

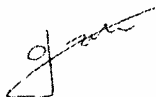
Е Тэ Вун

**СВЕТОВОЗВРАЩАТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПТИЧЕСКИХ
СИСТЕМ КАМЕР СКРЫТОГО ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ
И УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИХ ОБНАРУЖЕНИЯ**

05.11.07 – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'E' followed by a series of loops and a long horizontal stroke.

Москва 2015

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана» (МГТУ им. Н.Э. Баумана) на кафедре прикладной механики.

Научный руководитель: **Карасик Валерий Ефимович**
доктор технических наук, профессор

Официальные опонеты: **Малашко Янка Иванович**
доктор технических наук
Начальник отдела, ученый секретарь
диссертационных советов
ОАО ПВО «Алмаз-Антей»

Подобрянский Анатолий Викторович
к.т.н. доцент, научный сотрудник
Начальник отдела инновационных
технологий главный научный сотрудник
АО НПО «Оптика»

Ведущая организация: **ОАО «НПО «Геофизика-НВ»**

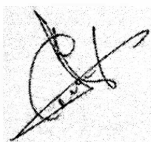
Защита состоится «21» октября 2015 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета Д 212.141.19 при Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д.5

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТ им. Н.Э. Баумана и на сайте www.bmstu.ru

Автореферат разослан « » августа 2015 г.

Ваш отзыв в двух экземплярах, заверенных гебовой печатью, просьба направлять по адресу: 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д.5, МГТУ им. Н.Э. Бауману, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.141.19.

Ученый секретарь
Диссертационного совета



Семеренко Денис Алексеевич

1. Общая характеристика работы

Актуальность. В последнее время в связи с существенным прогрессом в области видеотехники расширились возможности систем видеонаблюдения, в том числе и систем скрытого видеонаблюдения (СВИД). К этим системам относятся телевизионные камеры, имеющие малые габариты, оснащенные объективами типа «pin-hole» с диаметром входного зрачка от 1 до 3 мм и фоточувствительными ПЗС-матрицами небольших размеров, замаскированные на фоне естественных объектов. Такие камеры позволяют осуществлять несанкционированное получение видеoinформации, нанося ущерб, как частным компаниям, так и государственным структурам. Многие ведущие страны активно борются с распространением видеопиратства, в том числе с ведением несанкционированных съемок премьерных показов фильмов.

Одним из перспективных методов обнаружения систем видеонаблюдения является оптико-локационный метод, использующий эффект световозвращения, возникающий при лазерном зондировании видеокамер. Действительно, благодаря световозвращательной способности оптических систем наблюдения они переотражают зондирующее излучение в направлении подсвета. Эффективность световозвращения полностью определяется конструктивными и оптическими характеристиками обнаруживаемой системы, а так же длиной волны зондирующего излучения. Работы в данной области в настоящее время ведутся в конструкторском бюро приборостроения ООО «ТРАНСКРИПТ», МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЗАО «СПЕКТР» и ряде зарубежных организаций: Корейском Политехническом Университете, компаниях «Doing-In» (Корея), «CILAS» (Франция), «Torrey Pines Logic», «Insight» (США) и др. Вопросам исследования эффекта световозвращения посвящены работы В.Е. Карасика, Н.В. Барышникова, А.Ф. Ширанкова, И.В. Животовского, В.Б. Бокшанского, М.В. Вязовых и зарубежных авторов: Gregory R, Osche, Seward, George H, и др. В этих работах основное внимание уделялось разработке методов расчета и измерения световозвращательных характеристик, а также вопросам реализации конкретных схемотехнических решений для обнаружения световозвращателей.

Действительно, в ряде указанных организаций в последние десятилетия были проведены исследования возможности обнаружения оптико-электронного прибора путем регистрации световозвращенного излучения от наблюдательных приборов, таких как видеокамеры, бинокли, снайперские прицелы, имеющие достаточно большие диаметры входных зрачков. В тоже время не менее актуальной задачей является обнаружение камер СВИД с объективами «pin-hole», которые маскируются в аксессуарах одежды, деталях бытовых устройств интерьера помещений. До настоящего времени данный вопрос остается нерешенным в полной

мере. Специфика обнаружения оптических систем таких камер заключается в том, что они обладают низкой отражательной способностью и большим диапазоном изменений показателя световозвращения (ПСВ) в пределах от 10^{-1} до $10^{-1} \text{ м}^2 \cdot \text{срад}^{-1}$ в зависимости от диаметра входного зрачка СВИД. Поэтому методика измерения отражательных характеристик оптических систем таких камер должна учитывать такие особенности. Отсутствие методики измерения отражательных характеристик оптических систем камер видеонаблюдения с объективами типа «pin-hole», имеющих сверхнизкий ПСВ, ограничивает возможность разработки локационных систем для обнаружения камер СВИД. Кроме того, мало изучен вопрос помехоустойчивости систем обнаружения камер СВИД с объективами типа «pin-hole» в условиях интенсивных помех, обусловленных диффузно отраженным лазерным излучением от фоновых объектов, особенно на малых дистанциях обнаружения.

В этой связи диссертационная работа, посвященная разработке методов расчета и методик измерений отражательных характеристик оптических систем камер СВИД и устройств для их обнаружения является весьма актуальной.

Цель диссертационной работы и задачи исследований.

