

# Моделирование формирования спиральных световых распределений с помощью дифракционных оптических элементов

А.Р. Скиданова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34а, Самара, Россия, 443086

## Аннотация

Рассматривается моделирование формирования спиральных световых распределений с помощью фазового дифракционного оптического элемента (ДОЭ), имеющего комбинированную нелинейную радиальную и угловую зависимость. Частными случаями такого ДОЭ являются различные элементы, такие как аксикон, фраксикон, классическая и нелинейная спиральная фазовая пластинка. Сравнительное моделирование действия рассматриваемого ДОЭ при различных значениях параметров выполняется с помощью преобразования Фурье и преобразования Френеля.

## Ключевые слова

дифракционный оптический элемент (ДОЭ), аксикон, спиральная фазовая пластинка

## 1. Введение

Дифракционные оптические элементы (ДОЭ) являются искусственными двумерными структурами, с тонкими фазовыми микрорельефами, рассчитанными в рамках теории дифракции, изменяющими в каждой точке своей поверхности фазу или амплитуду падающей на них электромагнитной волны и позволяющими сформировать пучки с заранее заданными свойствами.

В настоящее время существует большое количество различных ДОЭ: как классические – зонные пластинки и дифракционные решётки, так и более новые – моданы, фокусаторы, различные виды аксиконов [1], фазовых пластинок [2] и т.п. Несмотря на такое многообразие, данная область не является до конца изученной, периодически появляются новые элементы [3] или находятся новые применения старым [4].

В данной работе на основе численного моделирования исследуется элемент нового типа, объединяющий в себе целый набор уже известных ранее элементов, которые можно получить при задании различных значений параметров комплексной функции пропускания во входной плоскости.

## 2. Моделирование

Рассматриваемый ДОЭ задаётся следующей формулой, обеспечивающей комбинированную нелинейную радиальную и угловую зависимость:

$$f(r, \theta) = e^{i(a_1 + l\theta)^p (a_2 + br)^q}, \quad (1)$$

где  $\theta$  – азимутальный угол,  $r$  – радиальная координата,  $l$  – параметр, связанный с порядком спиральной фазовой пластинки,  $b$  – параметр аксикона,  $p$  и  $q$  – параметры, обеспечивающие нелинейную зависимость,  $a_1$  и  $a_2$  – параметры, влияющие на поворот элемента и его масштаб.

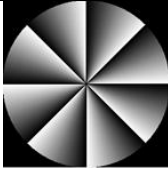

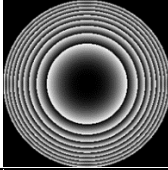


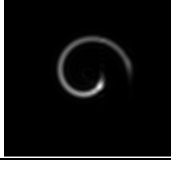
Моделирование действия элемента (1) выполняется как с помощью преобразования Фурье (формирование поля в фокальной плоскости линзы), так и с использованием преобразования

Френеля (распространение поля в свободном пространстве). Для приведённых далее результатов физический размер установлен в 10 мм, следовательно, будет получено поле  $10 \times 10$  мм, длина волны  $\lambda=0.000565$  мм.

В таблице 1 приведены примеры частных случаев формулы (1), полученные при различных параметрах. Один из самых простых элементов – фазовая пластинка. Для её получения параметры  $a_1$  и  $q$  обнуляются, а  $p = 1$ . При аналогичном обнулении для второй скобки будет получен собирающий либо рассеивающий осесимметричный аксикон.

**Таблица 1**

Примеры элементов, полученных при различных значениях параметров функции (1)

Название	Формула	ДОЭ	Распределение интенсивности
Спиральная фазовая пластинка (СПФ)	$f(\theta) = \exp(il\theta)$ , $l = 8$ .		
Аксикон собирающей линзой в центре	$f(r) = \exp(ibr)^q$ , $b = 1$ ; $q = 3$ .		
Нелинейная спиральная фазовая пластинка (НСФП)	$f(r, \theta) = \exp(i(3.14 + \theta)^p r^q)$ , $p = 1$ ; $q = 1$ .		

Если сохранить одну из степеней, например,  $q$  не нулевой, то при значении этого параметра больше 3 аксикон модифицируется в линзу. Сохраняя обе степени можно получить НСФП [5], которая, при аналогичной модификации, даст распределение в виде запятой с наибольшей интенсивностью в центре и менее ярким хвостиком.

### 3. Заключение

В работе был рассмотрен фазовый элемент нового типа. Выделены и прокомментированы все основные элементы, которые можно получить из заданной функции путём варьирования параметров. С помощью преобразования Фурье рассмотрено формирование распределений в фокальной плоскости линзы.

### 4. Литература

- [1] Скиданов, Р.В. Формирование пучков Бесселя вихревыми аксиконами / Р.В. Скиданов, С.В. Ганчевская // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38, № 3. – С. 463-468. DOI: 10.18287/0134-2452-2014-38-3-463-468
- [2] Котляр, В.В. Спиральная фазовая пластинка со множеством центров сингулярности / В.В. Котляр, А.А. Ковалев, Е.С. Козлова, А.П. Порфирьев // Компьютерная оптика. – 2020. – Т. 44, № 6. – С. 901-908. DOI: 10.18287/2412-6179-СО-774.
- [3] Устинов, А.В. Фраксикон как гибридный элемент между параболической линзой и линейным аксиконом / А.В. Устинов, С.Н. Хонина // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38, №3. – С. 402-411. DOI: 10.18287/0134-2452-2014-38-3-402-411.
- [4] Карпеев, С.В. Исследование дифракционной решётки на выпуклой поверхности как диспергирующего элемента / С.В. Карпеев, С.Н. Хонина, С.И. Харитонов //

Компьютерная оптика. – 2015. – Т. 39, № 2. – С. 211-217. DOI: 10.18287/0134-2452-2015-39-2-211-217.

- [5] Порфирьев, А.П. Исследование свойств нелинейных спиральных фазовых пластинок / А.П. Порфирьев, Г.Е. Гридина, В.И. Логачёв // Сборник трудов международной конференции «Информационные технологии и нанотехнологии» (ИТНТ). – 2020. – Т. 1. – С. 316-320.