

Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

УДК 004.056.5-048.23

ОМЕР
Джамаль Саад Абулькасим

**КОМБИНИРОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИМИТАЦИИ
ЕСТЕСТВЕННЫХ СРЕД В ВИДИМОМ И ИНФРАКРАСНОМ
ДИАПАЗОНАХ ДЛИН ВОЛН ДЛЯ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ
ИНФОРМАЦИИ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальностям:

- 05.13.19 – Методы и системы защиты информации,
информационная безопасность,
05.27.06 – Технология и оборудование для производства полупроводников,
материалов и приборов электронной техники

Минск 2013

Работа выполнена в Учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Научный руководитель – **БЕЛЯЕВ Юрий Владимирович**, кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией Научно-исследовательского учреждения «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета.

Официальные оппоненты: **СМИРНОВ Александр Георгиевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры микро- и нанoeлектроники Учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»;

ШЕВЯКОВ Алексей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, начальник научно-исследовательской лаборатории кафедры автоматизированных систем управления войсками Учреждения образования «Военной академии РБ».

Оппонирующая организация – **Учреждение образования «Высший государственный колледж связи».**

Защита состоится 19 декабря 2013 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.06 при Учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1 ауд. 232, e-mail: dissovet@bsuir.by, тел. 293-89-89.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время важнейшей областью деятельности общества является информационная безопасность и одно из основных направлений этой деятельности – защита сведений от утечки.

Наиболее уязвимыми с точки зрения утечки информации являются визуально-оптические, оптические и тепловые технические каналы утечки, что связано с возможностью скрытого получения информации о защищаемых объектах пассивными методами на значительных расстояниях.

Эффективным методом снижения уровня информационных сигналов в видимой и ближней ИК-области является снижение контрастов объектов с окружающими фонами. Оптико-электронные приборы технической разведки, получившие широкое распространение в последнее время, позволяют обрабатывать большой объем информации с регистрируемых снимков и реагируют в видимой и ИК-области спектра в узких спектральных интервалах (до 10 – 20 нм) на контраст таких основных параметров оптического поля, отраженного от наблюдаемых объектов излучения, как спектральная плотность энергетической яркости (СПЭЯ) и степень линейной поляризации. Создание маскировочных материалов, снижающих контраст по СПЭЯ и поляризационным параметрам, является актуальной задачей противодействия средствам технической разведки. Материалы, обеспечивающие решение вышеуказанной задачи, должны иметь спектрально-поляризационные характеристики, аналогичные фонам, на которых размещаются объекты, особенно в характерных полосах поглощения спектров фонов. Для растительных фонов характерными являются полосы поглощения хлорофилла и воды, для влажных почв основные полосы поглощения воды локализованы в ИК-диапазоне. Уменьшение контраста по СПЭЯ может быть достигнуто использованием различных органических растительных включений, а также водосодержащих наполнителей, позволяющих имитировать окружающую среду и успешно используемых в радиочастотном диапазоне.

Диссертационная работа посвящена созданию и исследованию спектрально-поляризационных свойств новых композиционных материалов для применения с целью маскировки в спектральной области 0,4 – 2,5 мкм и разработке рекомендаций по их использованию.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами

Тема диссертационной работы утверждена Советом учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», протокол № 5 от 22.01.2010 г. и соответствует подразделу 5.5 «Методы, средства и технологии обеспечения информационной безопасности при обработке, хранении и передачи данных с использованием криптографии, квантово-криптографические системы» приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2011 – 2015 гг., утвержденных Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 19 апреля 2010 г., № 585.

Работа выполнялась в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в рамках научно-исследовательской работы ГБ № 06-2022 «Разработка методов защиты информации от утечки по электромагнитным каналам» (2006 – 2010 гг., № ГР 200799).

Цель и задачи исследования

Цель диссертационной работы состоит в разработке методики оценки эффективности технических средств, снижающих контраст, и материалов с определенными оптическими параметрами в видимом и инфракрасном диапазонах для имитации естественных сред в системах защиты информации.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Разработать методику оценки эффективности средств защиты в видимом и инфракрасном диапазонах длин волн 0,4 – 2,5 мкм.

2. Выполнить обоснование выбора материала и конструкционные характеристики устройств для скрытия объектов в диапазоне длин волн 0,4 – 2,5 мкм.

3. Разработать образцы различного состава и структуры для снижения контраста скрываемых объектов и естественных сред в системах защиты информации.

4. Разработать систему верификации результатов лабораторных исследований по снижению контраста «объект – фон».

5. Исследовать маскировочные свойства разработанных образцов и материалов в диапазоне длин волн 0,4 – 2,5 мкм.

6. Разработать базовые процессы формирования защитных материалов и предложить технологическую последовательность их изготовления.

Объектом исследования являются способы и средства имитации естественных сред и образований при дистанционной диагностике различных объектов.

Предметом исследования являются спектральные, энергетические, угловые и пространственные параметры оптического поля ряда естественных и искусственных объектов.

Положения, выносимые на защиту

1. Экспериментальное обоснование комбинированных конструкций и материалов, снижающих контраст, с различными фонами для электромагнитного излучения оптического диапазона 0,4 – 2,5 мкм на основе естественных и искусственных материалов (сетчатые материалы, торф, песок, свежесрезанные и сушеные листья, силикагель), закрепляемых в клеях и силиконе, что позволило рекомендовать имитаторы различных покровов и грунтов в видимой и ближней инфракрасной области.

2. Установленные особенности спектральных и спектрально-поляризационных характеристик материалов на основе растительности, влагосодержащих материалов на основе силикагеля и сетчатых структур, располагающихся на их поверхностях, в диапазоне длин волн 0,4 – 2,5 мкм, заключающиеся в снижении яркостного и поляризационного контраста с естественными фонами до 0,1, что позволяет использовать их для имитации грунтов и покровов растительного происхождения.

3. Предложенный метод оценки (верификации) лабораторных методик определения оптических параметров отраженного от исследуемых защитных образцов излучения натурными спектрально-поляризационными съемками с помощью спектровидеополариметра, позволяющий определять взаимосвязь спектральных и видео данных и определять уровень контраста маскировочного материала и фона.

