

УДК 53.084.855

## УПРАВЛЕНИЕ РАССЕЯНИЕМ В ОПТОВОЛОКНЕ ПУТЕМ ЕГО СКРУЧИВАНИЯ

К.Д. Вереютина<sup>a</sup>, Е.П. Конькова<sup>a</sup>, А.А. Паниюков<sup>a</sup>, Р.Х. Шангареев<sup>b</sup>, Г.С. Шмаков<sup>a</sup>, В.А. Юдин<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Волгоградский государственный университет, Волгоград, 400062, Российская Федерация

<sup>b</sup> АО «ПК «Ахтуба», Волгоград, 400081, Российская Федерация

Адрес для переписки: [kon\\_ele@mail.ru](mailto:kon_ele@mail.ru)

### Информация о статье

Поступила в редакцию 08.03.17, принята к печати 24.04.17

doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-3-387-392

Язык статьи – русский

**Ссылка для цитирования:** Вереютина К.Д., Конькова Е.П., Паниюков А.А., Шангареев Р.Х., Шмаков Г.С., Юдин В.А. Управление рассеянием в оптоволокне путем его скручивания // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17. № 3. С. 387–392. doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-3-387-392

### Аннотация

**Предмет исследования.** Исследована возможность управления интерференционной картиной на выходе оптоволокна путем изменения его пространственной геометрии. Рассмотрено распространение оптического вихря в кварцевом волокне с периодическими неоднородными вставками. **Метод.** Экспериментальная установка включала в себя оптическое волокно, лазер, собирающую линзу и оптический LiNbO<sub>3</sub> модулятор, напряжение на котором изменялось в соответствии с заранее заданным шагом. Излучение регистрировалось фотокамерой Nikon COOLPIX S32. На примере радиальной, треугольной и случайной укладки волокна продемонстрирована возможность изменения распределения интенсивности излучения на выходе волокна путем изменения геометрии укладки. **Основные результаты.** Экспериментально исследована эволюция интерференционной картины для света, взаимодействующего с оптическими неоднородностями оптического волокна в случае изменения поляризации излучения на входе волокна. Получены покадровые временные представления интерференционных картин в случае радиальной, треугольной и случайной укладки оптического волокна. Рассчитано время формирования картины в зависимости от параметров укладки. В рамках исследования зарегистрированы регулярные оптические поля и спеклы. Установлено, что основные свойства получаемых интерференционных картин при распространении лазерного пучка в скрученном волокне сохраняются для всех видов поляризации. Показано, что циркуляция света приводит к появлению оптических вихрей. **Практическая значимость.** Полученные результаты могут найти применение в оптических элементах телекоммуникации, а также при создании оптических сенсоров.

### Ключевые слова

оптическое волокно, интерференция, оптические вихри, спеклы, поляризация

## CONTROL OF SCATTERING IN OPTICAL FIBER BY FIBER TWIST

K.D. Vereyutina<sup>a</sup>, E.P. Kon`kova<sup>a</sup>, A.A. Panyukov<sup>a</sup>,  
R.H. Shangareev<sup>b</sup>, G.S. Shmakov<sup>a</sup>, V.A. Yudin<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Volgograd State University, Volgograd, 400062, Russian Federation

<sup>b</sup> JSC «PK "Ahtuba"», Volgograd, 400081, Russian Federation

Corresponding author: [kon\\_ele@mail.ru](mailto:kon_ele@mail.ru)

### Article info

Received 08.03.17, accepted 24.04.17

doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-3-387-392

Article in Russian

**For citation:** Vereyutina K.D., Kon`kova E.P., Panyukov A.A., Shangareev R.H., Shmakov G.S., Yudin V.A. Control of scattering in optical fiber by fiber twist. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2017, vol. 17, no. 3, pp. 387–392 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-3-387-392

