DOI: 10.22184/1993-7296.FRos.2021.15.1.86.98

Дифракционный компаратор защитных голограмм на документах. Модернизация и опытная эксплуатация

С. Б. Одиноков, И. К. Цыганов, В. Е. Талалаев, В. В. Колючкин, Н. В. Пирютин
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

В статье рассматривается новый экспериментальный образец высокопроизводительного оптико-электронного прибора для аутентификации защитных голограмм на документах. В нем скорость получения результата увеличивается благодаря применению в конструкции компаратора современных сканирующих систем, высокоскоростных регистрирующих устройств, специально разработанных и изготовленных компонентов оптической системы. Использование корреляционных фильтров в алгоритме обработки информации, полученной с голограммы, значительно сокращает время и повышает надежность процесса проверки подлинности защитных голограмм.

Ключевые слова: защитные голограммы, дифракционные защитные элементы, голограммные защитные элементы, контроль подлинности, автоматический контроль, защитные голограммы на документах

Статья получена: 22.12.2021
Принята к публикации: 28.01.2021

ВВЕДЕНИЕ

Радужные голограммы широко используются в качестве одного из элементов защиты для различных документов: паспортов, водительских прав, различных сертификатов и других продук-

Diffraction Comparator for Authentication of Security Holograms on Documents. Modernization and Trial Operation

S. B. Odinokov, I.K Tsyganov, V. E. Talalaev, V. V. Kolyuchkin, N. V. Piryutin
Research Institute of Radio Electronics and Laser Technology, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

The article discusses a new experimental sample of a high-performance optoelectronic scanner device for authentication of security holograms on documents. It increases the speed of result obtaining due to using modern scanning systems, high-speed image sensors, custom components of the optical system in the scanner design. Correlation filters in the recognition algorithm for the information received from the hologram, significantly reduce the time and raise the reliability of the security hologram authenticity control.

Keywords: Security holograms, Diffraction security elements, Holographic security elements, Authenticity control, Automatic control, Security holograms on passport documents

Received on: 22.12.2020
Accepted on: 28.01.2021

INTRODUCTION

Rainbow holograms are widely used as one of the security elements for various documents: passports, driver's licenses, various certificates and other security printing products [1]. The relevance of this topic is difficult to overestimate, even with the entry into our life of volume holograms on polymer carriers. Security rainbow holograms are used as a fighting tool against counterfeit goods in almost all spheres of human activity, which inevitably leads to the emergence certain people's need

тов защитной печати [1]. Актуальность данного направления, даже в связи с вхождением в нашу жизнь объемных голограмм на полимерных носителях, сложно переоценить. Защитные радужные голограммы применяются как элемент борьбы с контрафактной продукцией практически во всех сферах человеческой деятельности, что неминуемо приводит к появлению потребности их подделывать у определенного круга лиц. Соответственно задача контроля подлинности защитных радужных голограмм еще долго будет востребована.

Работа по этой и смежным тематикам ведется в МГТУ имени Н. Э. Баумана коллективом лаборатории «Оптико-голографические системы» под руководством профессора С. Б. Одинокова уже более 10 лет. За это время были разработаны, изготовлены и поставлены заказчикам как системы экспертного контроля защитных голограмм, так и носимые либо настольные приборы оперативного контроля, одним из основных требований к которым является:

- малое время на сканирование образца и принятие решения о его подлинности/подделке;
- низкая квалификация персонала, который будет использовать оперативные сканеры.

Существует как минимум два подхода к построению приборов оперативного контроля голограмм. В обоих подходах для принятия решения о подлинности голограммы проводится сравнение информации, полученной с исследуемой голограммы, с информацией с эталонной голограммы.

В первом подходе в качестве информации для сравнения используется цветное изображение с голограммы, подсвеченной источником некогерентного мультиспектрального «белого» света и зарегистрированное цифровой камерой. К таким устройствам можно отнести визуализатор голографических изображений фирмы Регула 2303, также видеоспектральный компаратор фирмы Foster & Freeman «VSC 8000» и прибор фирмы Projectina «DOCUBOX HD» (см. рис. 1 а-с).

Во втором подходе сравнивают дифракционные спектры, восстановленные когерентным излучением с контролируемой голограммы и с эталонной голограммы на одной или нескольких длинах волн. Метод анализа когерентных изображений защитных голограмм (далее по тексту ЗГ) заключается в корреляционном распознавании изображений пространственного распределения интенсивности лазерного излучения, дифрагированного в областях ЗГ. Если когерентно освещенный элемент голограммы содержит дифракционные решетки с различной частотой и ориентацией, то в дифрак-

to counterfeit them. Accordingly, the task of the authenticity control of security rainbow holograms will be in demand for a long time.

Team of the "Optical-Holographic Systems" laboratory under the guidance of Prof. S. B. Odinokov works on this and related topics for over 10 years at the Bauman Moscow State Technical University. During this time, both systems for expert control of security holograms and portable or desktop xpress control were developed, manufactured and delivered to customers. Main requirements for these devices are:

- short time for scanning a sample and making a decision on its authenticity/forgery;
- low qualification of personnel who will use express scanners.

There are at least two approaches to the construction of devices for the express control of holograms. In both approaches, to make a decision about the authenticity of the hologram, the information obtained from the investigated hologram is compared with information from the reference hologram.

In the first approach, a colour image from a hologram illuminated by a source of incoherent multispectral "white" light and recorded by a digital camera is used as information for comparison. These devices include the Regula 2303 holographic image visualizer, the VSC 8000 video spectral comparator (Foster & Freeman), and the DOCUBOX HD device (Projectina) (See Figure 1 a-c).

The second approach compares diffraction spectra reconstructed by coherent radiation from the controlled hologram and from the reference hologram at one or more wavelengths. The method for analyzing coherent images of security holograms (hereinafter referred to as the SH) consists in the correlation image recognition of the spatial diffraction distribution of the intensity of laser radiation in the regions of the SH. If a coherently illuminated element of the hologram contains diffraction gratings with different spatial frequencies and orientations, then the diffraction pattern will include a zero order, as well as pairs of diffraction orders symmetrically located at a certain distance from it. The direction and distance between these maxima and the zero order correspond to the orientation and spatial frequency of the gratings existing on the illuminated element.

In our opinion, this method is more accurate and gives better results in the identification process, as opposed to comparing colour photographs of holograms. Fig. 1d shows the first version of an optoelectronic scanner developed by the "Optical-Holographic Systems" laboratory [2, 3], which works on the principle of comparing spatial spectra reconstructed by coherent radiation from a controlled hologram and spectra obtained earlier from a reference hologram. This device, in contrast to

ционной картине будут наблюдаться нулевой порядок, а также пары дифракционных порядков, симметрично расположенных на некотором расстоянии от него. Направление и расстояние между этими максимумами и нулевым порядком соответствуют ориентации и пространственной частоте решеток, присутствующих на освещенном элементе.

