

The main technical data's of "Dozimeter-A":

- Beta-particles flux density measurement range, particles/min-cm², from 5 to 2500;
- Energetic range of the measurement registered for Gamma radiations, mEv, from 0.05 to 3, for Beta-radiation, mEv, from 0.2 to 3;
- Measurement time, 40±5 sec.;

- Indication time, 8±2 sec.;
- Indication instability during 6 hours, not more 10%;
- Supply voltage, not less 4.5v;
- Power consumption, not more 0.15mw;
- Overall dimensions, 128x66x21mm;
- Weight, not more 0.15kg.



Figure: 3. "Dozimeter-A" instrument

CONCLUSION

The developed and prepared by us portable IR device "Kromka" and background radiations security instrument "Dozimeter-A" can provides the operative IR monitoring of thermal objects in surrounding space and individual protection from Beta-particles fluxes and Gamma-radiations.

REFERENCES

1. Asatryan R.S., Harutyunyan S.H., Gasparyan F.V.,

Karayan H.S. Msryan G.K., Hovhannisyan A.H., Optical-Electronic Apparatus for Pharmacology, Stomatology and General Diagnoses, Semiconductor Microelectronics, Proceedings of the First National Conference, Dilijan, May 22-23, Yerevan, 1997, pp. 117-120, (In Russian).

2. Pogosyan S.G., Mirzoyan A.A., Sardaryan T.V., Khachatryan R.V., Asatryan R.S., Thermovision Device for Detection of Latent Seats of Burning, Proceedings of V National Conference on "Metrology and Quality", Dilijan, October 18-22, Yerevan, 2004, pp. 56-57, (In Russian).

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ДОСТУПНОСТИ ОПТИЧЕСКОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С АТМОСФЕРНЫМИ СЕГМЕНТАМИ

Б.А. Кузяков, Р.В. Тихонов

Московский Государственный Технический Университет информационных технологий, радиотехники и электроники (МГТУ МИРЭА), Москва

АННОТАЦИЯ

В работе анализируются методы повышения эффективности и доступности телекоммуникационной системы с атмосферными сегментами. Рассматривается влияние турбулентных эффектов в атмосфере на оптические каналы связи. Приведены примеры динамики профиля Бессель – Гауссова пучка в турбулентной атмосфере. В работе так же рассматриваются методы реализации разнообразных состояний орбитальных угловых моментов фотонов. Показано, что методика с использованием отражательных голограмм, позволяет эффективно создавать и выделять эти состояния. Показано, что использование методов коррекции позволяет значительно повысить уровень устойчивости оптического канала.

ABSTRACT

The methods of increase of effectiveness and availability of the telecommunication system with atmospheric segments are in-process analysed. Influence of turbulent effects in an atmosphere is examined on the optical channels of communication. The examples of dynamics of the Bessel – Gaussian type beam in a turbulent atmosphere are resulted. The methods of realization of the various states of orbital angular moments of photons are similarly examined in-process. It is shown that method with the use of reflecting holograms, allows effectively to create and select these states. It is shown that the use of the methods of correction considerably permit to promote the level of stability of optical channel.

Ключевые слова: оптический, канал связи, турбулентность атмосферы, лазерный луч, колебания, уменьшение влияния, методы коррекции.

Keywords: optical, communication channel, turbulence of atmosphere, laser ray, vibrations, diminishing of influence, methods of correction.

В наше время для реализации телекоммуникационной связи [1-2] между разнообразными объектами, в ряде случаев, необходимы комбинированные (рис. 1) системы (КТС). Они могут содержать несколько сегментов волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) и атмосферных открытых линий связи (АОЛС). В последних, передача информации осуществляется в открытом пространстве остронаправленным лазерным лучом в условиях прямой видимости. Ряд атмосферных лазерных систем, в диапа-

зоне $\lambda=1,55$ мкм, выпускаются малыми сериями, базовые параметры нескольких АОЛТ (полный дуплекс) со скоростями 1 Гбит/с, с интерфейсом Gigabit Ethernet приведены в табл.1. В ней видно, что максимальная дальность связи, зависящая от дальности видимости М, при указанном коэффициенте доступности, для всех перечисленных моделей не превышает 1,5 км.