### Abstract

**Subject of Study.** The paper deals with possibility of interference pattern control for light scattering in an optical fiber by variation of its space geometry. This paper considers the optical vortices propagating in a quartz fiber with periodic inhomogeneous inserts. **Method.** The experimental installation includes: an optical fiber, a laser, collecting lens and LiNbO<sub>3</sub>-modulator with voltage varying across its crystal according to predetermined spacing. The radiation was recorded with Nikon COOLPIX S32 camera. We showed the possibility of distribution changing for light scattering intensity at its output by changing of piling geometry on the example of radial, triangular and random piling of a fiber. **Main Results.** We studied

experimentally the evolution of the interference pattern for light interacting with optical inhomogeneities of the optical fiber in case of the light polarization alteration in proximity to the input end of a fiber. With the use of the frame analysis the time representations were obtained for the interference patterns in case of the radial, triangular and random piling of an optical fiber. The dependence of pattern formation time on the piling parameters was calculated. Regular optical fields and speckles were registered within this work. The main properties of those interference patterns were determined. It was found that for all polarizations the main properties of those interference patterns are preserved during the propagation of the laser beam in a twist fiber. Optical vortices were identified. The main circumstance of this phenomenon identification was the light circulation. **Practical Relevance.** The obtained results can find application in optical telecommunication elements and in the fabrication of optical sensors.

#### Keywords

optical fiber, interference, optical vortices, speckles, polarization

#### Введение

Знание характера распределения интенсивности в лазерном пучке в плоскости, перпендикулярной направлению его распространения (профиль пучка), особо важно для всех промышленных применений лазеров [1]. Известно, что в изогнутом оптическом волокне распределение интенсивности излучения по поперечному сечению на выходе, длина пути и количество отражений отдельных лучей иные, чем для прямого волокна [2, 3]. Это явление, в частности, нашло применение в разработках датчиков физических величин [4–7]. Применяемые в настоящее время подходы к описанию распространения света в анизотропной среде основаны на рассмотрении интерференции волноводных мод с плоским волновым фронтом, хотя известно, что в оптическом волокне могут распространяться оптические вихри. Можно ожидать, что наличие оптических вихрей повлияет на параметры излучения на выходе оптоволокна. Установлено, что спекл-структуры излучения, выходящего из оптического волокна, формируемые оптическими вихрями, отличаются от спекл-структур, формируемых обычными волноводными модами [8]. В силу важных аспектов фундаментального и прикладного характера изучение оптических вихрей ведется у нас в стране и за рубежом [8–14]. Сформировалась отдельная область, называемая оптикой винтовых полей или сингулярной оптикой, в рамках которой рассматриваются свойства оптических вихрей, а также физический механизм их образования [15]. С учетом вышесказанного целью настоящей работы являлось исследование влияния пространственной модуляции поляризации лазерного излучения на входе оптического волокна на поперечный профиль интенсивности излучения на его выходе при случайной, треугольной, радиальной и линейной укладке.

#### Материалы и методы

В работе исследовано оптическое волокно производства НПК «Волокно» ОАО НИТИОМ «ВНЦ ГОИ им. С.И. Вавилова». Диаметр волокна 400 мкм. Материал волокна: сердцевина – кварц, оболочка – кварц, легированный фтором, покрытие – олово. В [16] авторами ранее рассмотрена возможность управления модовой структурой оптического жгута путем варьирования его пространственной геометрии, изгибного профилирования. В отличие от известного дифракционного профилирования, основанного на использовании дифракционных элементов, предложенный подход основан на управлении оптическими неоднородностями волокна, вызванными принудительным изгибом волокна. В настоящей работе для образования радиальной геометрии оптическое волокно скручивалось с радиусом 10 см (20 зафиксированных между собой витков намотки). Для образования случайной геометрии фиксации витков устранялась. Для образования треугольной геометрии оптическое волокно скручивалось в равносторонний треугольник со стороной 30 см (8 зафиксированных между собой витков намотки).