Целью работы являются теоретические и экспериментальные исследования световозвращательных характеристик оптических систем камер СВИД и разработка устройств для их дистанционного обнаружения.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие научно-технические задачи:

1. Проведение теоретических и экспериментальных исследований световозвращательных характеристик оптических систем специального класса ТВ-камер, предназначенных для СВИД, с последующим формированием банка данных световозвращательных характеристик (СВХ) типовых камер СВИД.
2. Разработка методики расчета отражательных характеристик оптических систем типа «pin-hole» ТВ-камер.
3. Разработка методики измерения и автоматизированного стенда для измерения отражательных характеристик оптических систем камер СВИД и проведение измерений для типовых камер СВИД.
4. Обоснование принципиальной возможности дистанционного обнаружения ТВ-камер СВИД на основе использования эффекта световозвращения. Разработка функциональной схемы аппаратуры обнаружения световозвращателя (СВ) и методики определения предельной дальности действия при различных условиях лазерного зондирования СВ.
5. Разработка методик повышения помехоустойчивости аппаратуры обнаружения СВ, основанных на автоматической регулировке мощности

лазерного излучения подсвета и на морфологической обработке видеоизображении.

6. Проведение экспериментальных исследований с целью проверки основных теоретических результатов диссертации с использованием разработанного макетного образца аппаратуры «Антисвис».

Методы исследований. При решении поставленных задач использованы методы теории оптико-электронных систем, теории обнаружения сигналов, методы математического моделирования, теории цифровой обработки видеоизображений.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Научно обоснована принципиальная возможность дистанционного обнаружения ТВ-камер скрытого наблюдения на основе использования эффекта световозвращения.

2. Разработаны метод расчета, методика измерения световозвращательных характеристик камер СВВД типа «pin-hole», впервые измерены сверхнизкие значения ПСВ «pin-hole»-камер и их пеленгационные характеристики и сформирован банк данных измеренных ПСВ и пеленгационных характеристик видеокамер.

3. Разработана оригинальная, подтвержденная патентами на изобретения, методика повышения помехоустойчивости обнаружителя СВ, основанная на селекции ложных целей путем автоматизированной регулировки мощности излучения подсвета и морфологической обработки видеоизображений с помощью оконной фильтрации.

Практическая ценность заключается в том, что разработанные методики расчета и измерения СВХ оптических систем ТВ-камер специального типа, методики повышения помехоустойчивости аппаратуры могут найти применение при проектировании лазерных локационных систем, предназначенных для обнаружения камер СВВД с низкой отражательной способностью, а также при создании многоспектральных комплексов для измерения отражательной способности лоцируемых объектов.

Реализация и внедрение результатов диссертационной работы.

Результаты исследований, выполненных в работе, использованы и внедрены в корейской компании ОАО «Dong-In» при разработке макетного образца прибора автоматизированного обнаружения СВ «АнтиСВВД» и в Корейском Политехническом Университете при создании экспериментального стенда для измерения ПСВ в диапазоне от 10^{-1} до $10^{-1} \text{ м}^2 \cdot \text{срад}^{-1}$ и пеленгационных характеристик типовых камер СВВД.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы докладывались на 21-ой международной научно-технической конференции «Современные телевидение и радиоэлектроника» (Москва, 2013), XXI международной научно-технической конференции «Лазеры в науке,

технике, медицине» (Сочи, 2010) и международной научно-технической конференции (20th Anniversary of Diplomatic Relations Between Russia and Korea) «Korea-Russia Science Conference» (Иркутск, 2010).

Публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в пяти статьях в журналах, входящих в Перечень ВАК РФ, в одной работе в корейском научном журнале.

Структура и объем диссертационной работы.

Диссертационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения и списка литературы, содержащего 51 библиографических описаний цитируемых источников. Диссертация изложена на 173 страницах машинописного текста, включает 67 рисунков и 33 таблицы.

Положения, выносимые на защиту

1. Методика расчета отражательных характеристик оптических систем типа «pin-hole» камер скрытого видеонаблюдения, основанная на расчете индикатрисы ретроотражения с использованием систем автоматизированного проектирования.
2. Методика измерения отражательных характеристик оптических систем типа «pin-hole» камер СВВД, учитывающая значение ПСВ эталона в зависимости от угла усреднения, позволяющая измерить ПСВ в диапазоне от 10^{-4} до $10^{-1} \text{ м}^2 \cdot \text{ср} \cdot \text{ад}^{-1}$ и пеленгационные характеристики в пределах до 45 градусов.
3. Методика повышения помехоустойчивости обнаружителя светововращающих объектов со сверхнизким ПСВ, основанная на селекции ложных целей путем автоматизированной регулировки мощности излучения подсвета и морфологической обработки видеоизображений с помощью оконной фильтрации, позволяет уменьшить количество ложных целей при работе обнаружителя на малых расстояниях в условиях сложного фона
4. Результаты экспериментальных исследований обнаружительных характеристик аппаратуры, подтверждающие правильность разработанных методик повышения помехоустойчивости и основных расчетных соотношений.

2.Содержание работы

Во введении обоснована актуальность научной задачи, решаемой в диссертационной работе, сформулированы цель и задачи исследований, дана краткая характеристика работы по главам.

Первая глава диссертационной работы посвящена проведению теоретических и экспериментальных исследований СВХ оптических систем специального класса ТВ-камер, предназначенных для СВВД.

В работе предложена оригинальная методика расчета отражательных характеристик оптических систем типа «pin-hole» ТВ-камер, основанная на автоматизированном расчете индикатрисы

ретроотражения с использованием САПР Zemax для расчета индикатрисы с использованием стандартных процедур нахождения функции рассеяния (ФР) СВХ в прямом и обратном ходе, а также последующей ее обработки на базе САПР Mathcad.

