

6. Артюхина Н.К., Константинов Д.В. Зеркальный объектив с четырьмя отражениями. // Патент РФ на изобретение № 4111, 2001.
7. Артюхина Н.К., Богатко А.В., Толстик Н.А. «Зеркальный объектив» //Патент РФ на изобретение № 9022, 2006.
8. Артюхина Н.К. Система из двух сферических зеркал с двойным отражением. //Оптический журнал. – 2005, т.72, №10. С.57 -59.
9. Чуриловский В.Н. Теория хроматизма и аберраций третьего порядка. Л.: Наука, 1968–312с.
10. Артюхина Н.К. Расчет деформаций несферических поверхностей в четырехзеркальных системах. //Доклады НАН РФ. - 2006, т.50, №3. С.102-105.
11. Артюхина Н.К., Шкадаревич А.П. Коррегированные зеркальные системы с двойным отражением.//Журнал прикладной спектроскопии. - 2007, т.74, №2. С. 267 – 270.

Артюхина Н.К. Компактні системи з чотирма відбиттями від дзеркал. Розглянуто компактні дзеркальні системи з чотирма відбиттями. Наведені варіанти об'єктивів, у яких виправлені основні аберрації. Такі системи можуть використовуватися в астрономічних, фотометричних та оптичних приладах, які працюють в інфрачервоному та ультрафіолетовому діапазоні довжин хвиль.	Artioukhina N.K. The compact systems with four mirror reflections. It is examined the compact mirror systems with four reflections. Some variants of calculation in which there are no main aberrations are considered. Such objectives are useful for space astronomy, photometry and optical devices using UV and IR spectral range in research.
--	--

*Надійшла до редакції
15 вересня 2007 року*

УДК 535.24 : 628.9

ШИРОКОДИАПАЗОННЫЙ ОСЛАБИТЕЛЬ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Михеенко Л.А., Шишкин В.А., Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина.

Предложена схема ослабителя на базе интегрирующих сфер для калибровки и испытания широкодиапазонного фотометрического оборудования. Разработаны инженерная методика и рекомендации по выбору основных элементов конструкции.

Введение

Ослабители оптического излучения находят широкое применение в измерительной фотометрии, оптической метрологии, научных исследованиях [1]. Основными требованиями, предъявляемыми к ослабителям являются максимально большой диапазон коэффициента ослабления τ_0 , высокая точность его определения расчетным путем, низкая неравномерность изменения τ_0 по апертуре, малая спектральная селективность, приемлемые для измерительной аппаратуры габариты [1,2]. Одновременное выполнение перечисленных требований является сложной научно-технической задачей. В частности до настоящего времени не удалось получить диапазон изменения τ_0 более чем 10^5 при неравномерности пропускания по апертуре менее 1% и неизменной спектральной характеристике. Нерешенной является также задача увеличения апертуры ослабителя более 40 ... 60 мм для широкодиапазонных устройств. Значительными являются также и габариты ослабителя, особенно для величин τ_0 более 10^{-5} .

В настоящей работе рассматривается новый тип ослабителя на базе оптически сопряженных интегрирующих сфер [3], метрологические характеристики которого существенно превышают метрологические характеристики известных систем. В частности диапазон изменения τ_0 превышает 10^5 практически при любой требуемой апертуре и неравномерности распределения коэффициента ослабления менее 0.5%. При этом габариты ослабителя остаются, приемлемы для лабораторного применения в прецизионной фотометрической апертуре.

Математическая модель

Принципиальная схема ослабителя приведена на рис.1. Он состоит из двух интегрирующих сфер, сопряженных через калибровочную диафрагму переменного сечения расположенную так, что прямые лучи из выходной апертуры в нее не попадают. В свою очередь прямой поток, выходящий из калибровочной диафрагмы не попадает в выходную апертуру системы.

Получим выражение для коэффициента ослабления τ_0 , воспользовавшись известной теорией фотометрического шара [4,5].

Пусть на входной апертуре первой интегрирующей сферы имеется освещенность $E_{\text{вх}}$.

