На правах рукописи

БОРИСОВ Михаил Владимирович

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ГОЛОГРАММ

специальность 05.11.07 – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Москва - 2003

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете имени Н. Э. Баумана.

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Одиноков Сергей Борисович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, ведущий научный сотрудник
Вишняков Геннадий Николаевич

кандидат технических наук, доцент
Бобринев Владимир Иванович

Ведущая организация: ЦНИИ "Комета"

Защита диссертации состоится "____"_____ 2003 г. в ____часов на заседании диссертационного совета Д 212.141.11 при Московском государственном техническом университете имени Н. Э. Баумана по адресу: 107005, г. Москва, 2-я Бауманская улица, д. 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ имени Н. Э. Баумана.

Автореферат разослан "____"_____ 2003 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
д. т. н. И. Б. Власов

1634820

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность.

Защита материальных объектов от массовой подделки является одной из серьезных проблем, стоящих перед мировой экономикой и государственными организациями. Подделываются бумажные документы (банкноты, ценные бумаги, удостоверения личности и т. п.), товары известных марок, кредитные карты и т. д. При этом подделки причиняют огромный материальный и моральный ущерб производственным, торговым и финансовым предприятиям всего мира и, в некоторых случаях, несут реальную угрозу экономической безопасности государства.

Одним из общепринятых средств решения этой проблемы является маркирование материальных объектов специальными защитными знаками, обладающими набором защитных свойств. Решение об аутентичности материального объекта в этом случае принимается в зависимости от степени соответствия исследуемого защитного знака эталонному. Последние признаются идентичными, если в результате анализа идентифицируются все предусмотренные для данного знака защитные свойства.

В зависимости от того, кто и какими средствами осуществляет идентификацию защитных свойств специальных знаков, выделяют три уровня, характеризующих полноту данного процесса:

I. уровень неквалифицированного пользователя;
II. уровень контрольного органа;
III. экспертный уровень.

На первом уровне производится анализ защитных свойств, идентифицируемых визуально, непосредственно в наблюдаемом изображении. Идентификация осуществляется невооруженным глазом, без применения дополнительных технических средств. На уровне контрольного органа производится анализ защитных свойств, идентифицируемых визуально с использованием простых универсальных инструментальных средств (лупы, источников ультрафиолетового и инфракрасного излучения и т. п.), а также с помощью специализированных приборов идентификации. На экспертном уровне анализируются защитные свойства, которые могут быть идентифицированы только с помощью сложных универсальных приборов (микроскопов) и специализированных контрольных лабораторных стендов.

Можно выделить три основных метода идентификации защитных свойств специального знака, каждый из которых позволяет осуществлять идентификацию соответствующих классов защитных свойств:

1) визуальная идентификация без применения дополнительных приборных средств - защитным свойством является общий внешний вид изображения и его элементы при обычном освещении (естественном или искусственном);
2) инструментальная идентификация с помощью универсальных приборных средств: а) микро- и нанотексты, микрооптические элементы; б) скрытые

изображения, наблюдаемые при освещении УФ и ИК излучением;

3) инструментальная идентификация с помощью специализированных приборных средств: а) защитные метки различных типов - ультрафиолетовые, инфракрасные и магнитные; б) скрытые изображения, формирующиеся при освещении защитного знака когерентным излучением.

В отличие от процессов идентификации, относящихся к первому (неквалифицированного пользователя) и третьему (экспертному) уровням, на уровне контрольного органа, как правило, требуется, чтобы анализ защитных свойств был проведен в ограниченное время персоналом средней квалификации. При этом применяемые на данном уровне специализированные приборные средства позволяют осуществлять автоматическую идентификацию защитных свойств. Приборы, применяемые в настоящее время для данной цели, хорошо известны (различные детекторы валют, замки с магнитной картой и т. п.).

В значительной мере рост объемов подделки специальных защитных знаков в настоящее время обусловлен прогрессом в области копировальной техники, а также вычислительных средств совместно с устройствами ввода-вывода. Вследствие этого традиционные полиграфические защитные знаки, анализируемые методом визуальной идентификации, не могут успешно противостоять копированию и имитации, и разработчики вводят в них защитные свойства, идентифицируемые инструментальными методами. При этом наиболее устойчивыми к подделке являются знаки, набор защитных свойств которых формируется с помощью ряда различных технологических процессов.

В последнее время широкое применение находят защитные знаки, основанные на применении голограмм, обладающие уникальными свойствами, присущими данному способу записи информации. Как объемы выпуска, так и доля этих знаков (защитных голограмм) непрерывно растут.

