

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
“БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ”

УДК 621.396.96 : 004.056.5

АЛИ ХАМЗА
АБДУЛЬКАДЕР АБДУЛЬКАБЕР

СРЕДСТВА СНИЖЕНИЯ ЗАМЕТНОСТИ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ В
ИНФРАКРАСНОМ ДИАПАЗОНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ТЕПЛООБМЕННЫХ СРЕД

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.13.19 – Методы и системы защиты информации,
информационная безопасность

Минск 2012

Работа выполнена в учреждении образования “Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники”

Научный руководитель: **Борботько Тимофей Валентинович**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры защиты информации учреждения образования “Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники”

Официальные оппоненты: **Беляев Борис Илларионович**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией дистанционной фотометрии Научно-исследовательского учреждения “Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко” Белорусского государственного университета

Горшков Сергей Анатольевич, к.т.н., доцент, начальник кафедры радиолокации и приема-передающих устройств Учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь»

Оппонирующая организация: Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси

ВВЕДЕНИЕ

Информационная безопасность сегодня – важнейшая сфера деятельности человека, одним из основных направлений которой является защита сведений от утечки по техническим каналам, в частности тепловым, где информация представляется в виде физических полей инфракрасного (теплового) диапазона. Возникновение такого канала утечки обусловлено наличием средств дистанционного зондирования (тепловизоров), способных регистрировать различие по температуре между объектом и фоном, на котором он размещается, что позволяет реализовывать процесс его обнаружения, опознавания и идентификации.

Противодействие перехвату информации по тепловому каналу реализуется за счет использования средств тепловой защиты, которые закрепляются на поверхности защищаемого объекта и позволяют обеспечить снижение температуры его поверхности. В основу таких технических средств положено поглощение теплового потока защищаемого объекта за счет использования широкого спектра материалов. Высокоинтенсивный тепловой обмен между таким материалом и защищаемым объектом приводит к значительному превышению температуры поверхности материала над температурой фона, на котором размещается объект. Кроме того, для тепловой защиты, используют конструкции тепловых экранов с принудительным охлаждением теплоносителями в газообразном и жидком видах. Недостатком таких конструкций является наличие теплообменного аппарата с температурой поверхности, превышающей температуру фона. Существующие конструкции тепловых средств защиты имеют значительную стоимость, что требует разработки новых высокотехнологичных средств пассивной защиты информации от утечки по тепловым каналам. Особый практический интерес представляет разработка высокоэффективных средств тепловой защиты с динамически управляемой температурой поверхности, что является целесообразным для подвижных защищаемых объектов, перемещающихся по подстилающим поверхностям и фонам с различной температурой.

В данной работе приводятся результаты разработки и исследования средств тепловой защиты с управляемо изменяемой температурой поверхности, что реализуется за счет варьирования скорости движения теплоносителя, охлаждающего поверхность такого средства. Практическое использование таких конструкций позволяет снизить дальность обнаружения, опознавания и идентификации наземных объектов.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами

Тема диссертационной работы утверждена приказом ректора учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» № 1-о от 26.09.2008 г. и соответствует подразделу 5.5 «Методы, средства и технологии обеспечения информационной безопасности при обработке, хранении и передаче 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, № ГР 200799).

Цель и задачи исследования

Цель диссертационной работы состоит в создании средств пассивной защиты с управляемо изменяемой температурой поверхности для обеспечения скрытия объектов от обнаружения техническими средствами дистанционного зондирования в тепловом и радиочастотном диапазонах.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Разработать методику оценки эффективности средств тепловой защиты.
2. Выполнить обоснование конструкции средств тепловой защиты с принудительным охлаждением.
3. Разработать устройство охлаждения средств тепловой защиты.
4. Разработать систему снижения тепловой заметности наземного объекта.
5. Исследовать экранирующие свойства средств тепловой защиты в радиочастотном диапазоне.
6. Обосновать возможность использования средств тепловой защиты для скрытия объектов в радиочастотном диапазоне.

В качестве объекта исследования выбраны средства тепловой защиты. Предметом исследования являются изменение температуры поверхности средств тепловой защиты при их охлаждении теплоносителями в жидкой и газообразной фазе, их характеристики ослабления и отражения электромагнитных волн радиочастотного диапазона.

Положения, выносимые на защиту

1. Введение воздушного потока со скоростью до 1 м/с между конструкцией средства тепловой защиты, выполненного на основе волокнистого материала, содержащего в своем объеме водный раствор хлорида кальция, и защищаемым объектом, нагреваемым до температуры 120 °С, позволяет стабилизировать влагосодержание средства тепловой защиты и обеспечить снижение дальности теплового обнаружения наземного объекта до 1,1 раза при начальной температуре теплоносителя 24 °С и температуре фона (земная поверхность) 18 °С.

2. Уменьшение коэффициента отражения электромагнитного излучения средства тепловой защиты, выполненного на основе поликарбоната сотовой конструкции от -2 до -17 дБ, в диапазоне частот 6–12 ГГц при увеличении скорости движения теплоносителя с 0,2 до 0,3 м/с путем введения в каждый канал такой конструкции теплоносителя в жидкой фазе, что позволяет использовать такое средство защиты для радиолокационного скрывтия наземного объекта и одновременно обеспечить снижение дальности теплового обнаружения объекта до 1,5 раза при начальной температуре теплоносителя 18 °С и температуре фона (земная поверхность) 18 °С.

Личный вклад соискателя

Все основные результаты, изложенные в диссертационной работе, получены соискателем самостоятельно. В совместно опубликованных работах автору принадлежат определение целей и постановка задач исследования, выбор методов исследования, непосредственное участие в проведении экспериментов по разработке конструкций средств тепловой защиты и изучению свойств, а также обработка, анализ и интерпретация полученных результатов, формулировка выводов.

Основными соавторами опубликованных работ являются: научный руководитель, д-р техн. наук, доцент Т.В. Борботько, который принимал участие в планировании работ и обсуждении результатов, д-р техн. наук Л.М. Лыньков, совместно с которым разрабатывались конструкции средств тепловой защиты.

