

ОТРАЖАТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЛИКУЮЩИХ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

© 2014 г. В. А. Головков, канд. техн. наук; В. В. Пронин

Научно-исследовательский институт оптико-электронного приборостроения, г. Сосновый Бор, Ленинградская обл.

E-mail: golovkov_ggg@mail.ru

Исследованы отражательные характеристики некоторых оптических элементов и прицелов в диапазоне длин волн 0,3–20 мкм. Показано, что коэффициент отражения увеличивается в ультрафиолетовой области и зависит от конструкции прибора, поэтому для обнаружения оптических приборов в качестве перспективного диапазона предложена ультрафиолетовая область спектра, работа в которой позволяет достичь высокого контраста изображения объекта на фоне природных образований. Приведены результаты натуральных экспериментов с использованием лазерной подсветки оптических прицелов.

Ключевые слова: спектральный коэффициент зеркального отражения, коэффициент яркости, спектрометр, приставка зеркального отражения, лазер, оптический прицел, контрастность.

Коды OCIS: 120.1880

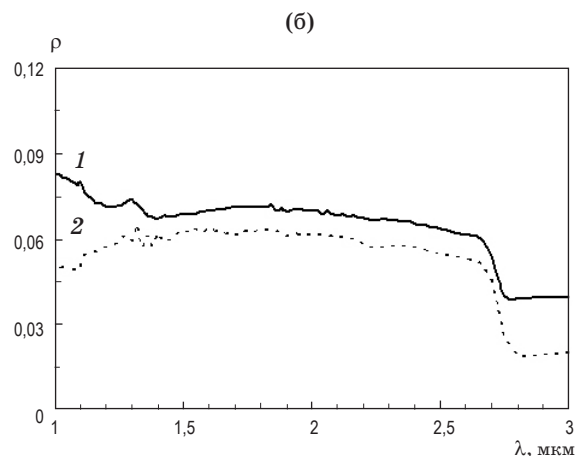
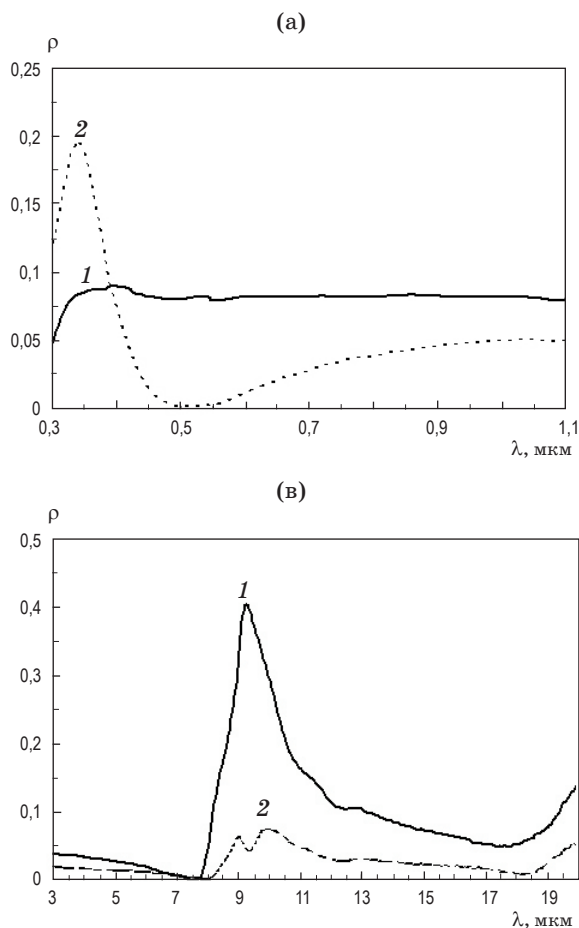
Поступила в редакцию 10.09.2013

В настоящее время обнаружение оптических приборов проводится в том числе и с использованием малогабаритных лазерных локационных систем дистанционной разведки оптических и оптико-электронных средств (ОЭС) [1]. Технологии обнаружения основаны на эффекте “глаза кошки”, т.е. отражении света от сетчатки глаза или других отражающих и светорассеивающих поверхностей, таких как фотоприемная матрица ПЗС, фотокатод электронно-оптического преобразователя, прицельная сетка и др. Однако если прицел просветлен на определенную длину волны оптического диапазона, а за прицелом отсутствует светоотражающая поверхность, то обнаружение такого оптического прибора затрудняется, так как автоколлимационный ход лучей в обнаруживаемом оптическом приборе нарушается. В работе [2] рассмотрена возможность использования излучения ультрафиолетового (УФ) диапазона для обнаружения бликующих оптических элементов. В настоящей работе приведены результаты исследования спектрального коэффициента зеркального отражения $\rho(\lambda)$ (далее – коэффициент отражения ρ) некоторых оптических элементов в диапазоне длин волн от атмосферного ультрафиолета до инфракрасной (ИК) области. Показано, что значения ρ имеют повышения в УФ области, которые будут зависеть от кон-

струкции прибора, а также приведены результаты экспериментальных исследований оптических прицелов при подсветке их УФ лазером.

