

І.М. Петрів

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ФОКУСУЮЧОЇ СИСТЕМИ ФОТОВІВІДНИХ ПРИСТРОЇВ

Однією з важливих складових частин фотовивідних пристроїв, від якої значною мірою залежить якість запису зображення на фотоматеріалі, є фокусуєча система. Вона складається з оптичних компонентів (однієї або декількох лінз). При проектуванні таких систем виникає питання визначення їх оптимальних геометричних параметрів і форми з метою усунення впливу абераційних спотворень.

Вибір параметрів оптичної системи для фокусування лазерного пучка визначається деякими суперечливими факторами. Так, при збільшенні відносного отвору оптичного компонента фокусна відстань зменшується, що зумовлює отримання на фотоматеріалі сфокусованої плямки зменшеного розміру, а отже, і вищу роздільну здатність фотовивідного пристрою. З другого боку, збільшення відносного отвору викликає зростання аберацій оптичної системи і розміру плямки. Корекція аберацій призводить до ускладнення оптичного компонента (збільшення кількості лінз), що супроводжується зростанням втрат енергії при проходженні через компонент. Крім того, збільшення відносного отвору супроводжується появою поперечних складових векторів поля та спотворенням стану поляризації у площині перерізу лазерного пучка, що викликає зміну щільності енергії у сфокусованій плямці на фотоматеріалі. Виходячи з цього, згідно з рекомендаціями, наведеними в роботі [1], відносний отвір

$$C = D / f' \leq 1/4, \quad (1)$$

де D – діаметр оптичного компонента з фокусною відстанню f .

Частково сферичну аберацію можна усунути відповідним підбором радіусів сферичних поверхонь R_0 оптичного компонента. Для цього оптимізуємо значення R_0 і S_H , де S_H – відстань від задньої головної точки до вершини поверхні переломлення оптичного компонента.

Розмір світлової плямки, з врахуванням аберації в площині, що відповідає безабераційному положенню перетяжки (мінімальне значення плямки $2r'_0$) згідно з [2], буде таким:

$$2r'_{a0} = 2r'_0 \sqrt{1 + (2\Delta d / R'_{ea})^2}, \quad (2)$$

де Δd – величина зміщення перетяжки, зумовлена аберацією оптичного компонента; R'_{ea} – еквівалентний конфокальний параметр, перетворений лінзою лазерного променя.

Величина зміщення перетяжки з врахуванням сферичної аберації

$$\Delta d = d' + R_0 + S'_{H'} - R'_a \cos \alpha' - \sqrt{R_0^2 - (R'_a \sin \alpha')^2}, \quad (3)$$

де $R'_a \approx f'$ – радіус кривизни хвильового фронту лазерного променя, зумовлений аберацією оптичного компонента;

$\alpha' = \arctg \frac{r'_a}{R'_a}$ – кут променя з оптичною віссю; $r'_a \approx h'$ –

розмір плямки і висота пересікання променя з останньою оптичною поверхнею [2].

Відстань від задньої головної площини оптичного компонента до перетяжки лазерного пучка визначається залежністю [1]

$$d' = f' - \frac{4(f')^2(f' + d)}{4(f' + d')^2 + R_e^2}, \quad (4)$$

де d – відстань від передньої головної площини оптичного компонента до перетяжки лазера; $R_e = 2\lambda / \pi \theta^2$ – еквівалентний конфокальний параметр лазера; λ – довжина хвилі; θ – кут розходження лазерного випромінювання.

Для того щоб сфокусована плямка була в площині перетяжки, потрібно, щоби зміщення перетяжки Δd , зумовлене сферичною аберацією оптичного компонента, дорівнювало нулю.