Апробация результатов диссертации

Основные положения и результаты диссертации обсуждались на Международной научно-технической конференции, посвященной 45-летию БГУИР (Минск, 2009), XIV Международной конференции «Комплексная защита информации» (Могилев, 2009), IV Международной научной конференции по военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения (Минск, 2009), VII, VIII, IX, X Российско-белорусских научно-технических конференциях «Технические средства защиты информации» (Нарочь, 2009, Браслав, 2010, Минск, 2011, 2012), XIV, XV

Международных научно-технических конференциях «Современные средства связи» (Нарочь, 2009, Минск, 2010), VII, IX Научно-технической конференции «Управление информационными ресурсами» (Минск, 2009, 2011), Международном научно-техническом семинаре «Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных» (Браслав, 2010).

Опубликованность результатов диссертации

По результатам исследований, представленных в диссертации, опубликовано 19 работ, в том числе 1 монография (5 авторских листов), 4 статьи в научных журналах (1,1 авторского листа), 6 статей в сборниках материалов конференций, 7 тезисов докладов, 1 патент Республики Беларусь на полезную модель. Без соавторов опубликовано 2 работы, из которых 2 статьи в научном журнале.

Общий объем публикаций по теме диссертации, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, составляет 7,3 авторских листа.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав с выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и приложения. В первой главе проведен анализ проблемы утечки информации по тепловым каналам, особенностей ее решения с помощью средств тепловой защиты, во второй приводится описание методики оценки эффективности использования средств защиты информации от утечки по тепловым каналам, применяемого оборудования и методик получения и обработки тепловых изображений, расчета дальности обнаружения, опознавания и идентификации объекта, расчета тепловых полей средств тепловой защиты, а также их конструкций. Третья глава содержит результаты исследования процессов теплообмена для разработанных конструкции модулей средств тепловой защиты охлаждаемых теплоносителем в жидкой (вода, 50 %-ый водный раствор этиленгликоля) и газообразной (воздух) фазе. В четвертой главе изложены процессы формирования конструкций средств тепловой защиты, результаты исследования влияния скорости движения теплоносителя на коэффициенты отражения и передачи средств тепловой защиты на основе полимерных материалов, результаты исследования разработанного теплообменного аппарата контактного типа для систем снижения тепловой заметности объектов, рассмотрены принципы построения системы снижения тепловой заметности наземного объекта.

Общий объем диссертационной работы составляет 125 страниц, из них 70 страниц текста, 101 рисунок на 40 страницах, 8 таблиц на 2 страницах, библиографический список из 113 источников, включая 19 собственных публикаций автора, на 10 страницах, 1 приложение на 3 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении определены основные направления исследований, обоснована актуальность темы диссертации, показана необходимость проведения исследований связанных с разработкой средств тепловой защиты для предотвращения утечки информации по тепловому каналу.

В первой главе приведены результаты анализа технической литературы, где показано, что тепловой канал утечки информации может быть использован для негласного перехвата сведений (обнаружение объектов наблюдения и измерение их характеристик). Возникновение такого канала обусловлено различием в температурах между объектом наблюдения и фоном (тепловой контраст), на котором расположен объект. Снижение заметности объекта может быть обеспечено за счет использования средств защиты, которые позволяют регулировать теплообмен между ним и средой в которой он расположен.

Распространение ИК-излучения в анизотропных средах обуславливается теплопроводностью и теплопередачей среды, процессом конвекции. Превалирующее влияние того или иного способа теплопередачи зависит от материала конструкции, характера его пористости, среды, в которой он эксплуатируется, и его температуры.

Основным методом снижения температуры поверхности объекта наблюдения является поглощение его тепловой энергии конденсированными веществами, в качестве которых используются волокнистые теплоизолирующие материалы, основным недостатком которых является увеличение их теплопроводности при повышении влажности. В меньшей степени таким недостатком обладают многослойные конструкции теплоизолирующих материалов, в которых слои с низкой теплопроводностью чередуются с теплоотражающими слоями. Однако применение таких конструкций для снижения температуры поверхности энергонасыщенных объектов является малоэффективным ввиду сильного влияния на теплопередачу лучистого теплообмена.

Снижение температуры поверхности энергонасыщенных объектов реализуется за счет использования систем принудительного охлаждения, где в качестве хладагентов применяются газы или жидкости с высокими значениями теплоемкости. Однако использование такого типа систем для защиты подвижных объектов наблюдения является сложной задачей, так как применяемые в них теплообменные аппараты, обеспечивающие понижение температуры нагретого хладагента сами являются источниками теплового излучения и соответственно могут демаскировать объект наблюдения, в системе защиты которого они используются.

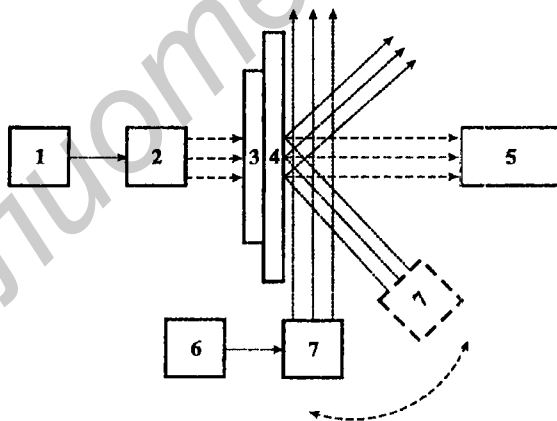
Показано, что современные средства защиты информации позволяют блокировать одновременно ряд каналов, основными из которых являются

электромагнитный (позволяет обнаружить объект с максимального расстояния) и тепловой (на обнаружение объекта погодные условия практически не влияют) каналы утечки информации. Для противодействия перехвату информации по таким каналам предпочтительными являются многослойные конструкции средств защиты.

Для решения проблемы защиты информации от утечки по тепловому каналу необходимо разработать конструкции высокоэффективных средств тепловой защиты, характеризующиеся невысокими значениями массы и стоимости.

Во второй главе описана разработанная методика оценки эффективности средств защиты информации от утечки по тепловым каналам, позволяющая рассчитать дальность обнаружения, опознавания и идентификации объекта наблюдения на основе результатов лабораторных измерений температуры поверхности модуля СТЗ с учетом температур поверхности защищаемого объекта и фона, на котором он размещается, метеорологических условий наблюдения и основных технических характеристик тепловизионной техники.

Приведены описания разработанного лабораторного стенда (рисунок 1) и методики проведения лабораторных исследований изменения температуры поверхности модуля СТЗ в условиях его конвективного охлаждения при движении воздушного потока в зоне размещения СТЗ с требуемой скоростью и направлением.