Лабораторная часть измерений коэффициента отражения проводилась при использовании спектрофотометра СФ-56 и спектрометра ФСМ-1201. Оба прибора оснащены приставками зеркального отражения, при работе с которыми необходимы образцы сравнения, коэффициент отражения которых известен. В работе [3] приводятся подробные описания используемого оборудования, методика измерений и применяемые расчетные формулы.

На рис. 1 представлены графики спектральной зависимости коэффициента отражения двух образцов в диапазоне 0,3–20 мкм. Образец 1 – плоская пластина, изготовленная из оптического стекла К8. Толщина образца 5 мм, показатель преломления $n = 1,52$. Такого рода пластины используются как защитные окна в оптических приборах. Образец 2 – это плоский образец, изготовленный из тяжелого крона ТК16. Его диаметр 20 мм, $n = 1,61$, просветление выполнено в области длины волны $\lambda = 0,53$ мкм. Такое стекло используется для изготовления линз объективов оптических приборов. Измерения проводились при угле падения излучения на образец, равном 10° .



(в)

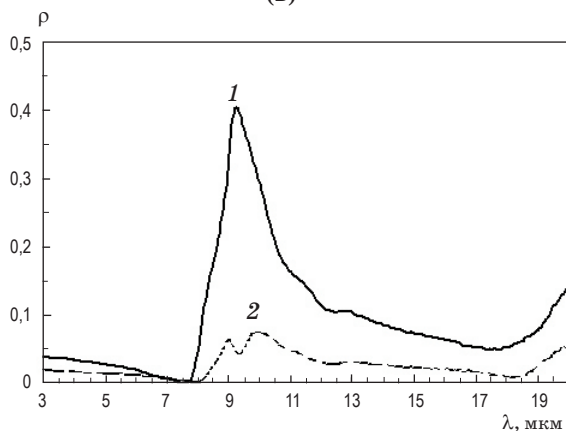


Рис. 1. Спектральный коэффициент зеркального отражения образца из К8 (1) и образца из ТК16 (2) в диапазонах длин волн 0,3–1,1 (а), 1–3 (б), 3–20 мкм (в).

Как видно из рис. 1, наибольшее отличие в спектрах наблюдается в УФ диапазоне 0,3–0,4 мкм и ИК диапазоне 8–12 мкм. Причем в УФ области больший коэффициент отражения имеет плоский образец из стекла ТК16, а в ИК – наоборот, ρ образца из ТК16 в несколько раз меньше коэффициента отражения образца из К8. В УФ области на $\lambda = 0,35$ мкм коэффициент отражения образца из ТК16 повышается почти до 0,2 (рис. 1а).

В рамках работы была проведена качественная оценка влияния взаимного расположения оптических элементов конструкции объектива на коэффициент отражения. Для этого были выполнены измерения при следующем расположении элементов: сначала была получена зависимость коэффициента отражения от длины волны падающего на плоский образец К8 света. Затем на этот образец была установлена выпуклой поверхностью вниз линза, изготовленная из стекла ТК16, и получена еще одна зависимость. Линза имеет фокусное расстояние 60 мм, остальные ее параметры такие же, как у образца из стекла ТК16. Такого рода лин-

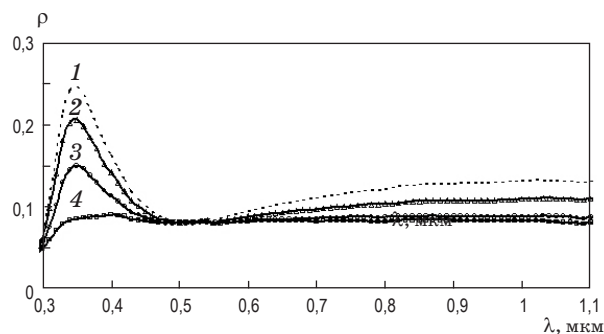


Рис. 2. Влияние взаимного расположения элементов конструкции на коэффициент отражения, где образец из стекла К8 в контакте с выпуклой поверхностью линзы из стекла ТК16 (1), линза отнесена от образца на расстояние 5 мм (2), линза отнесена от образца на 10 мм (3), плоский образец К8 (4).