Тогда в сферу входит поток $\Phi_{\text{вх}}$:

$$\Phi_{\text{вх}} = E_{\text{вх}} \cdot A_{\text{вх}} \quad (1)$$

где $A_{\text{вх}}$ - площадь входной апертуры;

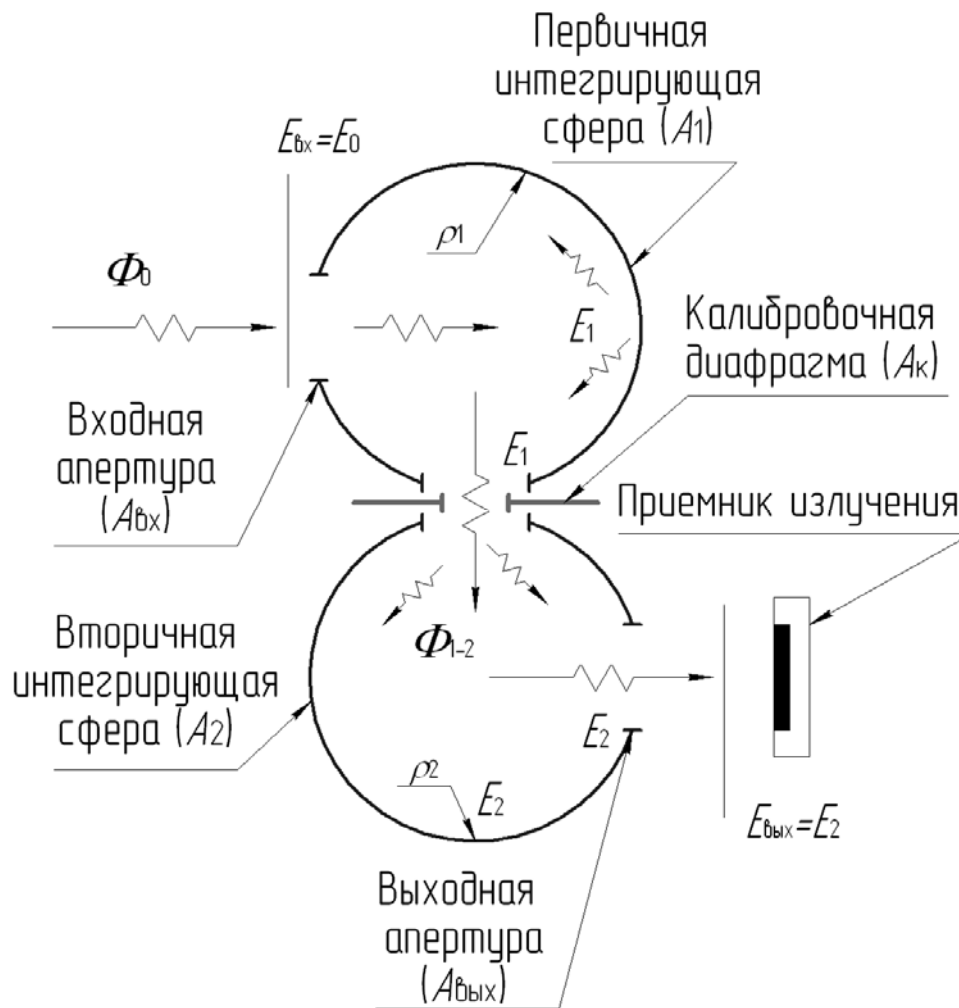


Рис. 1. Математическая модель ослабителя

Попадая на внутреннюю рассеивающую поверхность сферы поток рассеивается, многократно отражается от стенок сферы и создает результирующую освещенность E_1 :

$$E_1 = \frac{E_{\text{вх}} \cdot A_{\text{вх}}}{A_1 \cdot \left[1 - \rho_1 \frac{A_1 - (A_{\text{вх}} + A_k)}{A_1} \right]} \quad (2)$$

где A_1 - площадь внутренней поверхности первой сферы;

ρ_1 - коэффициент отражения первой сферы;

A_k - площадь калибровочной диафрагмы;

Поток Φ_{1-2} , проходящий через калибровочную диафрагму равен:

$$\Phi_{1-2} = E_1 \cdot A_k \quad (3)$$

Этот поток, после многократных отражений от стенок второй сферы создает на выходной апертуре освещенность E_2 , которая определяется из выражения:

$$E_2 = \frac{\Phi_{1-2}}{A_2} = \frac{E_1 \cdot A_k}{A_2 \cdot \left[1 - \rho_2 \frac{A_2 - (A_{\text{вых}} + A_k)}{A_2} \right]} =$$

$$= \frac{E_{\text{вх}} \cdot A_{\text{вх}} \cdot A_{\text{к}}}{A_1 \cdot \left[1 - \rho_1 \frac{A_1 - (A_{\text{вх}} + A_{\text{к}})}{A_1} \right] \cdot A_2 \cdot \left[1 - \rho_2 \frac{A_2 - (A_{\text{вых}} + A_{\text{к}})}{A_2} \right]} \quad (4)$$

где A_2 - площадь внутренней поверхности второй сферы;
 ρ_2 - коэффициент отражения второй сферы;
 $A_{\text{вых}}$ - площадь выходной апертуры;

Освещенность поверхности второй сферы E_2 одновременно является освещенностью выходной апертуры $E_{\text{вых}}$. Именно такая освещенность будет сформирована на чувствительной площадке приемника излучения, установленного на выходе ослабителя.

