

## АСИМПТОТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СВЕТОВОГО ПОЛЯ, ФОРМИРУЕМОГО ДИФРАКЦИОННЫМ ОПТИЧЕСКИМ ЭЛЕМЕНТОМ ДЛЯ ФОКУСИРОВКИ В ЛИНИЮ

А.Ю. Дмитриев<sup>1,2</sup>, Л.Л. Досколович<sup>1,2</sup>, С.И. Харитонов<sup>1,2</sup>

Институт систем обработки изображений РАН, Самара, Россия,

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия

### Аннотация

Предложен асимптотический метод расчета светового поля, формируемого дифракционным оптическим элементом (ДОЭ) для фокусировки в линию с использованием криволинейных координат. Исследована структура светового поля, формируемого ДОЭ для фокусировки в отрезок, проведено сравнение результатов асимптотического и численного методов расчета.

**Ключевые слова:** фокусатор, фазовая функция, интеграл Френеля-Кирхгофа, асимптотический метод, интенсивность, световое поле, метод стационарной фазы.

### Введение

В работах [1-3] предложен асимптотический метод расчета интенсивности светового поля, формируемого фокусатором в отрезок (формируемого ДОЭ для фокусировки в отрезок). Метод основан на использовании метода стационарной фазы в интеграле Френеля-Кирхгофа при интегрировании поперек слоя фокусатора. Повторный интеграл вдоль слоя вычисляется точно, что позволяет учесть дифракционную ширину отрезка фокусировки. Метод [1-3] позволил получить выражения для распределения интенсивности в плоскости фокусировки и решить обратную задачу фокусировки с учетом дифракционной ширины отрезка фокусировки [4,5].

В указанных работах [1-3] не было получено выражений для интенсивности поля в пространстве (вне плоскости фокусировки), не сделано обобщение на случай произвольной кривой.

В данной работе предложен асимптотический метод расчета светового поля от фокусатора в произвольную линию. Метод обобщает результаты работ [1-3] на случай фокусировки в кривую общего вида и позволяет рассчитывать интенсивность в пространственной окрестности линии фокусировки. В качестве примера приведен расчет поля, формируемого фокусатором в отрезок. Расчет проведен как в плоскости фокусировки, так и в плоскости, содержащей отрезок и оптическую ось, проведено сравнение результатов асимптотического и численного расчетов.

### 1. Фазовая функция в криволинейных координатах

Пусть кривая фокусировки задана в параметрическом виде:

$$\mathbf{X}(\xi) = (X(\xi), Y(\xi), f), \quad (1)$$

где  $\xi$  - натуральный параметр, а  $f$  - расстояние от плоскости фокусатора до плоскости фокусировки.

При расчете фокусаторов используется понятие слоя как одномерного множества  $\Gamma(\xi)$  точек  $(u, v)$  на апертуре фокусатора, направляющих излучение в одну и ту же точку  $\mathbf{X}(\xi)$  кривой. В параксиальном приближении эти слои являются прямыми, перпендикулярными касательным к фокальной кривой [4,5]:

$$\frac{dX(\xi)}{d\xi}u + \frac{dY(\xi)}{d\xi}v = p(\xi), \quad (2)$$

где  $p(\xi)$  - расстояние от слоя до начала координат в плоскости фокусатора.

В работах [4,5] получена фазовая функция фокусатора в линию в общем виде:

$$\varphi(\xi, t) = -\frac{k}{2f}(p^2(\xi) + t^2) + \varphi_D(\xi, t), \quad (3)$$

где

$$\begin{aligned} \varphi_D(\xi, t) = & \frac{k}{f} \left[ \frac{dX(\xi)}{d\xi} Y(\xi) - X(\xi) \frac{dY(\xi)}{d\xi} \right] \cdot t + \\ & + \frac{k}{f} \left[ \frac{dX(\xi)}{d\xi} X(\xi) - \frac{dY(\xi)}{d\xi} Y(\xi) \right] p(\xi) - \frac{k}{f} \int_0^\xi p(\eta) d\eta, \end{aligned}$$

где  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ,  $\lambda$  - длина волны.

Фазовая функция (3) записана в криволинейной системе координат  $(\xi, t)$  [4,7]:

$$\begin{aligned} u(\xi, t) = & p(\xi) \frac{dX(\xi)}{d\xi} - t \frac{dY(\xi)}{d\xi}, \\ v(\xi, t) = & p(\xi) \frac{dY(\xi)}{d\xi} + t \frac{dX(\xi)}{d\xi}. \end{aligned} \quad (4)$$

Функция  $p(\xi)$  в фазовой функции (3) определяет распределение энергии вдоль кривой фокусировки и может быть найдена из закона сохранения светового потока [6].