зы часто используются в объективах различных оптических приборов. Далее линза и плоский образец были разнесены на определенные расстояния. В первом случае расстояние между ними составило 5, во втором случае – 10 мм. На рис. 2 представлены полученные графики зависимости влияния взаимного расположения

оптических элементов конструкции объектива на коэффициент отражения.

Из графиков видно, что чем ближе расположены элементы друг относительно друга, тем больше увеличивается коэффициент отражения, что особенно четко проявляется в УФ области. В ИК диапазоне 1–3 мкм подобная тенденция сохраняется, но отличия в значениях ρ не так существенны, как в УФ области. В диапазоне 3–20 мкм влияния взаимного расположения элементов конструкции на ρ не наблюдается.

Таким образом, коэффициент отражения оптических элементов конструкции объективов имеет тенденцию к увеличению в УФ области спектра, что хорошо видно на примере образца из тяжелого крона ТК16. Наличие в конструкции объектива нескольких оптических элементов, расположенных один за другим, увеличивает коэффициент отражения в УФ области.

При натуральных измерениях проводились эксперименты по исследованию отражательных характеристик оптических прицелов с использованием УФ лазера ЛГИ-21 и приемного устройства на основе фотоэлектронного умножителя ФЭУ-142. При подсветке ОЭС лазером и автоколлимационном ходе лучей преобладает зеркальное отражение. Для сравнительной оценки отражательной способности различных ОЭС используется показатель световозвращения, а для оценки конкретного ОЭС используется эффективная отражающая площадь (ЭОП). При нарушении автоколлимационного хода лучей, что происходит при подсветке оптических прицелов в УФ диапазоне, когда отражение происходит только от нескольких сферических поверхностей линз, образующих входную апертуру прицела, целесообразно оценивать и коэффициент яркости по формуле, которая приводится в работе [4]

$$\beta = \rho_{st}(\Phi/\Phi_{st}), \quad (1)$$

где ρ_{st} – коэффициент отражения эталонной рассеивающей поверхности, Φ – отраженный поток излучения от элемента поверхности прицела, Φ_{st} – поток, отраженный от эталонной рассеивающей поверхности. Эти оценки проходят при нормальной подсветке входной апертуры ОЭС и эталонной поверхности. Оценка коэффициента яркости оптического прицела необходима для его сравнения с коэффициентом яркости фоновых природных образований, что позволит сделать вывод о контрасте ОЭС при их обнаружении. Если тело вписывается

в диаграмму излучения источника, эффективная отражающая площадь (S_ρ) объекта, согласно результатам работы [4], определяется как

$$S_\rho = \int_s \beta \cos\theta_1 \cos\theta_2 ds, \quad (2)$$

где θ_1 и θ_2 – углы между нормалью к элементу ds и направлениями, соответственно, на источник и на приемник, s – площадь входной апертуры ОЭС, β – коэффициент яркости. При оценке ЭОП объекта в моностатической схеме можно считать $S_\rho = \beta s$.

В ходе проведения эксперимента оптические прицелы ИФ-300ПО и ТО-60 устанавливались на треноге. На той же треноге устанавливался эталон из молочного стекла МС20 размером 48×48 мм, рассеивающий падающее на него излучение изотропно с коэффициентом отражения $\rho_{st} = 0,7$ в диапазоне длин волн $300 \leq \lambda \leq 900$ нм. Кроме этого на треноге устанавливался щит из листы березы нормально к падающему излучению. Прицелы, эталон и листва подсвечивались лазером типа ЛГИ-21 со следующими параметрами: средняя мощность 3 мВт, длина волны излучения 337 нм, угол расходимости 1 мрад, диаметр пучка излучения 3 мм, длительность импульса 8–10 нс, частота следования импульсов 100 Гц.

Отраженное излучение регистрировалось приемным устройством, построенным на базе фотоэлектронного умножителя ФЭУ-142, установленным в зеркальный телескоп ИФ-400 с объективом, имеющим следующие параметры: диаметр входного зрачка 200 мм, фокусное расстояние 565,7 мм, плоский угол зрения с ФЭУ-142 – 1,4°.