4. Экспериментально установленное при проведении поляризационных измерений в области спектра 0,38 – 2,3 мкм увеличение экранирующих свойств со снижением степени линейной поляризации, наблюдающееся у сетчатых материалов с уменьшением размера ячейки.

Личный вклад соискателя

Все полученные основные результаты, изложенные в диссертационной работе, получены соискателем самостоятельно. В совместно опубликованных работах автору принадлежат определение целей исследования, выбор методов исследования, непосредственное участие в проведении экспериментов по разработке и изготовлению образцов маскировочных средств в диапазоне длин волн 0,4 – 2,5 мкм, а также проведение исследований по изучению свойств,

обработка, анализ и интерпретация полученных результатов, формулировка выводов.

Основными соавторами опубликованных работ являются научный руководитель, канд. техн. наук Ю.В. Беляев, который принимал участие в планировании работ и обсуждении результатов.

Апробация результатов диссертации

Основные положения диссертации обсуждались на VIII, X и XI Белорусско-российских научно-технических конференциях «Технические средства защиты и контроля защищенности информации» (г. Браслав, г. Минск, 2010 г., 2012 г.), XV Международной научно-технической конференции «Современные средства связи» (г. Минск, 2010 г.), XIII Международной научно-технической конференции «Управление информационными ресурсами» (г. Минск, 2011 г.), I Международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию НИИПФИ им. А.Н. Севченко БГУ «Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики и физики конденсированного состояния» (г. Минск, 2011 г.).

Опубликованность результатов диссертации

Основные результаты диссертации опубликованы в 13 научных работах, из них 4 статьи в научных изданиях, включенных в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований, 5 статей в сборниках материалов международных научных конференций и 3 тезисов докладов. Имеется положительное решение для получения одного патента Республики Беларусь на изобретение. Общее количество опубликованных работ по теме диссертации составляет 33 страницы (1,3 авторского листа).

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и одного приложения. В **первой главе** проведен обзор современных методов и средств технической разведки и маскировки в оптическом диапазоне длин волн электромагнитного излучения 0,4–2,5 мкм. Во **второй главе** изложена методика проведения экспериментов и обработки экспериментальных данных, обоснован выбор материалов и конструкций для маскировки и уменьшения контраста скрываемых объектов в оптическом диапазоне длин волн 0,4–2,4 мкм, представлены разработанные образцы различного состава и структуры. В качестве образцов предложены различные сетчатые структуры с различным шагом, покрытием и из различных материалов. В **третьей главе**

приведены результаты исследования спектральных и спектрально-поляризационных характеристик различных образцов на основе естественных и искусственных материалов. В четвертой главе представлена экспериментальная технология создания образцов на основе растительных компонентов и естественных грунтовых наполнителей, водосодержащих и водоудерживающих материалов.

Общий объем диссертационной работы составляет 111 страниц, куда входит 60 иллюстрация на 25 страницах, 1 таблица на 1 странице, список использованных источников из 80 наименований на 8 страницах, список собственных публикаций из 13 наименований на 3 страницах и 1 приложение на 3 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проведен анализ существующих средств обнаружения скрываемых объектов и маскировочных средств в оптическом диапазоне длин волн. Из анализа следует, что проблема разработки и создания искусственных маскирующих материалов для уменьшения заметности скрываемых объектов в видимом и ИК-диапазонах длин волн является актуальной и ее решением является снижение яркостного и поляризационного контраста с доминирующими фоновыми покровами. Обзор литературы показал, что информативными спектральными зонами в задачах технической разведки являются полосы поглощения различных веществ и соединений, входящих в состав фонов и исследуемых объектов.

В обзоре были подробно рассмотрены разновидности средств обнаружения скрываемых объектов. Тепловизионная аппаратура позволяет регистрировать излучение различных объектов в инфракрасном диапазоне длин волн и представляет инфракрасное излучение исследуемого объекта в видимом спектре при помощи градации цветов на термограмме монитора. Телевизионные средства наблюдения предназначены для визуального контроля и автоматического анализа изображений наблюдаемых объектов. Суть спектрально-поляризационных систем состоит в одновременном получении информации о распределении излучения в двух или более зонах спектрального диапазона длин волн, что позволяет выделить контраст между изображениями наблюдаемых объектов и фоном по сравнению с двумя предыдущими способами. Спектрально-поляризационный метод обнаружения – это комбинированный метод, учитывающий достоинства спектрально-поляризационного метода и то, что объекты имеют различную степень поляризации отраженного излучения в определенных участках спектра. А это позволяет усилить

контрасты наблюдаемых объектов на фоне различных типов природных поверхностей.

Для каждого рассмотренного вида средств обнаружения скрываемых объектов были представлены примеры реально используемых аппаратных средств и систем. Показано, что наиболее перспективными с точки зрения технической разведки в оптическом диапазоне являются телевизионные средства наблюдения на ПЗС и КМОП-матрицах, спектрозональные и спектрально-поляризационные приборы, а также тепловизионная аппаратура.

Во второй главе приведено описание лабораторного стенда, состоящего из гониометрической установки, позволяющей изучать угловые зависимости отраженного излучения, спектрорадиометра ПСР-02 и поляризационной насадки на основе призмы Глана – Тейлора. Разработаны условия проведения лабораторных исследований, определены углы падения и визирования коллимированного пучка излучения осветителя гониометрической установки на поверхность исследуемых образцов. Для определения угловых спектральных и спектрально-поляризационных параметров оптического поля, отраженного от исследуемых защитных образцов излучения в диапазоне длин волн 0,4 – 2,4 мкм, и нахождения значений контраста этих параметров с объектами фона использована методика измерений с применением эталонного отражателя МС-20 и поляризационная насадка с призмой Глана – Тейлора. Примененная методика обработки полученных спектральных, спектрально-поляризационных данных измерений и их угловых распределений с использованием стандартного и специализированного программного обеспечения позволяет анализировать маскировочные свойства защитных образцов по параметрам коэффициента спектральной яркости (КСЯ) и степени линейной поляризации.