Предложенная методика позволила существенно уменьшить объем вычислений и рассчитать СВХ типичных камер на основе известных оптических схем. В качестве исходных данных для моделирования необходимо иметь конструктивные параметры (r, d, n) оптической системы исследуемого СВ, значения ρ коэффициента отражения поверхности его фокального элемента и τ коэффициента пропускания оптической систем СВ, а также диаметр входного зрачка D .

При этом ПСВ $R(\omega_{yc})$ и пеленгационная характеристика $R(\omega_{yc}, \alpha)$ вычисляются в соответствии с выражениями:

$$R(\omega_{yc}) = [D^2 \cdot \rho_{фл} \cdot \tau^2 \cdot \int_0^{\omega_{yc}} I_H(\omega) \cdot \sin(\omega) d\omega] / [4 \cdot \omega_{yc}^2 \cdot \int_0^{\omega_{yc}} I_H(\omega) \cdot \sin(\omega) d\omega], \quad (1)$$

где D – диаметр входного зрачка СВ, $\tau, \rho_{фл}$ – коэффициенты пропускания объектива и отражения поверхности фокального элемента СВ, ω_{yc} – угол усреднения, $I_H(\omega)$ – нормированное распределение силы ретроотражённого излучения в зависимости от угла ω_{yc} .

$$R(\omega_{yc}, \alpha) = [D^2 \rho \tau^2 K(\alpha) \sum_i \sum_j I_{H,i,j} \left| (i-i_c)^2 + (j-j_c)^2 \leq (f_{\text{фо}} \cdot \omega_{yc} \cdot \sin(\alpha))^2 \right|] / [4 \omega_{yc}^2 \sum_i \sum_j I_{H,i,j} \left| (i-i_c)^2 + (j-j_c)^2 \leq (f_{\text{фо}} \cdot \omega_{yc} \cdot \sin(\alpha))^2 \right|], \quad (2)$$

где $K(\alpha)$ – коэффициент виньетирования зависящий от угла наклона пучка α .

Проведены расчеты и исследованы СВХ различных объективов типа «pin-hole». На Рис. 1, 2 представлены зависимости ПСВ камер с различными объективами типа «pin-hole» от угла усреднения, а также аналогичные графики ПСВ для дифракционной ограниченной системы (ДОС) и их пеленгационные характеристики.

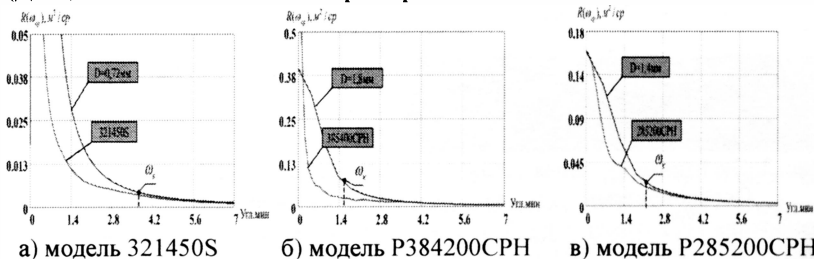
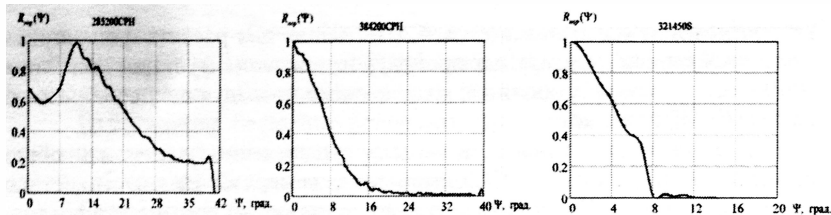


Рис. 1. График зависимости ПСВ прибора от угла усреднения и аналогичные графики ПСВ для ДОС

где ω_k – критический угол дифракционного ограничения



а) модель P285200CPH б) модель P384200CPH в) модель 321450S

Рис. 2. Пеленгационные характеристики световозвращателей типа «pin hole», при заданном угле усреднения $\omega_{\text{ус}} = 1,8^\circ$

Из Рис. 1 видно, что для углов усреднения $\omega_{\text{ус}}$, превышающих значение угла дифракционной расхожимости $\omega_{\text{д}}$, величины ПСВ объективов «pin-hole» практически совпадают со значениями ПСВ, рассчитанными на основе конструктивных параметров. Следовательно, зная только диаметр выходного зрачка $d_{\text{св}}$, можно рассчитать ПСВ камер СВИД при заданном угле усреднения, без знания конструктивных параметров. Однако при необходимости расчета ПСВ камер СВИД при угле усреднения, меньшем угла дифракционной расхожимости, нужно при расчете использовать конструктивные параметры. Также на Рис. 2. показано, что диапазон типичных значений пеленгационных характеристик камер «pin-hole», определенный по уровню величины ПСВ, равного 0,1 от максимального значения, лежит в пределах до 45 градусов.

Для экспериментальной проверки методики расчета в работе были разработаны методика измерения и измерительный стенд, общий вид которого приведен на Рис. 3.

