

УДК 535.24

ВЛИЯНИЕ СЕТЧАТООБРАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА КОЭФФИЦИЕНТ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЯРКОСТИ ОБЪЕКТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УГЛАХ НАБЛЮДЕНИЯ

ДЖАМАЛЬ СААД ОМЕР, И.М. ЦИКМАН*, Ю.В. БЕЛЯЕВ*

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь

*Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко
Курчатова, 7, Минск, 220108, Беларусь

Поступила в редакцию 14 ноября 2012

Описаны результаты исследований спектральных параметров отраженного от поверхности различных материалов излучения. Представлены методы обработки полученных данных. Приведены результаты определения коэффициента спектральной яркости (КСЯ) отраженного различными материалами излучения для разных углов наблюдения.

Ключевые слова: спектр отражения, коэффициент спектральной яркости, углы визирования, фазовые углы.

Введение

Снижение заметности различных объектов и скрытие информации об их свойствах и местоположении является важнейшей задачей противодействия средствам технической разведки и снижения уровня информационных утечек.

Для снижения заметности при дистанционном зондировании в летний период требуется снижение контраста КСЯ скрываемых объектов на фоне растительности.

Применение различных маскировочных сеток позволяет значительно снизить контраст по отношению к фонам в оптической области спектра в видимом, среднем инфракрасном и тепловом диапазонах. Однако контраст может быть усилен при использовании спектральнозональной съемки [1]. При этом регистрируется ряд изображений исследуемых объектов в нескольких узких спектральных полосах (выделяемых интерференционными фильтрами), где различие в уровне отраженного излучения объект-фон максимальны. Затем попиксельно обрабатывая полученные снимки, создают синтезированные изображения наблюдаемой сцены. Для минимизации подобных эффектов усиления контраста исследуется спектральная зависимость яркости излучения объектов, фонов и различных маскировочных сеток в видимом и ИК-диапазонах спектра и выбираются оптимальные варианты использования различных сеток.

Следует учесть, что в условиях меняющейся освещенности (различные высоты и положение Солнца) при наружном наблюдении необходимо учитывать изменения величины КСЯ для разных фазовых углов – углов между потоком падающего солнечного излучения и направлением визирования. В данной работе приводятся результаты исследования параметров отраженного от поверхности скрываемых объектов и различных маскировочных сеток излучения для нескольких фазовых углов, характерных при наблюдении в натуральных условиях.

Методика эксперимента

КСЯ характеризует относительное спектральное распределение яркости отражающей поверхности. В данной работе анализируется зависимость данного параметра от длины волны

отраженного излучения при различных фазовых углах. КСЯ – $R(\lambda)$ – определяется отношением спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ) исследуемой поверхности $L(\lambda)$ к СПЭЯ ортотропной поверхности $L_0(\lambda)$, имеющей коэффициент отражения близкий к единице и освещенной так же, как и исследуемая поверхность:

$$R(\lambda) = \frac{L(\lambda)}{L_0(\lambda)}.$$

Исследования зависимостей КСЯ образцов от угла наблюдения проводились на гониометрической установке. Угол падения коллимированного излучения галогенной лампы на поверхность образцов устанавливался равным 45° . Регистрация и обработка данных измерений проводились по методике, описанной в [2]. В качестве эталонного диффузного отражателя (ортотропной поверхности) для получения КСЯ использовалась пластина из молочного стекла марки МС-20 толщиной 10 мм, на СПЭЯ которой нормировались спектры отражения остальных образцов. Относительная неопределенность измерений КСЯ зависит от точности калибровки и чувствительности спектрорадиометра, с помощью которого регистрировались спектры, и составляет в области $0,35 \dots 1,05$ мкм менее 5%, в области $1,05 \dots 2,5$ мкм порядка 10%.

Результаты и их обсуждение

Исследовались следующие образцы:

- свежесрезанный лист липы (в качестве образца растительности);
- пластина металла, окрашенного в зеленый цвет;
- образец в виде пластины толщиной $3 \dots 7$ мм, состоящий из сухого измельченного лаврового листа, закрепленного акриловым герметиком на пластиковой подложке;
- комбинированные, включающие в себя металлическую пластину и набор сеток с различными параметрами ячеек и окраски.