По нашему мнению, данный метод более точен и дает лучшие результаты в процессе идентификации в отличие от сравнения цветовых фотографий голограмм. На рис. 1d представлен первый вариант оптико-электронного сканера разработки лаборатории «Оптико-голографические системы» [2, 3], который работает на принципе сравнения пространственных спектров, восстановленных когерентным излучением с контролируемой голограммы и спектров, полученных ранее с эталонной голограммы. У этого прибора в отличие от предлагаемого присутствуют два существенных недостатка: 1 – механическое перемещение оптической головки, что приводит к значительным временным затратам при исследовании; 2 – в связи с особенностями конструкции количество и положение точек, которые могут быть проверены, ограничено и фиксировано.

Рис. 1. *Приборы контроля подлинности голограмм: a) «Регула 2303»; b) Foster & Freeman «VSC 8000»; c) Projectina «DOCUBOX HD»; d) оптико-электронный сканер*

Fig. 1. *Devices for the authenticity control of holograms: a) Regula 2303; b) Foster & Freeman VSC 8000; c) Projectina DOCUBOX HD; d) optoelectronic scanner*

В предлагаемом приборе также, как и в его предшественнике, используются математически синтезированные инвариантные корреляционные фильтры, которые содержат информацию об эталонном объекте, а также о его возможных искажениях, что позволяет в некоторой степени избавиться от влияния зашумленности анализируемой картины дифракционного распределения, а также от ошибок позиционирования зондирующего излучения [4, 5]

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА ДИФРАКЦИОННОГО КОМПАРАТОРА ЗАЩИТНЫХ ГОЛОГРАММ

На рис. 2 приведена функциональная схема прибора. Из нее видно, что компаратор включает

the proposed one, has two significant drawbacks: 1 – mechanical movement of the optical head, which leads to significant time expenditures in the investigation; 2 – due to design features, the number and position of control points is limited and fixed.

In the proposed device, as well as in its predecessor, mathematically synthesized invariant correlation filters are used, which contain information about the reference object, as well as about its possible distortions. This allows to some extent get rid of the noise influence of noise in the analyzed diffraction distribution pattern, as well as positioning errors of the probe radiation [4, 5]

FUNCTIONAL DIAGRAM OF DIFFRACTION COMPARATOR OF SECURITY HOLOGRAMS

Fig. 2 shows a functional diagram of the device. It can be seen that the comparator includes two channels: a control channel (items *1–11*) and a guidance channel (items *12–14*). The guidance channel is designed to determine the position of the investigated hologram

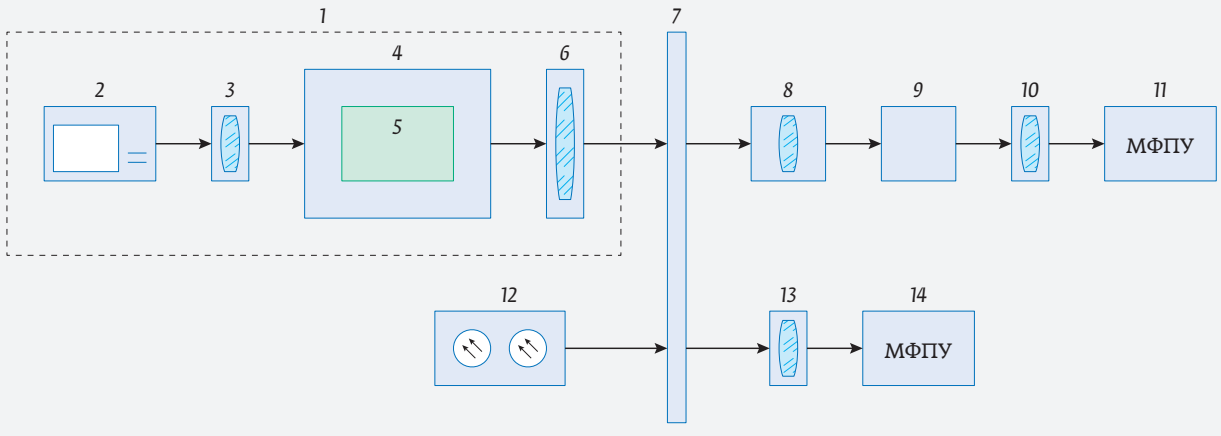

Рис. 2. *Функциональная схема дифракционного компаратора защитных голограмм*
Fig. 2. *Functional diagram of the diffraction comparator of security holograms*

в себя два канала: канал контроля (поз. *1–11*) и канал наведения (поз. *12–14*). Канал наведения предназначен для определения положения исследуемой голограммы относительно прибора, а канал контроля выполняет собственно процедуру идентификации голограммы, заключающуюся в получении дифракционных спектров от намеченных точек контроля и сравнении полученных спектров с эталонными, полученными в процессе обучения прибора и хранящимися в его базе данных.

Канал контроля состоит из двухкоординатной сканирующей системы подсветки *1*, содержащей лазерный диод *2*, коллимирующий объектив *3*, зеркальную систему сканирования *4*, включающую в себя в том числе 2 гальванометрических сканатора *5* и дополнительную линзовую систему переноса зрачка *6*, контролируемого объекта *7*,

relative to the device, and the control channel performs the actual hologram identification procedure, which consists in obtaining diffraction spectra from the designated control points and comparing the obtained spectra with the reference spectra obtained during the training of the device and stored in its database.

The control channel consists of a two-coordinate scanning illumination system *1*, containing a laser diode *2*, a collimating objective *3*, a mirror scanning system *4*, including, among other things, 2 galvanometric scanners *5* and an additional pupil transfer lens system *6*, the controlled object *7*, Fourier converting system *8*, visualizer *9*, reproduction lens *10* and array photodetector (recording device) *11*.

The guidance channel consists of a matrix of LEDs *12* for illumination of the monitored object *7*, a projection lens *13* and photodetector array (recording device) *14*.

Оптико-голографические приборы

- проведение научно-исследовательских, опытно-контрукторских и опытно-технологических работ в области голографических технологий
- изготовление голограммных и дифракционных оптических элементов
- разработка и создание оптико-голографических устройств дополненной реальности (AR-технологии), устройств контроля подлинности защитных голограмм
- организация и проведение тематических конференций, школ, семинаров и выставок в области голографических технологий

ООО «ОГП» РФ, 107076, г. Москва, ул. Матросская тишина, д. 23, стр. 2, под. 1а, эт. 5, п. XXV, к. 18,
тел.: +7(499)263-63-44, e-mail: kus_a_s@mail.ru

фурье-преобразующей системы *8*, визуализатора *9*, репродукционного объектива *10* и многоплощадочного фотоприемного устройства (устройства регистрации) *11*.

Канал наведения состоит из матрицы светодиодов *12* для подсветки контролируемого объекта *7*, проекционного объектива *13* и многоплощадочного фотоприемного устройства (устройства регистрации) *14*.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ОБРАЗЕЦ ДИФРАКЦИОННОГО КОМПАРАТОРА ЗАЩИТНЫХ ГОЛОГРАММ

На основе функциональной схемы была разработана оптическая схема и 3D-модель конструкции устройства, которую можно видеть на рис. 3а.