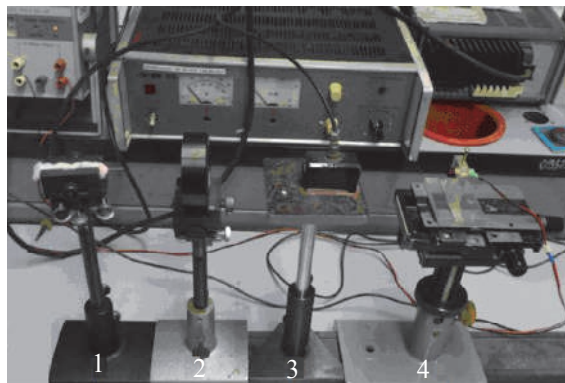


Рис. 1. Экспериментальная установка: 1 – исследуемый образец волокна в требуемой укладке; 2 – собирающая линза; 3 – электрооптический модулятор на основе кристалла  $\text{LiNbO}_3$ ; 4 – лазерный светодиод

Экспериментальная установка (рис. 1) включала в себя исследуемый образец волокна в требуемой укладке (1), собирающую линзу (2), электрооптический модулятор на основе кристалла  $\text{LiNbO}_3$  (3). Линейно поляризованное излучение генерировалось лазерным светодиодом (4) с длиной волны 650 нм и мощностью 5 мВт в режиме непрерывной генерации. За счет наличия двойного лучепреломления в кристалле свет на его выходе оказывается эллиптически поляризованным. Форма и ориентация эллипса определяются величиной приложенного электрического поля (эффект Покейльса).

Особенностью такого модулятора является его предельно малая инерционность. Таким образом, при подаче заранее выставленного управляющего напряжения обеспечивалось практически безынерционное его переключение. Управляющее напряжение менялось в интервале от 100 до 600 В с шагом 100 В, а в интервале от 600 В до 1200 В – с шагом 300 В. Выходной торец волокна закреплялся вплотную к цифровой регистрирующей фотокамере Nikon COOLPIX S32. Анализ полученных видеозаписей проводился кадрowo.

### Результаты и обсуждение

На рис. 2, 3 представлено несколько полученных картин распределения интенсивности излучения для исследованных геометрий укладки оптоволокна.

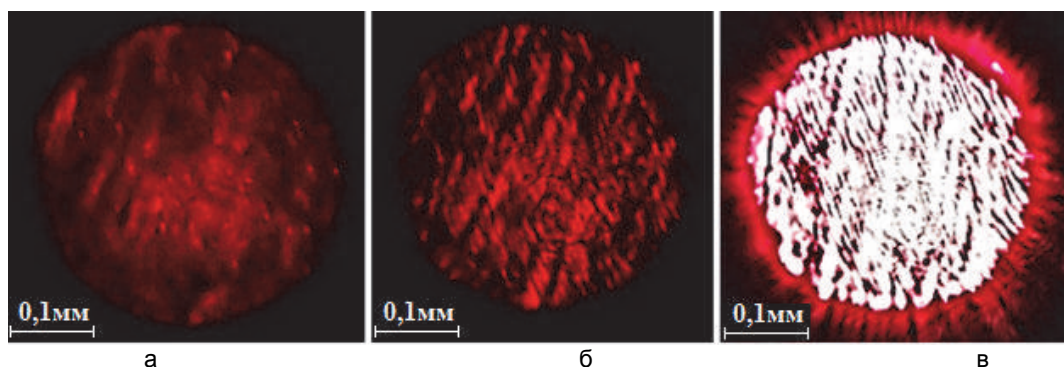


Рис. 2. Картина распределения интенсивности излучения на выходе оптоволокна в поперечном сечении в начальный момент (а) и в момент окончания процесса (б) при случайной геометрии укладки (напряжение на модуляторе 900 В, резкость и контрастность изображения повышены на 50%). Картина при треугольной геометрии укладки волокна (в) (напряжение на модуляторе 400 В, резкость, яркость и контрастность повышены на 50%)

Характерные этапы процесса формирования картины распределения интенсивности излучения по поперечному сечению пучка на выходе оптического волокна при случайной геометрии укладки показаны на рис. 2, а, б. Из полученных картин распределения интенсивности видно, что при случайной геометрии намотки наблюдается формирование только регулярных полей, независимо от величины приложенного напряжения. Для всех полей характерно наличие зернистости. Зерна ориентированы в одном направлении по всему сечению пучка. Размер зерна постоянен по сечению пучка. Формирование картин сопровождается появлением оптических вихрей. Характерно присутствие значительного числа мод (более десяти).