Использовались сетки четырех видов – на тканевой основе с маскировочной окраской двух типов (сетка 1 и сетка 2), пластиковая (сетка 3) и металлическая (сетка 4) сетки, окрашенные в зеленый цвет. Размер ячеек варьировался от 1,5 до 2 мм, у тканевых сеток – до $3 \dots 4$ мм у пластиковых и металлических сеток.

На рис. 1 представлены КСЯ различных образцов при нулевом угле визирования, т.е. при наблюдении вдоль нормали к поверхности образцов.

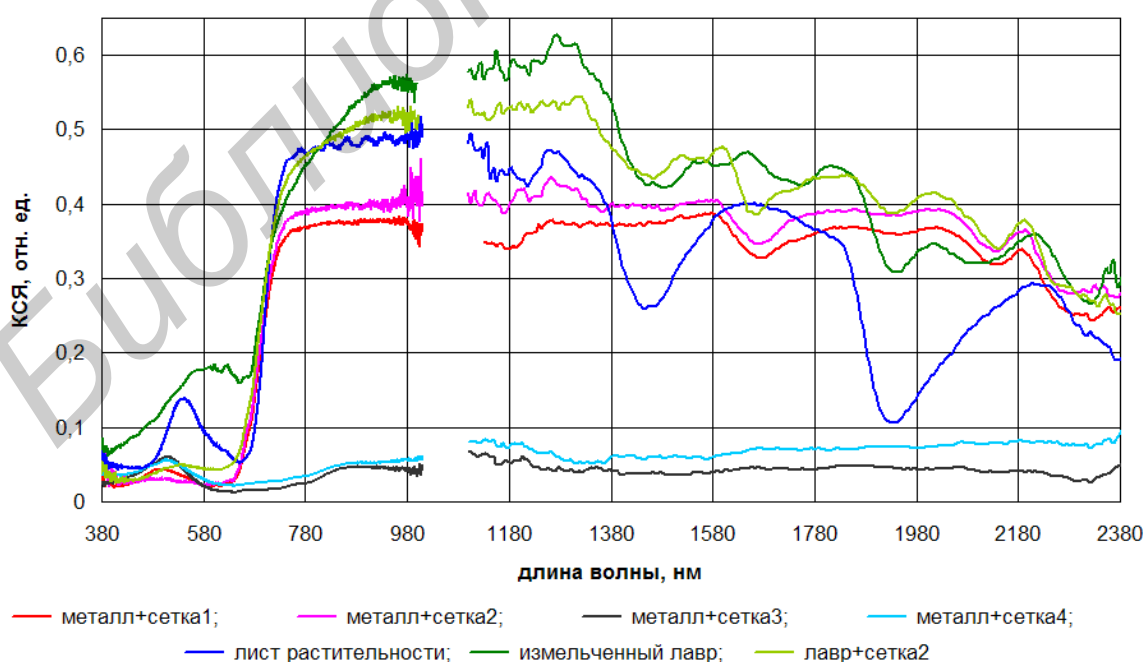


Рис. 1. Коэффициенты спектральной яркости исследуемых образцов для фазового угла 45°

Наименьшие различия в спектрах КСЯ в видимой и ближней ИК-областях наблюдаются между листом растительности и комбинированным материалом на основе сухого лаврового листа с тканевой маскировочной сеткой темно-зеленой окраски. В области 1000...2400 нм минимальные различия с листом растительности наблюдается у металлической пластины покрытой такой же маскировочной сеткой на тканевой основе с темно-зеленой окраской. Максимальные различия по уровню КСЯ с листом растительности, особенно в области 1000...2400 нм показали образцы с окрашенной металлической пластиной и пластиковой и металлической сетками. Ход кривой КСЯ образца на основе сухого лаврового листа подобен кривой свежесрезанного листа растительности за исключением областей 580...680 нм в видимой области спектра и в ИК-области в полосах поглощения воды 1420 нм и 1900 нм, содержащейся в листовой ткани. Однако с учетом интенсивного поглощения водяными парами в атмосфере проходящего солнечного излучения в полосах 1420 нм и 1900 нм при наблюдении оптическими приборами, это отличие не является определяющим для заметности объекта.