Рис. 1. Вариант блок-схемы комбинированной оптической линии телекоммуникации

Таблица 1

| Фирма - Производитель | «Оптические Телесистемы» | «Мостком» |
|------------------------------------|--------------------------|-----------|
| Наименование модели | 1000M-AC2 | ML GE-5 |
| *Рекомендуемая дальность связи, км | 0,7 - 1,5 | 0,4 |
| Длина волны излучения, мкм | 780 | 785 |
| Мощность излучения, дБм | +18 | +7 |
| Ширина диаграм. направлен., мрад | 5 | 2 |

(* Рекомендуемая дальность связи приведена при коэффициенте доступности, превышающим уровень 99,9)

Для ряда применений эта величина оказывается недостаточной. При решении задачи повышения дальности и доступности канала нужен всесторонний анализ, синтез КТС и применение дополнительных модификаций. Общая схема АОЛС включает: источник лазерного излучения с модулятором, на который поступает информационный сигнал; модуль передающей антенны; атмосферный канал повышенной дальности; модуль приёмной антенны; модуль фотоприёмного устройства на основе быстродействующего PIN фотодиода или APD с предусилителем и системой обработки сигнала. Доступность АОЛС непосредственно связана с величиной поступающей лазерной мощности на приёмник P_г и отношением сигнал/шум SN_р.

При значительной протяженности всей телекоммуникационной линии применяются волоконно-оптические

усилители (ВОУ). В настоящее время ВОУ интенсивно совершенствуются, наряду с волоконными лазерами, имеющими очень широкий спектр применений, включая системы телекоммуникаций. Необходимая длина волны излучения ВОУ достигается путем соответствующего выбора материала активного световода и частоты источника накачки.

Источники, инжектируемого в волокно излучения, имеют конечную по-лосу частот. Так светоизлучающие диоды излучают свет с шириной полосы 35 нм, а лазеры - 2-3 нм (лазеры имеют, кроме того, более узкую диаграмму направленности).

Параметры нескольких светодиодов и инжекционных лазерных диодов приведены в табл. 2. Из нее видно, что для применения в схеме рис. 1, преимуществом обладают инжекционные лазерные диоды.

Таблица 2

| Параметры | Светодиоды (led) | Инжекторные лазерные диоды |
|------------------------|------------------|----------------------------|
| Выходная мощность | 0,5 - 11,5 мВт | 3 - 10 мВт |
| Время нарастания тока | 1 - 20 нс | 1 - 2 нс |
| Диапазон тока смещения | 5 - 150 мА | 100 - 500 мА |

Для одномодовых волокон определяющий вклад в искажения вносится дисперсией скоростей распространения, для многомодовых основной вклад вносит модовая дисперсия. В области ниже 1300 нм более длинные волны движутся быстрее коротких. Для длин волн – более 1300 нм имеет место обратная ситуация - более длинные волны движутся медленнее коротких. Взаимосвязь полосы

пропускания линии связи и протяженности приведена на рис. 2. В настоящее время ряд систем позволяет создавать помехозащищенное беспроводное оптическое соединение между разнообразными сегментами, например, локальных сетей Ethernet с адаптивно изменяемой скоростью и энергетикой в зависимости от состояния оптического тракта.

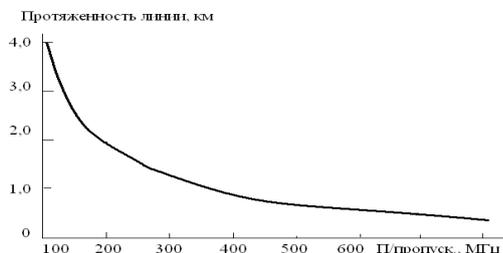


Рис. 2. Взаимосвязь протяженности и полосы пропускания линии

Как известно, на доступность АОЛС влияют параметры атмосферы. В данной работе основное внимание уделяется вопросам преодоления негативного влияния турбулентности атмосферы.