### 2. Асимптотический метод расчета интенсивности, формируемой фокусатором в кривую

Для простоты выкладок будем считать интенсивность падающего плоского пучка постоянной, т.е.  $I_0(\mathbf{u}) = I_0$ . Комплексная амплитуда светового поля, формируемого фокусатором, определяется интегралом Френеля-Кирхгофа:

$$\begin{aligned} w(x, y, z) = & \frac{k \exp[ikz]}{2\pi iz} \iint_P \sqrt{I_0} \exp[i\varphi(u, v)] \times \\ & \times \exp \left[ i \frac{k}{2z} [(x-u)^2 + (y-v)^2] \right] du dv. \end{aligned} \quad (5)$$

Перейдем к криволинейной системе координат (4):

$$w(x, y, z) = \frac{k \exp[ikz]}{2\pi iz} \iint_{D(\xi, \eta)} \sqrt{I_0} \exp[i\varphi(\xi, t)] \times \exp\left[i \frac{k}{2z} \left( (x-u(\xi, t))^2 + (y-v(\xi, t))^2 \right)\right] \times J(\xi, \eta) d\xi d\eta, \quad (6)$$

где

$$J(\xi, t) = \frac{dp(\xi)}{d\xi} - t K^2(\xi) \quad (7)$$

- якобиан преобразования координат,  $K(\xi)$  - кривизна кривой. В дальнейшем будем считать кривизну малой, так что  $J(\xi, t) \approx dp(\xi)/d\xi$ .

Первоначально получим формулу для интенсивности поля в плоскости фокусировки ( $z = f$ ).

Как и в [1-3], при расчете поля, формируемого фокусатором в отрезок, при интегрировании в (6) поперек слоя (по переменной  $\xi$ ) будем использовать метод стационарной фазы [7], а повторный интеграл по  $t$  будем рассчитывать точно. Тогда интенсивность можно получить в следующем виде:

$$I(x, y, f) = \frac{2kI_0}{\pi f} \text{sinc}^2 \left\{ \frac{k}{f} \sqrt{R^2 - p^2} \times \left( \frac{dY(\xi)}{d\xi} (X(\xi) - x) - \frac{dX(\xi)}{d\xi} (Y(\xi) - y) \right) \right\} \times \frac{dp(\xi)}{d\xi} \sqrt{R^2 - p^2}, \quad (8)$$

где  $x, y$  находятся из уравнения на стационарную точку:

$$\frac{dX(\xi)}{d\xi} (X(\xi) - x) + \frac{dY(\xi)}{d\xi} (Y(\xi) - y) - p(\xi) = 0. \quad (9)$$

Непосредственной подстановкой легко проверить, что решением уравнения (9) является следующая система:

$$\begin{cases} x(\gamma; \xi) = X(\xi) - \gamma \frac{dY(\xi)}{d\xi}, \\ y(\gamma; \xi) = Y(\xi) + \gamma \frac{dX(\xi)}{d\xi}, \end{cases} \quad (10)$$

где  $\gamma > 0$  - параметр.

При фиксированном  $\xi = \xi_0$ , уравнения (10) определяют прямую, перпендикулярную кривой фокусировки в точке  $\mathbf{X}(\xi_0) = (X(\xi_0), Y(\xi_0), f)$ . Таким образом, получим распределение интенсивности в криволинейных координатах:

$$I(x(\gamma; \xi), y(\gamma; \xi), f) = \frac{2kI_0}{\pi f} \frac{dp(\xi)}{d\xi} \times \sin^2 \left\{ \frac{k}{f} \sqrt{R^2 - p^2} \left( \frac{dY(\xi)}{d\xi} (X(\xi) - x(\gamma; \xi)) - \frac{dX(\xi)}{d\xi} (Y(\xi) - y(\gamma; \xi)) \right) \right\} \sqrt{R^2 - p^2}. \quad (11)$$

В выражении для интенсивности (11) функция  $\sin^2(x, y, \xi)$  появляется при интегрировании вдоль слоя и описывает распределение интенсивности поперек линии фокусировки. Пренебрежение кривизной в якобиане (7) означает пренебрежение взаимным влиянием поперечных распределений при различных  $\xi$ .

При расчете интенсивности в пространственной окрестности линии фокусировки для интегрирования поперек слоя также используем метод стационарной фазы. При этом повторный интеграл может быть представлен через интегралы Френеля. Таким образом, интенсивность в пространственной окрестности линии фокусировки имеет вид:

$$I(x, y, z) = \frac{f^2 I_0}{2|f-z| \cdot |\phi''(\xi)|} \times \left( \frac{dp(\xi)}{d\xi} \right)^2 \left( (C(F_2) - C(F_1))^2 + (S(F_2) - S(F_1))^2 \right), \quad (12)$$