Разрабатываемые в настоящее время защитные голограммы, как правило, имеют защитные свойства, идентифицируемые визуальным методом и с помощью универсальных (реже специализированных) приборных средств. Во всех случаях анализ защитных свойств осуществляет человек-оператор визуально. На принятие окончательного решения в этом случае влияют параметры защитных голограмм, условия наблюдения и способности наблюдателя к восприятию и интерпретации полученной информации. Автоматизация процесса идентификации защитных свойств позволяет не только избавиться от влияния указанных субъективных факторов, но и повысить степень защиты голограмм от подделки. Однако, в отличие от положения, сложившегося для защитных знаков, полученных с помощью иных технологий, приборы автоматической идентификации защитных свойств голограмм (ИЗСГ) на уровне контрольного органа в настоящее время не применяются. Серьезным препятствием на пути их

широкого использования является тот факт, что немногочисленные существующие в настоящее время приборы данного класса в силу специфики оптических схем представляют собой сложные, крупногабаритные и дорогие лабораторные установки, которые могут применяться только на экспертном уровне идентификации.

Целью диссертационной работы являлась разработка метода и аппаратуры, предназначенных для автоматической идентификации защитных свойств голограмм.

Для достижения этой цели были поставлены и решены следующие задачи:

- анализ оптических методов и оптико-электронных устройств, применимых для идентификации защитных свойств голограмм, и выявление их достоинств и недостатков;
- разработка метода идентификации защитных свойств голограмм, основанного на применении модифицированного когерентного оптико-электронного коррелятора;
- разработка структурной, функциональной и оптической схем оригинального прибора идентификации защитных свойств голограмм;
- получение инженерных формул и разработка методики проектирования приборов идентификации защитных свойств голограмм;
- создание макета прибора идентификации защитных свойств голограмм;
- проведение экспериментальных исследований, позволяющих судить о работоспособности прибора идентификации, эффективности метода, положенного в основу функционирования прибора, правильности сформулированных теоретических положений и полученных расчетных соотношений.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые:

- разработан метод автоматической идентификации защитных свойств голограмм, основанный на применении оптического коррелятора с совместным преобразованием Фурье в плоскости изображений и несколькими интерференционными картинами;
- в соответствии с разработанной методикой проектирования и предложенными функциональной и оптической схемами построен экспериментальный макет прибора идентификации защитных свойств голограмм;
- проведено экспериментальное исследование построенного макета.

Практическая ценность результатов диссертации заключается в следующем:

- предложенный метод позволяет быстро и объективно осуществлять идентификацию защитных свойств голограмм с помощью автоматических приборов;
- разработанные функциональная и оптическая схемы позволяют проектировать значительно более компактные и простые конструкции

приборов идентификации защитных свойств голограмм, что делает возможным реальное применение данных приборов на уровне контрольного органа;

- разработанная методика проектирования может быть использована при проектировании новых приборов идентификации защитных свойств голограмм.

Положения, выносимые на защиту:

1) метод автоматической идентификации защитных свойств голограмм, позволяющий осуществлять с высокой степенью достоверности объективную идентификацию защитных свойств голограмм с помощью компактных, простых в эксплуатации приборов, применимых на уровне контрольного органа;
2) функциональная и оптическая схемы прибора ИЗСГ, позволяющие снизить требования к разрешающей способности (в 2-3 раза) и более эффективно использовать апертуру оптически управляемого ПВМС (до 100%) при уменьшении продольных габаритов оптической системы (фокусное расстояние фурье-преобразующего объектива меньше в 7-10 раз);
3) новый прибор ИЗСГ, построенный на базе предложенной схемы оптического коррелятора с совместным преобразованием Фурье в плоскости изображений и несколькими интерференционными картинами, в котором при воспроизведении кодовых изображений не используется фурье-преобразующий объектив, а процесс идентификации защитных свойств не требует высокой точности юстировки исследуемой голограммы;
4) методика проектирования оптико-электронных приборов ИЗСГ, функционирующих в соответствии с предложенным методом;
5) экспериментальные результаты, подтверждающие эффективность предложенного метода, правильность основных сформулированных теоретических положений и полученных расчетных соотношений.

Апробация работы.

Материалы работы были представлены на следующих международных конференциях: "Diffractive and holographic technologies, systems, and spatial light modulators VI", Photonics West 99 – Electronic Imaging, 23-29 января 1999 г., San Jose, USA; "Practical holography XIII", Photonics West 99 - Electronic Imaging, 23-29 января 1999 г., San Jose, USA; "Practical holography XIV and holographic materials VI", Photonics West 2000 - Electronic Imaging, 22-28 января 2000 г., San Jose, USA; "Practical Holography XV and Holographic Materials VII", Photonics West 2001 - Electronic Imaging, 20-26 января 2001 г., San Jose, USA; "Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques IV", Photonics West 2002 - Electronic Imaging, 23-25 января 2002 г., San Jose, USA;

научных семинарах кафедры "Лазерные и оптико-электронные системы" МГТУ им. Баумана.

Структура и объем диссертации.

Диссертационная работа изложена на 194 страницах и содержит введение, четыре главы, заключение и список цитируемой литературы. Работа включает 63 рисунка и 3 таблицы. Библиографический список содержит 93 наименования.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение

Кратко освещено состояние вопроса: принципы и области применения голограммных защитных знаков, проблемы идентификации их защитных свойств; обоснована актуальность разработки новых, более практичных методов и приборов ИЗСГ; сформулирована цель и определены задачи исследований; дана характеристика работы по главам.

