

Применение средств коррекции геометрических параметров рабочего пучка лазерного излучения информационно-оптических сигналов

Я.С. Шевень¹, П.Е. Рослов¹, Н.Н. Давыдов¹

¹Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
600000, г. Владимир, ул. Горького, 87
E-mail: sheven@laser33.ru

Рассматривается применение средств коррекции геометрических параметров рабочего пучка лазерного излучения в информационно-оптических системах контроля деформации конструкций. Основное внимание уделено использованию светопоглощающего тонированного стеклянного диска с конусным сквозным центральным отверстием. Предложен вариант конструкции прибора, позволяющего осуществлять контроль микродеформаций поверхности конструкций.

Ключевые слова: лазерное излучение, пространственная фильтрация, контроль микродеформаций

Application of means for correcting the geometric parameters of the working beam of laser radiation of information-optical signals

Y.S. Sheven¹, P.E. Roslov¹, N.N. Davydov¹

¹ Vladimir State University.

The use of means for correcting the geometric parameters of the working laser beam in information-optical systems for structural deformation monitoring. The focus is on the use of a light-absorbing tinted glass disk with a conical through-hole. A device design that allows for monitoring microdeformations on the surface of structures is proposed.

Keywords: laser radiation, spatial filtering, microdeformation control

Введение

Лазерные информационно-оптические системы широко применяются для контроля состояния конструкций, регистрации микродеформаций и передачи измерительной информации. Одним из примеров таких систем является устройство контроля деформации поверхности конструкций, описанное в патенте [5].

Использование лазерного излучения в системах контроля

В подобных системах лазерное излучение используется в качестве носителя информационного сигнала, поэтому стабильность его параметров непосредственно влияет на точность измерений [4].

К основным характеристикам лазерного пучка относятся:

- диаметр пучка
- угловая расходимость
- пространственное распределение интенсивности.

Реальный лазерный пучок имеет гауссово распределение интенсивности [1]. Оно определяется выражением:

$$I(r) = I_0 e^{-\frac{2r^2}{w^2}}, \quad (1)$$

где I_0 – максимальная интенсивность в центре пучка;
 r - расстояние от оси пучка;
 w - радиус пучка;

Из этой зависимости следует, что основная энергия сосредоточена в центральной области пучка, тогда как периферийная часть имеет меньшую интенсивность [1]. Несмотря на низкую энергию, периферийные компоненты могут вызывать ряд нежелательных эффектов:

- паразитные отражения от элементов оптической системы
- засветку фотоприёмников
- увеличение уровня шумов.

Это приводит к ухудшению отношения сигнал-шум и увеличивает возможность ложных срабатываний датчика.

Для уменьшения влияния этих эффектов применяются апертурные элементы и пространственные фильтры, позволяющие ограничивать геометрию пучка и подавлять паразитные компоненты излучения [4].

В рассматриваемом устройстве используется специальный элемент — светопоглощающий тонированный стеклянный диск с конусным сквозным центральным отверстием, описанный в патенте [5]. Этот элемент выполняет несколько важных функций. Во-первых, он осуществляет апертурное ограничение пучка. Через центральное отверстие проходит только часть излучения, расположенная вблизи оптической оси. Периферийные лучи, отклонённые от оси, попадают на поглощающую поверхность стеклянного диска и не участвуют в формировании полезного сигнала. Во-вторых, данный элемент выполняет функцию пространственного фильтра. Если обозначить диаметр отверстия через d_3 , то пропускаемая мощность центральной части пучка определяется выражением:

$$P = P_0 \left(1 - e^{-\frac{2r_3^2}{w^2}} \right), \quad (2)$$

где P_0 – полная мощность лазерного излучения;

$$r_3 = \frac{d_3}{2}.$$

Тонированное стекло обладает поглощающими свойствами, благодаря чему часть спектральных составляющих лазерного излучения и периферийные лучи не проходят через отверстие и поглощаются материалом диафрагмы (рисунок 1) [5].