где  $C(F) = \int_0^F \cos \frac{\pi t^2}{2} dt$ ,  $S(F) = \int_0^F \sin \frac{\pi t^2}{2} dt$  - интегралы Френеля,

$$F_1 = \sqrt{\frac{2k}{\pi f z}} \cdot \left\{ -\sqrt{R^2 + p(\xi)^2} \cdot \sqrt{\frac{f-z}{2}} + \left[ \frac{dX(\xi)}{d\xi} (Y(\xi)z - yf) - \frac{dY(\xi)}{d\xi} (X(\xi)z - xf) \right] \right\},$$

$$F_2 = \sqrt{\frac{2k}{\pi f z}} \cdot \left\{ \sqrt{R^2 + p(\xi)^2} \cdot \sqrt{\frac{f-z}{2}} + \left[ \frac{dX(\xi)}{d\xi} (Y(\xi)z - yf) - \frac{dY(\xi)}{d\xi} (X(\xi)z - xf) \right] \right\},$$

$$\begin{aligned} \phi(\xi) &= p^2(\xi) \frac{(f-z)}{2} + p(\xi) \times \\ &\times \left( \frac{dX(\xi)}{d\xi} (X(\xi)z - xf) + \frac{dY(\xi)}{d\xi} (Y(\xi)z - yf) \right) - \\ &- z \int_0^\xi p(\eta) d\eta - \frac{1}{2(f-z)} \times \\ &\times \left( \frac{dX(\xi)}{d\xi} (Y(\xi)z - yf) - \frac{dY(\xi)}{d\xi} (X(\xi)z - xf) \right)^2. \end{aligned}$$

Координаты  $(x, y, z)$  находятся из уравнения на стационарные точки:

$$\begin{aligned}
 & p(\xi) \frac{dp(\xi)}{d\xi} (f-z) + \frac{dp(\xi)}{d\xi} \times \\
 & \times \left[ \frac{dX(\xi)}{d\xi} (X(\xi)z - xf) + \right. \\
 & \left. + \frac{dY(\xi)}{d\xi} (Y(\xi)z - yf) \right] - \\
 & - p(\xi) \left[ \frac{d^2 X(\xi)}{d\xi^2} xf + \frac{d^2 Y(\xi)}{d\xi^2} yf \right] - \\
 & - \frac{1}{f-z} \left[ \left( \frac{d^2 X(\xi)}{d\xi^2} (Y(\xi)z - yf) - \right. \right. \\
 & \left. \left. - \frac{d^2 Y(\xi)}{d\xi^2} (X(\xi)z - xf) \right) \times \right. \\
 & \left. \times \left( \frac{dX(\xi)}{d\xi} (Y(\xi)z - yf) - \right. \right. \\
 & \left. \left. - \frac{dY(\xi)}{d\xi} (X(\xi)z - xf) \right) \right] = 0.
 \end{aligned} \tag{13}$$

Подстановкой легко проверить, что решением уравнения (13) является следующая система:

$$\begin{cases}
 x(l; \xi, t) = u(\xi, t)(1-l) + X(\xi)l, \\
 y(l; \xi, t) = v(\xi, t)(1-l) + Y(\xi)l, \\
 z(l; \xi, t) = fl,
 \end{cases} \tag{14}$$

где  $l > 0$  - параметр.

При фиксированном  $\xi = \xi_0$ , уравнения (14) определяют плоскость, проходящую через слой (2) и точку на кривой фокусировки  $\mathbf{X}(\xi_0) = (X(\xi_0), Y(\xi_0), f)$ .

В итоге, мы получили формулу для расчета интенсивности, формируемой фокусатором в произвольную линию в пространственной окрестности линии фокусировки. Причем расчет интенсивности в (12) производится в точках  $x(l; \xi, t)$ ,  $y(l; \xi, t)$ ,  $z(l; \xi, t)$ , удовлетворяющих уравнению на стационарные точки (13).

### 3. Расчет светового поля, формируемого фокусатором в отрезок

Параметрическое уравнение отрезка длины  $d$  в плоскости фокусировки  $z = f$  имеет вид:

$$\mathbf{X}(\xi) = \left( \xi - \frac{d}{2}, \right), \quad \xi \in [0, d]. \tag{15}$$

При расчете поля, формируемого фокусатором в отрезок, криволинейные координаты (4) совпадают с декартовыми, т. к. слой (2) является отрезками прямых  $u = p(\xi)$  перпендикулярных фокальному отрезку.

Фазовая функция в декартовых координатах имеет вид:

$$\varphi(u, v) = -\frac{k(u^2 + v^2)}{2f} + \varphi_D(u), \tag{16}$$

где  $\varphi_D(u) = \frac{k}{f} \int_0^u x(u') du'$ .