Глава 1. Анализ оптических методов и оптико-электронных устройств, предназначенных для идентификации защитных свойств голограмм

В данной работе в качестве защитных свойств, подлежащих идентифицированию, выбраны скрытые изображения, воспроизводимые с защитных голограмм с помощью когерентного излучения. С одной стороны, они являются важными защитными свойствами, непосредственно влияющими на идентифицируемость специального знака. С другой стороны, эти защитные свойства могут быть идентифицированы с помощью специализированных приборных средств, причем они наилучшим образом приспособлены для автоматической идентификации. Такие скрытые изображения могут храниться в специальных знаках в виде голограммных защитных меток, аналогичных ультрафиолетовым, инфракрасным или магнитным, и содержать при этом объем информации, необходимый для их достоверной идентификации. В то же время воспроизведенное скрытое изображение представляет собой оптический сигнал, который может быть легко введен в прибор идентификации.

Задача, которая ставится перед прибором идентификации защитных свойств голограмм – в режиме реального времени выдать сигнал, однозначно интерпретируемый оператором или исполнительным устройством как информация о наличии предусмотренного защитного свойства (защитной метки) у тестируемой голограммы. При этом условия применения приборов данного класса диктуют необходимость высокой надежности идентификации при максимальной компактности и простоте конструкции прибора.

Новый прибор ИЗСГ, задача разработки которого решается в диссертационной работе, является частью оптико-электронной голографической системы ИЗСГ. Последняя включает также устройство

голографической записи кодовой информации на носитель. Данная кодовая информация в процессе записи и воспроизведения представляет собой оптический сигнал и проходит по двум каналам – объектному, который включает защитный знак, и эталонному, включающему эталонный носитель. Структурная схема системы ИЗСГ, соответствующая такому предлагаемому подходу, показана на рис. 1.

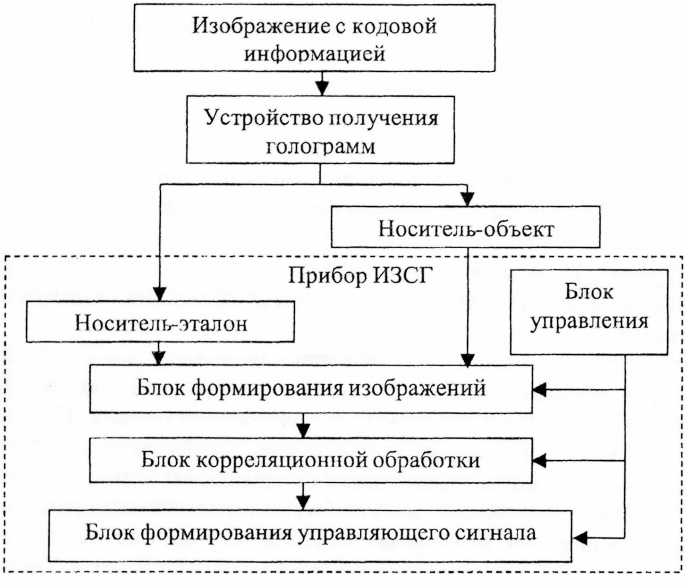


Рис. 1. Структурная схема системы ИЗСГ

Согласно представленной на рис. 1 схеме, оптическая информация, используемая в приборах ИЗСГ, должна пройти через канал связи в пространстве и времени. При этом осуществляется ее кодирование, декодирование и идентификация.

Проведенный в данной главе анализ позволил разработать функциональную схему нового прибора ИЗСГ (рис. 2) и требования, предъявляемые к проектируемому прибору.

Глава 2. Анализ преобразования оптических сигналов в оптико-электронных приборах ИЗСГ

Кодирование и декодирование голографической информации при реализации нового метода ИЗСГ может быть осуществлено путем применения голографических схем Фурье и Френеля, а также

использованием дополнительных кодирующих элементов - фазовых масок. Традиционная голографическая схема Фурье требует наличия в приборе ИЗСГ Фурье-преобразующего объектива, что приводит к усложнению конструкции. Более рациональным в данном случае будет применение оригинальной модифицированной голографической схемы, в которой используется только один Фурье-преобразующий объектив на стадии получения голограмм (рис. 3).

