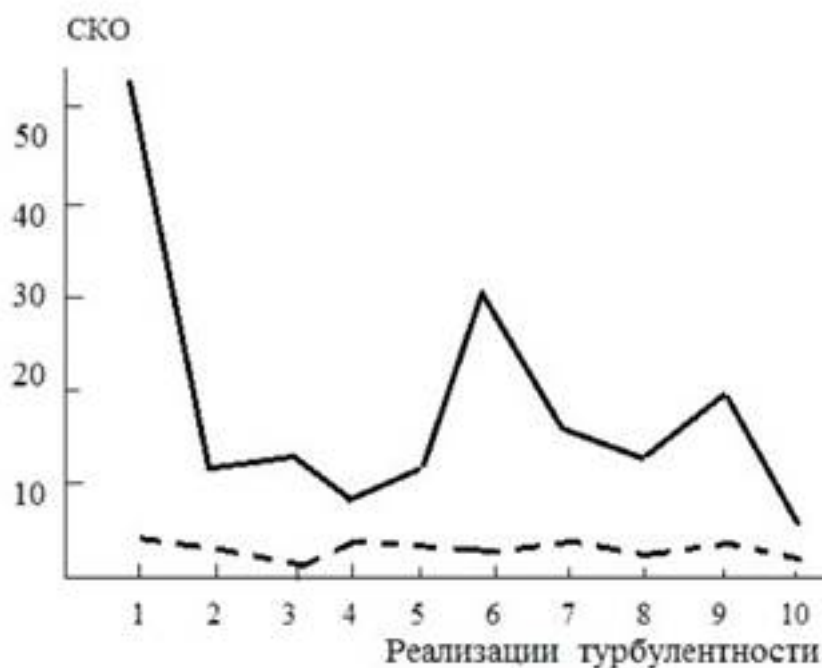


Рисунок 2. Варианты эффективной компенсации *аббераций турбулентности* для ВВБ

По вертикальной оси – величины СКО между измеряемой величиной и коэффициентами Цернике с компенсацией и без нее при различной силе турбулентности по данным испытаний. Пунктирная сплошная линия представляет СКО до компенсации, а пунктирная линии представляет СКО после компенсации. Приведены оценки при различных силах турбулентности, а различные реализация турбулентности означают различные случайные комплек-сные матрицы при вычислении маски турбулентности [1 -3].

Впервые полученные экспериментальные результаты показывают, что благодаря коррекции чистота моды искаженного ВВБ повышается с 19% до 70% , при силе турбулентности $D/r_0 = 5.28$ со временем коррекции до 100 мс, без итераций, по сравнению с традиционными алгоритмами. Кроме того, как пространственные моды, так и распределение интенсивности света могут быть хорошо компенсированы в различных атмосферных турбулентностях. Данная схема показывает, что представленные результаты, объединяющие методы глубокого обучения и адаптивной оптики, будут очень полезны для коррекции структуры пучка, столь необходимой в областях связи и визуализации. Наряду с этим, в ряде наших работ [2, 4 - 5], показано, что использование ОАМ, приводит к повышению эффективности АОЛС, включая снижение флуктуаций интенсивности лазерных пучков в турбулентной атмосфере. Для наглядности, далее, приведена иллюстрация состояний ОАМ (рисунок 3).

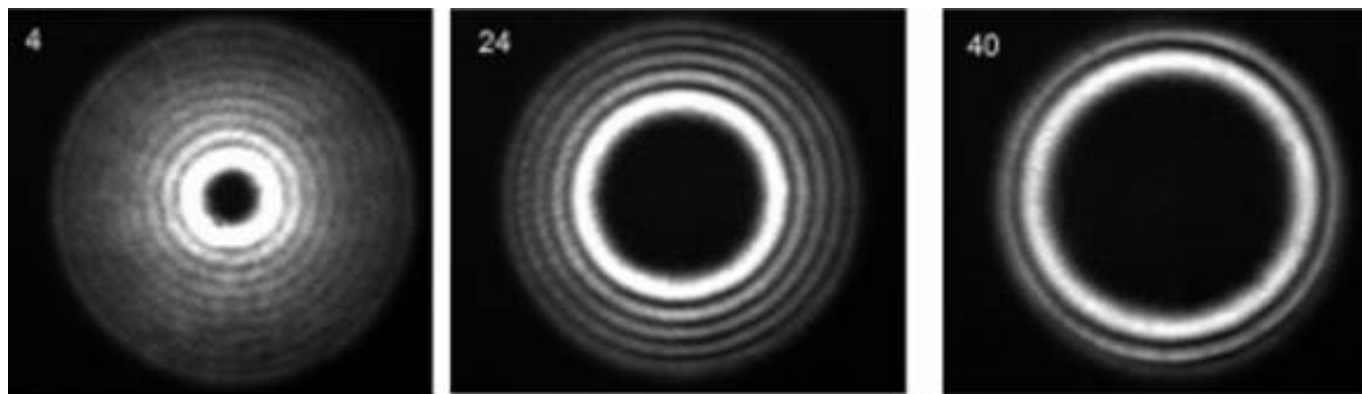


Рисунок 3. Примеры вариации состояний ОАМ с разным номером моды (слева - направо): 4; 24; 40

Таким образом, в данной работе, показано, что использование ОАМ, приводит к повышению эффективности АОЛС, включая снижение флуктуаций интенсивности лазерных пучков в турбулентной атмосфере.

Список литературы:

1. Gibson G., Courtial J., Padgett M. et al. Free-space information transfer using light beams carrying orbital angular momentum // Optics Express. - 2004 - v. 12 - Is. 22 - p. 5448-5456.
2. Кузяков Б.А., Мораренко В.В., Шмелев В.А. Современные методы реализации и селекции орбитальных угловых моментов фотонов в оптических комбинированных линиях связи // Труды IV-й Международной конференции по фотонике и информационной оптике. М.: НИЯУ МИФИ. - 2014 - с. 24 - 25.
3. Ученые впервые осуществили передачу информации на большое расстояние при помощи «закрученного» света // Лазер-Информ. - 2014 - V. - № 22 (541). - ноябрь. - с. 12.
4. Кузяков Б.А. Оптическая гибридная система передачи информации с вариациями состояний орбитальных угловых моментов фотонов. 18-я Международная НТК «Цифровая обработка сигналов и ее применение - ДСПА - 2016». - 2016 - Сб. Трудов. - ч. 3 - с. 61 - 65.
5. Кузяков Б.А. Пути совершенствования комбинированной оптической линии связи для протяженных трасс и сложных метеоусловий. Диплом 1 степени - за победу в Международном конкурсе «Научные и творческие достижения в рамках современных образовательных стандартов». - Россия. - Западно - Сибирский научный центр. - февр. - 2019.
6. Агеев А.Е., Джигоев С.Э., Иванов Д.А., Кузяков Б.А. Комбинированная Оптическая система связи с применением орбитальных угловых моментов фотонов. Сб. трудов. VII Международная конференция «Фотоника и информационная оптика». - М. - 2018 - МИФИ. - с. 336 - 337.