Для анализа КСЯ последовательно измерялись яркости исследуемого и эталонного образца. Данные в отчетах АЦП переводились в абсолютные единицы СПЭЯ L_λ по калибровочным массивам и затем определялись значения КСЯ по формуле

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

где $L(\lambda)$ и $L_0(\lambda)$ – соответственно СПЭЯ образца и пластины МС-20.

При измерениях степени линейной поляризации спектральный поток отраженного от образцов излучения для каждого угла визирования измерялся при трех положениях поляризационной насадки – 0°, 45°, 90° по отношению к начальной плоскости поляризации призмы, соответственно яркости этих потоков – $I_0(\lambda)$, $I_{45}(\lambda)$ и $I_{90}(\lambda)$.

Измеренная степень поляризации $P_{\text{изм}}(\lambda)$ отраженного от образца излучения определялась по формуле

$$P_{\text{изм}}(\lambda) = \sqrt{(I_{90}(\lambda) - I_0(\lambda))^2 + (I_0(\lambda) + I_{90}(\lambda) - 2I_{45}(\lambda))^2} / (I_0(\lambda) + I_{90}(\lambda)).$$

Данная формула позволяет не учитывать ориентацию оси поляроида относительно плоскости максимальной поляризации отраженного излучения и, таким образом, исключить погрешности определения степени поляризации, связанные с неточностью совмещения плоскости поляризации призмы (насадки) и плоскости максимальной поляризации отраженного излучения.

С целью нахождения наиболее информативных спектральных интервалов для каждой пары сравниваемых объектов (цель – фон) рассчитывались значения контраста по коэффициенту спектральной яркости и степени поляризации по формулам

$$K_{\text{КСЯ}} = (КСЯ_1 - КСЯ_2) / (КСЯ_1 + КСЯ_2),$$

$$K_P = (P_1 - P_2) / (P_1 + P_2),$$

где $КСЯ_1$ и $КСЯ_2$ – коэффициенты спектральной яркости объектов;

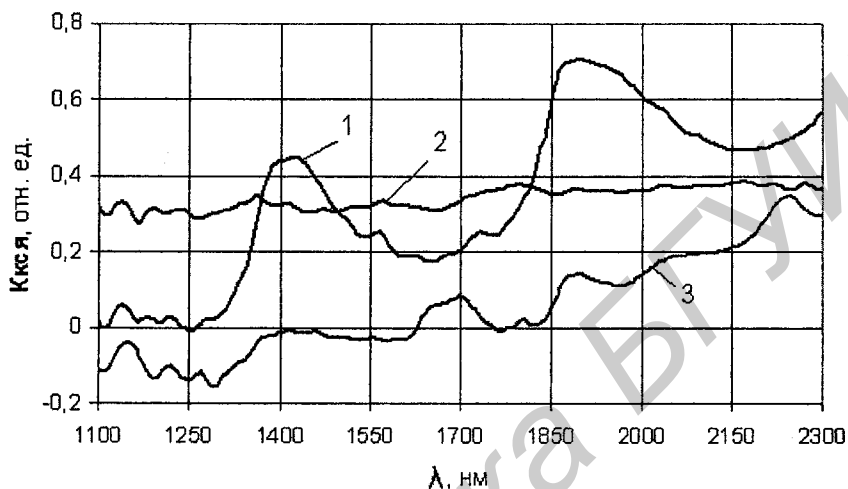
P_1 и P_2 – степень поляризации излучения объектов.

Индекс 1 в данном случае присвоен объекту (контраст которого оценивается), а индекс 2 – фону.

Для маскировки и уменьшения контраста скрываемых объектов в оптическом диапазоне длин волн 0,4 – 2,4 мкм были разработаны образцы различного состава и структуры. Для исследования характеристик оптического поля, отраженного от объектов, с поверхностью, имеющей периодическую структуру, в качестве образцов предложены различные сетчатые структуры с различным шагом, покрытием и из различных материалов. Также был разработан метод оценки (верификации) лабораторных методик определения оптических параметров отраженного от исследуемых защитных образцов излучения натурными спектрозональными и поляризационными съемками с помощью спектровидеополариметра. Метод позволяет определять взаимосвязь спектральных и видеоданных и определять уровень контраста маскировочного материала и фона при натуральных измерениях.

В третьей главе с помощью проведенных исследований была показана необходимость имитации полос поглощения воды и хлорофилла маскировочными материалами в области 0,4 – 2,4 мкм. Контраст $КСЯ$

окрашенной металлической поверхности и фоновой растительности в полосах поглощения 1,4 и 1,9 мкм достигает величин соответственно 0,4 и 0,7 (рисунок 1).



1 – свежий лист растительности; 2 – лавровый лист в силикагеле; 3 – ондулин

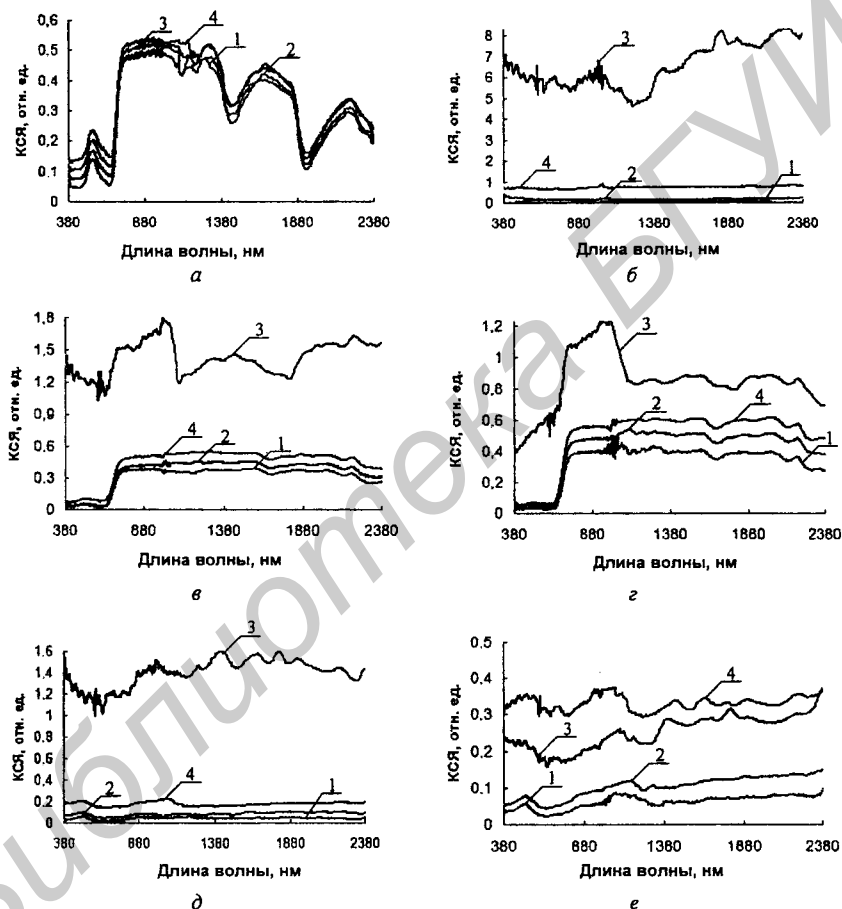
**Рисунок 1 – Контраст коэффициентов спектральной яркости
«Окрашенная поверхность алюминия – образец»**