EXPERIMENTAL SAMPLE OF DIFFRACTION COMPARATOR OF SECURITY HOLOGRAMS

Based on the functional diagram, an optical scheme and a 3D model of the device structure were developed, which can be seen in Fig. 3a. The design of the device is based on the mezzanine principle and contains 3 levels. On the lower level there is an on-board integrated computer to which an external monitor, mouse and keyboard are connected. The integration of the computer into the device is caused by the need to organize a high-speed data bus for transmitting large amount of video information. Elements of the optical system of the comparator and electronic components are located on the two upper floors. An optical window is located on top of the comparator for placing on it the investigated hologram or document with the hologram. A cover is provided to eliminate external light.

To create an experimental sample of a diffraction comparator for security holograms, in accordance with the developed design documentation, optical, optoelectronic, electronic, mechanical parts, assemblies and units included in it were manufactured and purchased. Most of the optical and mechanical components are manufactured in Russia and Belarus. Optoelectronic and electronic assemblies have also been developed and manufactured by Russian development firms, but with the predominant use of foreign components.

Figures 3b-3d show photographs of the appearance of the device. The overall dimensions of the scanner were 330×330×650 mm, and the weight was 20 kg, i.e. it is a tabletop device. From the photo in Fig. 3b, you can get an idea of its dimensions against the background of a in comparison with laptop. In the upper part of the scanner, under the cover, there is an optical entrance window through which the document is scanned (see Fig. 3c, 3d). Technical parameters of the comparator of security holograms are given in table 1.

Let us now consider the elements of the device's subsystems and the principles of its operation

Рис. 3. *Дифракционный компаратор защитных голограмм: a) 3D-модель конструкции; b)–d) конструкция компаратора*

Fig. 3. *Diffraction comparator of security holograms: a) 3D model of the structure; b) -d) comparator construction*

Конструкция прибора построена по мезонинному принципу и содержит 3 уровня. На нижнем уровне расположен бортовой интегрированный вычислитель, к которому подключаются внешний монитор, манипулятор «мышь» и клавиатура. Встраивание вычислителя в прибор вызвано необходимостью организации высокоскоростной шины данных для передачи больших массивов видеоинформации. На двух верхних этажах расположены элементы оптической системы компаратора и электронные компоненты. Сверху компаратора расположено оптическое окно для размещения на нем исследуемой голограммы или документа с голограммой. Для устранения внешних засветок предусмотрена крышка.

Для создания экспериментального образца дифракционного компаратора защитных голограмм в соответствии с разработанной КД были изготовлены и закуплены оптические, оптико-электронные, электронные, механические детали, узлы и блоки, входящие в его состав. Большинство оптических и механических компонентов изготовлены в России и Белоруссии. Оптико-электронные и электронные узлы также разработаны и изготовлены российскими фирмами-разработчиками, но с преимущественным использованием зарубежных комплектующих.

На рисунках 3b – 3d приведены фотографии внешнего вида прибора. Габаритные размеры сканера составили 330×330×650 мм, а масса – 20 кг, т. е. это настольный прибор. По фотографии на рисунке 3б

Таблица 1. Технические параметры дифракционного компаратора защитных голограмм
Table 1. Technical parameters of the diffraction comparator of security holograms

Параметр Parameter	Величина Value
Длина волны излучения лазерного диода, нм Laser diode wavelength, nm	405
Диапазон пространственных частот решеток, подлежащих контролю, мм$^{-1}$ Spatial frequency range of gratings to be investigated, mm^{-1}	600–2 000
Диаметр области контроля, мм Control area diameter, mm	71
Время контроля одного документа не более, с Control time of one document no more than, s	80
Вероятность идентификации Identification probability	0,96
Напряжение питания, В Supply voltage, V	220
Габаритные размеры (ширина × глубина × высота), мм Overall dimensions (width × depth × height), mm	330 × 330 × 650
Масса, кг Weight, kg	20

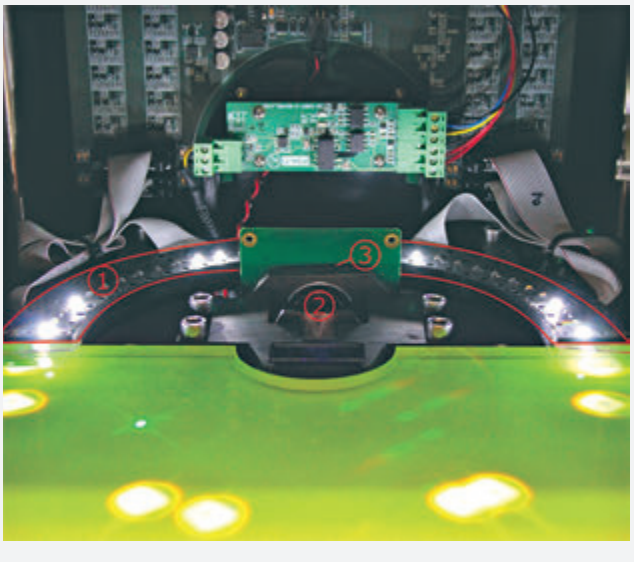

Рис. 4. *Элементы канала наведения*
Fig. 4. *Guidance channel elements*

in more detail. Let's start with the guidance channel in Fig. 4. It consists of a multicomponent LED illuminator *1*, a projection lens *2* and a photodetector array *3*. There are also mirrors in the optical system for the convenience of arranging the device and reducing its overall dimensions.

The guidance channel functions as follows. The multicomponent LED illuminator consists of 32 LEDs located on a semicircle with a calculated radius at equal angular intervals. The vertical axis of the illuminator (semicircle) coincides with the vertical axis of the optical window with the hologram. During operation, the LEDs turn on discretely, illuminating the investigated hologram from a certain direction. All gratings perpendicular to this direction will diffract the incident radiation towards the lens of the matrix photodetector. As a result, the video camera registers the image of objects with certain orientations of the gratings (see Fig. 5). Anticipating the quite natural question: "Why not illuminate the hologram with all LEDs at once?", the answer is that in this case it is much more difficult to isolate useful information against the noise background.

можно получить представление о его габаритах на фоне ноутбука. В верхней части сканера под крышкой расположено входное оптическое окно, через которое и происходит сканирование документа (смотри рис. 3c, 3d). Технические параметры компаратора защитных голограмм приведены в табл. 1.

Рассмотрим теперь элементы подсистем прибора и принципы его действия более детально. Начнем с канала наведения рис. 4. Он состоит из многокомпонентного светодиодного осветителя *1*, проекционного объектива *2* и матричного фотоприемника *3*. Также в оптической системе стоят зеркала для удобства компоновки прибора и снижения его габаритных размеров.

Канал наведения функционирует следующим образом. Многокомпонентный светодиодный осветитель состоит из 32 светодиодов, расположенных на полуокружности с расчетным радиусом через равные угловые промежутки. Вертикальная ось осветителя (полуокружности) совпадает с вертикальной осью оптического окна с голограммой. В процессе работы светодиоды включаются дискретно, подсвечивая с определенного направления исследуемую голограмму. Все решетки, перпен-

The frames of the investigated object, obtained in all directions of illumination, are processed using the software: noise removal, contrast enhancement, and then stitching into a single image. The obtained image is used to bind the hologram to the coordinate system of the device. In Fig. 6 shows the result of the search for support elements in the process of snapping. The colour defines the type of the supporting element: the inscription “РОССИЯ” (red), the inscription “RUSSIA” (green), Eagle (yellow); the circle indicates the position of the reference element in the standard, and the square indicates the position of the reference element on the image of the investigated hologram.