На рис. 2 приведены кривые КСЯ исследуемых образцов при различных углах визирования 0° , 30° , 45° , 55° . Для угла падения коллимированного пучка излучения на поверхность образцов, равного 45° , фазовые углы составляли – 45° , 75° , 90° и 100° . Фазовые углы 45° и 75° соответствуют углам наблюдения в натуральных условиях вертикальной поверхности объекта при различных угловых положениях Солнца за наблюдателем, а углы 90° и 100° – горизонтальной плоскости при положении Солнца перед наблюдателем.

КСЯ растительности (см. рис. 2, а) плавно растет с увеличением угла наблюдения во всем рассматриваемом спектральном диапазоне. Наибольший рост значений КСЯ у растительности в видимой области спектра. В ИК-области 750...2400 нм значения КСЯ увеличиваются с увеличением фазового угла в меньшей степени. Максимальных значений КСЯ листа растительности достигает при угле наблюдения 55° , а не при зеркальном – 45° , как у остальных образцов.

На рис. 2, б приведены КСЯ металлической окрашенной пластины. Особенностью этого графика является резкое увеличение значений КСЯ при зеркальном угле наблюдения 45° (фазовый угол 90°). При таком угле наблюдения объект будет резко выделяться на естественных фонах.

Для окрашенной металлической пластины, закрытой различными сетками (рис. 2, в–е), характерно значительное снижение значений КСЯ при зеркальном угле наблюдения. Из рисунков видно, что минимальное отличие в значениях КСЯ от листа растительности во всем регистрируемом диапазоне (интегральные значения, характерные для видеосистем наблюдения без спектрального усиления контраста) при зеркальном угле наблюдения среди образцов с сеткой оказалось у образца «металл+сетка 4», т.е. с металлической сеткой. Этот результат можно объяснить волнистой поверхностью металлической сетки и переотражением и поглощением излучения между сеткой и окрашенной поверхностью металла. Однако спектральный ход кривой КСЯ такого образца в отдельных спектральных зонах значительно отличается от КСЯ растительности и при использовании спектральной съемки в узких спектральных диапазонах контраст с растительностью можно значительно усилить.

Для остальных сеток характерным является значительное увеличение значений КСЯ при зеркальном угле 45° от значений при других углах наблюдения. Для углов наблюдения 0° , 30° и 55° наименьшее отличие распределения КСЯ по длинам волн от растительности наблюдается у образцов металлической пластины, покрытой маскировочными сетками на тканевой основе (рис. 2, в–г). Однако за счет ровной и значительной по площади поверхности плотной тканевой основы между порами сетки, при зеркальном угле 45° данный образец «бликует». Интенсивность отраженного излучения при этом возрастает в среднем в 1,5...2 раза, но не в такой степени, как у открытого металла.

