

МЕТОД ЮСТИРОВКИ ЛАЗЕРНОГО ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОГО РАСШИРИТЕЛЯ В ИНФРАКРАСНОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА

© 2004 г. В. С. Нужин*, канд. техн. наук; А. В. Нужин**, канд. техн. наук; С. В. Солк*, канд. техн. наук

* НИИ комплексных испытаний оптико-электронных приборов и систем. г. Сосновый Бор. Ленинградская область

** Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики. Санкт-Петербург

Рассмотрена методика юстировки расширителей лазерного ИК излучения, не требующая применения сложного и дорогостоящего оборудования. Методика основана на использовании ИК коллиматора и позволяет юстировать расширители с малым относительным отверстием оптических компонентов.

Коды OCIS: 140.0140, 120.0120.

Поступила в редакцию 08.04.2003

Телескопические расширители лазерного пучка лучей находят применение в лазерных интерферометрах и в системах корректировки расходимости лазерного пучка, работающих как в видимой, так и в инфракрасной областях спектра [1, 2].

В настоящее время известны методы юстировки лазерных телескопических систем в видимой области спектра, сводящиеся к анализу ширины функции распределения освещенности в изображении тест-объекта. Для расширителей с малым относительным отверстием оптических компонентов из-за дифракционных ограничений расфокусировка приводит к незначительным изменениям параметров функции распределения. По этим изменениям не всегда представляется возможным оценить с необходимой точностью имеющуюся расфокусировку и устранить ее.

Предлагаемый в данной работе метод позволяет юстировать телескопические расширители с малым относительным отверстием оптических компонентов в инфракрасном диапазоне спектра, например на длине волны $\lambda = 10,6$ мкм, с погрешностью, не превышающей $(0,005-0,01)\lambda$. При этом для фокусировки не требуются уникальные ИК матричные приемники излучения или высокочувствительные приемники со сканирующими системами или ИК интерферометры.

Сущность метода заключается в том, что для оценки разъюстировки телескопического расширителя (рис. 1) используются узкие пучки лучей, которые сходятся в фокусе системы телескопический расширитель-эталонный объектив под предельно большим углом, определяемым относительным отверстием эталонного объектива. Лучи, пройдя эталонный объектив, собираются в его фокальной плоскости (рис. 1а), если они параллельны на выходе зеркального преобразователя, или вблизи фокальной плоскости (рис. 1б), если непараллельны. Величина

расфокусировки светового пучка Δy , обусловленная разъюстировкой телескопического расширителя, рассчитывается по измеренным расстояниям A и B между максимумами интенсивности в поперечных сечениях пучков лучей в плоскостях установки, расположенных на известном расстоянии L симметрич-

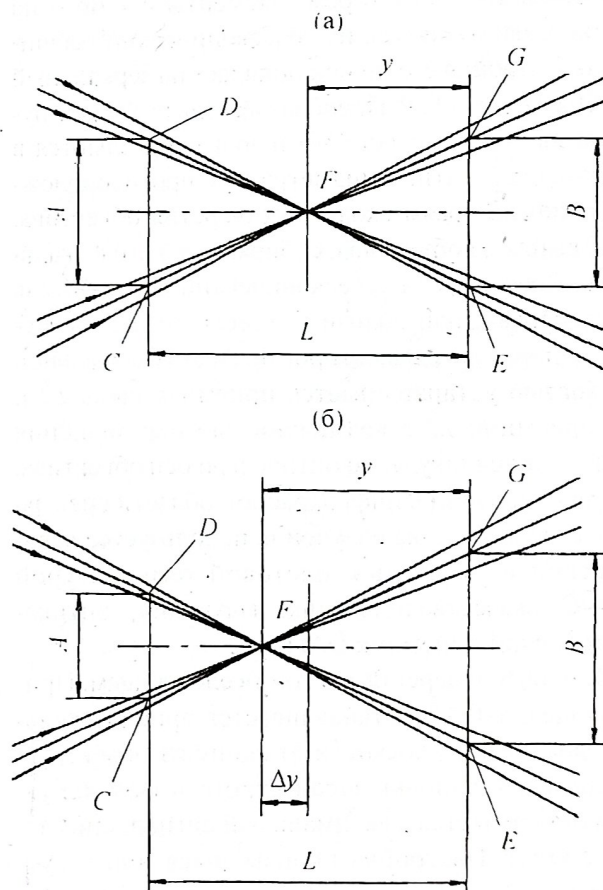


Рис. 1. Пучки лучей, используемые для фокусировки телескопического расширителя. а – телескопический расширитель сфокусирован; б – телескопический расширитель расфокусирован. C, D, E, G – положения максимумов интенсивности, F – фокальная плоскость эталонного объектива.

