

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ БЛИКУЮЩИХ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

© 2012 г. В. А. Головков, канд. техн. наук; С. В. Солк, канд. техн. наук;
Н. И. Щербакова, канд. физ.- мат. наук

Научно-исследовательский институт комплексных испытаний оптико-электронных приборов и систем, г. Сосновый Бор, Ленинградская обл.

E-mail: solk@sbor.net

Показано, что оптические элементы в ультрафиолетовом диапазоне спектра имеют повышенный коэффициент яркости. При этом объекты, на фоне которых проводится обнаружение, поглощают ультрафиолетовое излучение. Это позволяет считать, что ультрафиолетовый диапазон является перспективным с точки зрения обнаружения оптических приборов ввиду повышения контраста.

Ключевые слова: оптические материалы, обнаружение, оптические приборы, коэффициент отражения, коэффициент яркости.

Коды OCIS: 120.1880, 0407190

Поступила в редакцию 04.01.2011

До настоящего времени использование излучения ультрафиолетового (УФ) диапазона для создания систем обнаружения бликующих оптических элементов (ОЭ) на местности было ограничено отсутствием лазерных источников подсветки. Поэтому в настоящее время для обнаружения ОЭ используются инфракрасный (ИК) или видимый диапазоны излучения. Например, малогабаритные лазерные локационные системы дистанционной разведки оптических и оптико-электронных средств “Антиснайпер” и “Антисвид” работают в ближней ИК области спектра (длина волны излучения лазера $\lambda = 0,8$ мкм). Обнаружитель фирмы SET-1 работает в видимом диапазоне ($\lambda = 0,6$ мкм) [1].

Обнаружение бликующих оптических элементов чаще всего происходит либо на фоне местности – листья, травы и пр., имеющих органическое происхождение, либо на фоне окрашенной поверхности носителей оптико-электронных систем, например, самолетов, боевых машин или управляемого высокоточного оружия. При наблюдении оптических приборов в УФ диапазоне спектра трава, листва, окрашенная поверхность и пр. являются поглощающими. Это повышает контраст изображения и должно облегчить обнаружение оптических приборов в УФ диапазоне. Еще одним достоинством использования этого диапазона

является поглощение УФ излучения Солнца озоновым слоем Земли в диапазоне длин волн $\lambda \leq 300$ нм, что исключает посторонние засветки систем обнаружения.

На рис. 1 приведены графики коэффициентов яркости $\beta(\lambda)$ березы (спелый древостой) в разные сезонные периоды из малодоступной работы [2]. Кривая 1 характерна для поздней зелени, кривая 2 показывает коэффициент яркости березы в зимний период, кривая 3 – в период молодой листвы. Эти кривые получены в условиях солнечного освещения, когда объекты имели наибольшую яркость. Как видно из этих графиков, коэффициент

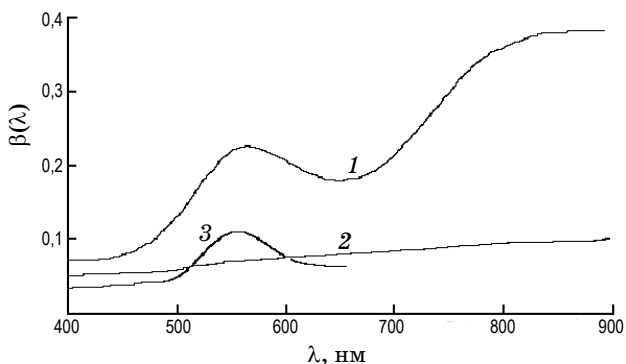


Рис. 1. Спектральные коэффициенты яркости дерева (березы). 1 – период поздней зелени, 2 – зимний период, 3 – период молодой листвы.

яркости березы и ее листьев падает при уменьшении λ . Для листьев характерен подъем яркости в видимом диапазоне в зеленой области в районе длины волны 550 нм. Коэффициент яркости для зимнего периода березы несколько менее зависит от длины волны. Подобные зависимости характерны для большинства природных объектов, например, для почв различного вида [2].

Подобные же результаты получены в США, где исследовались коэффициенты отражения природных материалов в области спектра от 320 до 1000 нм [3].