Функция  $x(u)$  находится из закона сохранения светового потока [6]:

$$x(u) = \frac{d}{\pi R^2} \left( u \sqrt{R^2 - u^2} + R^2 \arcsin \left( \frac{u}{R} \right) \right). \tag{17}$$

Из общего выражения (11) для интенсивности в плоскости фокусировки получим интенсивность для случая отрезка в виде:

$$\begin{aligned}
 I(x(u), y, f) &= \frac{kR^2 I_0}{df} \sin^2 c^2 \times \\
 & \times \left( \frac{k}{f} y \sqrt{R^2 - u^2} \right) \sqrt{R^2 - u^2},
 \end{aligned} \tag{18}$$

где  $x(u)$  определено уравнением (18).

Выражение для интенсивности в пространственной окрестности отрезка получим из (12) в виде:

$$\begin{aligned}
 I(x, y, z) &= \frac{2f^2 I_0}{|f-z| \cdot |f-z + \phi_D''(u)z|} \times \\
 & \times \left( (C(F_2) - C(F_1))^2 + (S(F_2) - S(F_1))^2 \right),
 \end{aligned} \tag{19}$$

где

$$\begin{aligned}
 F_1 &= \left( -\sqrt{\frac{(R^2 - u^2) \cdot |f-z|}{fz}} - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{f}{z(f-z)}} y \right) \sqrt{\frac{k}{\pi}}, \\
 F_2 &= \left( \sqrt{\frac{(R^2 - u^2) \cdot |f-z|}{fz}} - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{f}{z(f-z)}} y \right) \sqrt{\frac{k}{\pi}}.
 \end{aligned}$$

Подставив  $y = 0$  в (19), получим формулу для интенсивности в плоскости, содержащей отрезок и оптическую ось:

$$\begin{aligned}
 I(x, 0, z) &= \frac{2f^2 I_0}{|f-z| \cdot |f-z + \phi_D''(u)z|} \times \\
 & \times (C^2(T(u_0)) + S^2(T(u_0))),
 \end{aligned} \tag{20}$$

где  $C(T)$ ,  $S(T)$  - интегралы Френеля,

$$\begin{aligned}
 T &= \sqrt{\frac{k(R^2 - u^2) \cdot |f-z|}{\pi f z}}, \\
 \phi_D''(u) &= \frac{2d}{\pi R^2} \sqrt{R^2 - u^2}.
 \end{aligned}$$

Координаты  $(x, z)$  находятся из уравнения на стационарные точки:

$$x = \frac{1}{f} (f-z)u + \frac{1}{f} z \phi_D'(u). \tag{21}$$

Решением (21) является следующая система:

$$\begin{cases} x(l;u) = u + (x(u) - u)l, \\ z(l;u) = fl, \end{cases} \quad (22)$$

где  $l$  – параметр. При фиксированном  $u$ , уравнения (22) определяют прямую, проходящую через точку на слое  $(u, 0)$  и точку на отрезке фокусировки.

**4. Исследование точности асимптотического метода для фокусатора в отрезок**

Для оценки точности асимптотического метода производился численный расчет интеграла Френеля-Кирхгофа (5) по методу Гопкинса [8].

Формулы для численного расчета комплексной амплитуды в плоскости фокусировки и в плоскости, содержащей отрезок и оптическую ось, имеют вид:

$$\begin{aligned} w(x, y, f) = & \sum_{j=1}^N \exp\left(i\left(\phi_D(u_{j-1}) - \phi_D'(u_{j-1})u_{j-1}\right)\right) \times \\ & \times p(u_j, y) \exp\left(i\alpha\left(u_j - \frac{\Delta u}{2}\right)\right) \times \\ & \times \sin c\left(\alpha \frac{\Delta u}{2}\right) \Delta u C, \end{aligned} \quad (23)$$

где

$$\begin{aligned} p(u, y) = & \sqrt{I_0} \sin c\left(\frac{k}{f} y \sqrt{R^2 - u^2}\right) \sqrt{R^2 - u^2}, \\ \alpha = & \phi_D'(u_{j-1}) - \frac{k}{f} x, \\ w(x, 0, z) = & \frac{\sqrt{fkI_0} e^{ikf}}{i\sqrt{\pi z} |f - z|} e^{\frac{ikx^2}{2z}} \times \\ & \times \sum_{j=1}^N \left(C(T(u_j)) + iS(T(u_j))\right) \times \\ & \times e^{i\left(\alpha + \beta\left(u_j - \frac{\Delta u}{2}\right)\right)} \sin c\left(\frac{\beta \Delta u}{2}\right) \Delta u, \end{aligned} \quad (24)$$

где  $C(T)$ ,  $S(T)$  – интегралы Френеля,

$$\begin{aligned} T = & \sqrt{\frac{k(R^2 - u^2) \cdot |f - z|}{\pi f z}}, \\ \alpha = & \frac{k}{f} \phi_D(u_{j-1}) - \frac{k(f - z)}{2fz} (u_{j-1}^2) - \frac{k}{f} \phi_D'(u_{j-1}) u_{j-1}, \\ \beta = & \frac{k}{f} \left(\frac{f - z}{z} u_{j-1} + \phi_D'(u_{j-1}) - \frac{fx}{z}\right). \end{aligned}$$

Расчет интенсивности светового поля, формируемого фокусатором в отрезок, происходил при следующих параметрах системы:  $R = 3$  мм,  $f = 200$  мм. В результате расчетов было установлено, что при длине отрезка  $d = 40\Delta$  и более, где  $\Delta = \lambda f / 2R$  –

ширина дифракционного пятна, асимптотический метод дает результаты, хорошо совпадающие с численным расчетом.