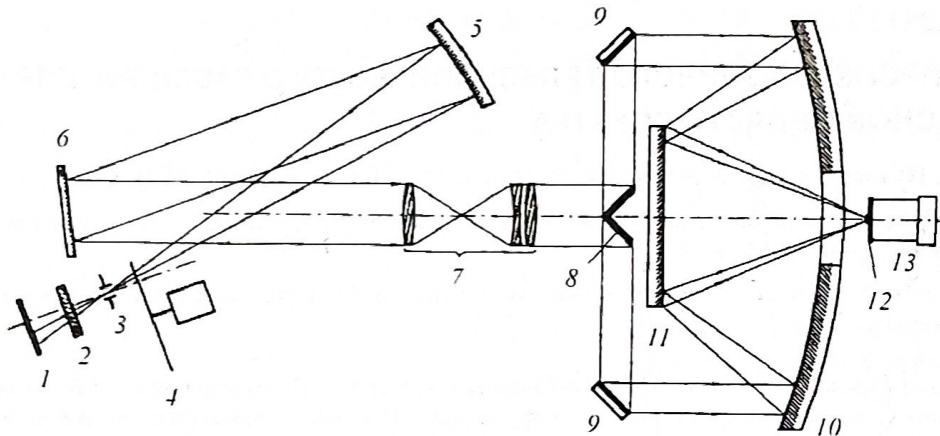


Рис. 2. Оптическая схема измерительного стенда. 1 – источник излучения, 2 – ИК светофильтр, 3 – щель переменной ширины, 4 – модулятор, 5 – зеркальный объектив коллиматора, 6 – плоское зеркало, 7 – телескопический расширитель; 8, 9 – наклонные зеркала зеркального расширителя; 10, 11 – эталонный объектив, 12 – приёмная щель, 13 – ОАП-7-1.

но относительно фокальной плоскости эталонного объектива.

На рис. 2 представлена принципиальная оптическая схема измерительного стенда. Пучок лучей, сформированный коллиматором (элементы с 1 по 6 на рисунке), направляется на телескопический расширитель 7. Пройдя его, пучок попадает на зеркальный преобразователь 8, 9. Преобразователь разделяет пучок на два узких пучка. Эти пучки направляются в эталонный объектив в диаметрально противоположные точки по краям входного отверстия объектива. Лучи, выйдя из объектива, собираются в его фокальной плоскости, если телескопический расширитель отъюстирован, или вблизи нее, если телескопический расширитель разъюстирован. Рядом с фокальной плоскостью устанавливается приемная щель 12 и фотоприемник 13 с возможностью перемещения вдоль и перпендикулярно оптической оси объектива.

Для измерений в инфракрасной области спектра в качестве источника излучения используется керамический излучатель с цветовой температурой 1230 °С, в качестве приемника излучения – оптико-акустический приемник ОАП-7-1.

Методика измерения состоит в следующем. Приемная щель с ОАП устанавливается приблизительно в фокальной плоскости эталонного объектива. Признаком установки щели строго в фокальную плоскость является максимальный сигнал, снимаемый с ОАП. Настройка производится при отсутствии испытуемого телескопического расширителя. Затем щель с ОАП смещается вдоль оптической оси объектива на расстояние $\pm L/2$. В каждом положении производится смещение щели с ОАП поперек оптической оси на расстояние от оптической оси, несколько большее, чем отрезки $\pm A/2$ и $\pm B/2$. При

плавном перемещении щели с ОАП поперек оптической оси в указанных пределах регистрируют сигналы с ОАП через каждые 0,01–0,05 мм перемещения и определяют два положения щели с ОАП, где сигналы имеют наибольшие значения. Таким образом определяют расстояния между максимумами – величины A и B (рис. 1).