При треугольной укладке наблюдается формирование только регулярных полей независимо от величины приложенного напряжения. Присутствует значительное (более десяти) число мод. Для всех полей характерно наличие зернистости. Зерна ориентированы в одном направлении по всему сечению пучка. Размер зерна постоянен по сечению пучка. На рис. 2, в, приведена картина распределения интенсивности излучения по поперечному сечению пучка на выходе оптического волокна при треугольной геометрии укладки и напряжении на модуляторе 400 В.

При радиальной геометрии укладки (рис. 3) наблюдается формирование только спекл-полей независимо от величины приложенного напряжения. Зерна ориентированы в одном направлении по всему сечению пучка. Размер зерна постоянен по сечению пучка. В структуре спекл-поля при напряжении на модуляторе 400 В, 500 В и 600 В присутствует V-образная компонента, наиболее четко выраженная при напряжении 400 В (рис. 3, б). Формирование картины при напряжении 100 В сопровождается появлением оптического вихря (рис. 3, а).

При линейной геометрии (рис. 3, в) намотки наблюдается формирование только спекл-полей независимо от величины приложенного напряжения. Размер зерна постоянен по сечению пучка. Зерна ориентированы в одном направлении по всему сечению пучка. В структуре всех зарегистрированных спекл-полей присутствует слабо выраженная V-образная компонента.

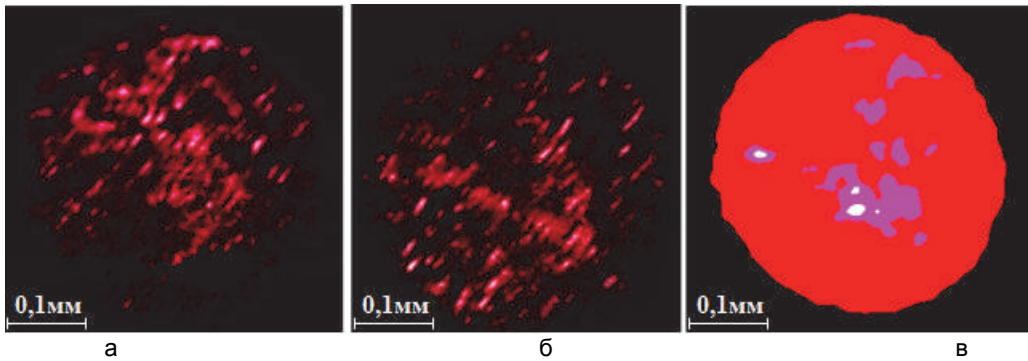


Рис. 3. Картина распределения интенсивности излучения на выходе оптоволокна в поперечном сечении при радиальной геометрии укладки: при напряжении на модуляторе 100 В (резкость повышена на 100%, яркость и контрастность повышены на 50%) (а); при напряжении 400 В (резкость повышена на 100%, яркость и контрастность повышены на 50%) (б). Картина распределения интенсивности излучения на выходе оптоволокна в поперечном сечении при линейной укладке при напряжении 200 В (резкость понижена на 50%, контрастность повышена на 100%) (в)

На рис. 4 показаны экспериментально полученные методом покадрового анализа значения времени – от момента приложения электрического поля до начала формирования соответствующих спекл-картин (нижняя кривая) и до завершения этого процесса (верхняя кривая). Пунктиром показаны полиномиальные (второй степени) аппроксимации данных зависимостей. Видно, что время, прошедшее с момента приложения электрического поля до начала формирования спекл-картины на выходе волокна при радиальной геометрии укладки, превысило в среднем в два раза это же время для случайной и треугольной геометрий укладки. Минимальное время начала процесса формирования спекл-картин характерно для линейной укладки оптического волокна.