Also, at this stage, the primary comparison of the image of the investigated hologram with the reference one takes place, and in the case of a complete mismatch, it is recognized as counterfeit. In case of detection of reference objects that coincide with the reference ones, as a result of binding, information about the reference Fourier spectra at the assumed control points is loaded from the database. In the future, this information will be used in the correlation comparison with the images of the Fourier spectrum obtained in the control channel. The technical parameters of the guidance channel are given in table 2.

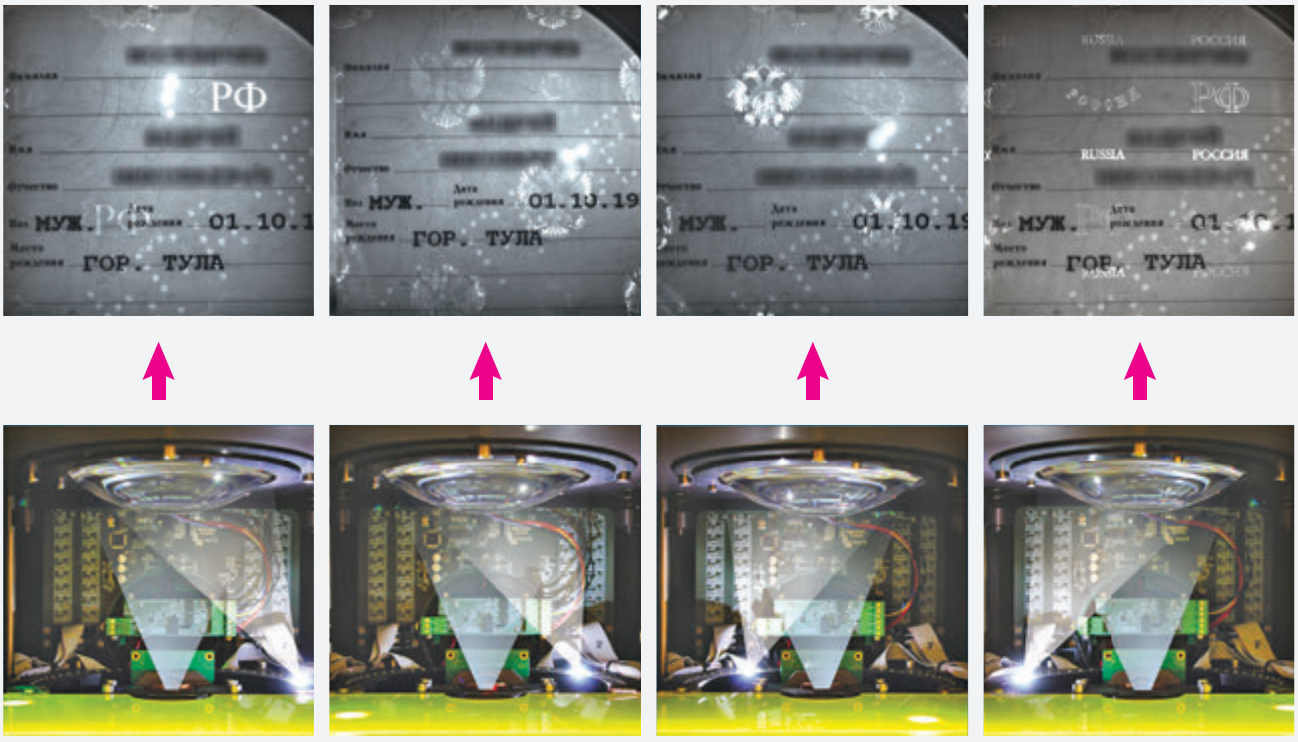

Рис. 5. *Изображения с канала наведения, полученные при различных направлениях подсветки*
Fig. 5. *Images from the guidance channel obtained with different illumination direction*

дикулярные данному направлению, будут дифрагировать падающее на них излучение в сторону объектива матричного фотоприемного устройства. В результате этого видеокамера регистрирует изображение объектов с определенными ориентациями решеток (см. рис. 5). Предупреждая вполне закономерный вопрос: «почему не подсветить голограмму сразу всеми светодиодами?», можно ответить, что в таком случае значительно сложнее выделить полезную информацию на шумовом фоне.

Кадры исследуемого объекта, полученные при всех направлениях подсветки, подвергаются программной обработке: удаление шумов, повышение контраста и в дальнейшем сшиваются в единое изображение. По полученному изображению производится привязка голограммы к системе координат прибора. На рис. 6 приведен результат поиска опорных элементов в процессе привязки. Цветом определяется тип опорного элемента: надпись «РОССИЯ» (красная), надпись «RUSSIA» (зеленая), Орел (желтый); окружность указывает на положение опорного элемента в эталоне, а квадрат – на положение опорного элемента на изображении исследуемой голограммы.

Также на этом этапе происходит первичное сравнение изображения исследуемой голограммы с эталонной, и в случае полного несовпадения она признается фальсифицированной. В случае обнаружения опорных объектов, совпадающих с эталонными в результате привязки, из базы данных загружается информация об эталонных фурье-спектрах в предполагаемых точках контроля. В дальнейшем эта информация используется при корреляционном

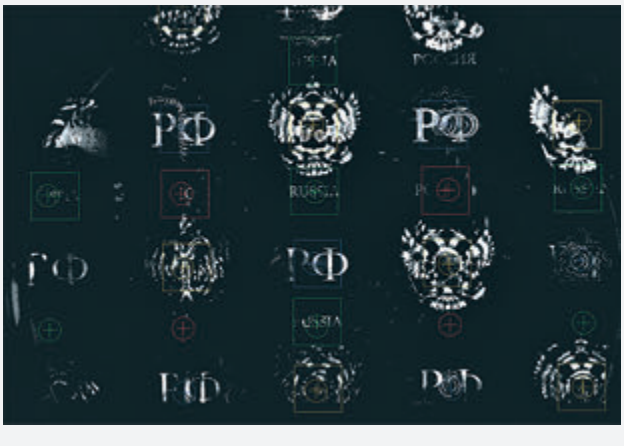

Рис. 6. *Результат процесса привязки голограммы к системе координат компаратора*

Fig. 6. *Result of the process of binding the hologram to the comparator coordinate system*

Таблица 2. Технические параметры канала наведения

Table 2. Technical parameters of the guidance channel

Параметр Parameter	Величина Value
Линейное поле зрения, мм Linear field of view, mm	60×60
Источник излучения Radiation source	32 «белых» светодиода 32 «white» LEDs
Количество направлений подсветки Number of illumination directions	32
Разрешение светочувствительной матрицы, пиксели Photosensitive array resolution, pixels	2 048×1 088
Частота кадров светочувствительной матрицы, кадр/сек Photosensitive array frame rate, frame/sec	До 340 Up to 340

Now let´s switch to the control channel. A photograph with the principal subunits that make up this channel is shown in Fig. 7. It contains a two-coordinate scanning system of illumination *1*, which allows to illuminate the investigated hologram or document with a hologram within the entrance window with a small beam aperture. One of the key components of the scanner is the Fourier transform lens *2*, which forms parallel probing beams to illuminate the investigated object along the normal and, after reflection from the object, forms a diffraction spectrum on the visualizer *3*. The diffraction distribution from the visualizer is recorded using the projection lens *4* and the photodetector array *5* and is transferred to a computer for subsequent comparison with reference information.