В качестве примера приведем результаты расчета интенсивности при длине отрезка  $d = 60\Delta$ . Сначала приведем результаты расчета в плоскости фокусировки (рис. 1).

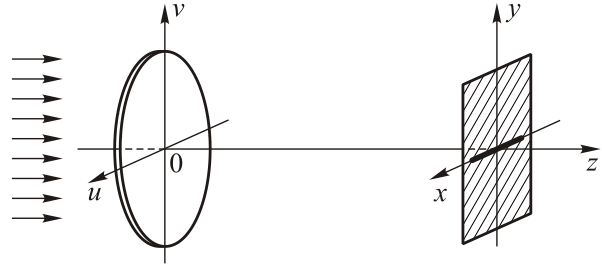


Рис. 1. Фокусатор в отрезок. Штриховкой выделена плоскость фокусировки ( $z=f$ )

На рис. 2-5 изображено распределение интенсивности от фокусатора в отрезок в фокальной плоскости. Погрешность расчета асимптотическим методом относительно расчета численным методом составила около 14%.

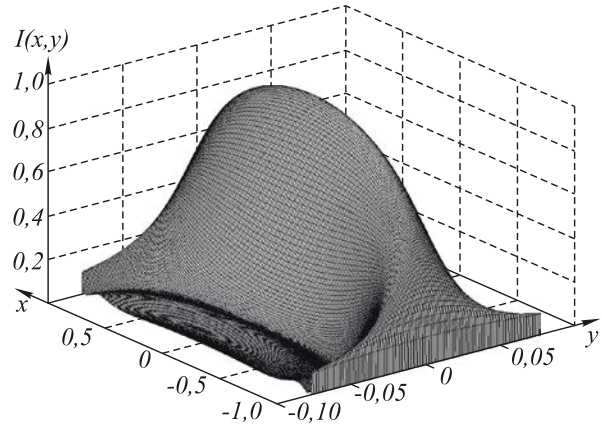


Рис. 2. Распределение интенсивности в фокальной плоскости, полученное асимптотическим методом ( $d=60\Delta$ )

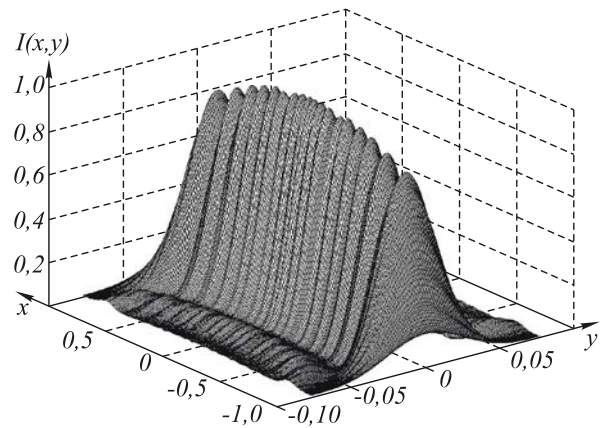


Рис. 3. Распределение интенсивности в фокальной плоскости, полученное численным методом ( $d=60\Delta$ )

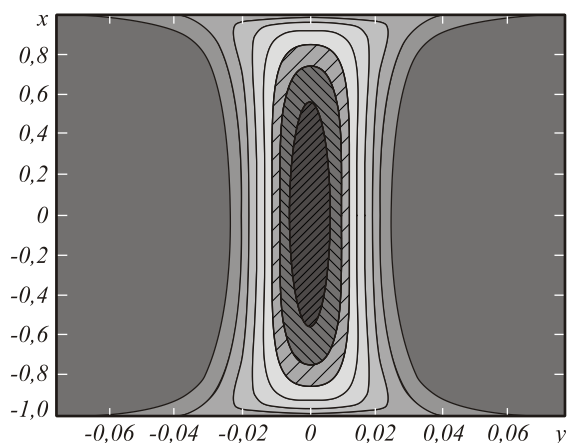


Рис. 4. Изолинии распределения интенсивности в фокальной плоскости, полученного асимптотическим методом ( $d=60\lambda$ )