Тоді, згідно із залежністю (2), $2r'_{a0} = 2r'_0$, оскільки

$$d' + R_0 + S'_{H'} - R'_a \cos \alpha' - \sqrt{R_0^2 - (R'_a \sin \alpha')^2} = 0. \quad (5)$$

З цієї умови визначимо оптимальні значення оптичного компонента $S'_{H'}$ і R_0 .

$$R_0 = \frac{(D/2)^2 + (S'_{H'})^2}{2S'_{H'}}. \quad (6)$$

Підставивши (6) у рівняння (5), зробивши заміну $a = d' - R'_a \cos \alpha'$ і $b = R'_a \sin \alpha'$ та відповідні математичні перетворення, отримаємо

$$2(S'_{H'})^3 + 3a(S'_{H'})^2 + (a^2 + b^2 + (D/2)^2)S'_{H'} + a(D/2)^2 = 0. \quad (7)$$

Застосувавши метод Ньютона, з рівняння (7) знаходимо $S'_{H'}$ за формулою

$$S'_{H'(i)} = S'_{H'(i-1)} - \frac{f(S'_{H'(i-1)})}{f'(S'_{H'(i-1)})}, \quad (8)$$

де функція $f(S'_{H'(i-1)})$ становить

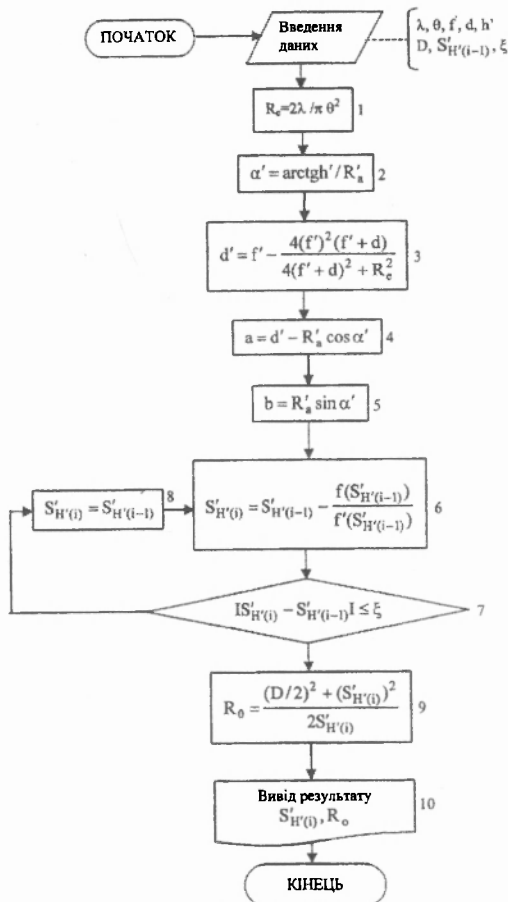
$$f(S'_{H'(i-1)}) = 2(S'_{H'(i-1)})^3 + 3a(S'_{H'(i-1)})^2 + (a^2 + b^2 + (D/2)^2)S'_{H'(i-1)} + a(D/2)^2,$$

а її похідна

$$f'(S'_{H'(i-1)}) = 6(S'_{H'(i-1)})^2 + 6aS'_{H'(i-1)} + a^2 + b^2 + (D/2)^2.$$

Для визначення оптимальних значень оптичного компонента $S'_{H'}$ і R_0 , що відповідає безабераційному положенню площини перетяжки лазерного пучка, на підставі залежностей (4), (6) і (8) розроблено блок-схему алгоритму (див. рисунок). У блоці 7 задається умова необхідної точності ξ розрахунку величини $S'_{H'}$.

Згідно із складеним алгоритмом розроблено програму розрахунку оптимальних параметрів оптичного компонента фотонних пристроїв на ЕОМ. Розрахунки показали, що при вихідних даних для He-Ne-лазера з $\lambda=0,6328 \text{ мкм}$ і $2\theta=2,108 \cdot 10^{-3} \text{ рад}$,



Блок-схема алгоритму визначення оптичних параметрів

$f' = 33,47$ мм, $d = 580$ мм, $h = 0,67$ мм, $\xi = 10^{-6}$ при $D = 9$ мм відстань від задньої головної точки до вершини поверхні переломлення та радіус кривизни поверхні оптичного компонента, відповідно, становлять 1,64 мм і 6,99 мм.

1. Климков Ю.М. Прикладная лазерная оптика. М., 1985. 2. Петрів І.М. Вплив сферичної аберації на фокусування лазерного пучка у фотонасвітлюючих автоматах // Квалілогія книги: Зб. наук. праць. Львів, 2000. С. 61–66.

Стаття надійшла до редакції 15.01.2002