Одним из методов ослабления влияния турбулентно-

сти атмосферы состоит в использовании Бессель–Гауссовых пучков. На рис. 3 приведены изменения профиля Бессель–Гауссового пучка в турбулентной атмосфере в зависимости от длины трассы

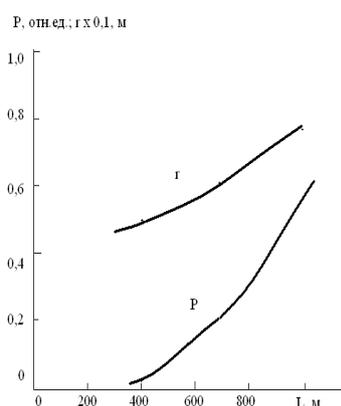


Рис. 3. Динамика профиля Бессель–Гауссового пучка в турбулентной атмосфере в зависимости от длины трассы: P - мощность пучка, r - средний радиус пучка по уровню 0,5 максимума

Из рис. 3 видно, что при прохождении Бессель–Гауссового пучка в турбулентной атмосфере на расстоянии до L = 400 м общий качественный вид пучка практически сохраняется. После прохождения такого пучка на расстоянии до L = 700 м, общий качественный вид пучка немного изменяется [3-4]. При этом ширина пучка увеличивается и в центре пучка интенсивность становится отличной от нулевой. В частности, в сравнении с пучком, прошедшим расстояние 400 м, полная ширина пучка (по уровню 0,5 максимума) возрастает на 16%, а интенсивность пучка в центре при X=0 возрастает менее, чем на 20%. Этот краткий анализ подтверждает перспективность использования Бессель–Гауссового пучка в турбулентной атмосфере.

Наряду с этим, известны статистические данные атмосферных условий практически всех регионов планеты. Например, на рис. 4 приведены еженедельные данные по

потoku явного тепла в приповерхностной области, вблизи г. Якутска, в весенний - летний сезон 2000 г. Из него видно, что полный диапазон изменения потока явного тепла превышает 150 Вт/м², причем основу составляет турбулентная часть.

Вопросы воздействия атмосферной турбулентности на распространение лазерных пучков рассмотрены в ряде работ. В частности, в недавно опубликованной работе [8], экспериментально показано, что в анизотропном пограничном слое, вблизи земной поверхности, турбулентность является локально слабоанизотропной и теория подобия Мони́на-Обухова выполняется локально. При известных характерных масштабах изменения температуры и скорости, средних для региона наблюдений, анизотропный пограничный слой можно заменить на изотропный, для которого уже разработаны оптические модели турбулентности.

На основе результатов численного моделирования с использованием параболического уравнения [9-11] были рассчитаны дисперсия флуктуации интенсивности на оси сфокусированного, гауссового пучка и его эффективный размер в турбулентной атмосфере в зависимости от без-

размерного параметра

$$Ds(2a) = 1,1Cn^2k^2L(2a)^{5/3}, \tag{1}$$

здесь, L - длина трассы; a - начальный радиус пучка; $k=2\pi/\lambda$ - волновое число; Cn^2 - структурная характеристика показателя преломления турбулентной атмосферы.