Разработанные маскировочные образцы и материалы на основе растительных наполнителей (лаврового листа и листа базилика) в силиконе, образцы с наполнителем из силикагеля в силиконе показали наилучший результат по уменьшению контраста до значений 0,1 отн. ед. в полосах поглощения воды в ИК-диапазоне от 1,0 мкм до 2,5 мкм. При этом показано, что силикон характеризуется полосами поглощения на 1,7 мкм и 2,2 мкм, где значения контраста достаточно велики и достигают 0,5 отн. ед.

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. 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 свежевырезанного 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.

Также в результате исследований показано, что для модификаций рассматриваемых сеток характерным является значительное отличие значений КСЯ при зеркальном угле 45° от значений при других углах наблюдения (рисунок 2).



a – для листа растительности; *b* – для пластины металла, окрашенного в зеленый цвет;

в – для образца из металла и сетки 1; *г* – для образца из металла и сетки 2;

д – для образца из металла и сетки 3; *е* – для образца из металла и сетки 4

Рисунок 2 – Распределение КСЯ при углах наблюдения 0° , 30° , 45° , 55°

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. Минимальное отличие в значениях КСЯ от листа растительности при зеркальном угле наблюдения среди образцов с сеткой оказалось у образца с металлической сеткой. При этом спектральный ход кривой КСЯ такого образца в отдельных спектральных зонах значительно отличается от КСЯ растительности.

Исследования угловой зависимости спектрально-поляризационных данных для маскировочных образцов на основе металлической подложки и различного сеточного покрытия показали:

- с ростом угла наблюдения растет степень линейной поляризации, как металлической подложки, так и подложки с сеточным покрытием;

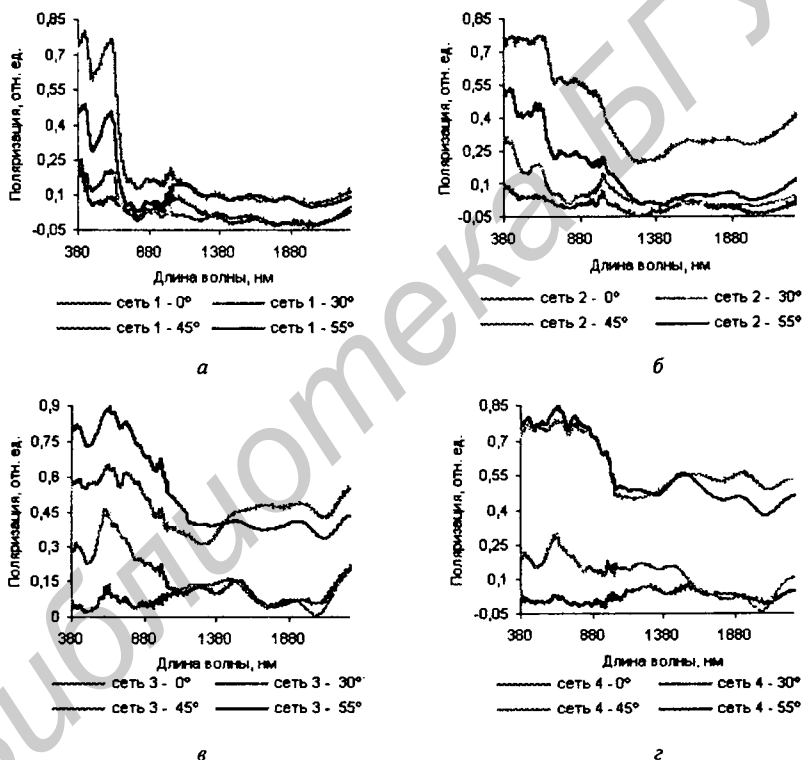
- тканевые сетки снижают степень линейной поляризации излучения, отраженного от металлической пластины, в красной и ИК областях спектра – $0,65 - 2,3$ мкм, металлическая сеть практически не оказывает влияния на поляризацию излучения подложки;

- максимальное снижение степени поляризации в области $0,65 - 2,3$ мкм (особенно в ИК-диапазоне) наблюдается у образцов с применением сеток на основе синтетической ткани, что можно объяснить их высокой экранирующей способностью и деполаризующим свойством для длин волн свыше $0,65$ мкм при значительных углах наблюдения 45° и 55° .

Из проведенных исследований следует, что экранирующие свойства и снижение степени линейной поляризации значительнее у сеток с меньшим размером ячейки. Максимальные экранирующие свойства со снижением степени линейной поляризации в области спектра $0,38 - 2,3$ мкм наблюдаются у сеток с минимальным ($1,0$ мм) размером отверстия и большей площади тканевой основы (рисунок 3).