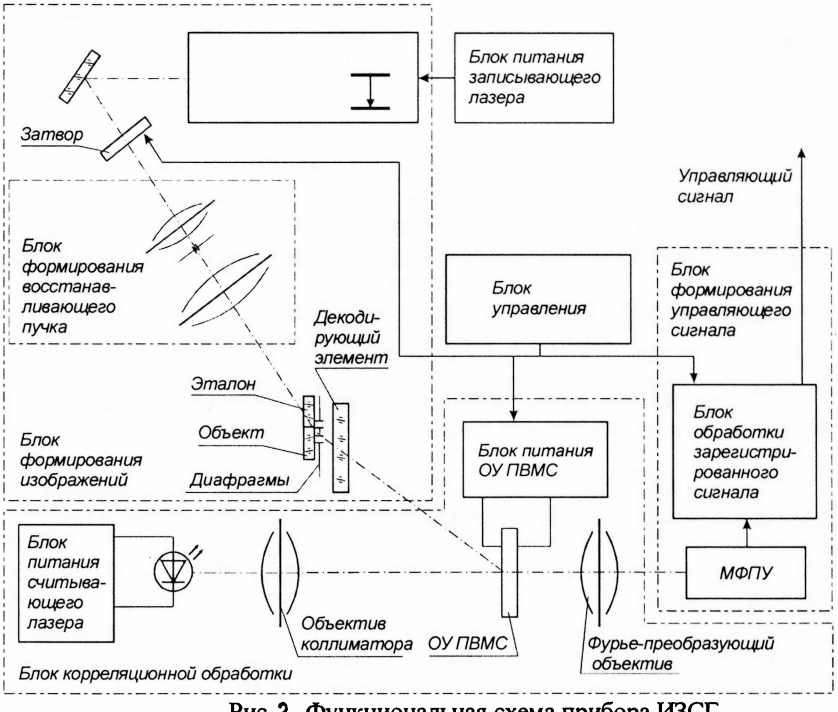


Рис. 2. Функциональная схема прибора ИЗСГ

Комплексная амплитуда восстановленной волны в плоскости 4 определяется выражением:

$$A_и(x_и,y_и) = h_{фр}(x_и,y_и, z_{34}) \cdot A_{тр}(-x_и, -y_и). \quad (1)$$

Данный результат отличается от аналогичного, имеющего место для голографической схемы Фурье с двумя объективами, множителем $h_{фр}(x_и,y_и, z_{34})$. Данный множитель представляет собой чисто фазовую когерентную функцию рассеяния слоя пространства толщиной z_{34}, и не играет роли при регистрации интенсивности излучения в плоскости 4 (см. рис. 3).

С помощью описанной схемы реализуется новый метод получения матрицы защитных голограмм с заданным расположением каждой подголограммы в плоскости записи. При этом воспроизведенные со всех

подголограмм кодовые изображения будут располагаться в одном и том же месте плоскости 4, и наличие Фурье-преобразующего объектива в приборе ИЗСГ не требуется.

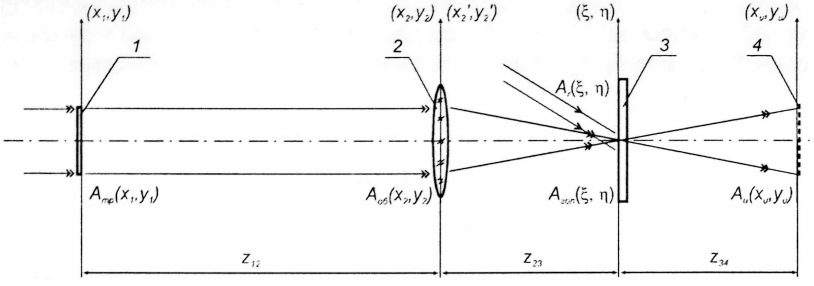
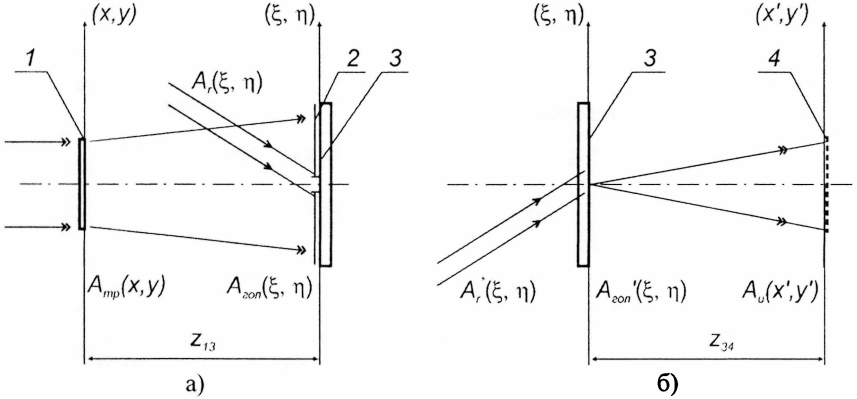


Рис.3. Оптическая схема получения защитных фурье-голограмм и воспроизведения изображения транспаранта с одним фурье-преобразующим объективом:
1 - транспарант; 2 - Фурье-преобразующий объектив; 3 - носитель записи; 4 - плоскость действительного изображения

В данной главе также рассмотрены методы согласования динамических диапазонов оптического сигнала и регистрирующей среды.

Голографическая схема, которая может быть использована для получения матрицы защитных голограмм Френеля, показана на рис. 4 (а).