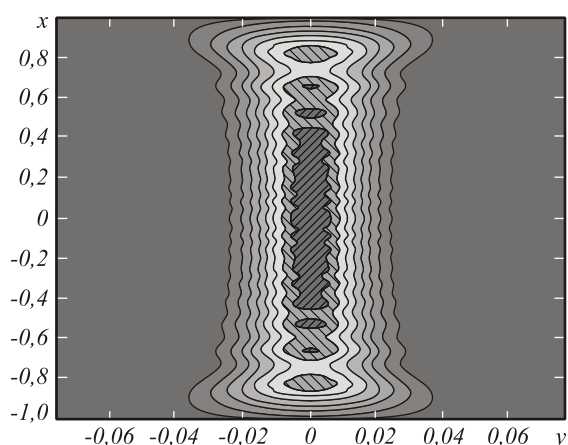


Рис. 5. Изолинии распределения интенсивности в фокальной плоскости, полученного численным методом ( $d=60\lambda$ )

Результаты расчета интенсивности в фокальной плоскости, проиллюстрированные на рис. 2-5, согласуются с результатами работ [1-3].

Теперь приведем результаты расчета в плоскости, содержащей отрезок и оптическую ось (рис. 6).

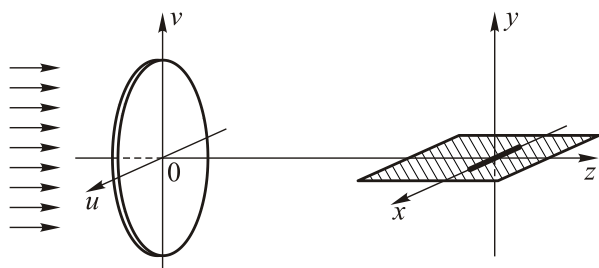


Рис. 6. Фокусатор в отрезок. Штриховкой выделена плоскость, содержащая отрезок и оптическую ось ( $y=0$ )

На рис. 7-10 показаны результаты расчета интенсивности, формируемой фокусатором в отрезок в плоскости, содержащей отрезок и оптическую ось. Данные результаты являются новыми. Погрешность расчета асимптотическим методом относительно расчета численным методом составила около 11%.

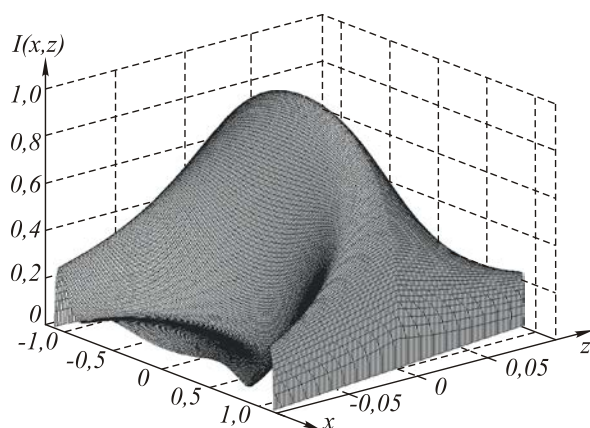


Рис. 7. Распределение интенсивности в плоскости, содержащей отрезок и оптическую ось, полученное асимптотическим методом ( $d=60\lambda$ )

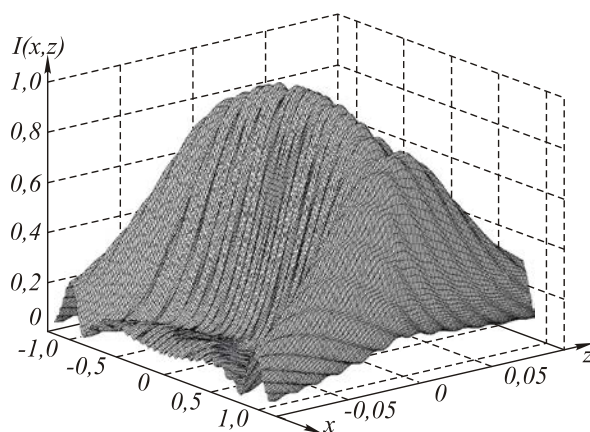


Рис. 8. Распределение интенсивности в плоскости, содержащей отрезок и оптическую ось, полученное численным методом ( $d=60\lambda$ )

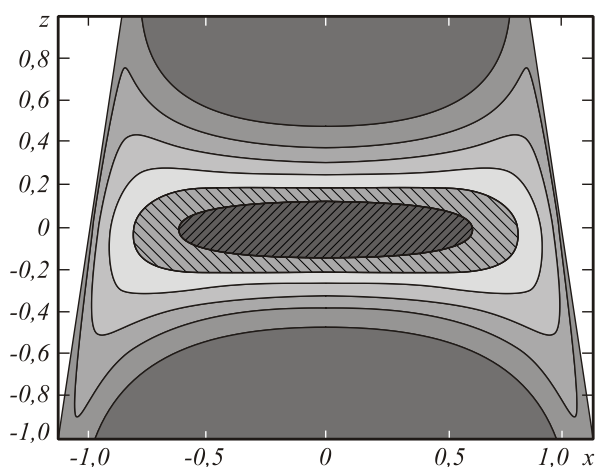


Рис. 9. Изолинии распределения интенсивности в плоскости, содержащей отрезок и оптическую ось, полученного асимптотическим методом ( $d=60\lambda$ )

Из рис. 2-5 и 7-10 видно, что расчет асимптотическим методом дает результат близкий к результату расчета численным методом.