1 – источник питания; 2 – лампа КГ-220-1000-5; 3 – стальная пластина; 4 – исследуемый модуль СТЗ; 5 – тепловизор; 6 – источник питания; 7 – вентилятор

Рисунок 1 – Схема стенда для исследования СТЗ

Предложена методика получения и обработки тепловых изображений,

позволяющая рассчитать средние значения температуры участков поверхности модуля СТЗ, характеризующиеся значением температуры выше аналогичного параметра базового участка модуля СТЗ, путем последовательной обработки термограмм с помощью СПО.

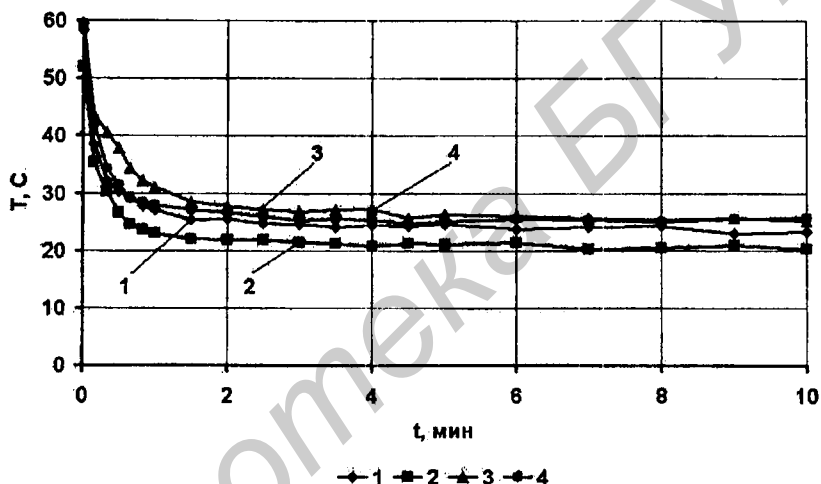
Рассмотрена методика расчета дальности обнаружения, опознавания и идентификации объекта наблюдения, температура поверхности которого отличается от температуры фона, на котором он размещается и учитывающей линейные размеры объекта, температуру его и фона на котором он размещается, метеорологические условия его наблюдения и основные параметры тепловизора. Обнаружение, опознавание и идентификация объекта наблюдения выполняется на основе критерия Ллойда.

Разработаны конструкции модулей СТЗ. В качестве теплоносителей для них выбраны вода, водный раствор глицерина и воздух исходя из критериев рабочего диапазона температур модуля СТЗ, теплоемкости, коррозионной активности, вязкости и безопасности теплоносителя. Выбор и обоснование применения материалов для создания разработанных конструкций модулей СТЗ предложено выполнять на основе расчетов их тепловых полей методом конечных элементов. В качестве программы, реализующей данный метод, выбрана программа Elcut, характеризующаяся высокой скоростью решения задачи при обеспечении практически линейной зависимости времени решения от размерности задачи, что позволяет в значительной степени сократить временные затраты на проведение расчетов.

В третьей главе приведены результаты исследований разработанных конструкций средств тепловой защиты на основе металлических, полимерных, волокнистых материалов, однослойной и многослойной конструкций.

Разработаны однослойные конструкции модулей СТЗ, выполняемые на основе анодированного алюминиевого листа (толщина 3 мм), в объеме которого был сформирован канал круглого сечения для подачи теплоносителя. Показано, что повышение скорости теплоносителя (воды), движущегося в модуле СТЗ, с 8 до 31 см/с позволяет снизить температуру его поверхности с 45–56 °С до 24–26 °С в течение 1 мин функционирования системы охлаждения (температура поверхности источника ИК-излучения 150 °С). Увеличение расстояния между центрами соседних участков канала с 25 до 150 мм приводит к росту температуры поверхности исследуемого модуля СТЗ с 24–25 °С (25 мм) до 26–27 °С (150 мм). Для применения разработанных конструкций модулей СТЗ в условиях температуры воздуха ниже 0 °С в качестве теплоносителя использовался 50 %-й водный раствор этиленгликоля. Увеличение скорости движения такого теплоносителя с 1,9 до 3,5 см/с приводит к снижению температуры поверхности модуля СТЗ с 47–56 °С до 33–37 °С в течении 1 мин функционирования системы охлаждения. Эта закономерность является правомерной для образцов с расстоянием между

центрами соседних участков канала 25–50 мм. Снижение веса базовых модулей СТЗ может быть достигнуто за счет использования в их конструкциях сотового поликарбоната (размер канала 10x10 мм), охлаждаемого водой. Показано, что варьирование скорости движения теплоносителя в пределах 14,6...24,4 см/с позволяет регулировать температуру его поверхности с 53–58 °С до 22–24 °С (температура источника ИК-излучения 115 °С) в течение 2...3 мин функционирования системы охлаждения (рисунок 2). Результаты моделирования распределения температурного поля для базового модуля СТЗ на основе сотового поликарбоната приведены на рисунке 3. Изотермы на изображении построены через 15 °К.



Скорость движения теплоносителя: 1 – 14,6 см/с; 2 – 18,3 см/с; 3 – 20,3 см/с; 4 – 24,4 см/с

Рисунок 2 – Температура поверхности базового модуля СТЗ на основе сотового поликарбоната при различных скоростях движения теплоносителя (вода)

Для изготовления модулей СТЗ предложено использовать волокнистые материалы (полиамидное машинно-вязаное полотно, гофрокартон), охлаждение поверхности которых обеспечивается за счет движения воды сплошным фронтом по поверхности модуля, что позволяет снизить температуру поверхности такой конструкции с 40 °С до 27–28 °С в течение 1 мин функционирования системы охлаждения (температура поверхности источника ИК-излучения 115 °С).