Наибольшая эффективность таких сеток наблюдается после $0,6$ мкм и максимальна в области от $1,0$ до $2,3$ мкм. В более коротковолновой области спектра эффективность таких сеток меньше. Сетки с шагом более 3 мм не вносили в условиях эксперимента какое-либо значительное влияние на значения степени линейной поляризации. Представленными в третьей главе исследованиями показано, что максимальное отличие спектральных и спектрально-поляризационных параметров маскировочных материалов от фона растительности наблюдается при зеркальных углах падения излучения на поверхность объекта и визирования. Маскировочные ткани с защитной окраской показывают близкий к растительности ход кривой КСЯ при всех углах, кроме углов, близких к зеркальному. При зеркальном фазовом угле хорошими маскировочными свойствами обладают металлические сетки с неровной

(волнистой) поверхностью. Тем не менее 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. Использование маскировочных сеток, закрепленных на неровной поверхности металлического каркаса, наиболее перспективно для снижения контраста с живой растительностью в условиях наблюдения аппаратурой оптического зондирования.



a – металлическая пластина с сетью 1; *б* – металлическая пластина с сетью 2;
в – металлическая пластина с сетью 3; *г* – металлическая пластина с сетью 4

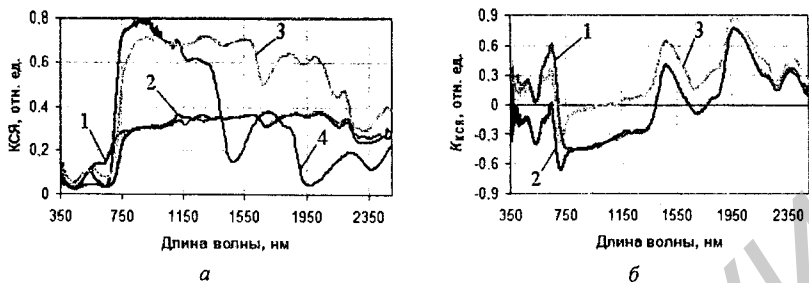
Рисунок 3 – Спектральная зависимость степени линейной поляризации отраженного излучения от образцов с подложкой в виде металлической пластины для различных углов визирования

Маскировочные ткани с защитной окраской показывают близкий к растительности ход кривой КСЯ при всех углах, кроме углов, близких к зеркальному. При зеркальном фазовом угле хорошими маскировочными свойствами обладают металлические сетки с неровной (волнистой) поверхностью. Тем не менее 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. Использование маскировочных сеток, закрепленных на неровной поверхности металлического каркаса, наиболее перспективно для снижения контраста с живой растительностью в условиях наблюдения аппаратурой оптического зондирования.

В четвертой главе приведены результаты натуральных экспериментов по верификации лабораторных исследований с помощью спектровидеополариметра СВП. Эти результаты подтвердили адекватность методики лабораторных исследований и показали соответствие натуральных и лабораторных экспериментов. Лабораторные исследования по методике, описанной выше, позволяют оперативно измерять отражательные спектральные и спектрально-поляризационные параметры маскировочных материалов в области длин волн 0,35 – 2,5 мкм и вносить корректировки при выборе необходимой окраски и структуры маскировочных образцов для их минимального яркостного и поляризационного контраста с различными природными фонами.

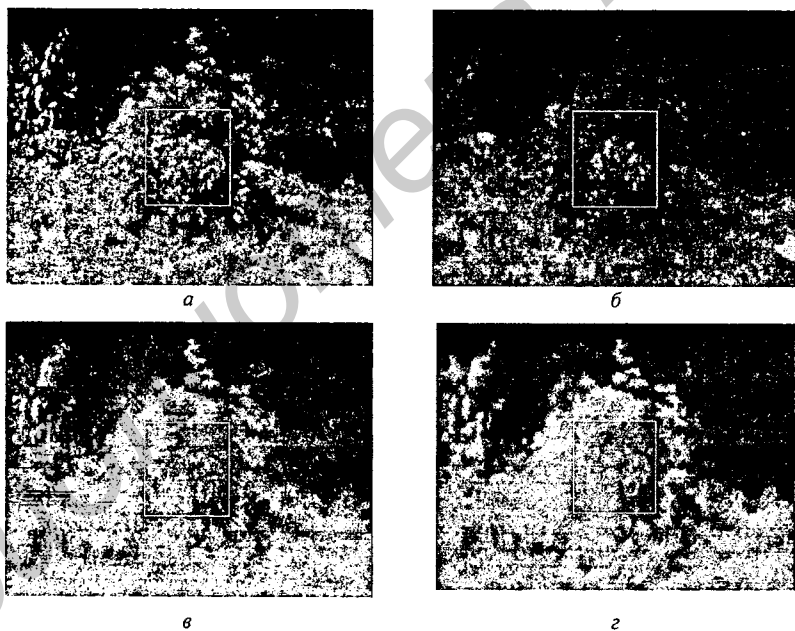
Из графика контраста (рисунок 4, б) видна необходимость введения в конструкцию влагосодержащих материалов или пропитка тканевых сеток удерживающим влагу составом. На рисунке 5 представлены спектрально-зональные изображения в разных диапазонах спектра комбинированного сетчатого материала на фоне куста, полностью согласующиеся с ходом спектральных кривых на рисунке 4, а.

При разработке маскировочных материалов на основе натуральных природных компонентов растительности, позволяющих получать наименьшие контрасты КСЯ маскировочных устройств с растительными фонами, была предложена конструкция с укладкой листовой ткани между слоев силикона. При этом сохраняется влага в листе и предохраняется хлорофилл от разрушения, что позволяет использовать такие материалы, как минимум, три месяца с момента изготовления в соответствии с определенным периодом вегетационного развития растительности.



1 – лепесток светло-коричневого цвета; 2 – лепесток темно-зеленого цвета;
 3 – лепесток светло-зеленого цвета; 4 – лист растительности
 а – КСЯ лепестков сетчатого материала различной окраски и листа растительности;
 б – контраста по КСЯ «лепесток сетчатого материала – лист растительности»

Рисунок 4 – Зависимости КСЯ сетчатых материалов и их контрастов с листом растительности от длины волны излучения



а – 565 нм; б – 635 нм; в – 746 нм; г – 860 нм

Рисунок 5 – Изображения комбинированного сетчатого материала на фоне куста растительности, зарегистрированные СВП в различных спектральных диапазонах с центральной длиной волны пропускания

При разработке маскировочных материалов на основе натуральных природных компонентов растительности, позволяющих получать наименьшие контрасты КСЯ маскировочных устройств с растительными фонами, была предложена конструкция с укладкой листовой ткани между слоев силикона. При этом сохраняется влага в листе и предохраняется хлорофилл от разрушения, что позволяет использовать такие материалы, как минимум, три месяца с момента изготовления в соответствии с определенным периодом вегетационного развития растительности.