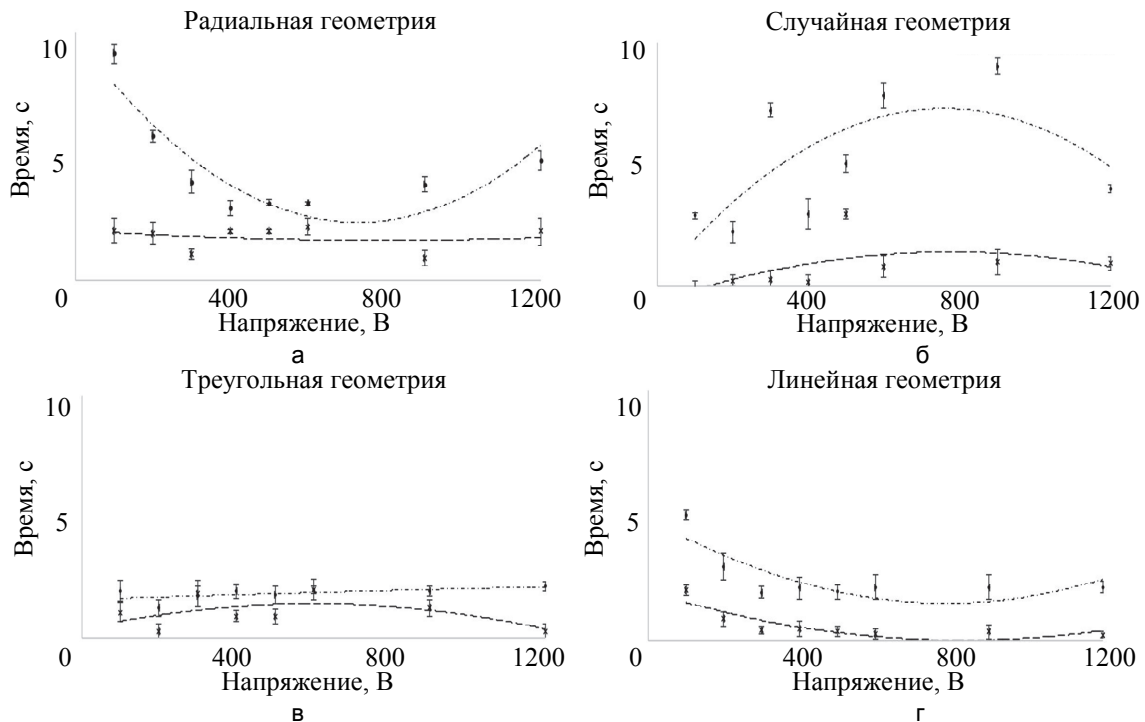


Рис. 4. Зависимости времени начала формирования спекл-картины на выходе волокна (нижняя кривая) и времени окончательного формирования спекл-картины (верхняя кривая) от приложенного к кристаллу напряжения для радиальной геометрии (а), при случайной геометрии (б), при треугольной геометрии (в) укладки и при линейной укладке (г)

Из рис. 4, а, видно, что для оптического волокна при радиальной геометрии укладки при напряжении 100 В формирование спекл-картины начиналось через 2 с и сопровождалось появлением оптического вихря (рис. 3, а). Завершался процесс через 7 с. На окончательное формирование спекл-картины с V-образной компонентой (рис. 3, б) при напряжении на модуляторе 400 В, 500 В и 600 В потребовалось около 1 с.

При случайной укладке оптического волокна (рис. 4, б) и напряжении 900 В формирование спекл-картины (рис. 2, а) начиналось через 1 с и сопровождалось появлением оптического вихря. Завершался процесс (рис. 2, б) через 8 с. Таким образом, показано, что время окончательного формирования спекл-картины при случайной геометрии укладки в среднем почти на порядок превышает время начала формирования спекл-картины.