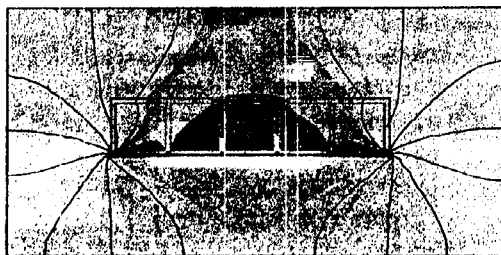


Рисунок 3 – Распределение теплового поля модели базового модуля СТЗ на основе сотового поликарбоната, охлаждаемого водой

Предложены однослойные конструкции модулей СТЗ, охлаждаемых воздушным потоком, формируемые на основе гофрокартона (толщина 5 мм) пропитываемого, водным раствором хлорида кальция. Нагрев поверхности такого модуля источником ИК-излучения (температура 115 °С) в течение 60 мин приводит к росту температуры его поверхности с 29 до 36°С, что сопровождается испарением влагосодержащего наполнителя с поверхности модуля СТЗ, в соответствии с чем масса его уменьшается со 101 до 93 г. Установлено, что прекращение теплового воздействия приводит к восстановлению влагосодержания модуля в течение 72 ч после за счет сорбции влаги из воздушной среды хлоридом кальция. Принудительное воздушное охлаждение такой конструкции позволяет снизить его температуру поверхности до 25 °С за счет отгеснения теплового потока ИК-источника воздушным потоком, который также обеспечивает пористое охлаждение влагосодержащего гофрокартона (рисунок 4). При этом масса, а также влагосодержание модуля СТЗ остаются неизменными с течением времени, что обуславливается регенерацией его влагосодержания за счет сорбции влаги из воздуха (рисунок 5).

Разработана гибкая многослойная конструкция базового модуля СТЗ (толщина 7 мм), выполненного на основе полиамидного машинно-вязаного полотна и металлизированного алюминием лавсана, охлаждаемого водой, поступающей по каналу круглого сечения, размещенного внутри полотна модуля. Показано, что использование водного охлаждения позволяет снизить температуру поверхности такого модуля СТЗ с 45–47 °С до 31–32 °С в течение 5 мин функционирования системы охлаждения при скоростях движения теплоносителя 0,023–0,079 м/с (температура источника ИК-излучения 115 °С). Для снижения температуры поверхности конструкций модулей СТЗ, выполненных на основе сотового поликарбоната, предложено формировать многослойные конструкции, где в качестве дополнительного слоя используются волокнистые материалы (полиамидное машинно-вязаное полотно

или гофрокартон). Установлено, что в случае, когда волокнистый материал, например, гофрокартон в своем объеме содержит воду, то температура его поверхности составляет 17–21°C (температура источника ИК-излучения 115 °C) при условии, что тепловое воздействие от источника ИК-излучения осуществляется после полного охлаждения поверхности модуля теплоносителем (вода).

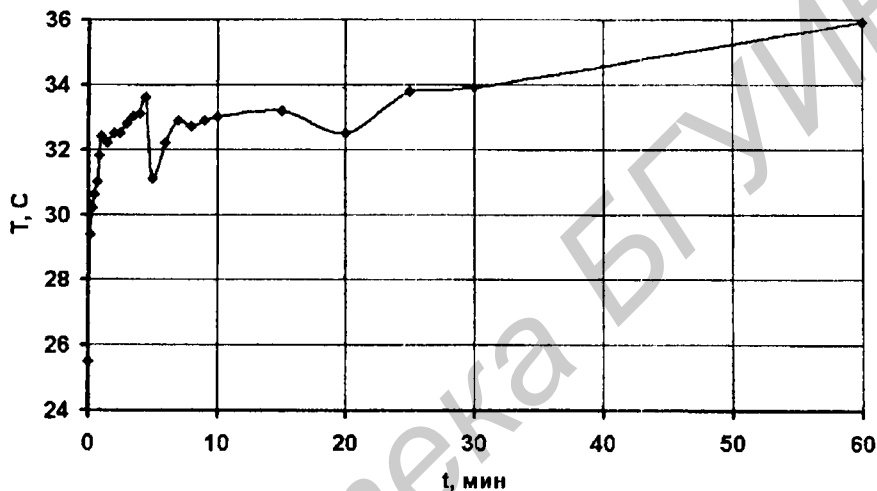
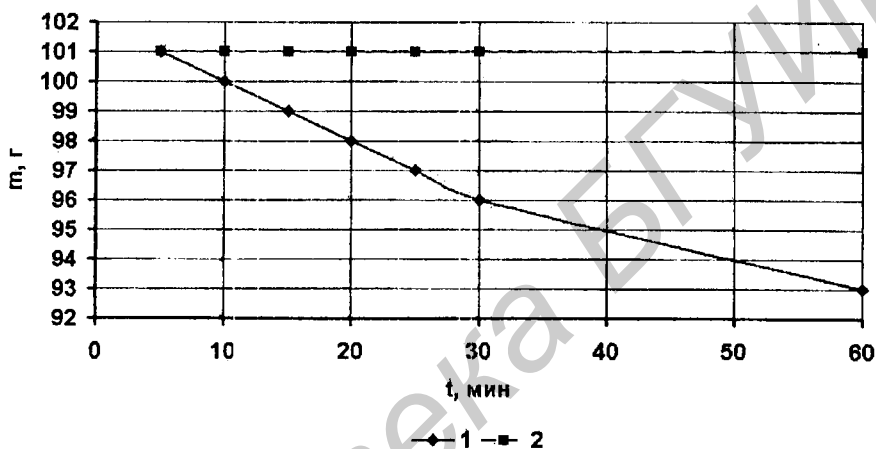


Рисунок 4 – Температура поверхности базового модуля СТЗ на основе гофрокартона, пропитанного водным раствором хлорида кальция

Показана возможность использования гибкой многослойной конструкции модуля СТЗ (толщина 7 мм), выполненного на основе полиамидного машинно-вязаного полотна и металлизированного алюминием лавсана при его охлаждении воздушным потоком. Установлено, что температура поверхности такой конструкции при скорости движения воздушного потока не менее 0,8 м/с составляет не более 29 °C (температура источника ИК-излучения 170 °C) при его охлаждении в течение 7 мин. Установлено, что при увлажнении полиамидного машинно-вязаного полотна водой температура поверхности конструкции модуля СТЗ при тех же режимах охлаждения имеет значения в среднем на 2 °C меньше.

Предложено использовать двухконтурную систему охлаждения (вода, воздух) модуля СТЗ, выполненного на основе полиамидного машинно-вязаного полотна и металлизированного алюминием лавсана. Установлено, что одновременное охлаждение такой конструкции воздухом (скорость движения

0,63...0,98 м/с) и водой (скорость движения 0,023–0,079 м/с) позволяет снизить температуру ее поверхности с 45–47 °С до 24–27 °С в течение 4 мин функционирования системы охлаждения (температура источника ИК-излучения 170 °С). Полученные значения температур ниже на 5–7 °С по сравнению с температурой поверхности аналогичного модуля СТЗ, охлаждаемого только водой, при одновременном уменьшении временных затрат на охлаждение поверхности модуля на 1 мин.