Тогда коэффициент ослабления τ_0 может быть определен с использованием (1) и (4):

$$\tau_0 = \frac{A_{\text{вх}} \cdot A_{\text{к}}}{A_1 \cdot \left[1 - \rho_1 \frac{A_1 - (A_{\text{вх}} + A_{\text{к}})}{A_1} \right] \cdot A_2 \cdot \left[1 - \rho_2 \frac{A_2 - (A_{\text{вых}} + A_{\text{к}})}{A_2} \right]} \quad (5)$$

Очевидно, что, изменяя величину отверстия калибровочной диафрагмы ($A_{\text{к}}$) можно изменять и коэффициент ослабления всего устройства. При этом, учитывая что калибровочная диафрагма может быть изготовлена с очень высокой точностью, а ее площадь может изменяться в очень широких пределах, в таких же пределах и с той же точностью будет изменяться и τ_0 .

Отметим еще одно важное обстоятельство – благодаря высоким интегрирующим свойствам рассеивающей сферы и с учетом того, что калибровочная диафрагма является практически вторичным Ламбертовым излучателем, распределение освещенности на выходной апертуре отличается очень высокой однородностью [5,6].

Конструкция ослабителя

Спектральная селективность ослабителя определяются, прежде всего, спектральными характеристиками покрытий интегрирующих сфер. На рис.2 показаны зависимости $\rho(\lambda)$ основных типов отражающих покрытий применяемых для фотометрических шаров [5].

Наибольший интерес представляет новый материал – политетрафторэтилен, имеющий коэффициент диффузного отражения 0.99 в диапазоне 0.4 ... 1.5 мкм и 0.95 в диапазоне 0.25 ... 2.5 мкм [7] при очень высокой временной стабильности, что обеспечивает практически полную неселективность ослабителя. К сожалению, в Украине этот материал практически не используется. Селективность других покрытий, как видно из рис.2 значительно выше. Спектральную характеристику ослабителя можно получить, подставив в (5) приведенные значения $\rho(\lambda)$.

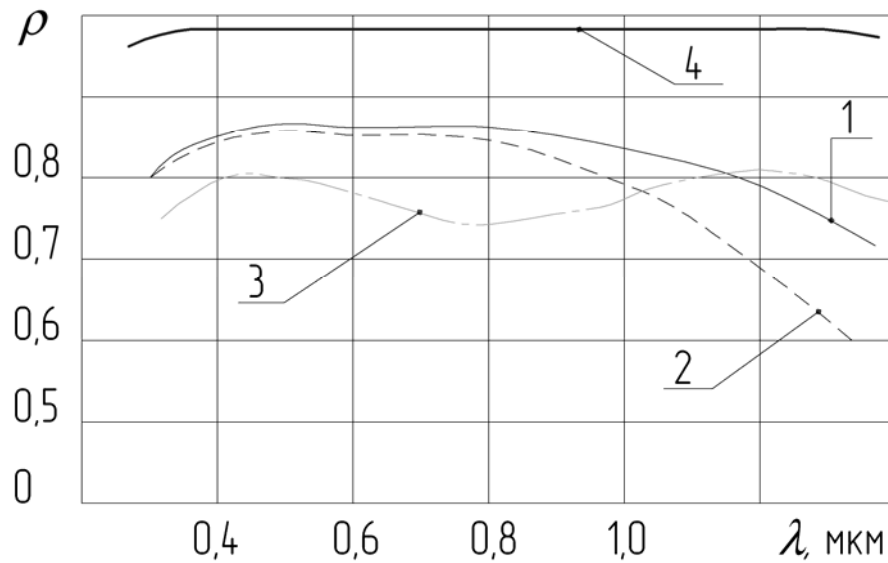


Рис. 2. Относительные спектральные характеристики покрытий:

- | | |
|----------------------|------------------------|
| 1- BaSO ₄ | 2- MgO |
| 3- Al | 4- политетрафторэтилен |

Величина входной и выходной апертур определяется, в основном, радиусом используемых сфер. Точного соотношения между их размерами нет, однако большинство исследователей [5] считает, что лучшие метрологические характеристики интегрирующей сферы обеспечиваются в том случае, если радиус апертуры составляет 1/5 радиуса сферы.