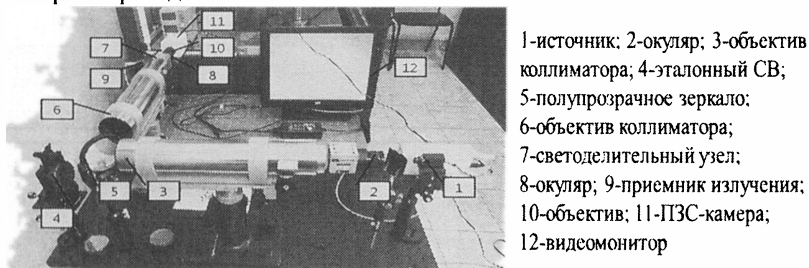


Рис. 3. Экспериментальная установка для измерения СВХ

Особенностями стенда являются специальные эталоны для измерения ПСВ камер СВИД, перекрывающих весь диапазон измеряемых ПСВ для камер СВИД и автоматизированное измерение ПСВ с использованием метода «виртуальной диафрагмы». При использовании метода «виртуальной диафрагмы» с целью измерения ПСВ камер типа «pin-hole» необходимо учесть особенности, которые проявляются при

использовании эталонных СВ с малым входным зрачком. Эти особенности проявляется в том, что ПСВ эталона зависит от угла усреднения. Для экспериментального определения зависимости ПСВ эталона от угла усреднения $R(\omega_{cp})$, учитывающего реальное распределение интенсивности освещающего пучка, необходимо зарегистрировать двумерное угловое распределение интенсивности $f(\omega, \varphi)$ ретроотраженного излучения от эталона. Зависимость ПСВ эталона от угла усреднения определяется интегрированием функции $f(\omega, \varphi)$ по углам (ω, φ) и соответствующей нормировкой, так что

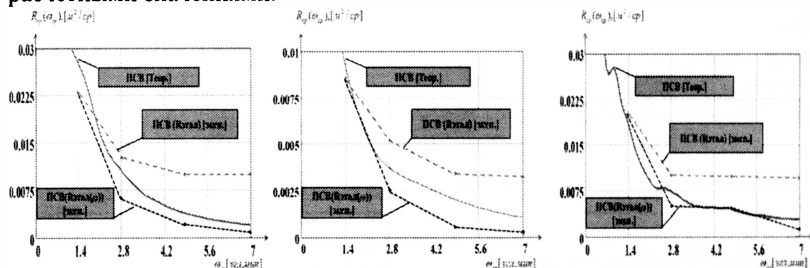
$$R_{ЭТЛН}(\omega_{cp}) = (R_{ЭТЛН} / (\pi \omega_{cp}^2)) / \int_0^{\omega_{cp}} \int_0^{2\pi} f(\omega, \varphi) \cdot d\omega d\varphi, \quad (3)$$

Выражение для расчета усреднённого значение ПСВ в телесном угле усреднения $\Omega_{изм}$ примет вид

$$R_{СВЗ}(\Omega_{изм}) = [u_{СВЗ} \Phi_{СВЗ}(\Omega_{изм}) \Omega_{ЭТ} / u_{ЭТ} \Phi_{СВЗ}(\Omega_{СВЗ}) \Omega_{изм}] R_{ЭТЛН}(\omega_{cp}), \quad (4)$$

где $\Phi_{СВЗ}(\Omega_{изм}) / \Phi_{СВЗ}(\Omega_{СВЗ})$ – отношение потоков, ретроотражённых от СВ и регистрируемых ФПЗС-матрицей, для двух углов усреднения $\Omega_{СВЗ}$ и $\Omega_{изм}$, соответствующих области идентификации ФР и текущему измерительному углу; $\Omega_{ЭТ}$ – телесный угол, в котором распространяется ретроотражённое от эталонного СВ излучение.

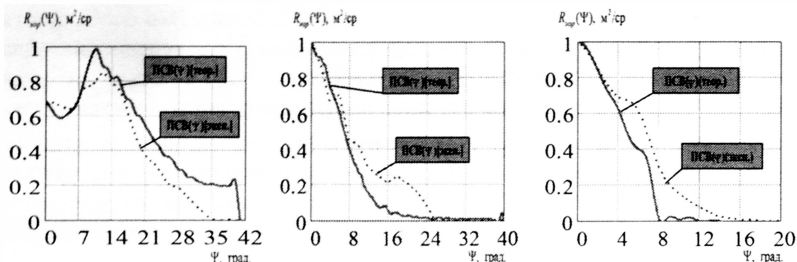
На Рис. 4, 5 приведены результаты измерения ПСВ и пеленгационных характеристик для исследуемых камер вместе с расчетными значениями.



а) модель P285200CPH б) модель P384200CPH в) модель P321450S

Рис. 4. Графики теоретических ПСВ $R_p(\omega_{cp})$ усреднённых в угле ω_{cp} и экспериментально измеренных ПСВ СВ типа «pin-hole» со значением ПСВ эталона $R_{ЭТЛН}$ и со значением ПСВ $R_{ЭТЛН}(\omega_{cp})$ эталона

В результате анализа проведённых измерений СВХ показано, что расчетное значение ПСВ лучше согласуется со значением ПСВ эталона, если будет учтён угол усреднения, и в этом случае, как показано на Рис. 4, отклонение не превышает от 15 до 20%.



а) модель P285200CPH б) модель P384200CPH в) модель P321450S

Рис. 5. Графики расчетных и экспериментально измеренных пеленгационных характеристик $R_{cp}(\Psi)$ и $R_{кр}(\Psi)$ СВ типа «pin-hole»

На Рис. 5 видно, что экспериментальные пеленгационные характеристики 3-х «pin-hole» камер хорошо коррелируют с расчетными. Различия некоторых расчетных и экспериментальных характеристик объясняются влиянием на индикатрису ретроотраженного излучения паразитного отражения от нефокальных элементов оптических систем камер СВИД.