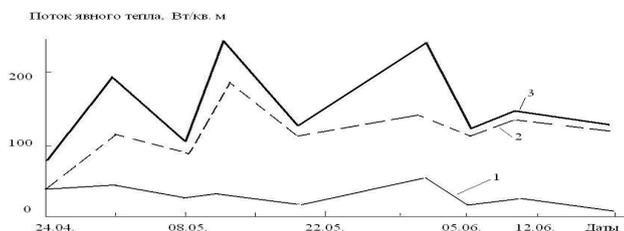


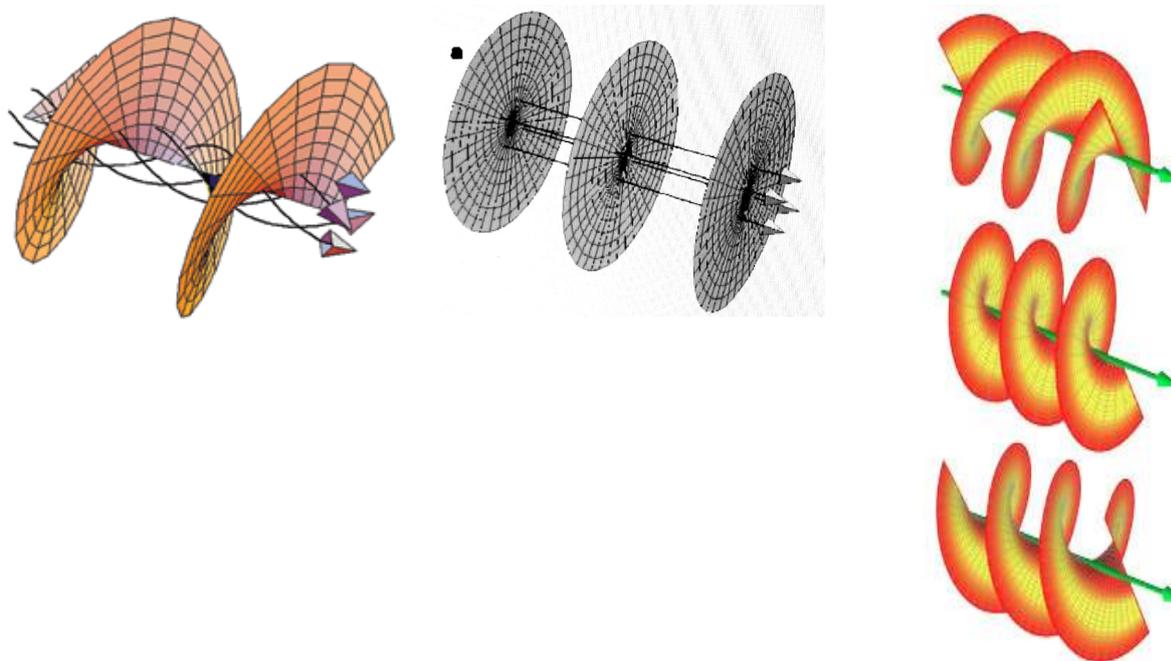
Рис. 4. Экспериментальные данные по потоку явного тепла в приповерхностно области, вблизи г. Якутска: 1 - мезомасштабная часть, 2 - турбулентная часть, 3 - общий поток

Параметр $Ds(2a)$ определяет структурную функцию фазы сферической волны в турбулентной атмосфере, вычисленную на размере начальной апертуры и им удобно характеризовать турбулентные условия распространения лазерных пучков. Выражение (1) показывает, что параметр $Ds(2a)$ линейно зависит от L и почти квадратично – от a .

Выполненное в работе [10], сопоставление данных моделирования распространения лазерных пучков на основе параболического уравнения для комплексной амплитуды поля волны с имеющимися теоретическими и экспериментальными результатами показывает, что для количественной оценки во многих случаях требуется мо-

делировать случайные фазовые экраны в более низкочастотной области спектра, чем это позволяет делать шаг дискретизации расчетной сетки.

Кроме того, анализ показывает необходимость введения в КТС дополнительных устройств и/или методов компенсации воздействия турбулентности в данном регионе. Например, на базе использования модуляции излучения по состоянию углового момента (ОАМ) фотонов [11-14]. Он определяется специфичной формой волнового фронта, закрученного вдоль оси распространения, наглядно представленной на рис. 5.



а) б)
Рис. 5. Некоторые формы оптических волновых фронтов, распространяющихся вдоль продольной оси лазерного пучка

У закрутки электромагнитной волны (рис. 5, а) может отличаться не только направление (против или по часовой стрелке), но и степень перекрученности (соотношение между шагом спирали и длиной волны). Плоские поверхности (рис. 5, б, верхний фрагмент)— соответствуют обычно плоскому фронту волны, а перпендикулярные стрелочки везде строго параллельны друг другу. Поверхность в виде штопора на рис. 5, б, нижний фрагмент— это поверхность постоянной фазы, т.е. те точки пространства, в которых волна находится в одинаковой фазе колебания. Стрелочки, перпендикулярные этой поверхности и идущие по винтовым линиям, показывают локальное направление движения волны. Тут поверхность закручивается, и эти стрелочки как бы «обертывают» ось движения. Именно это обертывающее движение и придает волне «в

целом» некоторое вращение: волна летит вперед и вращается вокруг оси движения. Но получается это не из-за того, что волна крутится как твердое тело, а из-за коллективного эффекта наложения волн. Тем не менее, это самое настоящее вращение в пространстве. Такая волна несет момент импульса, и если какое-то тело ее поглотит, то момент импульса передастся ему, и оно начнет вращаться. Регулируя этот параметр, в пространстве состояний ОАМ можно создавать, теоретически, большое число каналов, работающих на одной и той же частоте.