а) б)

Рис.4. Голографическая схема, используемая для получения матрицы защитных голограмм Френеля (а) и схема воспроизведения кодового изображения с защитной голограммы Френеля (б):
1 - транспарант; 2 - диафрагма; 3 - носитель записи; 4 - плоскость действительного изображения

Диафрагма 2 располагается в плоскости записи и предназначена для ограничения апертуры формируемой защитной голограммы.

При освещении полученной защитной голограммы волной, сопряженной к той, которая использовалась при записи волнового поля, в плоскости 4 (рис. 4 (б)) формируется восстановленная волна с комплексной амплитудой вида:

$$A_и(x', y') = A_{тр}^*(x', y'), \qquad (2)$$

где * - знак комплексного сопряжения.

При регистрации интенсивности излучения в плоскости 4 сформированное распределение соответствует исходному кодовому изображению.

Матрица защитных голограмм в рассматриваемой схеме формируется путем смещения между экспонированиями диафрагмы 2 на заданные расстояния x_s и y_s в плоскости записи. Так как транспарант при этом остается неподвижным, то восстановленные впоследствии с матрицы защитных голограмм волны будут формировать кодовые изображения в одном и том же месте плоскости 4.

В данной главе также проведен анализ дополнительного метода кодирования оптического сигнала в приборах ИЗСГ, предназначенного для затруднения несанкционированного доступа к кодовой информации с помощью фазовых кодовых масок.

Классическая схема оптического коррелятора с совместным преобразованием Фурье (СПФ) имеет ряд недостатков в приложении к приборам ИЗСГ. Изображения реальных объектов имеют, как правило, сравнительно узкий пространственно-частотный спектр, сосредоточенный вблизи нулевой частоты и характеризуемый большим динамическим диапазоном сигнала. Поэтому для более эффективного использования рабочей зоны и разрешающей способности регистрирующего прибора приходится значительно увеличивать продольные габариты системы и использовать дополнительные оптические элементы. Спектры объектов, относящихся к одному классу, часто слабо отличаются, что приводит к трудностям при их идентификации.

В новом приборе ИЗСГ идентификация восстановленного с защитной голограммы кодового изображения осуществляется путем его сравнения с эталоном в оптическом корреляторе с совместным преобразованием Фурье в плоскости изображений.

Если в предлагаемой схеме коррелятора используются фурье-голограммы, то входные функции r(x, y) и t(x, y) соответствуют пространственно-частотным спектрам изображений объектов, тогда как сравниваемые $R(\xi,\eta)$ и $T(\xi,\eta)$ представляют собой сами изображения. Если используются голограммы Френеля, то функции r(x, y) и t(x, y) представляют

собой свертки соответствующих функций $R(\xi,\eta)$ и $T(\xi,\eta)$ и когерентной функции рассеяния слоя пространства толщиной z_{12} (см. рис. 4). Для обоих случаев распределение интенсивности излучения в плоскости сравнения изображений в параксиальном приближении может быть представлено как:

$$I_m(\xi,\eta) = |R(\xi,\eta)|^2 + |T(\xi,\eta)|^2 + \\ + 2R(\xi,\eta)T(\xi,\eta)\cos[(2\pi/\lambda_в)(\xi x_s/z_и + \eta y_s/z_и)], \quad (3)$$

где ξ, η - координаты в плоскости сравнения,

$\lambda_в$ - длина волны излучения, используемого при воспроизведении кодовых изображений с защитных голограмм,

$z_и$ - расстояние от защитных голограмм до восстановленных изображений.

Последнее выражение идентично тому, которое описывает распределение интенсивности излучения в плоскости сравнения изображений традиционного коррелятора с совместным преобразованием Фурье. В то же время предлагаемый метод дает по сравнению с классическим несколько преимуществ в конструкции прибора ИЗСГ. Малый размер $r(x, y)$ и $t(x, y)$ позволяет разместить их на малом расстоянии друг от друга. Это снижает требования к относительному отверстию фурье-преобразующего объектива и уменьшает продольные габариты системы. Малая величина смещения x_s и y_s приводит к уменьшению пространственной частоты интерференционной картины (см. выражение (3)), что позволяет снизить требования к разрешающей способности устройства, регистрирующего интерференционную картину. Большой размер $R(\xi,\eta)$ и $T(\xi,\eta)$ позволяет более эффективно использовать оптическую апертуру регистрирующего устройства при меньших продольных габаритах системы. Динамический диапазон сигналов $R(\xi,\eta)$ и $T(\xi,\eta)$ определяется разработчиком так, чтобы он согласовывался с параметрами регистрирующего устройства.

Оптическая схема коррелятора с совместным преобразованием Фурье в плоскости изображений представлена на рис. 5.

Фурье-преобразование выражения (3) определяет амплитудное распределение в корреляционной плоскости:

$$A_к(x', y') = (1/\lambda_c z_к)[\, r\otimes r\,(x', y') + t\otimes t\,(x', y') + \\ + r\otimes t(x' - x_s\lambda_c z_к/(\lambda_в z_и), y' - y_s\lambda_c z_к/(\lambda_в z_и)) + \\ + r\otimes t(x' + x_s\lambda_c z_к/(\lambda_в z_и), y' + y_s\lambda_c z_к/(\lambda_в z_и))], \quad (4)$$

где λ_c – длина волны излучения, использовавшегося при анализе зарегистрированной интерференционной картины;

$z_к$ - фокусное расстояние фурье-преобразующего объектива;

$\otimes$ - знак операции свертки.