Вторая глава диссертационной работы посвящена разработке методики повышения помехоустойчивости аппаратуры для автоматизированного обнаружения камер СВИД.

Первом разделе главы обоснована структурно-функциональная схема аппаратуры для обнаружения камер СВИД с использованием эффекта светововозвращения. Её вид представлен на Рис. 6.

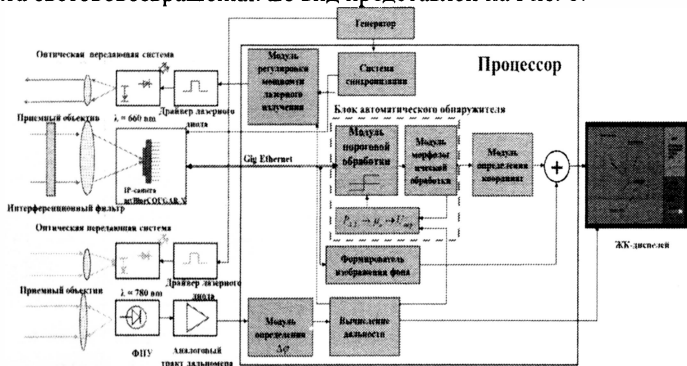


Рис. 6. Функциональная схема аппаратуры обнаружения СВ

Обычно классическая схема аппаратуры обнаружения содержит приемный канал, передающий канал и блок обработки. Отличительной особенностью данной схемы является наличие модуля, связанного с фазовым дальнометром, который обеспечивает автоматическую регулировку

мощности подсвета в соответствии с измеренной дальностью.

При дистанционном обнаружении камер СВИД с очень маленьким ПСВ возникает интенсивное диффузное отражение от подстилающей поверхности, особенно при работе на небольших дальностях с близко-расположенными объектами. В такой ситуации диффузно-отраженное излучение будет являться помеховым излучением, ухудшающим обнаружительную способность прибора. Для решения этой проблемы предлагается регулировать мощность лазерного излучателя обнаружителя в зависимости от дальности, на которой расположены возможные световозвращающие объекты. За счет оптимизации уровня мощности подсвета можно значительно снизить интенсивность помехового излучения от диффузных объектов, что позволит значительно уменьшить число ложных бликов. При этом интенсивность световозвращенного излучения будет достаточной для правильного обнаружения световозвращающих объектов. С другой стороны, малая мощность лазерного излучения обнаружителя приводит к уменьшению отношения сигнал/шум в процессорном блоке прибора, что снижает вероятность правильного обнаружения. Следовательно, регулировка мощности лазера обнаружителя в зависимости от расстояния до зондируемых объектов является одним из важных факторов в процессе обнаружения световозвращателей и повышения эффективности процесса обнаружения. Благодаря реализации автоматизированной регулировки мощности зондирующего лазера, можно улучшить обнаружительные характеристики прибора. Однако, процесс автоматизированной регулировки мощности лазера требует знания дальности до объектов наблюдения. Для этого предлагается использовать встроенный дальномер, который будет обеспечивать измерение дальности до СВ, по значениям которого в соответствии с разработанным алгоритмом можно рассчитать требуемую минимальную мощность излучения подсвета.

Дальнейшее повышение помехоустойчивости осуществляется в соответствии с разработанной методикой, основанной на цифровой обработке регистрируемого изображения с целью селекции ложных целей и последующем уменьшении влияния диффузно-отраженного излучения от подстилающей поверхности на обнаружительные характеристики.

В итоге, в работе предложена методика повышения помехоустойчивости на основе комбинации вышеуказанных подходов.

Для реализации методики на первом этапе проводится определение пороговой мощности $P_{\text{пор}}$ ретроотраженного СВ излучения, при которой обеспечиваются заданные обнаружительные характеристики. Пороговая мощность $P_{\text{пор}}$ оптического сигнала согласно критерию Неймана-Пирсона будет определяться при гауссовой статистике сигнала и шума по формуле:

$$P_{пор} = (hc\sqrt{\bar{n}_ш} / \lambda T_n \eta(\lambda) k_0) [\Phi^{-1}(1 - P_{лт}) + \Phi^{-1}(P_{обн})], \quad (5)$$

где k_0 – коэффициент пропускания приемного оптического канала; $P_{обн}$, $P_{лт}$ – вероятность правильного обнаружения и ложной тревоги; h – постоянная Планка; c – скорость света; $\eta(\lambda)$ – значение квантовой эффективности ФПЗС-матрицы; T_n – время накопления; $\bar{n}_ш$ – среднее значение шума фотоэлектронов; λ – длина волны.

На втором этапе, определяется мощность лазерного излучения (подсвета), требуемая для обеспечения заданных обнаружительных характеристик в соответствии с выражением:

$$\bar{P}_{лар} = \pi \omega_l^4 N_{за}(l) P_{пор} / R \int_{\frac{D_{пр}}{2}}^{\frac{D_{пр}}{2}} \int_{\frac{D_{пр}}{2}}^{\frac{D_{пр}}{2}} \text{circ} \left[\frac{4(x^2 + y^2)}{D_{пр}^2} \right] \exp \left[\frac{2((x - B)^2 + y^2)}{\gamma^2 l^2} \right] dx dy, \quad (6)$$

где $N_{за}(l)$ – зависимость среднего числа элементов ФПЗС-матрицы от расстояния; R – ПСВ; ω – расходимость лазера подсвета; $D_{пр}$ – диаметр входного зрачка.