Конструкция калибровочной диафрагмы имеет наибольшее значение, для точности ослабителя. Ирисовые или прямоугольные измерительные диафрагмы более компактны, но обеспечивают погрешность установки τ_0 в пределах 3 ... 5 %. Существенно более высокую точность (погрешность менее 0.1 %) обеспечивают сменные диафрагмы постоянного сечения (например выполненных на стальной ленте, протягиваемой между интегрирующими сферами), однако габариты такой системы больше.

Численный анализ ослабителя

Для численного анализа воспользуемся упрощениями, обоснованными выше:

$$A_1 = A_2 = A \qquad A_{\text{ex}} = A_{\text{вых}} = \frac{1}{25} \cdot A$$

$$\rho_1 = \rho_2 = \rho \qquad 0 \leq A_{\text{к}} \leq A_{\text{ex}}$$

Тогда для приближенного вычисления τ_0 выражение (6) упрощается:

$$\tau_{0\text{max}} = \frac{1}{625(1 - 0.92\rho^2)^2} \tag{6}$$

для $\rho = 0.9$, $\tau_{0\text{max}} = 5.4 \cdot 10^{-2}$

В зависимости от технологии изготовления малых калибровочных диафрагм $\tau_{\text{омах}}$ может составлять $10^{-8} \dots 10^{-10}$, т.е. диапазон изменения коэффициента ослабления составляет $10^6 \dots 10^8$. При этом неравномерность распределения освещенности в выходной апертуре, как показано в (5) не превышает 0.5 %.

Выводы

Предложен новый тип оптического ослабителя, обеспечивающего при высокой равномерности освещенности выходной апертуры и малых габаритах изменение коэффициента ослабления в пределах $10^5 \dots 10^8$ раз, что значительно лучше по сравнению с известными системами.

Разработаны инженерная методика его расчета и рекомендации по выбору основных элементов обеспечивающих заданные параметры.

Ослабитель дает возможность расширения пределов световых измерений в частности поможет осуществить работы по измерению чувствительности и динамического диапазона матричных фотоприемных устройств с особо высокой точностью.

Литература

1. Воропай Е.С., Торпачев П.А. Техника фотометрии высокого амплитудного разрешения. Минск: Университетское, 1988. - 208 с.
2. Воронков Г.Л. Ослабители оптического излучения.- Л.:Машиностроение, 1980.- 158 с.
3. Патент 78609 України. Дифузний випромінювач./ Л.А. Міхеєнко, В.Г. Колобродов, В.І. Микитенко та ін. - 2007. - Бюл. №4.
4. Гуревич М.М. Фотометрия.- Л.:Энергоатомиздат, 1983. - 268 с.
5. Колобродов В.Г., Микитенко В.І., Міхеєнко Л.А. та ін. Теорія дифузного випромінювача на основі інтегруючої сфери.// Наукові вісті НТУУ “КПІ” – 2005. - №4. – с.106 – 114.
6. Міхеєнко Л.А., Боровицкий В.Н., Гордиенко Ю.А. Экспериментальное исследование диффузного излучателя на основе интегрирующей сферы.// Вісник НТУУ “КПІ”. Серія “Приладобудування” – 2007. – Вип.34. – с.60-62.
7. Weidner V.R., Hsia J.J. Reflection properties of pressed polytetrafluoroethylene powder.//J.Opt.Soc.Amer. – 1981.- 71 – p.856 - 861.

Міхеєнко Л.А., Шишкін В.А. **Широкодіапазонний ослаблювач оптичного випромінювання.**

Запропоновано схему ослаблювача на базі інтегруючих сфер для калібрування та випробувань широкодіапазонного фотометричного обладнання. Розроблено інженерну методику та рекомендації щодо вибору основних елементів конструкції.

Micheenko L.A., Shishkin V.A. **Broad-band attenuator of optical radiation.**

The scheme of attenuator is presented on the base of the integrating spheres for calibration and testing of the broad-band photometric equipment. An Engineering methodic and recommendations on choosing of the basical elements of constructions were developed.

Надійшла до редакції
15 квітня 2008 року