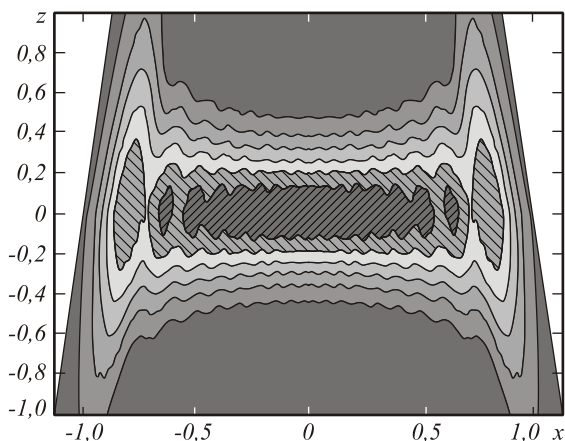


Рис. 10. Изолинии распределения интенсивности в плоскости, содержащей отрезок и оптическую ось, полученного численным методом ( $d=60\lambda$ )

При уменьшении длины отрезка фокусировки асимптотический метод работает хуже. Это иллюстрируют рис. 11 и рис. 12, где изображены изолинии распределений интенсивности в плоскости, содержащей отрезок и оптическую ось, для длины отрезка фокусировки  $d = 20\lambda$ , полученных асимптотическим и численным методами соответственно. Погрешность расчета асимптотическим методом относительно расчета численным методом составила около 22%.

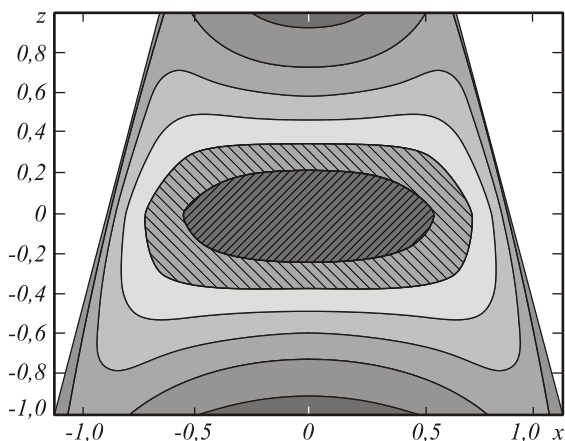


Рис. 11. Изолинии распределения интенсивности в плоскости, содержащей отрезок и оптическую ось, полученного асимптотическим методом ( $d=20\lambda$ )

### Заключение

В работе предложен асимптотический метод расчета светового поля от фокусатора в произвольную линию. Метод основан на использовании метода стационарной фазы в интеграле Френеля-Кирхгофа при интегрировании поперек слоя. Повторный интеграл вдоль слоя вычисляется точно, что позволяет учесть дифракционную ширину отрезка фокусировки. Метод позволяет рассчитывать интенсивность в пространственной окрестно-

сти линии фокусировки. Проведено сравнение результатов асимптотического и численного расчетов поля на примере фокусатора в отрезок. Показано, что расчет асимптотическим методом дает результат близкий к результату расчета численным методом при длине отрезка порядка 40-ка дифракционных пятен и более.

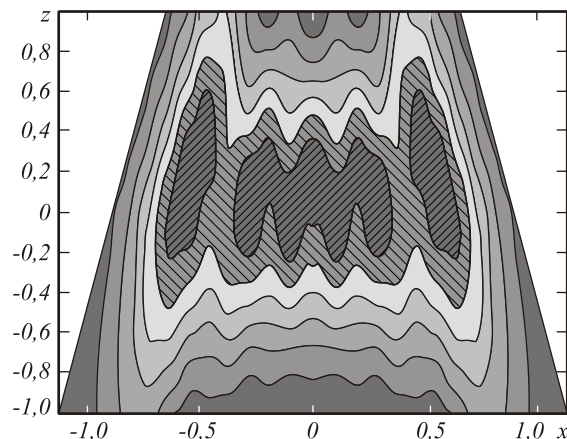


Рис. 12. Изолинии распределения интенсивности в плоскости, содержащей отрезок и оптическую ось, полученного численным методом ( $d=20\lambda$ )

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке фонда «Фундаментальные исследования и высшее образование» (“BRHE”, грант RUXO-014-SA-06) и грантов РФФИ № 07-07-97601-р\_офи, 07-01-96602-р\_поволжье\_a, 07-07-91580-АСП\_a, 08-07-99005-р\_офи, «Фонда содействия отечественной науке» и Президента РФ № НШ-3086.2008.9.