Consider the beam paths in the control channel. For this, we first turn to the two-coordinate scanning system, photographs of which are shown in Fig. 8. The radiation from the semiconductor laser *1*, having passed through the collimator *2*, first hits the mirror *3* (mounted on a galvanometric scanner, scanning along the X axis). Next, the image of the mirror *3* with the help of the mirror transfer system of the pupil *4* is built in the plane of the mirror *5* (in turn, fixed on a galvanometric scanner, which performs scanning along the Y axis). After that, the image of the mirror *5*, using the lens transfer system of the pupil *6*, forms a quasi-point source of coherent radiation at a given distance, scanning the space in a 12×12 degree cone. Thus, we illuminate the object in the plane of the sample installation with a size of 70×70 mm or a diameter of 50 mm.

Further, the radiation, passing through the Fourier transform lens *2* (see Fig. 7), falls along the normal to the small area of interest on the investigated object. Then,

сравнении с изображениями фурье-спектра, полученными в канале контроля. Технические параметры канала наведения приведены в табл. 2.

Теперь обратимся к каналу контроля. Фотография с принципиальными узлами, входящими в состав этого канала, приведена на рис. 7. Он содержит двухкоординатную сканирующую систему подсветки *1*, которая позволяет подсветить пучком малого диаметра исследуемую голограмму или документ с голограммой в пределах входного окна. Одним из ключевых компонентов сканера является фурье-преобразующий объектив *2*, который формирует параллельные зондирующие пучки для подсветки исследуемого объекта по нормали и после отражения от объекта формирует дифракционный спектр на визуализаторе *3*. Дифракционное распределение с визуализатора при помощи проекционного объектива *4* и матричного приемника излучения *5* регистрируется и передается в компьютер для последующего сравнения с эталонной информацией.

Рассмотрим ход лучей в канале контроля. Для это сначала обратимся к двухкоординатной сканирующей системе, фотографии которой приведены на рис. 8. Излучение от полупроводникового лазера *1*, пройдя через коллимирующий объектив *2*, попадает сначала на зеркало *3* (закрепленное на гальванометрическом сканаторе, осуществляющем сканирование вдоль оси X). Далее изображение зеркала *3* при помощи зеркальной системы переноса зрачка *4* строится в плоскости зеркала *5* (в свою очередь закрепленного на гальванометрическом сканаторе, осуществляющем сканирование вдоль оси Y). После чего изображение зеркала *5* при помощи линзовой системы переноса зрачка *6* формирует на заданном расстоянии квазиточечный источник когерентного излучения, сканирующий пространство в конусе 12×12 градусов. Тем самым мы подсвечиваем объект в плоскости установки образца размером 70×70 мм или диаметром 50 мм.

Далее излучение, проходя через фурье-преобразующий объектив *2* (см. рис. 7), падает по нормали на интересующую малую область на объекте исследования. После чего в зависимости от параметров дифракционных решеток, попавших в пятно подсветки, дифрагирует в обратном направлении и, пройдя еще раз через фурье-преобразующий объектив *2*, формирует в его фокальной плоскости, совпадающей с плоскостью визуализатора *3*, дифракционный спектр. Фотографии прохождения излучения в канале контроля после двухкоординатной сканирующей системы приведены на рис. 9.

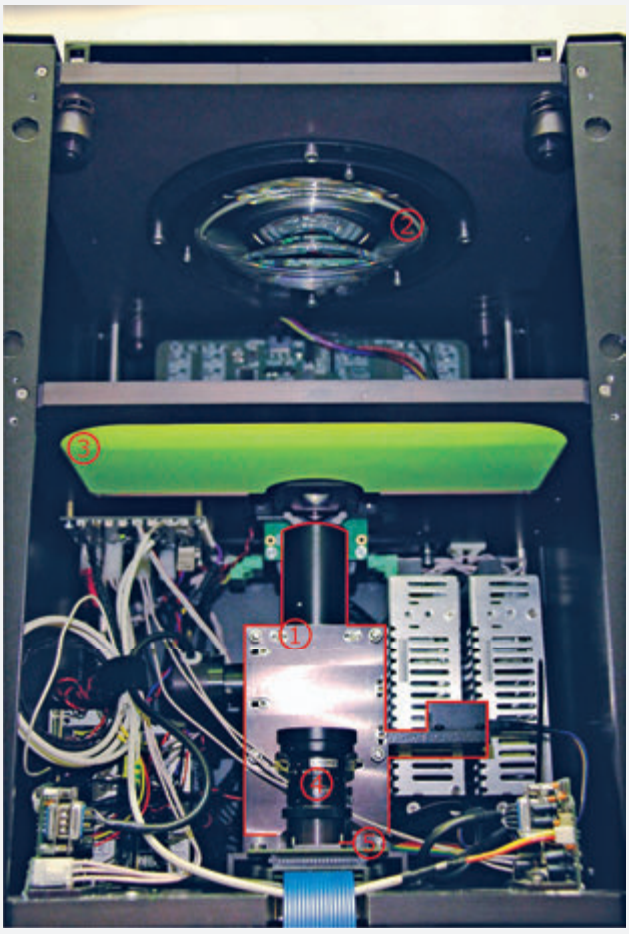

Рис. 7. *Элементы канала контроля*
Fig. 7. *Elements of the control channel*

depending on the parameters of the diffraction gratings that hit the illumination spot, it diffracts in the opposite direction and, having passed through the Fourier transform lens *2* again, forms a diffraction spectrum in its focal plane, which coincides with the plane of the visualizer *3*. Photographs of the passage of radiation in the control channel after the two-coordinate scanning system are shown in Fig. 9.

