

ОСОБЕННОСТИ КОРРЕКЦИИ ДИСТОРССИИ В ОБЪЕКТИВЕ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ПРИНТЕРА

С.А. РОДИОНОВ, А.А. ШЕХОНИН, А.В. БУЦЕВИЦКИЙ

Рассматривается оптимальный вид коррекции глобальной дисторсии объектива, обеспечивающий минимальное линейное искажение записи строк. Приводятся результаты расчета объектива.

Основной элемент оптической системы лазерного принтера – проекционный, или фокусирующий, объектив типа $f-\theta$ (f – переднее фокусное расстояние, θ – угол поворота сканирующего барабана), определяющий качество изображения строки записи. Главной проблемой расчета $f-\theta$ – объектива является специфическая коррекция дисторсии, необходимая для того, чтобы скорость перемещения пишущего пятна вдоль строки была пропорциональна скорости вращения сканирующего зеркального барабана. Для этого, как известно, размер изображения y' должен быть пропорционален углу θ или входному полевому углу $W(W=2\theta)$, т.е. $y' = 2fW$. Отклонение от этой зависимости определяется видом коррекции дисторсии объектива. В рассматриваемом случае дисторсия вычисляется по полевому углу, а не по его тангенсу, как это обычно принято.

В известных работах [1-4], посвященных расчету объективов данного типа, отсутствует строгое обоснование вида коррекции дисторсии, исходя из допустимых отклонений длины линии от заданной вдоль строки записи.

Авторы данной работы поставили задачу: установить вид оптимальной коррекции и значения глобальной дисторсии $f-\theta$ – объектива на основе изучения связи между зональной и глобальной дисторсией.

Относительная глобальная дисторсия по углу поля для $f-\theta$ – объектива выражается следующим соотношением:

$$\Delta = (y' - fW)/(fW) = y'/(fW) - 1.$$

В требованиях ТЗ на лазерный принтер указывается допустимое отклонение относительной зональной дисторсии по углу в виде отклонения длины линии, формируемой элементами изображения на любом участке вдоль строки сканирования.

Связь между относительной зональной и глобальной дисторсией в соответствии с работой [5] может быть представлена в виде

$$\delta = \left[(1 + \Delta) \left(1 + \Delta + \frac{\partial \Delta}{\partial \sigma} \sigma \right) \right]^{-1} - 1,$$

где $\sigma = W/W_{\max}$ – относительная полевая координата.

При малых значениях относительной глобальной дисторсии можно записать

$$\delta \approx (1 - \Delta) \left(1 - \Delta - \frac{\partial \Delta}{\partial \sigma} \sigma \right) - 1. \quad (1)$$

Для $f - \theta$ – объективов, как правило, достаточно ограничиться рассмотрением дисторсии 3-го и 5-го порядка, т.е. представить ее в виде

$$\Delta = c_1 \sigma^2 + c_2 \sigma^4 = c_1 U + c_2 U^2, \quad (2)$$

где c_1 , и c_2 - коэффициенты 3-го и 5-го порядка, а $U = \sigma^2$.

При этом

$$\frac{\partial \Delta}{\partial \sigma} \sigma = 2c_1 U + 4c_2 U^2. \quad (3)$$

Подставляя выражения (2), (3) в уравнение (1) и пренебрегая квадратами коэффициентов c_1 и c_2 , получаем

$$\delta = -4c_1 U - 6c_2 U^2. \quad (4)$$

Запишем значения относительной глобальной дисторсии на краю поля, т.е. при $U = \sigma = 1,0$, и на зоне (внутри поля) – при $U = 0,5$, $\sigma = \sqrt{0,5} = 0,707$:

$$\Delta_1 = \Delta(1,0); \quad \Delta_{0,7} = \Delta(\sqrt{0,5})$$

Из выражения (2) имеем

$$\Delta_1 = c_1 + c_2; \quad \Delta_{0,7} = \frac{1}{2} c_1 + \frac{1}{4} c_2,$$