Воздушное охлаждение: 1 – с принудительным охлаждением; 2 – без принудительного охлаждения

Рисунок 5 – Зависимость массы гофрокартона, пропитанного водным раствором хлорида кальция, от времени нагрева

Рассчитаны дальности обнаружения, опознавания и идентификации наземного объекта (температура 100 °С) размещаемого на фоне земной поверхности (температура 18 °С) при условии применения для его обнаружения тепловизора, характеризующегося разрешающей способностью 0,04 °С и пространственной частотой 2,5 мрад⁻¹ (широкое поле зрения) и 12,5 мрад⁻¹ (узкое поле зрения). Показано, что на максимальную дальность обнаружения, опознавания и идентификации такого объекта при условии его хорошей видимости (коэффициент пропускания атмосферы 1) в большей степени оказывает его размер (зависимость линейная) вне зависимости от поля зрения тепловизора. По результатам лабораторных испытаний разработанных однослойных и многослойных конструкций модулей СТЗ установлено, что предложенные конструкции позволяют снизить дальность обнаружения

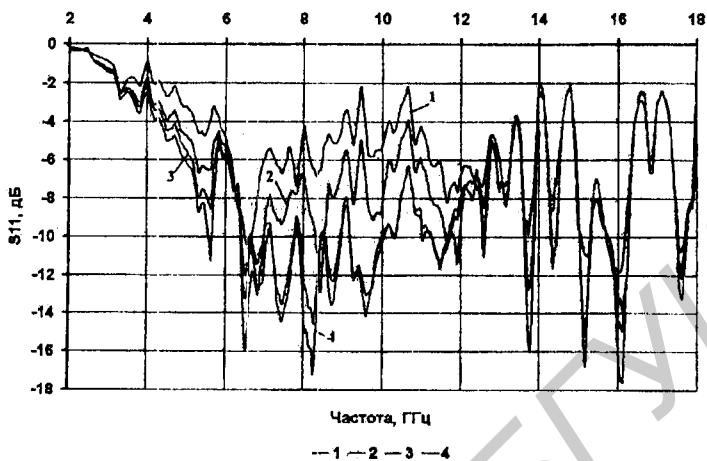
наземного объекта (площадь участка модуля СТЗ с температурой выше $18^{\circ}\text{C} - 1\text{ м}^2$) до 1,45 раза при температуре теплоносителя 18°C , максимально возможной дальности обнаружения 6,25 км и в условиях его плохой видимости (пропускание атмосферы 0,2) (таблица 1). Для снижения дальности обнаружения, опознавания и идентификации наземного объекта в условиях его хорошей видимости необходимо, чтобы начальные значения температур применяемых теплоносителей были ниже значения температуры земной поверхности, что может быть обеспечено за счет использования теплообменного аппарата.

Таблица 1 – Дальность обнаружения наземного объекта

№ п/п	Наименование конструкции модуля СТЗ	Дальность обнаружения, км	Снижение дальности обнаружения, раз
1	Однослойная конструкция с жидкостным охлаждением	4,31	1,45
2	Однослойная конструкция с воздушным охлаждением	5,99	1,04
3	Многослойная конструкция с жидкостным охлаждением	4,31	1,45
4	Многослойная конструкция с воздушным охлаждением	5,41	1,15
5	Многослойная конструкция с комбинированным охлаждением	5,16	1,21

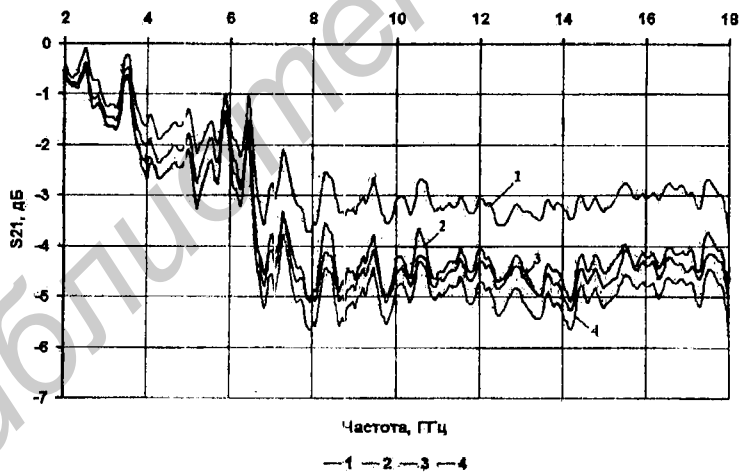
В четвертой главе изложены процессы формирования модулей средств тепловой защиты однослойной конструкции на основе металлических и полимерных материалов и многослойной конструкции на основе волокнистых и полимерных материалов, а также предложено оборудование для их производства.

Предложено использовать модульные конструкции СТЗ на основе полимерных материалов (сотовый поликарбонат типа 2RS толщиной 10 мм) принудительно охлаждаемых теплоносителем в жидкой фазе (вода, 50 %-й водный раствор этиленгликоля) в качестве конструкционных радиопоглощающих материалов. Установлено, что коэффициент отражения таких конструкций уменьшается при увеличении скорости движения теплоносителя с 0,19 до 0,31 м/с и для конструкций охлаждаемых водой составляет -3,5--10 дБ, а для конструкций, охлаждаемых 50 %-м водным раствором этиленгликоля -2--17 дБ (рисунок 6), при одновременном увеличении коэффициента передачи с -3 до -12 дБ и -2 до -5,5 дБ (рисунок 7) соответственно в диапазоне частот 6–12 ГГц.



Скорость движения теплоносителя: 1 – 0,11 м/с; 2 – 0,15 м/с; 3 – 0,22 м/с; 4 – 0,27 м/с

Рисунок 6 – Зависимость коэффициента отражения модуля СТЗ на основе сотового поликарбоната, охлаждаемого 50%-м водным раствором этиленгликоля, от частоты



Скорость движения теплоносителя: 1 – 0,11 м/с; 2 – 0,15 м/с; 3 – 0,22 м/с; 4 – 0,27 м/с

Рисунок 7 – Зависимость коэффициента передачи модуля СТЗ на основе сотового поликарбоната, охлаждаемого 50 %-м водным раствором этиленгликоля, от частоты

Разработан теплообменный аппарат контактного типа, охлаждение теплоносителя в котором реализуется за счет использования термоэлектрического модуля Пельтье. Установлено, что при совместной работе такого устройства с модулем СТЗ на основе алюминия при температуре поверхности 150 °С экранируемого источника ИК-излучения происходит практически равномерное увеличение температуры теплоносителя (вода) по объему резервуара теплообменного аппарата на 5–5,5 °С при функционировании теплообменного аппарата в течение 2 ч и скорости движения теплоносителя 0,07–0,1 м/с. Показано, что функционирование указанной системы более 2 ч не приводит к дальнейшему увеличению температуры теплоносителя.