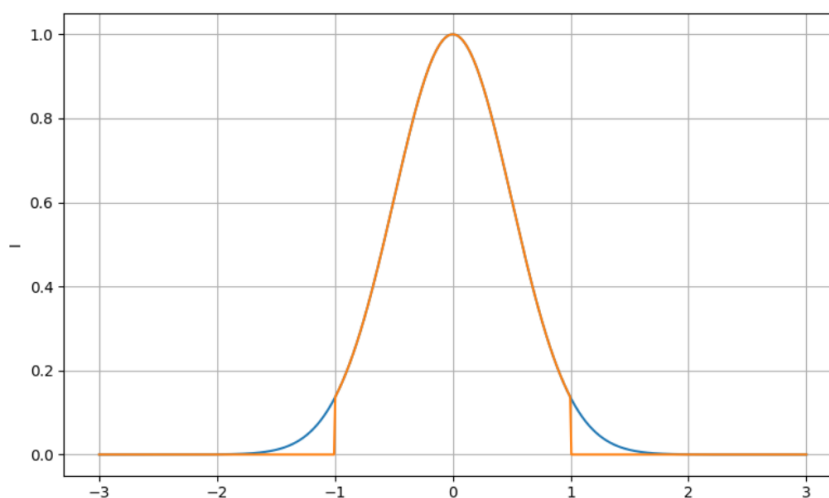


Рис. 1. Интенсивность лазерного излучения до (показано синим) и после (показано оранжевым) прохождения диафрагмы

Особый интерес представляет коническая форма отверстия.

В отличие от обычных цилиндрических диафрагм, конусная геометрия обладает рядом преимуществ.

Она уменьшает вероятность многократных отражений внутри отверстия. В цилиндрическом канале луч может многократно отражаться от стенок и частично возвращаться в оптический тракт.

В коническом отверстии лучи попадают на наклонные поверхности под таким углом, что большая часть излучения уходит в толщу поглощающего материала и рассеивается.

Также, конусная геометрия уменьшает дифракционные эффекты. Резкое ограничение пучка цилиндрической апертурой приводит к образованию дифракционных колец [1]. Угловая ширина дифракции в этом случае определяется выражением:

$$\theta = \frac{\lambda}{d}, \quad (3)$$

где λ – длина волны излучения;
 d – диаметр отверстия;

Коническая форма обеспечивает более плавное ограничение пучка, что снижает дифракционные искажения.

Кроме того, конусное отверстие работает как своеобразный оптический ловитель паразитных лучей. Лучевые компоненты, имеющие большую угловую расходимость, сталкиваются со стенками отверстия и поглощаются.

Таким образом достигается коррекция геометрии рабочего пучка.

Практическое применение средств коррекции

Данный элемент предлагается применять в устройстве контроля деформации поверхности конструкций. На схеме устройства конусная диафрагма представлена под позиционным обозначением 1.

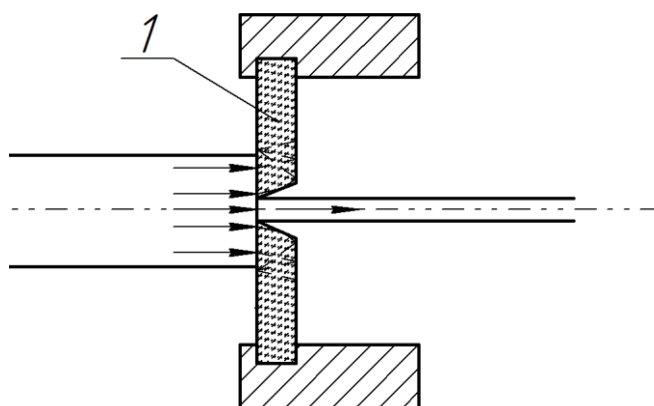


Рис. 2. Предлагаемая схема устройства

В результате применения такого элемента достигаются следующие эффекты:

- уменьшается расходимость пучка,
- стабилизируется его диаметр,
- подавляются паразитные лучи,
- уменьшается уровень оптического шума.

Поскольку периферийные шумовые компоненты поглощаются, отношение сигнал-шум увеличивается, что повышает точность регистрации деформаций [3].

Выводы

Таким образом, применение **светопоглощающего диска с конусным отверстием** позволяет эффективно корректировать пространственную структуру лазерного излучения и повышает надежность информационно-оптических систем контроля.

Также, необходимо отметить, что данный элемент одновременно выполняет функции:

- апертурного ограничения,
- пространственной фильтрации,
- подавления паразитных оптических сигналов.

Благодаря этому повышается точность и устойчивость работы системы контроля деформаций поверхности конструкций.

Литература

1. Борн М., Вольф Э. Основы оптики – М.: Наука, 1973. 720 с.
2. Ландсберг Г. С. Физическая оптика – М.: Наука, 1976. 928 с.
3. Батраков А.С., Бутусов М.М., Гречка Г.П. и др. Лазерные измерительные системы – М.: Радио и связь, 1981. 456 с.
4. Гудман Дж. Введение в Фурье оптику – М.: Мир, 1988. 560 с.
5. Патент № 238196 Российская Федерация, МПК G02В 6/42. Устройство контроля деформации поверхности конструкций: № 2025119034: заявл: 10.07.2025: опубл. 21.10.2025 / Давыдов, Н. Н., Люхтер А.Б., Рослов П.Е., Марков Н.А., Шевень Я.С.; патентообладатель ВлГУ. – 15 с.