При треугольной геометрии укладки оптического волокна (рис. 4, в) и напряжении на модуляторе 400 В формирование спекл-картины (рис. 2, в) начиналось через 1 с и завершалось еще через 1 с. Видно, что время окончательного формирования спекл-картины при треугольной геометрии укладки имеет тот же порядок, что и время начала формирования спекл-картины.

При линейной геометрии укладки оптического волокна (рис. 4, г) и напряжении на модуляторе 200 В формирование спекл-картины начиналось через 1 с после наложения на кристалл электрического поля. Время окончательного формирования спекл-картины в линейной геометрии в среднем составляет 2 с.

### Заключение

Экспериментально исследована эволюция интерференционной картины для света, взаимодействующего с оптическими неоднородностями оптического волокна в случае изменения поляризации излучения на входе волокна. Получены временные представления для интерференционных картин в случае радиальной, треугольной, случайной и линейной укладки оптического волокна. Измерено время формирования картины в зависимости от параметров укладки. Зарегистрированы регулярные оптические поля и спеклы. Установлено, что основные свойства этих интерференционных картин при распространении лазерного пучка в скрученном волокне сохраняются для всех поляризаций. Обнаружены оптические вихри. Главное условие их появления состоит в циркуляции света.

Анализ картин распределения интенсивности лазерного излучения по поперечному сечению пучка на выходе оптоволокна в случаях радиальной и случайной геометрии укладки при изменении поляризации излучения на входе оптоволокна может быть полезен для исследования свойств оптических вихрей, а также физического механизма их образования. Полученные результаты могут найти применение в оптических элементах телекоммуникации, а также при создании оптических сенсоров.

### Литература

1. Турунен Я. Дифракционное профилирование распределения интенсивности частично пространственно когерентного светового пучка. Патент РФ №2343516, опублик. 10.01.2009.
2. Morshnev S.K., Gubin V.P., Isaev V.A., Starostin N.I., Sazonov A.I., Chamorovsky Yu.K., Korotkov N.M. Concerning the question about physical model of birefringent spur fiber // *Optical Memory and Neural Networks*. 2008. V. 17. P. 258–262. doi: 10.3103/S1060992X08040036
3. Morshnev S.K., Ryabko M.V., Chamorovsky Y.K. Measuring of an embedded linear birefringence in spun optical fibers // *Proceedings of SPIE*. 2007. V. 6594. Art. 65940R. doi: 10.1117/12.725616
4. Кизеветтер Д.В. Поляризационные и интерференционные эффекты в многомодовых волоконных световодах: автореф. дис. ... д-р. физ.-мат. наук. СПб.: СПбГУ, 2008. 36 с.
5. Trufanov A.N., Smetannikov O.Y., Trufanov N.A. Numerical analysis of residual stresses in preform of stress applying part for PANDA-type polarization maintaining optical fibers // *Optical Fiber Technology*. 2010. V. 16. N 3. P. 156–161. doi: 10.1016/j.yofte.2010.02.001
6. Моршнева С.К. Оптические свойства изогнутых волоконных световодов: автореф. дис. ... д-р. физ.-мат. наук. Москва, 2009. 35 с.
7. Шрамко О.А., Рупасов А.В., Новиков Р.Л., Аксарин С.М. Метод исследования зависимости  $h$ -параметра анизотропного световода от радиуса изгиба // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2014. № 1 (89). С. 26–31.
8. Кизеветтер Д.В. Численное моделирование спекл-структуры, образованной излучением оптических вихрей многомодового волоконного световода // *Квантовая электроника*. 2008. Т. 38. № 2. С. 172–180.
9. Рыбас А.Ф. Конверсия оптических вихрей в сингулярных пучках, распространяющихся под углом к оптической оси в анизотропной среде: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Симферополь, 2010. 143 с.
10. Воляр А.В., Фадеева Т.А. Оптические вихри в кристаллах:

### References

1. Turunen J. Diffraction profiling of partially spatially coherent light beam intensity distribution. *Patent RU 2343516*, 2009.
2. Morshnev S.K., Gubin V.P., Isaev V.A., Starostin N.I., Sazonov A.I., Chamorovsky Yu.K., Korotkov N.M. Concerning the question about physical model of birefringent spur fiber. *Optical Memory and Neural Networks*, 2008, vol. 17, pp. 258–262. doi: 10.3103/S1060992X08040036
3. Morshnev S.K., Ryabko M.V., Chamorovsky Y.K. Measuring of an embedded linear birefringence in spun optical fibers. *Proceedings of SPIE*, 2007, vol. 6594, art. 65940R. doi: 10.1117/12.725616
4. Kisevewetter D.V. *Polyarizatsionnye i interferentsionnye efekty v mnogomodovykh volokonnykh svetovodakh*. Avtoref. dis. dr. fiz.-mat. nauk [Polarization and interference effects in multimode optical fibers. Dr. Phys.-math.sci. thesis]. St. Petersburg, SPbSPU Pub., 2008, 36 p.
5. Trufanov A.N., Smetannikov O.Y., Trufanov N.A. Numerical analysis of residual stresses in preform of stress applying part for PANDA-type polarization maintaining optical fibers. *Optical Fiber Technology*, 2010, vol. 16, no. 3, pp. 156–161. doi: 10.1016/j.yofte.2010.02.001
6. Morshnev S.K. *Opticheskie svoystva izognutykh volokonnykh svetovodov*. Avtoref. dis. dr. fiz.-mat. nauk [Optical properties of the bent fibers. Dr. phys.-math. sci. thesis]. Moscow, 2009, 35 p.
7. Shramko O.A., Rupasov A.V., Novikov R.L., Aksarin S.M. Analysis method of anisotropic lightguide  $h$ -parameter dependence on its bending radius. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2014, no. 1, pp. 26–31. (In Russian)
8. Kisevewetter D.V. Numerical simulation of a speckle pattern formed by radiation of optical vortices in a multimode optical fibre. *Quantum Electronics*, 2008, vol. 38, no. 2, pp. 172–180. doi: 10.1070/QE2008v038n02ABEH013581
9. Rubass A.F. *Konversiya opticheskikh vikhrei v singulyarnykh puchkakh, rasprostranyayushchikhsya pod uglom k opticheskoi osi v anizotropnoi srede*. Dis. kand. fiz.-mat. nauk