Следует учесть, что описанные выше приборы осуществляют обнаружение по бликам зондирующего излучения, отраженного от прицельной марки, матрицы ПЗС или другой плоской оптической поверхности. В случае изготовления ОЭ из непрозрачных или мало-прозрачных для зондирующего излучения материалов или просветления ОЭ пленками, поглощающими или отражающими зондирующее излучение, обнаружение такими приборами становится невозможным. В этом случае основную роль начинает играть излучение, отраженное от поверхности первого ОЭ обнаруживаемой системы. При этом индикатриса отраженного излучения будет зависеть от угла падения зондирующего излучения и радиуса кривизны поверхности.

Приведенные выше замечания явились причиной проведения ряда экспериментов по исследованию перспектив обнаружения оптических приборов, работающих в видимом (0,4–0,7 мкм), среднем ИК (3–5 мкм) и дальнем ИК (8–12 мкм) диапазонах. Для этого в УФ диапазоне были измерены спектральные коэффициенты зеркального отражения $\rho_z(\lambda)$ ряда оптических материалов, определены коэффициенты яркости некоторых оптических приборов, а также проведен анализ фоноцелевой обстановки при обнаружении оптических приборов.

В табл. 1 приведены результаты измерений в УФ, видимом и ближнем ИК диапазонах $\rho_z(\lambda)$ образцов просветленных оптических материалов, широко используемых при изготовлении объективов ИК диапазона. Измерения проводились на спектрофотометре СФР-2 и фурье-спектрометре 1211 под углом 10° .

Как видно из табл. 1, просветленные оптические материалы ИК диапазона имеют коэффициент отражения в УФ диапазоне, соизмеримый с коэффициентами отражения в видимой

и ближней ИК областях. Это может создавать высокий контраст при обнаружении оптических приборов.

Для оценки возможности обнаружения оптических приборов видимого диапазона в рамках настоящей работы экспериментально исследованы изменения коэффициента яркости снайперского прицела “ИФ-300 ПО” в зависимости от длины волны подсвечивающего излучения. При этом за прицелом не устанавливались приемники оптического излучения или эквиваленты человеческого глаза. Прицел закреплялся на треноге и его объектив периодически перекрывался с помощью электро-механического модулятора. Рядом с прицелом устанавливался эталон размером 48×48 мм из молочного стекла МС-20, рассеивающего падающее на него излучение изотропно с коэффициентами отражения 0,68–0,92 в интервале длин волн от 300 до 900 нм. Прицел и эталон подсвечивались прожектором на базе широко-диапазонной лампы ДРШ-100. Отраженное излучение фокусировалось зеркальным объективом диаметром 60 мм с фокусным расстоянием

Таблица 1. Спектральные коэффициенты зеркального отражения оптических материалов с просветляющими покрытиями

λ , мкм	$\rho_z(\lambda)$				
	Ge	ПО-4	Si	ПО-4	Ge
	рабочий спектральный диапазон				
	3–5 мкм			8–12 мкм	
	просветляющее покрытие				
	⊗ В.029	⊗ В.032	⊗ В.030	⊗ В.035	⊗ В.034
0,2	0,52	0,245	0,245	0,1	0,1
0,25	0,57	0,16	0,21	0,12	0,1
0,3	0,56	0,4	0,55	0,7	0,1
0,35	0,505	0,19	0,5	0,12	0,12
0,4	0,48	0,315	0,515	0,16	0,07
0,45	0,47	0,5	0,19	0,175	0,3
0,5	0,48	0,16	0,51	0,16	0,1
0,6	0,51	0,39	0,265	0,22	0,16
0,7	0,45	0,48	0,28	0,07	0,38
0,8	0,425	0,54	0,14	0,1	0,28
0,9	0,41	0,44	0,62	0,235	0,3
1	0,4	0,74	0,825	0,12	0,08
1,1	0,39	0,81	0,8	0,19	0,265

150 мм на фотоэлектронный умножитель (ФЭУ). Расстояние от прицела до излучателя и приемного объектива составляло 12 м. Для получения спектральной зависимости перед окном ФЭУ-100 (диапазон спектральной чувствительности 200–800 нм) устанавливались оптические интерференционные фильтры. Полученные сигналы от прицела и эталона сравнивались для расчета спектральной зависимости коэффициента яркости. В табл. 2 приведена зависимость изменения нормированного коэффициента яркости $\beta(\lambda)/\beta(\lambda_0)$ оптического прицела “ИФ-300 ПО” от длины волны. Нормировка проводилась относительно минимального значения $\beta(\lambda_0)$ на длине волны просветления оптики прицела $\lambda_0 = 550$ нм. Как видно из таблицы, яркость прицела в диапазоне атмосферного ультрафиолета примерно в 100 раз выше, чем его яркость в видимом диапазоне.