Последние два члена формулы (4) соответствуют пикам в корреляционной плоскости, смещенным относительно оптической оси на величины $(x_s\lambda_c z_к/(\lambda_в z_и))$ и $(y_s\lambda_c z_к/(\lambda_в z_и))$. Следовательно, положения этих пиков однозначно связаны с величиной смещения тестируемой голограммы,

так же, как и в классической схеме коррелятора СПФ. Амплитуда этих пиков зависит от относительной площади регистрируемой ПВМС интерференционной картины, определяемой соответствием кодовых изображений R(ξ,η) и T(ξ,η).

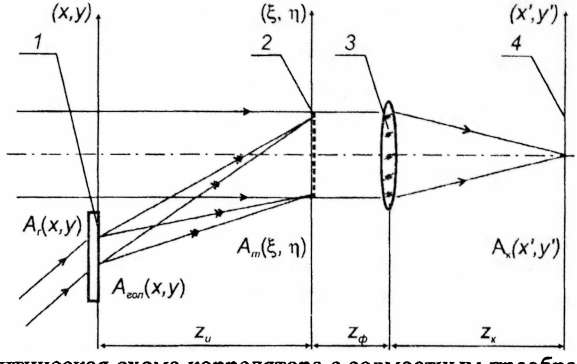


Рис. 5. Оптическая схема коррелятора с совместным преобразованием Фурье в плоскости изображений:
1 – входная плоскость; 2 – плоскость сравнения; 3 - фурье-преобразующий объектив; 4 – плоскость корреляционного анализа

В отличие от традиционного коррелятора СПФ, схема, представленная на рис. 5, не обладает инвариантностью к сдвигу входных функций. Однако это не вызывает ужесточения требований к позиционированию защитных голограмм. В новой схеме площадь регистрируемых в плоскости сравнения интерференционных картин непосредственно определяется формой кодовых изображений. Следовательно, разработчиком легко могут быть выбраны изображения с такими геометрическими параметрами, которые обеспечат разумные допуски на смещение и поворот защитных голограмм, являющихся носителями входных функций r(x, y) и t(x, y).

Вероятность идентификации защитных свойств в приборах ИЗСГ может быть охарактеризована двумя величинами: вероятностью правильного обнаружения $P_{обн}$ и вероятностью ложной тревоги $P_{лт}$.

Условия применения приборов ИЗСГ диктуют необходимость снижения величины $P_{лт}$, при этом можно допустить и относительно невысокое значение $P_{обн}$. Для достижения этой цели может быть реализована схема коррелятора с совместным преобразованием Фурье в плоскости изображений и несколькими интерференционными картинами. В этом случае описывающую кодовое изображение функцию T(ξ,η) следует разбить на N частей. Для каждой части формируется отдельная подголограмма малого размера H_{ti}. На объектном носителе будет размещено N голограмм H_{ti},

каждая из которых находится в строго заданном месте. Тогда в области наложения восстановленных изображений $R(\xi,\eta)$ и $T(\xi,\eta) = \sum_{i=1}^{N} T_i(\xi,\eta)$ образуется N интерференционных картин, направление и частота полос в каждой из которых определяется положением голограммы H_{ti} относительно H_r, т. е. смещениями x_{si} и y_{si}. При этом в плоскости корреляционного анализа будут зарегистрированы 2N пиков первого порядка, взаимное расположение которых строго зависит от взаимного расположения H_r и $\sum_i H_{ti}$. Набор расстояний между этими пиками является критерием, по которому система выносит решение о соответствии r(x, y) и t(x, y). Величины $P_{обн}$ и $P_{лт}$ в этом случае определяются произведениями значений соответствующих вероятностей обнаружения каждой пары пиков, что приводит к существенному снижению полной $P_{лт}$.

В данной главе также рассмотрены эффекты, возникающие вследствие нелинейной связи между амплитудой объектной волны $a_a(\xi,\eta)$ и пропусканием голограммы $\tau_{гол}$, появляющиеся из-за применения рельефно-фазовых защитных голограмм и ПВМС с фазовым принципом регистрации в приборах ИЗСГ. Установлены условия, при которых данные эффекты не оказывают существенного влияния на функционирование приборов ИЗСГ.

Величины вероятностей идентификации защитных свойств в приборах ИЗСГ сильно зависят от диапазона допустимых вариаций параметров объектного изображения относительно эталонного. Данные вариации (искажения) могут быть как энергетическими (изменения среднего контраста изображения и изменения локальных освещенностей), так и геометрическими (смещение и поворот одного изображения относительно другого, разность масштабов и ракурсов изображений, а также аберрации изображения).