### Литература

1. Голуб, М.А. Дифракционный расчет интенсивности поля вблизи фокальной линии фокусатора / [М.А. Голуб и др.] // Оптика и спектроскопия, 1989. – Т. 67, № 6. – С.1387-1389.
2. Голуб, М.А. Дифракционные поправки при фокусировке лазерного излучения в отрезок / [М.А. Голуб и др.] // Оптика и спектроскопия, 1991. – Т.71, № 6. – С.1069-1073.
3. Soifer, V.A. Diffraction investigation of focusators into straight-line segment / [V.A. Soifer and other] // Proceedings SPIE, 1992. – Vol. 1718 (“Workshop on Digital Holography”). – P.33-44.
4. Методы компьютерной оптики / под ред. В.А. Сойфера - М.: Физматлит, 2000. Глава 5.
5. Дифракционная компьютерная оптика / под ред. В.А. Сойфера - М.: Физматлит, 2007. Глава 3.
6. Борн, М. Основы оптики / М. Борн, Э. Вольф – М.: Наука, 1973.
7. Гончарский, А.В Введение в компьютерную оптику / А.В. Гончарский, В.В. Попов, В.В. Степанов – М.: Изд-во МГУ, 1991.
8. Hopkins, H.H. The numerical evaluation of the frequency response of the optical systems / H.H. Hopkins // Proc. Phys. Soc., 1957. – В.70 – P.1002-1005.

**ASYMPTOTIC COMPUTATION OF THE LIGHT FIELD  
INTENSITY FOR A DIFFRACTIVE OPTICAL ELEMENT TO FOCUS INTO A LINE**

*A.Y. Dmitriev<sup>1,2</sup>, L.L. Doskolovich<sup>1,2</sup>, S.I. Kharitonov<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>*Image Processing Systems Institute of the Russian Academy of Sciences, Samara, Russia,*

<sup>2</sup>*S.P. Korolyov Samara State Aerospace University, Samara, Russia*

***Abstract***

We discuss an asymptotic method for computing the intensity of the light field produced by a diffractive optical element (DOE) to focus into an arbitrary line using curvilinear coordinates. The structure of the light field produced by a DOE intended to focus into a line-segment is studied. A comparison is drawn between the results of the asymptotic and numerical methods of computation.

***Keywords:*** diffractive optical element, phase function, Fresnel-Kirchhoff integral, asymptotic method, intensity, light field, stationary phase method.

***Citation:*** Dmitriev AYu, Doskolovich LL, Kharitonov SI. Asymptotic computation of the light field intensity for a diffractive optical element to focus into a line. *Computer Optics* 2008; 32(2): 195-200.

***Acknowledgements:*** The work was supported by the Foundation "Basic Research and Higher Education" ("BRHE", grant RUXO-014-SA-06) and RFBR grants № 07-07-97601-r\_ofi, 07-01-96602-r\_povolzhe\_a, 07-07- 91,580-ASTP\_A, 08-07-99005-r\_ofi, "Russian Science Support Foundation", and the President of the Russian Federation number NS-3086.2008.9.

***References***

- [1] Golub MA, Kazanskii NL, Sisakyan VA, Soifer VA, Kharitonov SI. Diffraction calculation of the field intensity near the focal line of a fuser. *Optics and Spectroscopy* 1989; 67(6): 814-815.
- [2] Golub MA, Doskolovich LL, Sisakyan IN, Soifer VA, Kharitonov SI. Diffraction corrections in focusing of coherent radiation into a line. *Optics and Spectroscopy* 1991; 71(6): 615-617.
- [3] Soifer VA, Doskolovich LL, Golub MA, Kazanskiy NL. Diffraction investigation of focusators into straight-line segment. *Proceedings of SPIE* 1992; 1718: 33-44.
- [4] Soifer VA, ed. *Methods of Computer Optics* [In Russian]. Moscow: "Fizmatlit" Publisher, 2000.
- [5] Soifer VA, ed. *Diffractive Computer Optics* [In Russian]. Moscow: "Fizmatlit" Publisher, 2007.
- [6] Born M, Wolf E. *Principles of Optics* [In Russian]. Moscow: "Nauka" (Science) Publisher, 1973.
- [7] Goncharskiy AV, Popov VV, Stepanov VV. *Introduction to Computer Optics* [In Russian]. Moscow: MSU (Lomonosov Moscow State University) Publisher, 1991.
- [8] Hopkins HH. The numerical evaluation of the frequency response of the optical systems. *Proc. Phys. Soc.* 1957; B.70: 1002-1005.