В последнее время активно развивается анализ возможностей изменения свойств фотонов в турбулентной атмосфере [7, 14]. Спектр флуктуаций показателя преломления атмосферы $\Phi(k)$, зависящий от уровня турбулентности, можно представить в следующем виде:

$$\hat{O}_n(k_x, k_y) = 0,033C_n^2 \left[1 + 1,802 \sqrt{\frac{k_x^2 + k_y^2}{k_l^2}} - 0,254 \left[\frac{k_x^2 + k_y^2}{k_l^2} \right]^{-7/12} \right] \times \exp \left[\frac{k_x^2 + k_y^2}{k_l^2} \right] \left[k_x^2 + k_y^2 + \frac{1}{L_0^2} \right]^{-11/6}, \quad (2)$$

здесь, L_{02} - внешний масштаб турбулентности, $k_l = 3,3/10$, l_0 - внутренний масштаб турбулентности, k_i ($i = x, y$) - волновое число в i направлении.

Выражение (2) показывает пропорциональность $\Phi_n(k_x, k_y)$ уровню турбулентности и сложные зависимости от внешнего и внутреннего масштабов турбулентности.

Для снижения влияния турбулентности на канал передачи информации в атмосфере применяются несколько методов. Наибольшее распространение получил метод коррекции волнового фронта Шарка - Гартмана (МШГ) и метод коррекции фазы (МКФ) для орбитальных угловых моментов фотонов (ОАМ состояний) [12]. В МШГ используется датчик волнового фронта Гартмана, сигналы которого поступают в модуль управления адаптивной оптикой для корректировки системы телекоммуникации. В МКФ используется поток фотонов (рис. 6) с определенной модой ОМ, в приемном модуле выбираются фотоны с соответствующей модой ОМ, что позволяет реализовать корректировку системы телекоммуникации [12, 13].

На рис. 7 наглядно представлены варианты распределения мод ОМ, например, видно, что при $\theta = 0,2$, контраст между первыми ближайшими модами ОМ превышает 0,9. При $\theta \geq 0,8$, контраст между первыми 3-мя ближайшими модами ОМ оказывается менее 0,5.

Для реализации методики с использованием мод ОМ могут применяться несколько вариантов схем. Например, в работе [15] в схеме формирования лазерного пучка используются отражательные (рис. 6) голограммы на входе и выходе оптической системы.

В работе [17] рассматриваются варианты выбора ОАМ с использованием внутренней конической дифракции. Электрический контроль ОАМ при фокусировке лазерного пучка на бесосный кристалл предложен в работе [18]. Применение магнито - оптического эффекта для настройки потока замедленных фотонов, рассматривается в работе [19].

На основе проведенных расчетов и анализа цитируемых работ можно отметить, что использование МКФ приводит к улучшению коррекции системы телекоммуникации, в сравнении с МШГ во всем диапазоне вариаций уровней турбулентности атмосферы С-1: от $1E-16$ до $1E-12$. Так, например, при $L02 = 1$, для С-1, соответствующей $1E-12$ (показана верти-кальной штрих - пунктирной линией на рис. 2), относительная устойчивость телекоммуникационного канала при МКФ возрастает до 0,52 в сравнении с 0,25 при МШГ и в сравнении с величиной 0,15 для системы без коррекции.