Как показал анализ, наиболее существенным энергетическим искажением кодового изображения, воспроизведенного с защитной голограммы Френеля, является спекл-шум, параметры которого зависят от ограничивающей голограмму апертуры $D_д$. Это приводит к уширению корреляционных пиков до величины $d_п$:

$$d_п = 2{,}44\, \lambda_c\, z_к\, D_д / (\lambda_в\, z_и). \qquad (5)$$

В данной главе также проанализированы причины появления геометрических искажений оптических сигналов в приборах ИЗСГ, показаны вызываемые эффекты и получены условия, при которых как энергетические, так и геометрические искажения не оказывают существенного влияния на функционирование приборов ИЗСГ.

Таким образом, математически подтверждена корректность предложенного метода автоматической идентификации защитных свойств голограмм. Показано, что новый метод позволяет снизить требования к разрешающей способности и более эффективно использовать оптическую апертуру ОУ ПВМС при меньших продольных габаритах системы по сравнению с известными приборами данного класса. Предложенная оптическая схема обеспечивает воспроизведение кодовых изображений непосредственно на ПВМС без применения промежуточного фурье-преобразующего объектива. В силу особенностей данной оптической схемы искажениями оптических сигналов можно пренебрегать даже при сравнительно больших апертурах пучков - угловом размере кодового изображения до 20° и относительном отверстии фурье-преобразующего объектива до 1:2. Кроме того, новая схема коррелятора СПФ с несколькими интерференционными картинами позволяет снизить вероятность ложной тревоги при идентификации до требуемой величины.

Глава 3. Разработка методики проектирования приборов ИЗСГ

Проделанный математический анализ преобразования оптических сигналов позволил получить инженерные формулы, необходимые для осуществления расчетов при проектировании приборов ИЗСГ в соответствии с разработанной методикой.

Разработанная методика проектирования позволяет проделать габаритный, энергетический и аберрационный расчет оптической схемы прибора ИЗСГ, при функционировании которого обеспечиваются требуемые величины вероятностей $P_{лт}$ и $P_{обн}$. Последние значения определяют величину коэффициента предельно допустимого снижения величины полезного сигнала в плоскости корреляционного анализа k_l. При расчетах учитываются возможные искажения оптических сигналов, влияние которых сведено к соответствующим коэффициентам k_Φ и выдерживается условие $k_l \geq \prod_{i=1}^{N} k_{\phi i}$. Это позволяет найти оптимальный баланс между допустимыми значениями воздействия искажающих факторов.

Глава 4. Экспериментальные исследования макета прибора ИЗСГ

Для экспериментальной проверки теории функционирования прибора ИЗСГ в соответствии с разработанной методикой проектирования было рассчитано и собрано два экспериментальных макета – макет устройства получения голограмм и макет устройства ИЗСГ. Первый макет был необходим для получения защитных голограмм Френеля, использовавшихся в дальнейших экспериментах по идентификации.

Габаритные параметры основных элементов оптической схемы макета прибора ИЗСГ выбраны достаточно далеко от предельных величин, определяемых соответствующими инженерными формулами, из

соображений удобства при проведении экспериментов. Однако даже выбранные величины (диаметр защитных голограмм 0,4 мм; размеры кодовых изображений 9,5 х 9,5 мм; расстояние между защитными голограммами и ПВМС 90 мм; фокусное расстояние фурье-преобразующего объектива $f'_ф = 35$ мм при относительном отверстии более 1:2) характеризуют рассматриваемую схему как весьма компактную и пригодную для практического использования. Рабочие пространственные частоты регистрировавшихся интерференционных картин составляли от 30 мм$^{-1}$ до 50 мм$^{-1}$, что существенно меньше предельной паспортной частоты ПВМС типа ПРИЗ (более 70 мм$^{-1}$).

На макете прибора ИЗСГ была проведена серия экспериментов, поставленных при вариациях параметров оптической схемы макета, в том числе:

- размера диафрагмы, ограничивающей объектные и эталонные голограммы;
- взаимного расположения объектных и эталонных голограмм;
- количества объектных голограмм;
- фокусного расстояния Фурье-преобразующего объектива;
- освещенности, создаваемой считывающим лазером на поверхности оптической апертуры ПВМС.

Результаты этих экспериментов подтвердили способность прибора к устойчивой идентификации защитных свойств - экспериментально полученные значения величин отношения сигнал-шум в плоскости корреляционного анализа находятся в пределах 30..50, а допустимый динамический диапазон сигнала $\Delta_к$ - 5..10 дБ, что обеспечивает вероятность ложной тревоги на уровне $2\cdot10^{-4}$.. $3\cdot10^{-3}$ и вероятность правильного обнаружения 0,998. При идентификации защитных свойств, определяемых кодовым изображением, состоящим из двух частей, величина отношения сигнал-шум составила порядка 35. Расчетная величина $P_{лт}$ в этом случае снижается до $2{,}5\cdot10^{-6}$, а $P_{обн}$ составляет 0,997.