Требуемая мощность, которая необходима для реализации заданных обнаружительных характеристик по принятым критериям обнаружения, вычисляется в результате определения дальности до инспектируемого объекта при известном значении его ПСВ. То есть, в состав прибора должен входить лазерный дальномер, который определяет дальность с необходимой точностью до плоскости установки камеры.

Описанная методика позволяет повысить помехоустойчивость обнаружителя. Однако на малых расстояниях этого недостаточно для повышения помехоустойчивости, так как в этом случае возникают интенсивные помехи. Даже при уменьшении мощности излучения лазерного подсвета сигнал от помех, обусловленный диффузно-отраженным излучением, может превышать сигнал, полученный от СВ.

В этом случае задача селекции ложных целей сводится к выделению малоразмерных бликов от СВ на фоне диффузных бликов, имеющих произвольную форму. В данной работе был предложен алгоритм селекции на основе оконной фильтрации локационного изображения, который базируется на известной информации о примерной форме изображения СВ, а также о приблизительном количестве пикселей, которое оно занимает в зависимости от дальности до СВ (Рис.7).

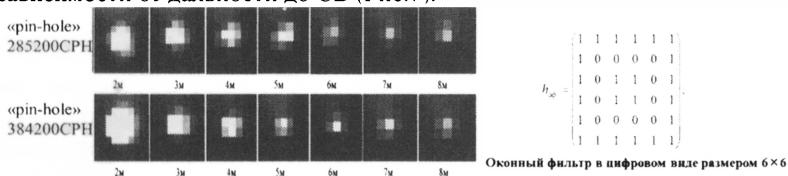


Рис. 7. Изображение блика камер СВИД и представление оконного фильтра

Анализ изображения, представленного на Рис. 7, показывает, что изображения бликов от СВ обычно имеют круглую форму и размеры в диапазоне от 1-40 пикселей в диапазоне дальности от 2 до 8 метров. Однако после 6 метров изображение блика занимает всего лишь один пиксел для всех исследуемых типов «pin-hole» камер. Такие особенности формы изображений бликов от СВ позволяют провести их селекцию при помощи специальных оконных фильтров, выделяющих на изображении только те объекты, чья форма близка к кругу и имеют площадь меньше соответствующих значений. Этот алгоритм основан на том, что на определенном расстоянии изображение блика от СВ не может занимать больше, определенного количества пикселей.

Для оценки эффективности методики повышения помехоустойчивости обнаружителя, работающего в условиях неоднородного яркостного фона при наличии интенсивных помех, обусловленных диффузно-отраженным излучением, предлагается, в первом приближении, оценивать уровень помехоустойчивости обнаружителя коэффициентом помехоустойчивости, изменяющимся от 0 до 1,00. В соответствии с этим показателем в каждом видеоизображении определяется количество пикселей, сигналы с которых превышают найденное ранее пороговое значение. На экране видеоконтрольного устройства обнаружителя эти сигналы формируют светящиеся блики от СВ и от ложных целей. Тогда коэффициент помехоустойчивости $K_{\text{пом}}$ при статистическом усреднении по N видеокадрам

$$K_{\text{пом}} = \frac{n_{\text{СВ}}(N)}{n_{\text{СВ}}(N) + n_{\text{ЛТ}}(N)}, \quad (7)$$

где $n_{\text{СВ}}(N)$, $n_{\text{ЛТ}}(N)$ – количество пикселей сигналы и ложных тревог на N кадры

В качестве примера была проведена оценка эффективности предложенной методики при локации камеры типа СВВД, регистрируемой на сложном фоне при изменении мощности подсвета в диапазоне от 0,18 до 0,9 мВт на дальности до 8 м и средней освещенности внешнего фона 600 лк. На Рис. 8 представлены ориентировочные значения $K_{\text{пом}}$ для видеоизображений без обработки, при использовании автоматизированной регулировки мощности, оконной фильтрации и комбинированных методик.

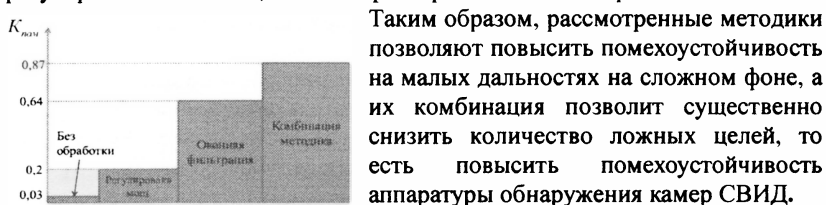


Рис. 8. Коэффициент помехоустойчивости

Третья глава диссертационной работы посвящена анализу результатов экспериментальных исследований, которые выполнены на макетном образце прибора для обнаружения камер СВИД и проведения экспериментальных исследований с целью верификации методик повышения помехоустойчивости аппаратуры.

Для оценки обнаружительных характеристик и анализа факторов, влияющих на помехоустойчивость, в диссертационной работе был создан и испытан макетный образец прибора, функционирующего в режиме автоматизированного обнаружения световозвращателей с малым значением ПСВ при различной фоновой обстановке и изменяющихся параметрах схемы зондирования (Рис. 9).