- рождение, уничтожение и распад поляризационных омбиликов // Письма в ЖТФ. 2003. Т. 29. № 3. С. 58–64.
11. Воляр А.В., Егоров Ю.А., Рыбась А.Ф., Фадеева Т.А. Тонкая структура оптических вихрей в кристалле: монохроматический сингулярный пучок // ЖТФ. 2004. Т. 74. № 12. С. 90–93.
  12. Соколенко Б.В. Эволюция поляризационных сингулярностей в парааксиальных пучках, распространяющихся ортогонально оптической оси одноосного кристалла: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Симферополь, 2014. 137 с.
  13. Романов О.Г., Горбач Д.В., Толстик А.Л. Частотное преобразование оптических вихрей при невырожденном многоволновом взаимодействии в растворах красителей // Оптика и спектроскопия. 2010. Т. 108. № 5. С. 812–817.
  14. Скиданов Р.В. Оптический захват и вращение диэлектрических микрообъектов вихревыми лазерными пучками, сформированными дифракционными оптическими элементами: автореф. дис. ... д-р. физ.-мат. наук. Самара, 2007. 32 с.
  15. Короленко П.В. Оптические вихри // Соросовский образовательный журнал. 1998. № 6. С. 94–99.
  16. Конькова Е.П. Управление модовым составом излучения на выходе оптического жгута // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2014. № 6 (94). С. 185–187.
- [Conversion of optical vortices in singular beams scattering at an angle to the optical axis in an anisotropic medium. Diss. dr. phys.-math. sci.]. Simferopol', 2010, 143 p.
10. Volyar A.V., Fadeeva T.A. Optical vortices in crystals: formation, annihilation, and decay of polarization ombilics. *Technical Physics Letters*, 2003, vol. 29, no. 2, pp. 111–114. doi: 10.1134/1.1558741
  11. Volyar A.V., Egorov Y.A., Rubass A.F., Fadeeva T.A. Fine structure of optical vortices in a crystal: a monochromatic singular beam. *Technical Physics. The Russian Journal of Applied Physics*, 2004, vol. 49, no. 12, pp. 1627–1630. doi: 10.1134/1.1792318
  12. Sokolenko B.V. *Evolyuksiya polarizatsionnykh singulyarnosti v paraksial'nykh puchkakh, rasprostranyayushchikhsya ortogonal'no opticheskoi osi odnoosnogo kristalla. Dis. kand. fiz.-mat. nauk* [Evolution of polarization singularities in paraxial beams scattering orthogonally to optical axis of a uniaxial crystal. Phys.-math. sci. dissertation]. Simferopol', 2014, 137 p.
  13. Romanov O.G., Gorbach D.V., Tolstik A.L. Frequency transformation of optical vortices upon nondegenerate multiwave interaction in dye solutions. *Optics and Spectroscopy*, 2010, vol. 108, no. 5, pp. 768–773. doi: 10.1134/S0030400X10050152
  14. Skidanov R.V. *Opticheskii zakhvat i vrashchenie dielektricheskikh mikroob"ektov vikhrevymi lazernymi puchkami, sformirovannymi difraktsionnymi opticheskimi elementami. Avtoref. dis. dr. fiz.-mat. nauk*. [Optical capture and rotation of dielectric microobjects by vortex laser beams formed by diffractive optical elements. Dr. phys.-math. sci. thesis]. Samara, 2007, 32 p.
  15. Korolenko P.V. Optical eddies. *Sorosovskii Obrazovatel'nyi Zhurnal*, 1998, no. 6, pp. 94–99. (In Russian)
  16. Kon'kova E.P. Mode composition control on optical twisted strip output. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2014, no. 6, pp. 185–187. (In Russian)

### Авторы

**Верейтина Ксения Дмитриевна** – студент, Волгоградский государственный университет, Волгоград, 400062, Российская Федерация, vereutohkaksenia@yandex.ru

**Конькова Елена Петровна** – кандидат физико-математических наук, старший преподаватель, Волгоградский государственный университет, Волгоград, 400062, Российская Федерация, kon\_ele@mail.ru

**Панюков Андрей Андреевич** – студент, Волгоградский государственный университет, Волгоград, 400062, Российская Федерация, PANYUKOV.1995@MAIL.RU

**Шангареев Ринат Хайдарович** – начальник конструкторского бюро, АО «ПК «Ахтуба», Волгоград, 400081, Российская Федерация, SHANGAREEV.RINAT@RAMBLER.RU

**Шмаков Геннадий Сергеевич** – студент, Волгоградский государственный университет, Волгоград, 400062, Российская Федерация, Gennadiishmakov@mail.ru

**Юдин Владислав Андреевич** – студент, Волгоградский государственный университет, Волгоград, 400062, Российская Федерация, volzevulgun@gmail.com

### Authors

**Ksenia D. Vereyutina** – student, Volgograd State University, Volgograd, 400062, Russian Federation, vereutohkaksenia@yandex.ru

**Elena P. Kon'kova** – PhD, Senior lecturer, Volgograd State University, Volgograd, 400062, Russian Federation, kon\_ele@mail.ru

**Andrey A. Panyukov** – student, Volgograd State University, Volgograd, 400062, Russian Federation, PANYUKOV.1995@MAIL.RU

**Rinat H. Shangareev** – Head of Design Office, JSC «PK "Ahtuba"», Volgograd, 400081, Russian Federation, SHANGAREEV.RINAT@RAMBLER.RU

**Genadiy S. Shmakov** – student, Volgograd State University, Volgograd, 400062, Russian Federation, Gennadiishmakov@mail.ru

**Vladislav A. Yudin** – student, Volgograd State University, Volgograd, 400062, Russian Federation, volzevulgun@gmail.com