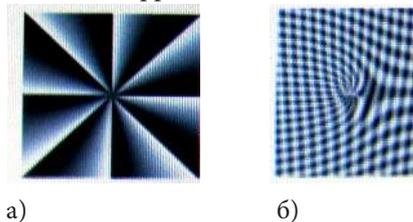


Рис. 6. Варианты применяемых отражательных голограмм

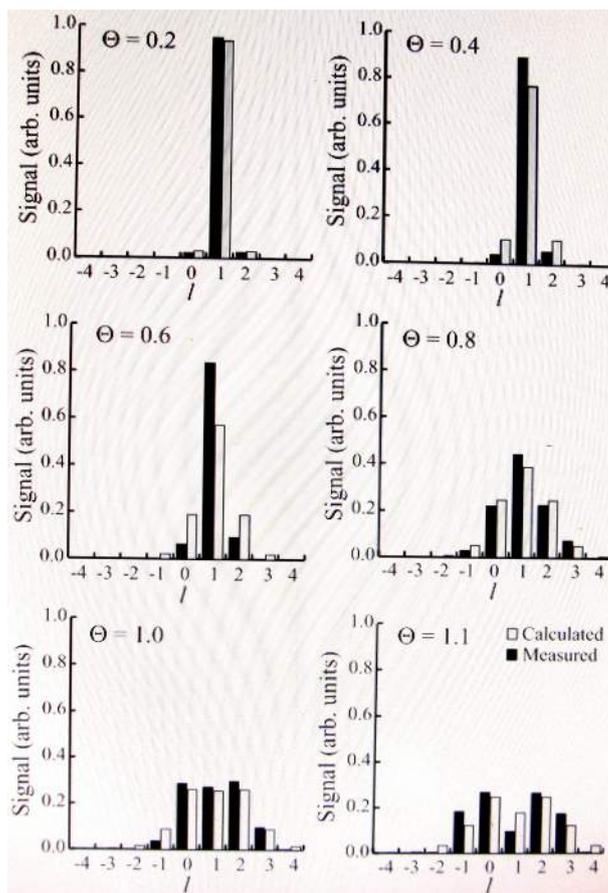


Рис. 7. Примеры потоков фотонов с определенной модой ОМ

Устойчивость канала, отн.ед.

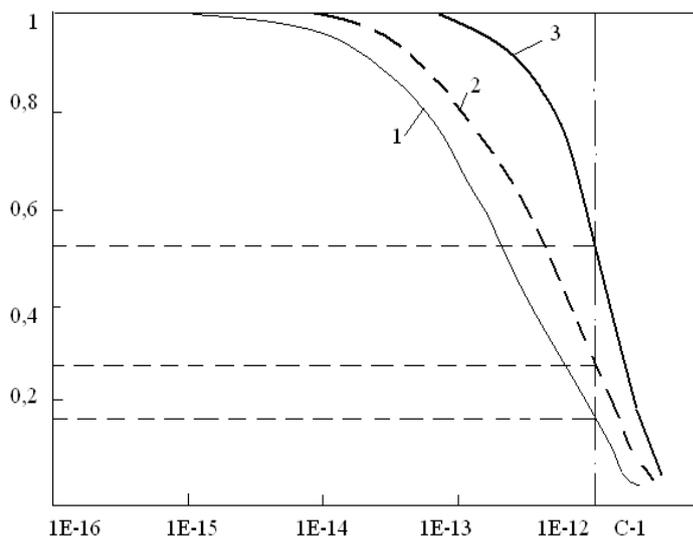


Рис. 8. Сравнение относительной устойчивости телекоммуникационного канала при использовании ОАМ состояний фотонов в турбулентной атмосфере с применением коррекций МШГ и МКФ (С-1 – некоторый выбранный уровень турбулентной абберации): 1 – без коррекции, 2 – с использованием МШГ, 3 – с МКФ

Таким образом, резюмируя проведенный краткий анализ, можно отметить, что относительная устойчивость телекоммуникационного канала, связанная с дисперсией флуктуации интенсивности на оси лазерного пучка в турбулентной атмосфере, возрастает при использовании

методов коррекции. Причем, метод коррекции фазы с использованием состояний орбитального углового момента фотонов (МКФ) обладает существенным преимуществом в сравнении с другими рассмотренными методами.