Предложена система пассивной защиты информации от утечки по тепловому каналу, позволяющая управляемо изменять температуру поверхности СТЗ, принудительно охлаждаемого теплоносителем в жидкой фазе, за счет изменения скорости движения и температуры теплоносителя. Снижение теплового контраста наземного объекта предлагаемой системой обеспечивается путем реализации в ней принципов уменьшения температуры и площади контрастирующей поверхности объекта наблюдения за счет размещения на поверхности объекта наблюдения СТЗ, применения теплообменного аппарата, например контактного типа, тепловой изоляции устройства охлаждения теплоносителя и использования воздухопроводов для отвода тепловой энергии от объекта наблюдения и теплообменного аппарата.

В приложении представлены акты об использовании и внедрении результатов диссертационной работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Предложена методика оценки эффективности средств защиты информации от утечки по тепловым каналам, позволяющая рассчитать дальность обнаружения, опознавания и идентификации объекта наблюдения на основе результатов лабораторных измерений температуры поверхности модуля средства тепловой защиты с учетом температур поверхности защищаемого объекта и фона, на котором он размещается, метеорологических условий наблюдения и основных технических характеристик тепловизионной техники, что позволяет обосновать требования к конструкциям модулей средств тепловой защиты и их систем охлаждения для их совместного использования при снижении тепловой заметности наземных объектов [5–А].

2. Установлено, что введение воздушного потока со скоростью до 1 м/с между конструкцией средства тепловой защиты, выполненного на основе

волоконного материала, содержащего в своем объеме водный раствор хлорида кальция, и защищаемым объектом, нагреваемым до температуры 120 °С, позволяет стабилизировать влагосодержание средства тепловой защиты и обеспечить снижение дальности теплового обнаружения наземного объекта до 1,1 раза при начальной температуре теплоносителя 24 °С и температуре фона (земная поверхность) 18 °С [3–А].

3. Установлена закономерность уменьшения коэффициента отражения электромагнитного излучения средства тепловой защиты, выполненного на основе поликарбоната соговой конструкции от -2 до -17 дБ в диапазоне частот 6-12 ГГц при увеличении скорости движения теплоносителя с 0,2 до 0,3 м/с, за счет введения в каждый канал такой конструкции теплоносителя в жидкой фазе, что позволяет использовать такое средство защиты для радиолокационного скрывтия наземного объекта и одновременно обеспечить снижение дальности теплового обнаружения объекта до 1,5 раза при начальной температуре теплоносителя 18 °С и температуре фона (земная поверхность) 18 °С [4–А].

4. Разработана гибкая многослойная конструкция базового модуля средства тепловой защиты, выполненного на основе полиамидного машинно-вязаного полотна, поверхность которого покрывается лавсаном, металлизированным алюминием. Слои машинно-вязаного полотна соединяются друг с другом таким образом, что обеспечивается контакт между слоями металлизированного лавсана. Предложено для охлаждения поверхности такого модуля использовать воду, движущуюся по трубопроводу, закрепленному между слоями металлизированного лавсана, что позволяет снизить температуру поверхности такого модуля средства тепловой защиты с 45–47 °С до 31–32 °С в течение 5 мин функционирования системы охлаждения при скоростях движения теплоносителя 0,023–0,079 м/с (температура источника ИК-излучения 115 °С). Установлено, что температура поверхности такой конструкции при ее охлаждении воздушным потоком, движущимся со скоростью не менее 0,8 м/с и вводимым между модулем средства тепловой защиты и источником ИК-излучения (температура 170 °С), позволяет обеспечить значение температуры поверхности модуля не более 29 °С при его охлаждении в течение 7 мин. Установлено, что одновременное охлаждение такой конструкции воздухом (скорость движения 0,63–0,98 м/с) и водой (скорость движения 0,023–0,079 м/с) позволяет снизить температуру ее поверхности с 45–47 °С до 24–27 °С в течение 4 мин функционирования системы охлаждения (температура источника ИК-излучения 170 °С) [2–А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Разработаны лабораторный стенд и методика проведения лабораторных исследований изменения температуры поверхности модуля средства тепловой

защиты в условиях его конвективного охлаждения при движении воздушного потока в зоне размещения средства тепловой защиты с требуемой скоростью и направлением, что позволяет рассчитать средние значения температуры участков поверхности модуля средства тепловой защиты, характеризующиеся значением температуры выше аналогичного параметра его базового участка путем последовательной обработки термограмм с помощью СПО [1-А, 5-А].

2. Разработаны однослойные и многослойные конструкции модулей средств тепловой защиты на основе металлических, полимерных и волокнистых материалов с принудительным охлаждением теплоносителями в жидкой или газообразной фазе. В качестве теплоносителей предложено использовать воду, 50 %-й водный раствор этиленгликоля и воздух, что позволяет эксплуатировать данные устройства в диапазоне температур -20 – $+50$ °С. Показано, что управление значением температуры поверхности таких модулей может быть обеспечено за счет изменения скорости движения теплоносителя. Предложенные конструкции могут быть использованы для снижения тепловой заметности источника ИК-излучения с температурой поверхности до 170 °С [6-А, 7-А, 8-А, 9-А, 10-А, 12-А, 13-А, 14-А, 15-А, 16-А, 17-А, 19-А].

3. Для снижения дальностей обнаружения, опознавания и идентификации наземного объекта необходимо, чтобы начальные значения температур используемых для охлаждения модулей средств тепловой защиты теплоносителей были ниже значения температуры земной поверхности, что может быть обеспечено за счет использования теплообменного аппарата [1-А].

4. Разработан вариант построения системы пассивной защиты информации от утечки по тепловому каналу, которая позволяет управляемо изменять температуру поверхности модуля средства тепловой защиты за счет изменения скорости движения и температуры теплоносителя. Снижение теплового контраста наземного объекта предлагаемой системой обеспечивается за счет уменьшения температуры и площади контрастирующей поверхности объекта (размещение на его поверхности средства тепловой защиты), применения теплообменного аппарата (например контактного типа) и его тепловой изоляции, использования воздухопроводов для отвода тепловой энергии от наземного объекта и теплообменного аппарата [1-А, 11-А, 18-А].