Разработанные материалы с различными наполнителями в слое силикона характеризуются влагостойкостью, стабильностью спектральных свойств во времени, обладают гибкостью и износостойкостью. Такой слой защитного материала быстро изготавливается и легко крепится к различным защитным экранам, маскирующим объекты в радиочастотном либо тепловом диапазоне электромагнитного излучения, что делает его перспективным при создании комбинированных устройств и конструкций, применяемых для маскировки объектов в широком диапазоне электромагнитных излучений.

При повышении эффективности использования сетчатых тканевых материалов и структур необходимо соответствие площадей перемычек и отверстий, при этом поверхность сетчатого материала должна быть неровной, с площадками, лепестками сетки, расположенными под различными углами. Последнее условие достигается введением отдельных секций (лепестков), их армированием под разными углами. Использование многослойности, специального раскроя (с выделением отдельных лепестков сетчатого материала) и крепления слоев сеток к тканевой основе под различными углами обеспечивает неоднородность и объемность структуры многослойного сетчатого материала и повышает маскирующие свойства сетчатых материалов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Предложены и исследованы комбинированные конструкции и материалы с наполнителями на основе листьев и фрагментов листьев растительности и образцы с влагосодержащим силикагелем, снижающие контраст с растительными фонами отраженного электромагнитного излучения оптического диапазона $0,4 - 2,5$ мкм в полосах поглощения хлорофилла с центром $0,65$ мкм и воды – $1,4$ и $1,9$ мкм. Предложен метод оценки (верификации) лабораторных методик определения оптических параметров отраженного от исследуемых защитных образцов излучения натурными спектральнональными и поляризационными съемками с помощью спектровидеополариметра. Метод позволяет определять взаимосвязь

спектральных и видеоданных и определять уровень контраста маскировочного материала и фона [1-А, 2-А, 3-А, 4-А, 5-А, 9-А, 10-А, 11-А, 12-А].

2. Установлены особенности спектрально-поляризационных параметров материалов на основе растительности (порошкообразный лавровый лист, закрепленный на подложке) в диапазоне длин волн 0,4 – 2,5 мкм, заключающиеся в снижении степени линейной поляризации (до значений, не превышающих 0,4 отн. ед. при зеркальных углах падения и наблюдения) и поляризационного контраста с естественными фонами, что позволяет использовать их для имитации покровов растительного происхождения [1-А, 2-А, 3-А, 4-А, 5-А, 9-А, 10-А, 13-А].

3. Установлено, что максимальный контраст спектральных и спектрально-поляризационных параметров образцов сетчатых маскировочных материалов с металлической окрашенной пластиной и фона растительности в диапазоне длин волн 0,4 – 2,5 мкм наблюдается при зеркальных углах падения и при визировании излучения на поверхности объекта. Показано, что образцы сетчатых материалов при зеркальном к падающему углу наблюдения значительно снижают величину КСЯ «открытой» поверхности металла от 4 до 15 раз в зависимости от типа сетки и приближают эти значения к спектральным отражательным характеристикам растительности в диапазоне 0,4 – 2,5 мкм. Установлено, что увеличение экранирующих свойств со снижением степени линейной поляризации в области спектра 0,38 – 2,3 мкм наблюдается у сетчатых материалов с уменьшением размера ячейки. Максимальное снижение степени линейной поляризации наблюдалось у сеток с размером отверстия 1,0 мм и большей площади тканевой основы [2-А, 4-А, 6-А, 7-А, 8-А, 9-А, 10-А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Показано, что использование спектрорадиометра с рабочим спектральным диапазоном 0,35 – 2,5 мкм и поляризационной насадкой на основе Глана-Тейлора совместно с гониометрической установкой Г-5 позволяет исследовать спектральные и спектрально-поляризационные свойства различных маскировочных материалов в соответствующей широкой спектральной области [1-А, 3-А, 4-А].

2. Показано, что для повышения эффективности использования сетчатых материалов и структур в диапазоне 0,4 – 2,5 мкм с учетом спектральных и спектрально-поляризационных параметров отраженного от сеток излучения необходимо использовать размер ячейки 1 – 2 мм при соответствии площадей перемычек и отверстий. Поверхность сетчатого материала должна быть неровной, с площадками, расположенными под различными углами. Данные

параметры сетчатых материалов позволяют использовать их с максимальной эффективностью для уменьшения заметности «бликующих» поверхностей объектов [6–А, 7–А, 8–А, 9–А].

3. Предложенные комбинированные конструкции защитных образцов в области электромагнитного излучения оптического диапазона 0,4 – 2,5 нм на основе порошкообразных материалов (торф, песок, сушеные листья), закрепляемых в силиконе, характеризуются уменьшением контраста с натурными фонами, что позволило создать новые материалы для имитации различных покровов и грунтов [4–А, 10–А, 12–А, 13–А].

4. Натурные эксперименты по верификации лабораторных исследований с помощью спектровидеополяриметра СВП подтвердили адекватность методики лабораторных исследований и показали соответствие результатов натуральных и лабораторных экспериментов [2–А, 3–А, 4–А, 5–А, 9–А, 10–А, 11–А].

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в научных журналах

1. Беляев, Ю.В. Исследование оптических отражательных характеристик поверхностей различных объектов при дистанционном зондировании / Ю.В. Беляев, Дж. Саад Омер, И.М. Цикман // Доклады БГУИР. – 2011. – № 1(55). – С. 75–79.

2. Омер, Дж. Саад. Угловое распределение спектрально-поляризационных параметров отраженного излучения / Дж. Саад Омер, И.М. Цикман, Ю.В. Беляев // Доклады БГУИР. – 2012. – № 4(66). – С. 37–41.