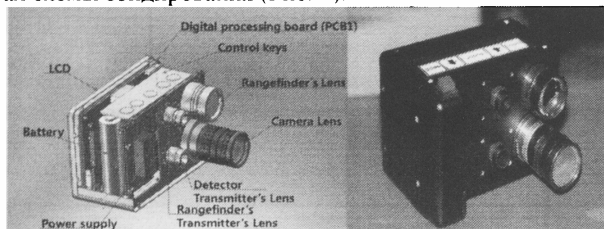


Рис. 9. Макетный образец прибора обнаружения СВИД

В качестве объектов для экспериментальных исследований методик повышения помехоустойчивости макетного образца прибора были использованы камеры с объективами типа «pin-hole», имеющие диапазон изменения значений ПСВ от 0,005 до 0,012 $\text{м}^2 \cdot \text{срэд}^{-1}$, при заданных фоновых условиях (освещенности от 4 до 640 лк).

При этом, в процессе эксперимента макет прибора устанавливался на определённом расстоянии до СВ с известными ПСВ и производилась съёмка. Подобная процедура повторялась для различных расстояний до СВ. На каждом расстоянии съёмка производилась для различных мощностей лазерного подсвета. Изображения были получены при различных мощностях лазера обнаружителя, а также различных расстояниях до СВ. Для исследования алгоритма обработки сигнала макетного образца в базы данных были помещены как активные, так и пассивные кадры.

На основе полученных баз данных изображений было проведено исследование влияния разработанных методик на помехоустойчивость по двум направлениям:

1. Экспериментальное исследование методики регулировки мощности лазерного излучения подсвета для повышения помехоустойчивости.
2. Экспериментальное исследование методики цифровой фильтрации (алгоритм селекции объектов на изображении) на помехоустойчивость.

На первом этапе проведены экспериментальные исследования методики повышения помехоустойчивости аппаратуры обнаружения,

основанной на автоматической регулировке мощности лазерного излучения. Результаты экспериментальных исследований оптимального уровня мощности подсвета для повышения помехоустойчивости аппаратуры обнаружения показывают (Рис. 10), что экспериментальные данные, изображенные точками, достаточно хорошо согласуются с расчетными данными. Отклонение результатов между теоретическими и экспериментальными составляет не более 10%. Заметное расхождение наблюдается только для расстояний до 3 метров. Такое расхождение может быть объяснено несоответствием реального параллакса, величине которая использовалась в теоретическом расчёте.

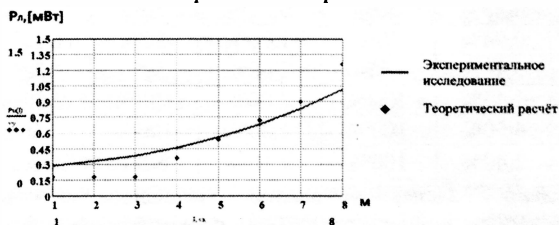


Рис. 10. Графическое представление сравнения результатов

В процессе экспериментальных исследований установлено, что при регулировке мощности лазерного подсвета, коэффициент помехоустойчивости повышается на порядок по сравнению с его значением при работе с фиксированной мощностью подсвета 0,9 мВт на дальности от 3 до 8 м.

Таким образом, можно сделать вывод, что разработанная методика расчёта оптимальной мощности лазерного излучения подсвета может использоваться в системе автоматизированной регулировки мощности прибора для повышения его помехоустойчивости.

На втором этапе проведены экспериментальные исследования методики повышения помехоустойчивости аппаратуры обнаружения, основанной на цифровой морфологической фильтрации при различных расстояниях до СВ при фиксированной мощности излучения подсвета (0,9 мВт). Результаты этих экспериментальных исследований приведены в Таблице 1 и показывают, что использование оконных фильтров для определенных дальностей обнаружения позволяет значительно уменьшить количество ложных целей. Согласно экспериментальным данным, для сложных условий фона эффективность селекции ложных целей СВ на расстояниях от 2 до 5 метров не превышает 50 процентов, т.е. $K_{\text{пом}} = 0.5$. Такое снижение эффективности селекции ложных целей можно объяснить тем, что мощность подсвета была фиксированной, что повлекло за собой значительное увеличение уровня помех от диффузного отражения на близких расстояниях.

Таблица 1.

Эффективность селекции ложных целей в зависимости от расстояния до СВ при сложных фоновых условиях.

Эффективность селекции ложных целей использованием оконного фильтра для сложного фона и без. ($K_{\text{пом}}$ x 100%)						
Дальность до объекта, [м]	284200СРН		384200СРН		321450S	
	Без обработки	Оконный фильтр	Без обработки	Оконный фильтр	Без обработки	Оконный фильтр
2	0,39%	100%	0,29%	100%	0,69%	100%
3	0,55%	50%	0,74%	50%	1,10%	20%
4	0,94%	50%	1,20%	50%	1,10%	33%
5	1,40%	33%	2,60%	50%	2,00%	50%
6	1,43%	100%	2,00%	100%	2,50%	50%
7	4,50%	100%	2,00%	100%	0	0
8	2,40%	100%	2,10%	50%	0	0

Проведено экспериментальное исследование зависимости помехоустойчивости обнаружителя от параметров морфологического фильтра и мощности лазерного зондирующего излучения при различных подстилающих фонах для улучшения помехоустойчивости на сложном фоне. На данном этапе экспериментальных исследований оценивалась эффективность совместного использования методик селекции СВ в изображении за счет цифровой фильтрации и регулировки мощности лазерного излучения в зависимости от дальности с целью повышения помехоустойчивости аппаратуры обнаружения камер СВИД.