На рис. 2 представлены результаты измерения спектральных коэффициентов диффузного отражения $\rho_d(\lambda)$ эмалей авиационных покрытий [4]. Видно, что в диапазоне 280–300 нм коэффициенты отражения покрытий невелики (0,03–0,08). Для шаровой краски артиллерий-

Таблица 2. Изменение нормированного коэффициента яркости в зависимости от длины волны падающего излучения

λ , нм	255	430	501	556	643	712	807
$\beta(\lambda)/\beta(\lambda_0)$	100	100	10	1	30	35	40

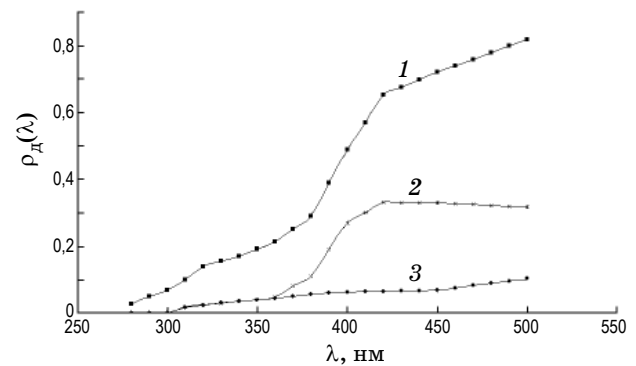


Рис. 2. Спектральные коэффициенты диффузного отражения авиационных эмалей. 1 – белая, 2 – серая, 3 – зеленая.

Таблица 3. Спектральные коэффициенты диффузного отражения природных и техногенных объектов

λ , нм	$\rho_d(\lambda)$									
	асфальт черный	асфальт серый	шифер	бетон	кирпич	сухая трава	сухой песок	сухая фанера	хвоя сосны	зеленая трава
250	0,01	0,01	0,07	0,03	0,03	0,04	0,00	0,02	0,01	0,05
300	0,00	0,00	0,06	0,02	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,04
313	0,02	0,03	0,01	0,05	0,05	0,06	0,02	0,04	0,02	0,05
360	0,02	0,03	0,13	0,06	0,06	0,08	0,02	0,06	0,01	0,06
380	0,03	0,03	0,15	0,07	0,07	0,10	0,03	0,08	0,02	0,06
400	0,04	0,05	0,18	0,09	0,08	0,14	0,04	0,13	0,03	0,06
450	0,04	0,06	0,21	0,2	0,1	0,20	0,05	0,19	0,04	0,06
500	0,02	0,05	0,22	0,13	0,12	0,26	0,06	0,28	0,03	0,07
550	0,04	0,08	0,26	0,18	0,22	0,33	0,09	0,39	0,11	0,14

ских снарядов эти коэффициенты еще меньше (0,01–0,02).

В табл. 3 приведены результаты измерения $\rho_d(\lambda)$ природных и техногенных объектов, на фоне которых обнаружение оптических приборов осуществляется наиболее часто. В обоих случаях измерения $\rho_d(\lambda)$ проводились на спектрофотометре СФ-26.

Проведенные эксперименты показали, что распространенные оптические материалы и вы-

полненные из них ОЭ в УФ диапазоне имеют высокий коэффициент яркости. Природные и техногенные объекты, на фоне которых осуществляется обнаружение, наоборот, поглощают излучение этого диапазона. Это, а также успехи, достигнутые промышленностью в проектировании и изготовлении мощных эксимерных лазеров, позволяют считать, что УФ диапазон является перспективным для обнаружения оптических приборов.

* * * * *

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков В.Г. Приборы ночного видения для обнаружения бликующих элементов // Специальная техника. 2004. № 2. С. 2–9.
 2. Кринов Е.Л. Спектральная отражательная способность природных образований. М.: Академия наук СССР, 1947. 172 с.
 3. Волф У., Цисис Г. Справочник по инфракрасной технике. Т. 1. М.: Мир, 1995. 606 с.
 4. Головков В.А., Емельянов В.Н., Солк С.В., Щербакова Н.И. Возможности обнаружения быстродвижущихся объектов в оптическом диапазоне // Материалы междунар. научно-техн. конф. “Четвертые Уткинские чтения”. Санкт-Петербург, Россия. 2009. Т. 1. С. 93–96.
-