откуда

$$c_1 = 4\Delta_{0,7} - \Delta_1; \quad c_2 = 2\Delta_1 - 4\Delta_{0,7}.$$

В зависимости от соотношения коэффициентов c_1 , и c_2 максимальное значение зональной дисторсии может быть либо на краю поля, при $U = 1,0$, либо на зоне. Найдем координату этой зоны, дифференцируя выражение (4) и приравнявая его нулю:

$$\delta'_U = -4c_1 - 12c_2 U = 0,$$

откуда

$$U_{\max} = -c_1 / (3c_2); \quad (5)$$

при этом

$$\delta_{\max} = -2c_1 U_{\max}. \quad (6)$$

Нетрудно видеть, что если $0 < U_{\max} < 1$, то максимальное значение зональной дисторсии находится внутри поля, если $U_{\max} > 1$, то на краю поля, поскольку максимум лежит за пределами поля. В последнем случае из выражения (4) получаем

$$\delta_{\max} = \delta_1 = -8\Delta_1 + 8\Delta_{0,7}. \quad (7)$$

Для максимума зональной дисторсии внутри поля ($0 < U_{\max} < 1$) имеем

$$\delta_{\max} = -2c_1 U_{\max}; \quad (8)$$

при этом, полагая, для худшего случая, $U_{\max} = 1$, получаем

$$\delta_{\max} \leq 2c_1.$$

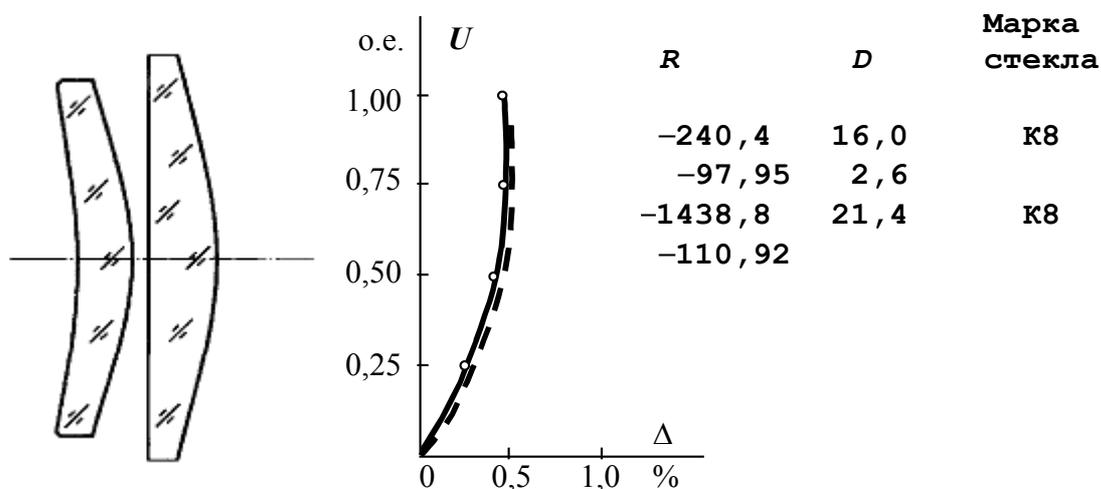
Требование отсутствия зональной дисторсии на краю поля ($\delta_1 = 0$) позволяет, учитывая соотношения (7) и (8), установить оптимальный вид коррекции глобальной дисторсии, а именно равенство значений дисторсии на краю и на зоне поля, т.е.

$$\Delta_1 = \Delta_{0,7},$$

$$\text{и } \Delta_{\max} = \frac{9}{8} \Delta_1, \text{ при } U_{\max} = \frac{3}{4}.$$

При этом из соотношения (8) следует, что, для того чтобы удовлетворить требованию к зональной дисторсии, необходимо обеспечить

$$\Delta_1 = \Delta_{0,7} = \frac{1}{3} \delta; \quad \Delta_{\max} = \frac{3}{8} \delta.$$



Графики дисторсии и конструктивные параметры $f - \theta$ объектива.

Применение полученных соотношений иллюстрируются рисунком, на котором даны графики глобальной дисторсии объектива, а также приведены конструктивные параметры $f - \theta$ объектива, имеющего требуемую относительную зональную дисторсию не более 1%; кривая, рассчитанная по формуле (2), обозначена штриховой, а рассчитанная по реальным лучам, — сплошной линией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Урбах Дж.К., Фишли Т.Ш., Старкуэдеп Г.К. Лазерные сканеры для электронных печатающих устройств // ТИИЭР. 1982. Т. 70, № 6. С. 84 - 112.
2. Клевцов Ю.А. Методы расчета оптических систем для лазерных принтеров. Новосибирск: Ин-т автоматики и электрометрии, 1990.
3. $f - \theta$ lens for use in light beam scanning device / Patent 4. 789. 230 USA, 1988; Patent 4715699 USA, 1987.
4. Minami S., Minoura K., Yamamoto H. Optical scanner design leads to commercial laser printer success // Laser focus / electro-optics. 1987. Vol. 23, N 10. P. 98 - 106.
5. Родионов С.А., Шехонин А.А. Светораспределение по полю в фотообъективах // Изв. вузов СССР. Приборостроение. 1989. Т. 32, № 8. С. 61 - 66.