Расстояние от прицела до излучателя и приемного объектива составляло 38 м, расстояние между приемным устройством и лазером – 0,2 м. Коэффициент яркости рассчитывался как

$$\beta = (U/U_{st})\rho_{st}, \quad (3)$$

где U – значение принимаемого сигнала от прицелов или листвы, U_{st} – значение сигнала от эталона из молочного стекла МС20. После обработки экспериментальных данных получены следующие результаты:

– ЭОП оптического прицела ИФ-300ПО на длине волны $\lambda = 337$ нм составила $9,8 \times 10^{-3}$ м² при коэффициенте яркости $\beta = 6,2$,

– ЭОП оптического прицела ТО-60 на $\lambda = 337$ нм составила $5,8 \times 10^{-3}$ м² при $\beta = 5,1$,

– коэффициент яркости листвы на $\lambda = 337$ нм составил 0,06.

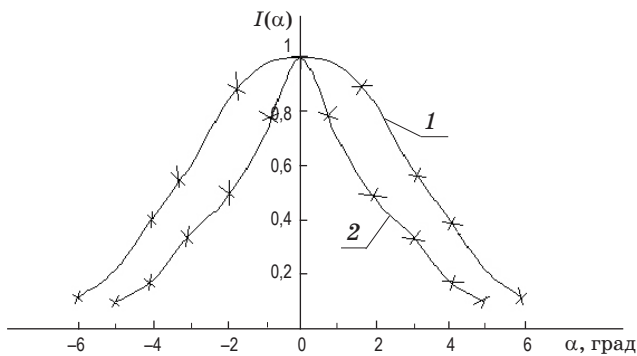


Рис. 3. Диаграммы обратного рассеяния прицелов ИФ-300ПО (1) и ТО-60 (2). Крестами обозначены экспериментально полученные точки, сами кривые – результат сплайн-интерполяции.

Как видно из полученных результатов, коэффициенты яркости оптических прицелов много выше коэффициента яркости листвы, соответственно, можно ожидать высокий контраст изображения оптических прицелов на фоне природных образований в УФ диапазоне оптического излучения. Из результатов исследования видно, что коэффициент яркости листвы березы практически совпадает с ранее полученными данными, представленными в литературе [5], что подтверждает корректность проведенных измерений.

На рис. 3 приведены диаграммы обратного рассеяния (ДОР) прицелов $I(\alpha)$, которые рассчитывались по формуле

$$I(\alpha) = U(\alpha)/U, \quad (4)$$

где $U(\alpha)$ – значение принимаемого сигнала при различных углах α между нормалью

* * * * *

к входному окну прицела и направлением на источник, U – значение сигнала при направлении подсветки нормально к входному окну прицела. Как видно из рис. 3, наибольшее значение ДОР прицелов наблюдается при совпадении оптических осей ОЭС и источника подсветки. Это можно объяснить тем, что первый оптический элемент в прицеле плоский, поэтому интенсивность отраженного излучения будет максимальна в направлении его зеркальной составляющей. В результате дополнительных исследований установлено, что оптические приборы, первым оптическим элементом которых является сферическая поверхность (например – бинокль), имеют более широкую ДОР, однако при этом их ЭОП и коэффициенты яркости принимают меньшие значения.

Проведенные эксперименты показали, что оптические элементы приборов в УФ диапазоне имеют высокие коэффициенты отражения и яркости, а значит, и большую ЭОП. Эти величины зависят как от самих материалов, так и от конструкции прибора. Большая ЭОП обеспечивает высокий контраст изображения оптических элементов в УФ диапазоне при их обнаружении на фоне природных образований. Поэтому УФ диапазон может рассматриваться как перспективный с точки зрения обнаружения оптических элементов. Ширина диаграммы обратного рассеяния оптических прицелов составляет единицы градусов и зависит от конструкции прицелов, особенно от вида их входной апертуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков В.Г. Приборы ночного видения для обнаружения бликующих оптических элементов // Специальная техника. 2004. № 2. С. 2–9.
2. Головков В.А., Солк С.В., Щербакова Н.И. Возможность использования излучения ультрафиолетового диапазона для обнаружения бликующих оптических элементов // Оптический журнал. 2012. Т. 79. № 1. С. 38–41.
3. Пронин В.В., Сидоровский Н.В., Старченко А.Н. Комплекс для измерения спектральных характеристик материалов и покрытий в ультрафиолетовом, видимом и инфракрасном диапазонах // Тр. XIV Всерос. НПК РАН «Актуальные проблемы защиты и безопасности». Т. 3, Бронетанковая техника и вооружение. СПб.: НПО «Специальных материалов», 2011. С. 141–146.
4. Непогодин И.А. Основные виды отражательных характеристик тел в направлении приема и методы их измерения в оптике / В сб. Импульсная фотометрия. Л., 1981. В. 7. С. 124–131.
5. Кринов Е.Л. Спектральная отражательная способность природных образований. М.: Академия наук СССР, 1947. 172 с.