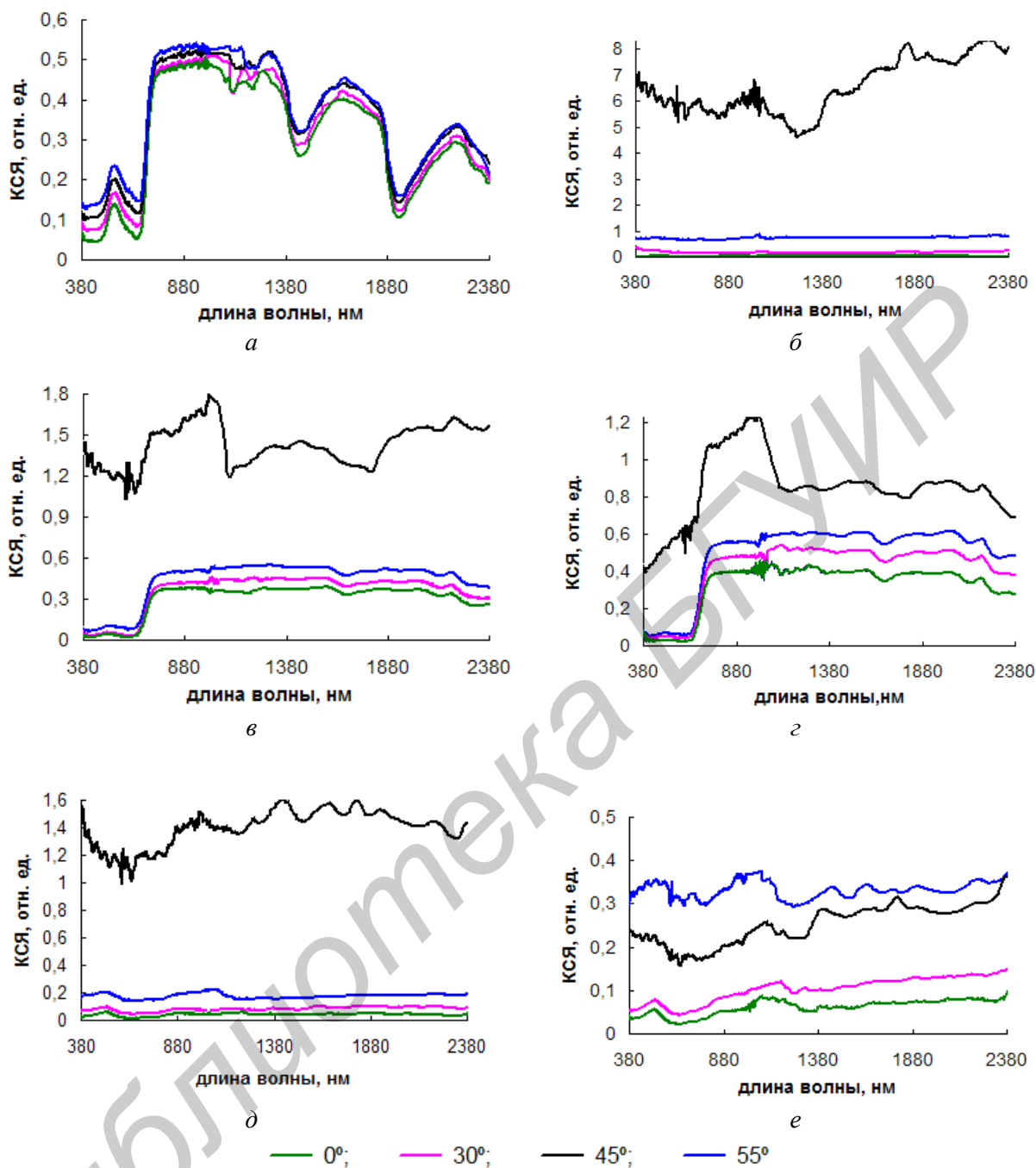


Рис.2. Распределение КСЯ при углах наблюдения 0°, 30°, 45°, 55° для:
а – листа растительности; *б* – пластины окрашенного в зеленый цвет металла;
в – образца металла и сетки 1; *г* – образца металла и сетки 2; *д* – образца металла и сетки 3;
е – образца металла и сетки 4

Заключение

Все рассмотренные образцы сеток при зеркальном угле наблюдения значительно снижают величину КСЯ «открытой» поверхности металла и приближают эти значения к отражательным характеристикам растительности во всем спектральном диапазоне наблюдения, что позволяет использовать их для уменьшения заметности «бликующих» поверхностей объектов и уменьшать утечку информации по оптическим каналам при использовании приборов видеонаблюдения. При комплексном использовании различных технических средств зондирования (в том числе спектральной съемки) в широком спектральном диапазоне скрытие объектов затруднено. Тем не менее, использование данных сетчатых материалов, особенно сеток на тка-

невой основе с камуфляжной окраской, позволяет для большинства фазовых углов значительно уменьшить контраст и, соответственно, сократить дальность обнаружения скрываемых объектов оптическими приборами в области спектра 0,4-2,4 мкм.

EFFECT OF NET-MATERIALS ON THE SPECTRAL RADIANCE FACTOR OF THE OBJECTS FOR DIFFERENT VIEWING ANGLES

JAMAL SAAD OMER, I.M. TSYKMAN, Y.V. BELYAEV

Abstract

Methods are described for experimental studies of the spectral parameters of the reflected radiation from the surface of various materials. The methods of data processing are presented. The results of the determination of the spectral radiance factor of the reflected light materials for different viewing angles are shown.

Список литературы

1. Беляев Ю.В., Катковский Л.В., Курикина Т.М., и др. // Журн. прикл. спектр. 2001. Т. 68, № 2. С. 258–263.
2. Беляев Ю.В., Омер Дж.Саад, Цикман И.М. // Докл. БГУИР. 2011. № 1(55). С.75–79.