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Монографии

1-А. Абдулькабер Хамза Абдулькадер. Тепловые и оптические каналы утечки информации. Методы и средства защиты / Абдулькабер Хамза Абдулькадер, Т.В. Борботько, Л.М. Лыньков; под ред. Л.М. Лынькова. – Минск : Бестпринт, 2012. – 172 с.

Статьи в научных журналах

2-А. Борботько, Т.В. Гибкие конструкции тепловых экранов с комбинированным конвективным охлаждением / Т.В. Борботько, Абдулькабер Хамза Абдулькадер // Инженерный вестник. – 2009. – № 1. – С. 13–16.

3-А. Абдулькабер Хамза Абдулькадер. Тепловые экраны на основе влагосодержащих волокнистых материалов / Абдулькабер Хамза Абдулькадер // Доклады БГУИР. – 2012. – № 1. – С. 59–62.

4-А. Абдулькабер Хамза Абдулькадер. Влияние скорости движения хладагента в полимерных тепловых экранах на их коэффициенты передачи и отражения / Абдулькабер Хамза Абдулькадер // Доклады БГУИР. – 2012. № 2. – С. 16–20.

5-А. Абдулькабер Хамза Абдулькадер. Методика оценки эффективности средств защиты информации от утечки по тепловым каналам / Абдулькабер Хамза Абдулькадер, Т.В. Борботько // Доклады БГУИР. – 2012. – № 6. – С. 94–98.

Статьи в сборниках и материалах конференций

6-А. Борботько, Т.В. Применение конвективного охлаждения в системах защиты информации от утечки по тепловым каналам / Т.В. Борботько, Абдулькабер Хамза Абдулькадер // XIV Международная конференция «Комплексная защита информации»: материалы Междунар. конф., – Могилев, 19–22 мая 2009 г. / Могилев, 2009. – С. 51.

7-А. Борботько, Т.В. Тепловые экраны электромагнитного излучения с конвективным охлаждением / Т.В. Борботько, Абдулькабер Хамза Абдулькадер // IV Международная научная конференция по военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 20–21 мая 2009 г. / БелИСА; редкол.: В.Е. Кратенок [и др.]. – Минск, 2009. – С. 88–89.

8-А. Борботько, Т.В. Экраны электромагнитного излучения инфракрасного диапазона с жидкостным охлаждением / Т.В. Борботько, Абдулькабер Хамза Абдулькадер // Управление информационными ресурсами: VII Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 25 нояб. 2009 г. / Академия управления при Президенте Респ. Беларусь; редкол.: В.А. Богуц [и др.]. – Минск, 2009. – С. 176–178.

9-А. Борботько, Т.В. Гибкие конструкции тепловых экранов для систем защиты информации / Т.В. Борботько, Абдулькабер Хамза Абдулькадер, О.А. Кофанова // Современные средства связи: материалы XIV Междунар. науч.-техн. конф., Нарочь, 29 сент.–1 окт. 2009 г. / ВГКС; редкол.: М.А. Баркун

[и др.]. – Минск, 2009. – С. 140.

10-А. Абдулькабер Хамза Абдулькадер. Огнестойкость тепловых экранов для защиты информации от утечки по тепловому каналу / Абдулькабер Хамза Абдулькадер, Т.В. Борботько // Современные средства связи : XV Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 28–30 сент. 2010 г. / ВГКС ; редкол.: А.О. Зеневич [и др.]. – Минск, 2010. – С. 106.

11-А. Абдулькабер Хамза Абдулькадер. Применение теплообменных аппаратов на основе элементов Пельтье в системах защиты информации от утечки по тепловым каналам / Абдулькабер Хамза Абдулькадер, Т.В. Борботько // Управление информационными ресурсами : IX Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 10 февраля 2011 г. / Академия управления при Президенте Респ. Беларусь; редкол.: А.В. Изановский [и др.]. – Минск, 2011. – С. 175–177.

Тезисы докладов

12-А. Борботько, Т.В. Материалы для систем защиты информации от утечки по тепловым каналам / Т.В. Борботько, Абдулькабер Хамза Абдулькадер // Тезисы докл. междунар. науч.-техн. конф., Минск, 19 марта 2009 г. – С. 160.

13-А. Абдулькабер Хамза Абдулькадер. Применение экранов электромагнитного излучения для защиты информации от утечки по тепловым каналам / Абдулькабер Хамза Абдулькадер, С.С. Кузнецов // Технические средства защиты информации: тезисы докл. VII Белорус.-российск. науч.-техн. конф., Минск, 23–24 июня 2009 г. / БГУИР. Минск, 2009. – С. 91.

14-А. Борботько, Т.В. Полимерные тепловые экраны с жидкостным принудительным охлаждением / Т.В. Борботько, Абдулькабер Хамза Абдулькадер, О.А. Кофанова // VIII Белорус.-российск. науч.-техн. конф. «Технические средства защиты информации»: тезисы докл. и кратк. сообщ., Браслав, 24–28 мая 2010 г. / БГУИР ; редкол.: Л.М. Лыньков [и др.]. – Минск, 2010. – С. 88–89.

15-А. Абдулькабер Хамза Абдулькадер. Тепловые экраны с пористым охлаждением для систем защиты информации / Абдулькабер Хамза Абдулькадер, Т.В. Борботько // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных : тезисы докл. Междунар. науч.-техн. семинара ; Браслав, 20–24 сент. 2010 г. / БГУИР ; редкол.: В.К. Конопелько [и др.]. – Минск, 2010. – С. 78–80.

16-А. Борботько, Т.В. Применение широкодиапазонных экранов электромагнитного излучения для блокирования теплевого канала утечки информации / Т.В. Борботько, Абдулькабер Хамза Абдулькадер // Технические средства защиты информации : тезисы докл. и кратк. сообщ. VIII Белорус.-российск. науч.-техн. конф., Браслав, 24–28 мая 2010 г. / БГУИР ; редкол.:

Л.М. Лыньков [и др.]. – Минск, 2010. – С. 89.