В результате проведённых экспериментальных исследований показано (Рис. 11), что применение обеих методик обеспечивает повышение помехоустойчивости на всех расстояниях, т.е. эффективно повышает помехоустойчивость прибора «Антисвид». Эффективность помехоустойчивости в диапазоне от 2 до 8 метров составляет практически 90 процентов. Использование комбинированной методики обеспечило повышение помехоустойчивости для всех трех видов используемых «pin-hole» камер, что выразилось в увеличении $K_{\text{пом}}$ с 0,03 до 0,87.

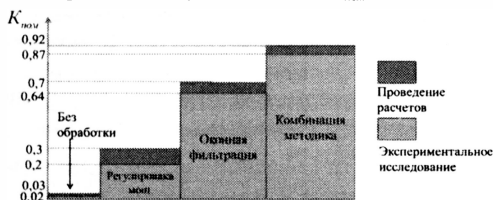


Рис. 11. Коэффициента помехоустойчивости для камер с объективами «pin-hole» в диапазоне дальности от 2 до 8 метров

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования позволяют заключить, что совместное использование методик цифровой морфологической фильтрации и регулировки мощности лазерного подсвета позволяет значительно улучшить помехоустойчивость разработанного прибора обнаружения СВ и хорошо коррелирует с расчетными данными.

Основные результаты и выводы

1. Проведены теоретические и экспериментальные исследования световозвращательных характеристик оптических систем специального класса ТВ-камер, предназначенных для СВВД и формирование банка данных СВХ типовых камер СВВД.
2. Разработана методика расчета отражательных характеристик оптических систем типа «pin-hole» ТВ-камер, основанная на расчете индикатрисы ретроотражения с использованием САПР Zemax и последующей ее обработке в САПР Mathcad.
3. Спроектирован и изготовлен автоматизированный стенд для измерения отражательных характеристик, обеспечивающий измерение показателя световозвращения в диапазоне от 10^{-4} до $10^{-1} \text{ м}^2 \cdot \text{срэд}^{-1}$ и регистрацию пеленгационных характеристик исследуемых СВ в углах до 45 градусов.
4. Разработана методика измерения отражательных характеристик с использованием техники «виртуальных диафрагм» и проведены их измерения для типовых камер СВВД.
5. Обоснована принципиальная возможность дистанционного обнаружения ТВ-камер СВВД и СВИС на основе использования эффекта световозвращения. Разработана функциональная схема аппаратуры обнаружения СВ и методика определения предельной дальности действия при различных условиях лазерного зондирования СВ.
6. Разработаны подтвержденные патентом на изобретения, методики повышения помехоустойчивости аппаратуры обнаружения, основанные на автоматической регулировке мощности лазерного излучения и на морфологической обработке видеоизображения с использованием оконной фильтрации.
7. Разработан и изготовлен макетный образец аппаратуры «АнтиСВВД», с помощью которого проведены экспериментальные исследования СВХ, а также экспериментальная верификация разработанной методики повышения помехоустойчивости, реализация которой позволила существенно улучшить обнаружительные характеристики прибора при обнаружении всех трех видов исследуемых «pin-hole» камер в диапазоне дальностей от 2 до 7 метров.

Основные результаты диссертации представлены в работах

1. Е Тэ Вун., Животовский И.В. Методика экспериментального исследования световозвращательных характеристик оптических систем камер скрытого видеонаблюдения // М.: ФГУП «МКБ Электрон», 2013. С. 270-278 (0,36 п.л./ 0,18 п.л.).
2. Оптико-электронный стенд для измерения сверхмалых показателей световозвращения оптических систем камер скрытого видеонаблюдения / Е Тэ Вун [и др.] // Радиотехника. 2014. Т.8, № 2. С. 100-106 (0,44 п.л./ 0,36 п.л.).
3. Карасик В.Е., Е Тэ Вун. Анализ возможности повышения помехоустойчивости лазерных локационных систем, использующих эффект световозвращения при обнаружении скрытой камеры видеонаблюдения // Радиотехника. 2014. Т.19, № 6. С.54-59 (0,4 п.л./ 0,32 п.л.).
4. Метод селекции световозвращающих объектов от диффузных с помощью цифровой адаптивной обработки / Е Тэ Вун [и др.] // Труды МГТУ. «Современные проблемы оптотехники». 2013. С.35-43 (0,36 п.л./ 0,09 п.л.).
5. Повышение помехоустойчивости лазерных локационных систем при автоматическом обнаружении световозвращателей / Е Тэ Вун, [и др.] // Вестник МГТУ. Сер.: Приборостроение. Спец. Выпуск «Современные проблемы оптотехники». 2012. С.142-150 (0,38 п.л./ 0,09 п.л.).
6. Метод высокоточного измерения дальности путем использования цифровой обработки эхо-сигнал / Е Тэ Вун [и др.] // Вестник МГТУ. Сер.: Приборостроение. Спец. Выпуск «Лазерные и оптико-электронные приборы и системы». 2011. С.177-188 (0,48 п.л./ 0,12 п.л.).
7. Development of a measuring instrument for coefficient of luminous intensity of retro-reflection of miniature telecentric cameras / Taewoon Yeo [и др.] // Korean Journal of Optics and Photonics. 2014. Vol.25 . № 6. С.334-339 (0,4 п.л./ 0,36 п.л.).
8. Drowsiness detection method base on the increasing noise immunity of image: a.c. 1020130061701 KOR / Taewoon Yeo.
9. Drowsiness detection device base on the increasing noise immunity of image: a.c. 1020130061703 KOR / Taewoon Yeo.