Эксперимент подтвердил необходимость ограничения диаметра диафрагм, ограничивающих объектные и эталонные защитные голограммы, а также поддержания контраста регистрируемой ПВМС интерференционной картины близким к единице. Так, увеличение диаметра диафрагм в 1,3 раза, так же, как и уменьшение контраста в 2 раза, привело к снижению отношения сигнал-шум в три раза: с 54 до 17 в первом случае и с 35 до 11 во втором. Значения вероятности $P_{лт}$ выросли соответственно до $1{,}9\cdot10^{-2}$ (см. рис. 6, D2>D1) и $4{,}9\cdot10^{-2}$.

Экспериментально доказана хорошая устойчивость процесса идентификации, осуществляемого с помощью предложенной схемы, к смещению и повороту объектной защитной голограммы. Так, смещение объектной голограммы на 10% от размера кодового изображения (т. е. на 1 мм) вызвало снижение отношения сигнал-шум с 45,5 до 42 , а поворот на 5° -

до 45.

Эксперимент подтвердил также, что при меньшем фокусном расстоянии фурье-преобразующего объектива в приборе обеспечиваются более высокие параметры идентификации. Увеличение фокусного расстояния объектива с 35 мм до 70 мм привело к падению отношения сигнал-шум с 34 до 17 и с 42 до 21 (для разных пространственных частот). Значения $P_{лт}$ выросли соответственно до $1{,}9 \cdot 10^{-2}$ (см. рис. 6, f'2>f'1) и $1{,}1 \cdot 10^{-2}$.

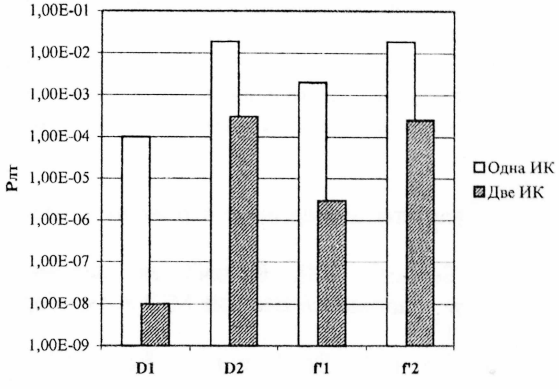


Рис. 6. Диаграмма зависимости величины вероятности ложной тревоги от диаметра защитных голограмм и фокусного расстояния фурье-преобразующего объектива при идентификации с одной и двумя интерференционными картинами (ИК).

Заключение

Основные результаты диссертации состоят в следующем:

1) разработан новый метод автоматической идентификации защитных свойств голограмм, позволяющий осуществлять с высокой степенью достоверности объективную идентификацию защитных свойств голограмм с помощью компактных, простых в эксплуатации приборов, применимых на уровне контрольного органа;
2) разработаны функциональная и оптическая схемы прибора ИЗСГ, позволяющие снизить требования к разрешающей способности (в 2-3 раза) и более эффективно использовать апертуру оптически управляемого ПВМС (до 100%) при уменьшении продольных габаритов оптической системы (фокусное расстояние фурье-преобразующего объектива меньше в 7-10 раз);
3) проделан математический анализ преобразования оптического сигнала в приборе ИЗСГ с учетом возможных возникающих искажений, получено

теоретическое по ... ибора, построенного на базе предложе

4) создан новый ... азе предложенного оригинального о... м преобразованием Ф... ми ка... его об...

5) по... ых па... ика пр...

6) со... ты ко... ых те...

1634820
Борисов М.В.
Оптико-электронные приборы

1634820

ВОЗВРАТИТЕ КНИГУ НЕ ПОЗЖЕ
обозначенного здесь срока

работ... ых

1. Од... для пол... 98. - №...
2. Od... ice for... nd hol... 79-284...
3. Ho... ov et a... .
4. Co... of hol... V. Bo... cal holography XIV and holographic materials VI. - P. 255-261.
5. Патент РФ на изобретение RU 2155982 C2. Способ голографической записи информации и устройство для его осуществления / Л.А. Бондарев, М.В. Борисов, С.В. Куракин, С.Б. Одиноков // Изобретения. – 2000. - № 25.
6. Одиноков С.Б., Борисов М.В. Оптическая система записи и считывания матрицы голограмм // Автометрия. - 2000. - № 6. - С. 33-43.
7. Access-control holographic system based on joint transform correlator and image encoding / M.V. Borisov, S.B. Odinokov, L.A. Bondarev, S.V. Kurakin // Proc. SPIE. - 2001. - V. 4296 - Practical Holography XV and Holographic Materials VII. - P. 134-144.
8. Holographic security system based on image domain joint transform correlator / M.V. Borisov, S.B. Odinokov, L.A. Bondarev et al. // Proc. SPIE. - 2002. - V. 4677 - Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques IV. - P. 381-391.

Подписано к печати 25.06.03 г.
Зак. 108 т Объем 1.0 п.л. Тир. 100

Типография МГТУ им. Н. Э. Баумана