3. Омер, Дж. Саад. Влияние сетчатообразных материалов на коэффициент спектральной яркости образцов при различных углах наблюдения / Дж. Саад Омер, И.М. Цикман, Ю.В. Беляев // Доклады БГУИР. – 2012. – № 8 (70). – С. 32–36.

4. Омер, Дж. Саад. Метод оценки оптических свойств материалов для снижения контраста объект–фон / Дж. Саад Омер, Ю.В. Беляев, И.М. Цикман // Доклады БГУИР. – 2013. – № 2(72). – С. 31–37.

Статьи в материалах научных конференций

5. Омер, Дж. Саад. Угловое распределение коэффициентов спектральной яркости комбинированных образцов металл–сетка / Дж. Саад Омер, И.М. Цикман, Ю.В. Беляев // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных : материалы междунар. науч.-техн.

семинара, Минск, янв.–дек. 2012 г. / Беларус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: М.Н. Бобов [и др.]. – Минск : БГУИР, 2012. – С. 80–83.

6. Беляев, Ю.В. Исследование спектрополяризационных контрастов в задачах снижения заметности при дистанционном зондировании / Ю.В. Беляев, Дж.Саад Омер, И.М. Цикман // Технические средства защиты информации : материалы 8-й Беларус.-российск. науч.-техн. конф., Браслав, 24–28 мая 2010 г. / Беларус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники, редкол.: Л.М. Лыньков [и др.]. – Минск : БГУИР, 2010. – С. 126–127.

7. Снижение контрастирования природных и искусственных образований в целях защиты информации / Ю.В. Беляев, Дж. Саад Омер, А.П. Попков, И.М. Цикман // Современные средства связи : материалы 15-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 28–30 сент. 2010 г. / Высш. гос. колледж связи; редкол.: А.О. Зеневич [и др.]. – Минск : УО ВГКС, 2010. – С. 148.

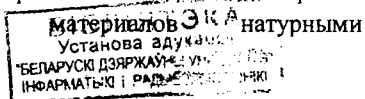
8. Омер Дж. Саад, Определение угловых спектрально-отражательных характеристик различных материалов в ИК-диапазоне для снижения уровня информации в задачах дистанционного зондирования / Дж. Саад Омер, И.М. Цикман, Ю.В. Беляев // Управление информационными ресурсами : материалы 8-й Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 10 февр. 2011 г. / Акад. упр. при Президенте Респ. Беларусь, редкол.: В.А. Богущ [и др.]. – Минск, 2011. – С. 167–168.

9. Беляев, Ю.В. Спектрально-поляризационные характеристики различных материалов в области 1,0–2,5 мкм / Ю.В. Беляев, Дж. Саад Омер, И.М. Цикман // Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики и физики конденсированного состояния : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 40-летию НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ, Минск, 28 февр. 2011 г. / М-во образования Респ. Беларусь, НИУ «Ин-т приклад. физ. проблем им. А.Н. Севченко» Беларус. гос. ун-та; редкол.: В.И. Попечич [и др.]. – Минск, 2011. – С. 17–18.

Тезисы докладов на научных конференциях

10. Омер, Дж. Саад. Спектральные зависимости степени линейной поляризации объектов с сеточным покрытием при различных фазовых углах / Дж. Саад Омер, И.М. Цикман, Ю.В. Беляев // Технические средства защиты информации : материалы 10-й Беларус.-российск. науч.-техн. конф., Минск, 29–30 мая 2012 г. / Беларус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники; редкол.: Л.М. Лыньков [и др.]. – Минск : БГУИР, 2012. – С. 85.

11. Беляев, Ю.В. Верификация лабораторных методик измерений спектральных параметров защитных



спектрозональными съемками // Ю.В. Беляев, Дж. Саад Омер, И.М. Цикман // Технические средства защиты информации: материалы XI Белорус.-российск. науч.-техн. конф., Минск, БГУИР, 5–6 июня 2013 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники; редкол.: Л.М. Лыньков [и др.]. – Минск: БГУИР, 2013. – С.87.

12. Омер Джамаль Саад. Разработка рекомендаций по использованию конструкций и устройств маскировочных материалов для скрытия объектов в диапазоне излучения 0,4–2,5 мкм // Джамаль Саад Омер. // Технические средства защиты информации: материалы XI Белорус.-российск. науч.-техн. конф., Минск, БГУИР, 5–6 июня 2013 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники; редкол.: Л.М. Лыньков [и др.]. – Минск : БГУИР, 2013. – С.89.

Патенты

13. Спектрально-поляризационный имитатор растительности: заявка на пат. 5589 Респ. Беларусь, МПК F 41Н 3/00, F 41Н 3/02 / Ю.В. Беляев, Джамаль Саад Аб. Омер, Л.М. Лыньков, О.В. Бойправ, Т.В. Борботько; заявитель БГУИР. – № u20130424; заявл. 21.05.2013. (Положительное решение 30.06.2013).

بسمك الرقيب

РЭЗІЮМЭ

Омер Джамаль Саад Абулькасім

Камбінаваныя матэрыялы для імітацыі натуральнага асяроддзя у бачным і інфрачырвоным дыяпазонах даўжынь хваль для сістэм абароны інфармацыі

Ключавыя словы: спектр адлюстравання, каэфіцыент спектральнай яркасці, спектрарадыёметр, маскіровачныя матэрыялы, кантраст, ступень лінейнай палярызацыі, куты візавання, спектранальных здымкі.

Мэта працы: распрацоўка структуры і матэрыялаў з пэўнымі аптычнымі параметрамі ў бачным і інфрачырвоным дыяпазонах для імітацыі натуральных асяроддзяў ў сістэмах абароны інфармацыі. **Аб'ект даследавання:** спосабы і сродкі імітацыі натуральных асяроддзяў і утварэнняў для процідзеяння ўцечкі інфармацыі. **Прадмет даследавання:** спектральныя, энергетычныя, палярызацыйныя, вуглавая характарыстыкі аптычнага поля асяроддзяў і аб'ектаў у вобласці даўжынь хваль 0,4 – 2,5 мкм.