По формуле

$$y' = \frac{LB}{A+B} \quad (1)$$

где A – расстояние между максимумами сигнала в плоскости изображения, смещенной относительно фокуса F на расстояние $-L/2$, B – то же в плоскости, смещенной на расстояние $+L/2$, из подобия треугольников CDF и EFG вычисляется отрезок y и сравнивается с отрезком $L/2$. Несовпадение величин y и $L/2$ компенсируется смещением щели с ОАП вдоль оптической оси на величину разности между y и $L/2$, измерения повторяются до полного равенства отрезков y и $L/2$ с погрешностью не более 0,02 мм.

Телескопический расширитель устанавливают на измерительный стенд таким образом, чтобы в него попадал параллельный пучок, выходящий из коллиматора.

После установки и юстировки положения испытуемого расширителя по отношению к оптической оси и по отношению к зеркальному преобразователю производят измерения, аналогичные измерениям без расширителя. Вычисляют отрезок Δy как разность между $L/2$ и y . Зная фокусное расстояние компонента расширителя f_1' , обращенного к зеркальному преобразователю, и фокусное расстояние эталонного объектива f_2' , определяют расстояние $\Delta y'$ между фокальными плоскостями компонентов расширителя по формуле

Численный пример

$$\Delta y' = \left(\frac{f'_1}{f'_3} \right)^2 \Delta y. \quad (2)$$

Сходимость (или расходимость) пучка лучей, выходящих из расширителя, когда на него падает параллельный пучок лучей от коллиматора, вычисляют по формуле Ньютона

$$S \Delta y' = (f'_T)^2, \quad (3)$$

где S – расстояние от переднего фокуса компонента расширителя до точки схождения лучей на оптической оси.

В нашем случае, пренебрегая величиной фокусного расстояния f'_T по сравнению с отрезком S , получим формулу

$$\alpha = \frac{D}{2(f'_T)^2} \Delta y', \quad (4)$$

где α – тангенс угла между крайним лучом, выходящим из расширителя, и его оптической осью, D – диаметр выходного зрачка расширителя (по принятому его положению по отношению к коллиматору).

Корректировка сходимости (расходимости) лучей, выходящих из расширителя, выполняется изменением расстояния между компонентами расширителя на величину $\Delta y'$. Если расстояние между компонентами расширителя больше суммы заднего и переднего фокальных отрезков компонентов на величину $\Delta y'$ (в этом случае выходящий из расширителя пучок лучей будет сходящимся), то расстояние между компонентами расширителя следует уменьшить на $\Delta y'$, в противном случае – увеличить на $\Delta y'$. Суммарная погрешность определения величины $\Delta y'$ не превышает 0,01–0,02 мм.

Исходные данные: фокусное расстояние эталонного объектива $f'_3 = 270$ мм, относительное отверстие эталонного объектива 1:1,5, фокусное расстояние компонента телескопического расширителя, обращенного к зеркальному преобразователю, $f'_1 = 162$ мм; относительное отверстие 1:7,4; расстояние $L = 4$ мм, измеренные расстояния $A = 1,44$ мм, $B = 1$ мм.

Отрезок, вычисленный по формуле (1), равен $y = 1,64$ мм, соответственно отрезок $\Delta y = 2 - 1,64 = 0,36$ мм. По формуле (2) отрезок $\Delta y' = (162/270)^2 \times 0,36 = 0,13$ мм, что соответствует расходящемуся пучку, выходящему из контролируемого расширителя. Угол расходимости определяется по формулам (3) и (4): $2\alpha = 22 \times 0,13 / (162)^2 = 1,08977 \times 10^{-4}$, что соответствует в угловой мере 21,8" или примерно 0,1 мрад. Для устранения этой расходимости необходимо расстояние между компонентами телескопического расширителя увеличить на 0,13 мм.

Предложенная методика может быть также использована при юстировке ИК объективов с переменным фокусным расстоянием для определения единой фокальной плоскости и для фокусировки на бесконечность линзовых ИК коллиматоров. Особенно это актуально при малых относительных отверстиях испытываемых систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Stahl H.P., Koliopoulos K.L. Design of an infrared interferometer // Proc. SPIE. 1983. V. 433. P. 142–147.
2. Stahl H.P., Ketelsen D. Aspheric figure generation using feedback from an infrared phase-shifting interferometer // Proc. SPIE. 1985. V. 571. P. 22–29.