17-А. Абдулькабер Хамза Абдулькадер Применение влагосодержащих материалов в конструкциях тепловых экранов / Абдулькабер Хамза Абдулькадер, А.Б. Агдаев // «Технические средства защиты информации»: тезисы докл. и кратк. сообщ. IX Белорус.-российск. науч.-техн. конф., Минск, 28–29 июня 2011 г. / БГУИР; редкол.: Л.М. Лыньков [и др.]. – Минск, 2011. – С. 84–85.

18-А. Абдулькабер Хамза Абдулькадер. Теплообменный аппарат контактного типа для систем снижения тепловой заметности объектов / Абдулькабер Хамза Абдулькадер, Т.В. Борботько, Аксой Синан // Технические средства защиты информации: тезисы докл. и кратк. сообщ. X Белорус.-российск. науч.-техн. конф., Минск, 29–30 мая 2012 г. / БГУИР; редкол.: Л.М. Лыньков [и др.]. – Минск, 2012. – С. 60-61.

Патенты

19-А. Тепловой экран: пат. 6986 Респ. Беларусь, МПК А 41 D 13/10 / Л.М. Лыньков, Н.В. Насонова, Т.В. Борботько, Т.А. Пулко, Абдулькабер Хамза Абдулькадер; заявитель Учреждение образования Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – № и 20100386; заявл. 15.05.2010; опубл. 01.12.2010 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 12. – С. 216.



РЭЗЮМЭ

Алі Хамза Абдулькадэр Абдулькабер

Цеплаабменныя сродкі зніжэння прыкметнасці наземных аб'ектаў у інфрачырвоным дыяпазоне з выкарыстаннем цеплаабменных асяроддзяў

Ключавыя словы: сродкі цеплавой абароны, тэхнічны канал уцечкі інфармацыі, электрамагнітнае выпраменьванне, наземны аб'ект.

Мэта працы: стварэнне сродкаў пасіўнай абароны з кіравана змянянай тэмпературай паверхні забяспечваючых утойванне аб'ектаў ад выяўлення тэхнічнымі сродкамі дыстанцыйнага заздавання ў цеплавым і радыёчастотным дыяпазонах.

Метады даследавання і апаратура: вымярэнне тэмпературы паверхні сродкаў цеплавой абароны выконвалася на лабараторным стэндзе пры дапамозе цеплавізійнай тэхнікі, экраніруючыя характарыстыкі сродкаў цеплавой абароны былі атрыманы з выкарыстаннем панарамнага вымяральніка каэфіцыентаў перадачы і адлюстравання SNA 0,01-18.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: усталяваны заканамернасці ўплыву хуткасці руху цепланосбіта ў канструкцыях сродкаў цеплавой абароны на тэмпературу іх паверхні і каэфіцыенты адлюстравання і перадачы, якія дазволілі абгрунтаваць іх канструкцыі для зніжэння прыкметнасці наземных аб'ектаў у інфрачырвоным дыяпазоне.

Ступень выкарыстання: вынікі даследавання ўжыты ў абгрунтаванні памераў канструкцыі модуля сродку цеплавой абароны для зніжэння цеплавой прыкметнасці аб'ектаў адмысловага прызначэння (НІЛ 5.3 БДУИР), у навучальным працэсе ўстанова адукацыі "Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт інфарматыкі і радыёэлектронікі".

Вобласць ўжывання: інфармацыйная бяспека.

РЕЗЮМЕ

Али Хамза Абдулькадер Абдулькабер

Средства снижения заметности наземных объектов в инфракрасном диапазоне с использованием теплообменных сред

Ключевые слова: средства тепловой защиты, технический канал утечки информации, электромагнитное излучение, наземный объект.

Цель работы: создание средств пассивной защиты с управляемо изменяемой температурой поверхности обеспечивающих скрытие объектов от обнаружения техническими средствами дистанционного зондирования в тепловом и радиочастотном диапазонах.

Методы исследования и оборудование: измерение температуры поверхности средств тепловой защиты выполнялось на лабораторном стенде при помощи тепловизионной техники, экранирующие характеристики средств тепловой защиты были получены с использованием панорамного измерителя коэффициентов передачи и отражения SNA 0,01-18.

Полученные результаты и их новизна: установлены закономерности влияния скорости движения теплоносителя в конструкциях средств тепловой защиты на температуру их поверхности и коэффициенты отражения и передачи, позволившие обосновать их конструкции для снижения заметности наземных объектов в инфракрасном диапазоне.

Степень использования: результаты исследования применены в обосновании размеров конструкции модуля средства тепловой защиты для снижения тепловой заметности объектов специального назначения (НИЛ 5.3 БГУИР), в учебном процессе Учреждения образования “Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники”.

Область применения: информационная безопасность.

SUMMARY

Ali Hamza Abdulkader Abdulkaber

Means decrease perceptibility land objects in the infra-red range with use heat exchanging mediums

Keywords: thermal protection means, the technical channel of information leakage, an electromagnetic radiation, land object.

Aim of the work: making of resorts of passive protection with is controllabled by changeable temperature of a surface of objects providing concealment from detection by hardware components of distant detection in thermal and radio-frequency ranges.

Research methods and equipment: measuring of temperature of a surface of means of a thermal protection was carried out at the laboratory stand by means of the infra-red imaging, shielding performances of means of a thermal protection have been gained with use of the panoramic measuring instrument of transfer ratios and reflexions SNA 0,01-18.

The results obtained and their novelty: legitimacies of agency of a running speed of the heat transfer medium in constructions of means of a thermal protection on temperature of their surface and reflectivities and transmissions allowed to prove their construction for decrease perceptibility land objects in the infra-red ranges are erected.

Extent of usage: effects of examination are applied in a substantiation of sizes of a construction of the module of a means of a thermal protection to decrease thermal perceptibility objects of a special purpose (NIL 5.3 BSUIR), in educational process of Establishment of education "Belarussian state university of informatics and radioelectronics".

Field of application: information security.

Научное издание

Али Хамза Абдулькадер Абдулькабер

**СРЕДСТВА СНИЖЕНИЯ ЗАМЕТНОСТИ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ
В ИНФРАКРАСНОМ ДИАПАЗОНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ТЕПЛООБМЕННЫХ СРЕД**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.13.19 – Методы и системы защиты информации,
информационная безопасность

Подписано в печать 20.10.2012

Формат 60x84¹/₁₆.

Бумага офсетная.

Гарнитура «Таймс».

Отпечатано на ризографе.

Усл. печ. л. 1,63.

Уч. изд. л. 1,4.

Тираж 60 экз.

Заказ 544.

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. Бровка, 6.