Метады даследавання: аналітычны метад, мадэльны і даследчы эксперыменты, вымярэнне і статыстычныя метады апрацоўкі дадзеных.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: Эксперыментальна абгрунтаваныя камбінаваныя канструкцыі і матэрыялы, якія зніжаюць кантраст выпраменьвання аптычнага дыяпазону 0,4 – 2,5 мкм з рознымі фонамі, на аснове натуральных і штучных матэрыялаў (сеткаватыя матэрыялы, торф, пясок, свежесрезаныя і сушаныя лісце, силикагель), якія замацоўваюцца ў клеях і сіліконе, што дазволіла рэкамендаваць імітатары розных пакроваў і грунту ў бачнай і блізкай інфрачырвонай вобласці. Устаноўлены асаблівасці спектральных і спектральна-палярызацыйных характарыстык матэрыялаў на аснове расліннасці, влагасодержащих матэрыялаў на аснове силикагеля і сеткаватых структур, якія размяшчаюцца на іх паверхнях, у дыяпазоне даўжынь хваль 0,4 – 2,5 мкм, якія складаюцца ў зніжэнні яркаснага і палярызацыйнага кантрасту з натуральнымі фонамі да 0,1, што дазваляе выкарыстоўваць іх для імітацыі грунтоў, пад покрывам расліннага паходжання.

Ступень выкарыстання: створаныя матэрыялы і атрыманыя іх спектральныя і спектральна-палярызацыйныя характарыстыкі выкарыстоўваецца ў навучальным працэсе БДУР.

Вобласць ужывання: маскіроўка хаваючых аб'ектаў на фоне прыродных асяроддзяў ў аптычным дыяпазоне даўжынь хваль для вырашэння задач інфармацыйнай бяспекі.

РЕЗЮМЕ

Омер Джамаль Саад Абулькасим

Комбинированные материалы для имитации естественных сред в видимом и инфракрасном диапазонах длин волн для систем защиты информации

Ключевые слова: спектр отражения, коэффициент спектральной яркости, спектрорадиометр, маскировочные материалы, контраст, степень линейной поляризации, углы визирования, спектрозональные снимки.

Цель работы: разработка структуры и материалов с определенными оптическими параметрами в видимом и инфракрасном диапазонах для имитации естественных сред в системах защиты информации. **Объект исследования:** способы и средства имитации естественных сред и образований для противодействия утечки информации. **Предмет исследования:** спектральные, энергетические, поляризационные, угловые характеристики оптического поля сред и объектов в области длин волн 0,4 – 2,5 мкм.

Методы исследования: аналитический метод, модельный и исследовательский эксперименты; измерение и статистические методы обработки данных.

Полученные результаты и их новизна: Экспериментально обоснованы комбинированные конструкции и материалы, снижающие контраст излучения оптического диапазона 0,4 – 2,5 мкм с различными фонами, на основе естественных и искусственных материалов (сетчатые материалы, торф, песок, свежесрезанные и сушеные листья, силикагель), закрепляемых в клеях и силиконе, что позволило рекомендовать имитаторы различных покровов и грунтов в видимой и ближней инфракрасной области. Установлены особенности спектральных и спектрально-поляризационных характеристик материалов на основе растительности, влагосодержащих материалов на основе силикагеля и сетчатых структур, располагающихся на их поверхностях, в диапазоне длин волн 0,4 – 2,5 мкм, заключающиеся в снижении яркостного и поляризационного контраста с естественными фонами до 0,1, что позволяет использовать их для имитации грунтов и покровов растительного происхождения.

Степень использования: созданные материалы и их полученные спектральные и спектрально-поляризационные характеристики используется в учебном процессе БГУИР.

Область применения: маскировка скрываемых объектов на фоне природных сред в оптическом диапазоне длин волн для решения задач информационной безопасности.

SUMMARY

Omer Jamal Saad Aboulkasem

The combination materials to simulate the natural environment in the visible and infrared wavelengths for security systems

Keywords: reflection spectrum, the ratio of the spectral brightness, spectroradiometer, masking materials, the contrast, the degree of linear polarization, viewing angles, shots spectrozonal **Objective:** To develop structures and materials with specific optical parameters in the visible and infrared bands to simulate natural media in information security systems.

The object of study: the ways and means to simulate the natural environment and education to counteract the leak. **The subject of the study:** spectral, energy, polarization, angular characteristics of the optical field environments and objects in the wavelength range of 0,4 – 2,5 μm . **Methods of research:** analytical method, modeling and research experiments, measurements and statistical methods of data processing.

The results obtained and their novelty: Experimentally proved the combined design and materials that reduce the contrast of optical radiation range of 0,4 – 2,5 μm with different backgrounds, on the basis of natural and artificial materials (mesh materials, peat, sand, fresh cut and dried leaves, silica gel), in adhesives and dockable silicone, allowing simulators to recommend various covers and soils in the visible and near infrared region. The features of the spectral and spectral polarization properties of materials on the basis of vegetation, water-containing materials based on silica gel and mesh structures, which are located on their surfaces in the wavelength range of 0,4 – 2,5 μm , is to reduce the brightness and polarization contrast with the natural backgrounds to 0,1, which allows them to simulate soil and plant covers.

Degree of use: materials created or received their spectral and spectral-polarization characteristics used in the educational process BSUIR.

Sphere of application: disguise hidden objects on the background of natural environments in the optical wavelength range to meet the challenges of information security.

Научное издание

Омер Джамаль Саад Абулькасим

**КОМБИНИРОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИМИТАЦИИ
ЕСТЕСТВЕННЫХ СРЕД В ВИДИМОМ И ИНФРАКРАСНОМ
ДИАПАЗОНАХ ДЛИН ВОЛН ДЛЯ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ
ИНФОРМАЦИИ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальностям:

- 05.13.19 – Методы и системы защиты информации,
информационная безопасность,
05.27.06 – Технология и оборудование для производства полупроводников,
материалов и приборов электронной техники

Подписано в печать 01.11.2013.	Формат 60x84 ¹ / ₁₆ .	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Отпечатано на ризографе.	Усл. печ. л. 1,63.
Уч.-изд. л. 1,4.	Тираж 60 экз.	Заказ 420.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009
220013, Минск, П. Бровки, 6