Only half of the diffraction distribution pattern is formed on the visualizer, containing only one of the diffraction orders $+1^{st}$ or -1st. The position of the illumination radiation in the plane of the visualizer and the position of the reflected zero order from the hologram coincide and are known to us. Thus, the location of the same diffraction order completely determines the parameters, period and orientation of the illuminated diffraction grating and allows the process of comparison with the standard. Fig. 10a shows a top view of a diffraction spectrum visualizer. In the photograph, we see three clearly distinguishable maxima, which indicates that the illumination area on

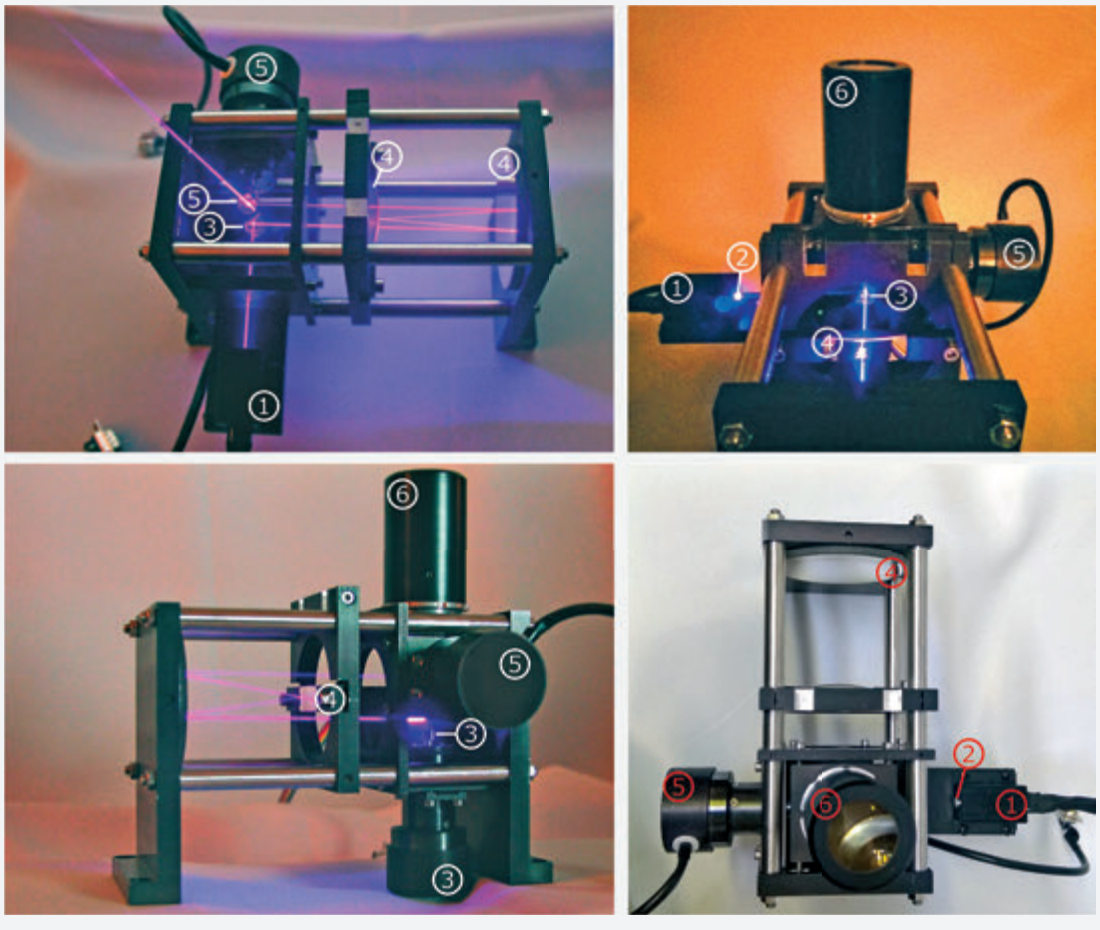

Рис. 8. *Двухкоординатная сканирующая система*
Fig. 8. *Two-axis scanning system*

На визуализаторе формируется только половина картины дифракционного распределения, содержащая только один из дифракционных порядков: или +1-й, или –1-й. Положение излучения подсветки в плоскости визуализатора и положение отраженного нулевого порядка от голограммы совпадают и известны нам. Таким образом, расположение одного порядка дифракции полностью определяет параметры, период и ориентацию, подсвеченной дифракционной решетки и позволяет проводить процесс сравнения с эталоном. На рис. 10 a дан вид сверху на визуализатор с дифракционным спектром. На фотографии мы видим три хорошо различимых максимума, что говорит о том, что в пятно подсветки на голограмме попали три дифракционные решетки, периоды которых определяются расстоянием от центра картины, а угловые ориентации – положением на дуге соответствующего радиуса. Рис. 10 b содержит фотографию с матричного приемника излучения 5 (см. рис. 7), изображение которой передается в бортовой вычислитель для последующей обработки и сравнения с эталонной информацией.

the hologram has three diffraction gratings, the periods of which are determined by the distance from the center of the picture, and the angular orientations are

Табл. 3. Технические параметры канала контроля
Table 3. Technical parameters of the control channel

Параметр Parameter	Величина Value
Диаметр области контроля, мм Control area diameter, mm	71
Длина волны источника когерентного излучения, нм Coherent radiation source wavelength, nm	405
Разрешение светочувствительной матрицы, пиксели Photosensitive array resolution, pixels	2 048 × 1 088
Частота кадров светочувствительной матрицы, кадр / сек Photosensitive array frame rate, frame / sec	До 340 Up to 340
Частота смены положений гальванометрических сканаторов, Гц Positions change frequency of galvanometric scanners, Hz	1 000

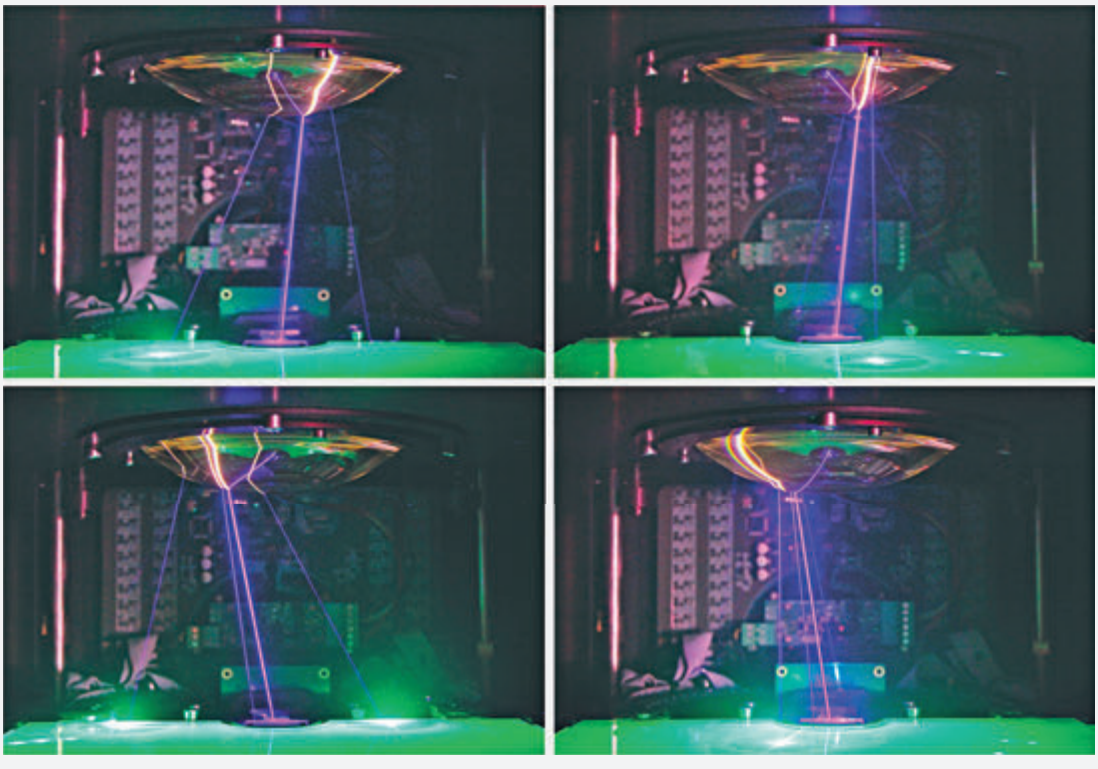

Рис. 9. *Процесс сканирования документа*
Fig. 9. *Document scanning process*

Технические параметры канала контроля приведены в табл. 3.