Список использованной литературы:

1. Милютин Е.Р. Атмосферные оптические линии связи в России // Вестник связи. – 2008., №2, с. 89–90.
2. Павлов Н.М. Коэффициент готовности атмосферного канала АОЛП и методы его определения // Фотон-Экспресс. – 2006, № 6, октябрь, спец. вып., с. 78–90.
3. Zhu K., Zhou G., Li X., Zheng X., Tang H. Propagation of Bessel-Gaussian beams with optical vortices in turbulent atmosphere // Opt. Express. - 2008. - v. 16, No. 26, p. 21315-21320.
4. Gbur G., Wolf S. Spreading of partially coherent beams in random media // J. Opt. Soc. Am. A. – 2002. - v. 19. p. 1592 - 1598.
5. Kaicheng Zhu, Shaoxin Li, Ying Tang, Yan Yu, and Huiqin Tang. Study on the propagation parameters of Bessel-Gaussian beams carrying optical vortices through atmospheric turbulence // J. Opt. Soc. Am. A. – 2012. - Vol. 29, Is. 3, p. 251 - 257.
6. Кузяков Б.А., Кириллова Ю.А. Оценки дисперсии флуктуации интенсивности лазерных пучков в турбулентной атмосфере. II Всероссийская конференция по фотонике и информационной оптике. Сборник научных трудов. МИФИ, М.- 2013 – с. 211 - 212.
7. Mahdiah M. Numerical approach to laser beam propagation through turbulent atmosphere and evaluation of beam quality factor. Opt. Commun., 281, 2008, p. 3395-3402.
8. Банах В.А., Белов В.В., Землянов А.А. Распространение оптических волн в неоднородных, случайных, нелинейных средах. Томск, ИОА СО РАН, 2012. – 402 с.
9. Аксенов В.П., Банах В.А., Валуев В.В. и др. Мощные лазерные пучки в случайно-неоднородной атмосфере. Новосибирск, СО РАН, 1998. – 341 с.
10. Банах В.А., Смалихо И.Н., Фалиц А.В. Эффективность метода субгармоник в задачах компьютерного моделирования распространения лазерных пучков в турбулентной атмосфере. Оптика атмосферы и океана, т. 24, № 10, 2011, 848-850.
11. Mei Z., Korotkova O. Electromagnetic cosin-Gaussian Schell-model beams in free space and atmospheric turbulence. Opt. Express. - 2013. - v. 21, No. 22, p. 27246 – 27259.
12. Б.А. Кузяков, Субботин Р. В., А.А. Харчевский. Особенности оценки дисперсии флуктуации интенсивности на оси лазерного пучка в турбулентной атмосфере. М., 2012, 61 н.т.к. МИРЭА, сб. трудов, Ч. 2, с. 49 - 54.
13. Zhao S.M., Leach J., Gong L.Y., Ding J., and Zheng B.Y. Aberration corrections for free-space optical communications in atmosphere turbulence using orbital angular momentum states. Optics Express, Vol. 20, Is. 1, 2012, p. 452-461.
14. Gˆottel J.B., OˆHolleran K., Preece D., Flossmann F., Franke-Arnold S., Barnett S.M. and Padgett M.J. Light beams with fractional orbital angular momentum and their vortex structure. Optics Express, Vol. 16, Is. 2, 2008, p. 993-1006.
15. Sanchez D.J., Oesch D.W. Localization of angular momentum in optical waves propagating through turbulence. Optics Express, Vol. 19, Is. 25, 2011, p. 25388-25396.
16. Gibson G. Free-space information transfer using light beams carrying orbital angular momentum. Optics Express, Vol. 12, Is. 22, 2004, p. 5448 - 5456.
17. D. P. OˆDwyer, C. F. Phelan, Y. P. Rakovich, P. R. Eastham, J. G. Lunney, J. F. Donegan. Generation of continuously tunable fractional optical orbital angular momentum using internal conical diffraction. Optics Express, Vol. 18, Is. 16, 2008, p. 16480-16485.
18. Zhu Cr. W., She W.. Electrically controlling spin and orbital angular momentum of a focused light beam in a uniaxial. Optics Express, Vol. 20, Is. 23, 2012, p. 25876 - 83.
19. Manipulation of dark photonic angular momentum states via magneto-optical effect for tunable slow-light performance. Optics Express, Vol. 21, Is. 21, 2013, p. 25035 - 25044.