Программное обеспечение, кроме проведения оперативного контроля голограмм на документах, также позволяет анализировать параметры решеток, содержащихся в голограммах, создавать дифракционные «карты» голограмм. На рис. 11 приведены визуализации дифракционных откликов – спектров при одиночном зондировании (рис. 11 a), спектр фрагмента голограммы «Орел» (рис. 11 b), спектр фрагмента голограммы

determined by the position on the arc of the corresponding radius. Fig. 10b contains a photograph from the photodetector array 5 (see Fig. 7), the image of which is transmitted to the on-board computer for subsequent processing and comparison with reference information. The technical parameters of the control channel are shown in Table 3.

The software, in addition to conducting express control of holograms on documents, also allows you to analyze the parameters of the gratings contained in the holograms to create diffraction “maps” of holograms. In Fig.

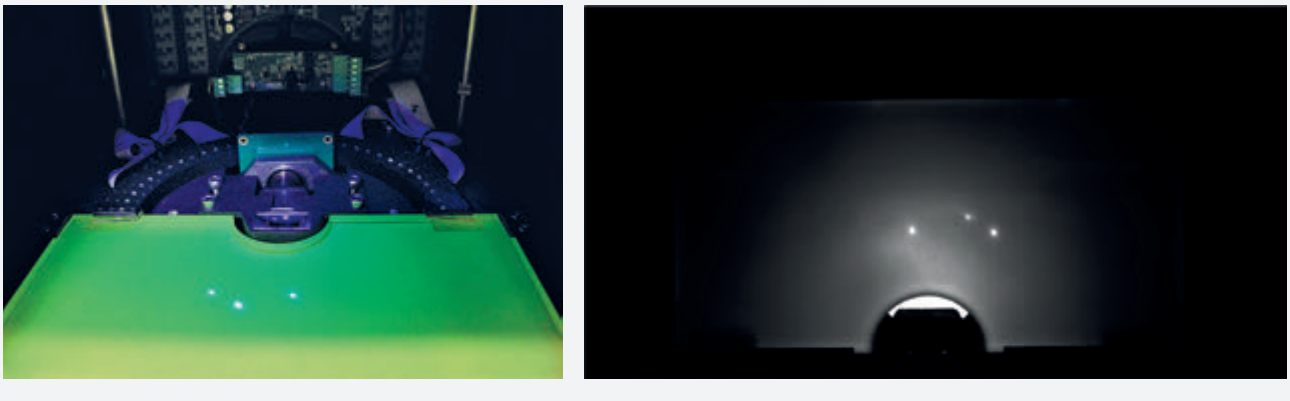

Рис. 10. *Дифракционное распределение на визуализаторе*
Fig. 10. *Diffraction distribution on the visualizer*

«РФ» (рис. 11 c) и спектр всей голограммы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении выделим основные конструкторские и программные решения, реализованные в автоматическом дифракционном компараторе для оперативного контроля подлинности защитных голограмм на документах. В конструкции прибора использованы гальванометрические сканаторы. Их применение позволило значительно снизить время, необходимое для контроля защитной голограммы с размерами паспортной страницы. Использование высокоскоростного устройства регистрации также привело к снижению времени контроля. Специально рассчитанные и изготовленные компоненты оптической системы повысили качество регистрируемых картин дифракционного распределения, что снизило ошибки при проведении контроля подлинности. Отсутствие подвижных элементов в компараторе, кроме сканирующих зеркал, повысило точность позиционирования зондирующего пучка на исследуемом образце, что, в свою очередь,

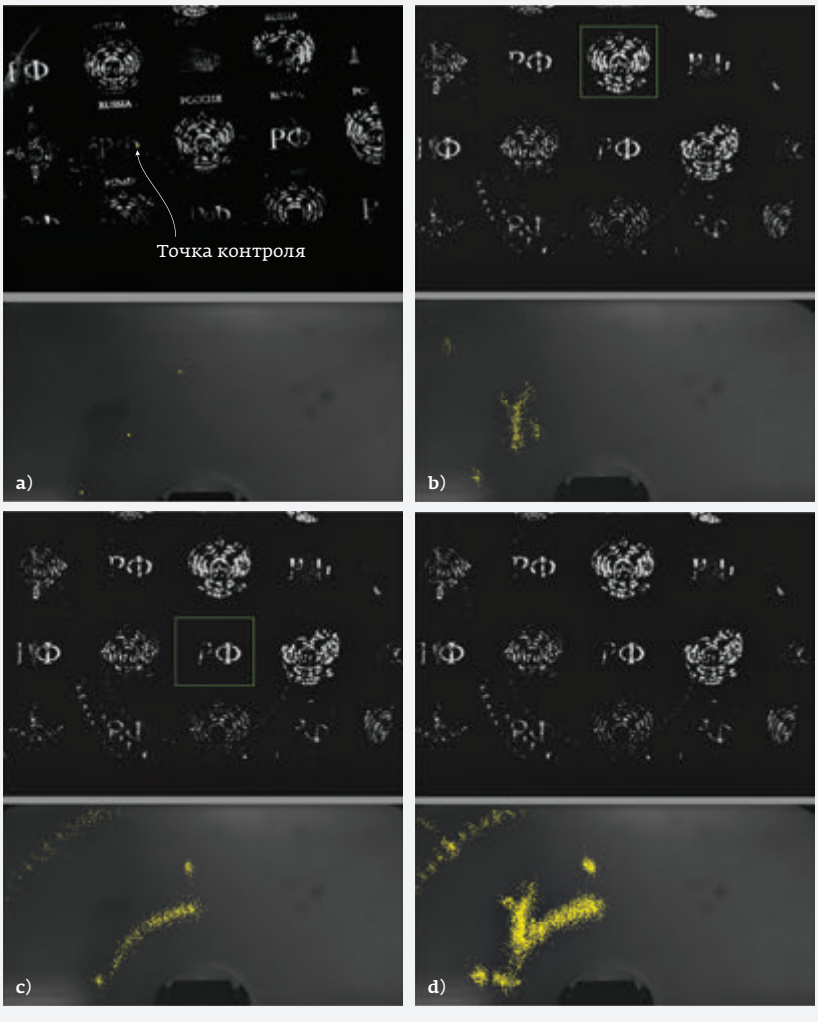

Рис. 11. *Визуализация дифракционных откликов*
Fig. 11. *Visualization of diffraction responses*

повысило вероятность правильной идентификации защитной голограммы, а также механическую надежность прибора в целом. Применение корреляционных фильтров в алгоритме распознавания полученной с голограммы информации также повысило надежность процесса контроля подлинности.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа проведена в МГТУ им. Н. Э. Баумана при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по соглашению № 14.577.21.0223 (ID PRFMEFI57716X0223).

REFERENCES

1. **Odinokov S. B.** Metody i optiko-elektronnye pribory dlya avtomaticheskogo kontrolya podlinnosti zashchitnyh gologramm. – M: Technosphera. 2013. 176 p. ISBN 978-5-94836-348-6. [In Russ].
   Одиноков С. Б. Методы и оптико-электронные приборы для автоматического контроля подлинности защитных голограмм. – М: Техносфера. 2013. 176 с. ISBN 978-5-94836-348-6.
2. **Tsyganov I. K., Kolyuchkin V. V., Piryutin N. V., Odinokov S. B., Talalaev V. E., Zlokazov E. YU.** Optiko-elektronnyj skaner dlya operativnogo kontrolya podlinnosti zashchitnyh gologramm na pasportnyh dokumentah Golografiya. *Nauka i praktika: Sbornik trudov XI mezhdunarodnoj konferencii HOLOEXPO 2014*. – M.: MGTU im. N. E. Baumana. 2014. [In Russ].
   Цыганов И. К., Колючкин В. В., Пирютин Н. В., Одиноков С. Б., Талалаев В. Е., Злоказов Е. Ю. Оптико-электронный сканер для оперативного контроля подлинности защитных голограмм на паспортных документах Голография. Наука и практика: *Сборник трудов XI международной конференции HOLOEXPO 2014*. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2014.
3. **Tsyganov I. K., Kolyuchkin V. V., Piryutin N. V., Odinokov S. B., Talalaev V. E., Zlokazov E. YU.** Scanner for Automatic Control of Security Holograms Authenticity on Passport Documents. *Fotonika (Photonics Russia)*. 2016; 10 (1).
4. **Evtikhiev N. N., Shaulskiy D. V., Zlokazov E. Yu., Starikov R. S.** Variants of minimum correlation energy filters: comparative study. *Optical Pattern Recognition. Proceedings SPIE Defense, Security and Sensing*. 2012; 8398 (XXIII): 83980G. – Baltimore. Maryland. US.
5. **Vijaya Kumar B. V. K., Fernandez J. A., Rodriguez A., Boddeti V. N.** Recent advances in correlation filter theory and application. *Optical Pattern Recognition. Proceedings SPIE Defense + Security*. 2014; 9094 (XXV): 909404. – Baltimore. Maryland. US.

АВТОРЫ

С. Б. Одиноков, д. т. н., НИИ РЛ МГТУ имени Н. Э. Баумана, odinokov@bmstu.ru, Москва, Россия.
ORCID: 0000-0003-2730-9545

И. К. Цыганов, НИИ РЛ МГТУ имени Н. Э. Баумана, Москва, Россия.
ORCID: 0000-0002-9538-5673

В. Е. Талалаев, НИИ РЛ МГТУ имени Н. Э. Баумана, Москва, Россия.
ORCID: 0000-0003-4244-6898

В. В. Колючкин, к. т. н., НИИ РЛ МГТУ имени Н. Э. Баумана, Москва, Россия.
ORCID: 0000-0002-7294-7143

Н. В. Пирютин, НИИ РЛ МГТУ имени Н. Э. Баумана, Москва, Россия.
ORCID: 0000-0002-5493-8796

ВКЛАД ЧЛЕНОВ АВТОРСКОГО КОЛЛЕКТИВА

Статья подготовлена на основе многолетней работы всех членов авторского коллектива

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов. Все авторы приняли участие в написании статьи и дополнили рукопись в своей части работы.

11 shows visualizations of diffraction responses – spectra at single probing (Fig. 11a), the spectrum of a fragment of the "Eagle" hologram (Fig. 11b), the spectrum of a fragment of the "RF" hologram (Fig. 11c) and the spectrum of the entire hologram.

CONCLUSION

In conclusion, let us highlight the main design and software solutions implemented in the automatic diffraction comparator for express control of the authenticity of security holograms on documents. Galvanometric scanners are used in the design of the device. Their use made it possible to significantly reduce the time required to control the security hologram with the dimensions of the passport page. The use of a high-speed image sensor has also resulted in reduced inspection times. Custom components of the optical system have improved the quality of the recorded diffraction distribution patterns, which has reduced errors in authenticity control. The absence of moving elements in the comparator, except for scanning mirrors, increased the positioning accuracy of the probe beam on the sample under study, which in turn increased the probability of correct identification of the security hologram, as well as the mechanical reliability of the device as the whole. The use of correlation filters in the recognition algorithm for information obtained from the hologram also increased the reliability of the authenticity control process.

ACKNOWLEDGMENTS

The work was carried out at the Bauman Moscow State Technical University with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation under agreement No. 14.577.21.0223 (ID PRFMEFI57716X0223).

AUTHORS

S. B. Odinokov, Doctor of Technical Sciences, Research Institute of Radio Electronics and Laser Technology BMSTU, odinokov@bmstu.ru, Moscow, Russia.
ORCID: 0000-0003-2730-9545

I. K. Tsyganov, Research Institute of Radio Electronics and Laser Technology, BMSTU, Moscow, Russia.
ORCID: 0000-0002-9538-5673

V. E. Talalaev, Research Institute of Radio Electronics and Laser Technology, BMSTU, Moscow, Russia.
ORCID: 0000-0003-4244-6898

V. V. Kolyuchkin, Candidate of Technical Science, Research Institute of Radio Electronics and Laser Technology, BMSTU, Moscow, Russia.
ORCID: 0000-0002-7294-7143

N. V. Piryutin, Research Institute of Radio Electronics and Laser Technology, Bauman MSTU, Moscow, Russia.
ORCID: 0000-0002-5493-8796

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

The article was prepared based on many years of work by all members of the authors team.

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare no conflicts of interests. All authors took part in writing the article and supplemented the manuscript in their part of the work.

МашЭкспо Сибирь

18+

МЕЖДУНАРОДНАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА

30 МАРТА - 2 АПРЕЛЯ 2021

Отраслевое событие Сибири!

70

Более 70 производителей и поставщиков оборудования и материалов для металлообработки и сварки из России, Белоруссии, Германии, Италии, Швейцарии, Японии, Китая.

Здесь ведущие производители станков, сварочного оборудования встречаются с представителями крупных и средних промышленных предприятий.

Деловая программа посвящена актуальным проблемам машиностроения и передовым технологиям в сфере металлообработки.

mashexpo-siberia.ru

Организатор: ООО «СВК»

СИБИРСКАЯ ВЫСТАВОЧНАЯ КОМПАНИЯ

Место проведения:

НОВОСИБИРСК ЭКСПО ЦЕНТР