

## 20. Контроль подлинности защитных голограмм методом оптоэлектронного анализа пространственного спектра Фурье

Ч. Б. Кайтуков, А. В. Яновский  
ФГУП «НТЦ «Атлас», Москва, Россия

Представлена реализация метода оптоэлектронного анализа пространственного спектра Фурье для аппаратного контроля подлинности защитных голограмм.

*Ключевые слова:* Голография, Контроль подлинности, Преобразование Фурье, Оптическая система.

*Цитирование:* **Кайтуков, Ч. Б.** Контроль подлинности защитных голограмм методом оптоэлектронного анализа пространственного спектра Фурье / Ч. Б. Кайтуков, А. В. Яновский // HOLOEXPO 2019 : XVI международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. — С. 109–112.

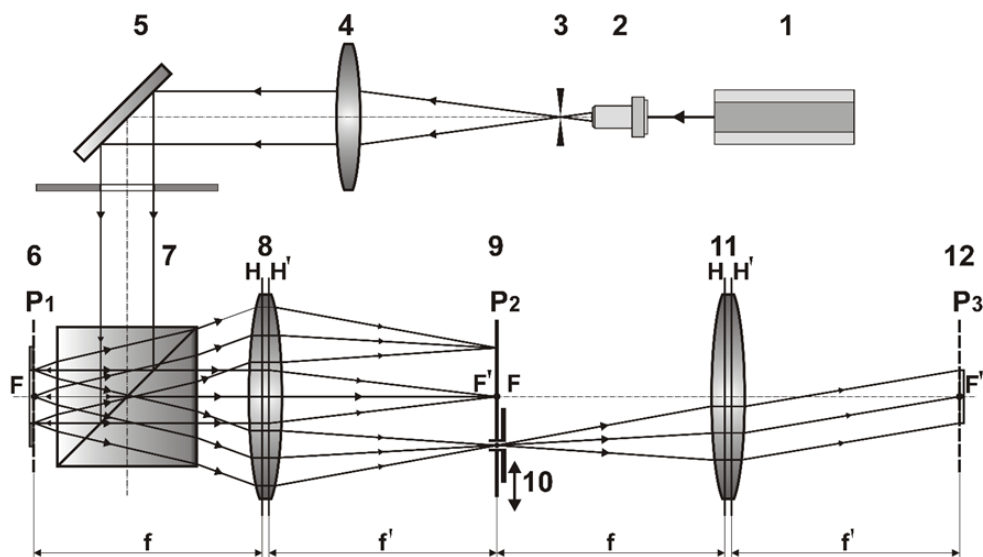
Возрастающая потребность в оптических защитных знаках и повышающиеся требования к надёжности их использования, инициирует разработку систем автоматизированного контроля подлинности.

Приборный контроль защитных голограмм давно применяется для ускорения и упрощения процедуры проверки подлинности документов сотрудниками различных ведомств. Принцип действия, существующих в настоящее время приборов, базируется на сравнении основных свойств и характерных особенностей голограмм с эталонными образцами.

Существующие методики и применяемые приборы, используют сравнительный анализ картин дифракции на периодических структурах идентичных областей сравниваемых голограмм в одном (обычно первом) порядке дифракции. Основной анализ состоит в выявление степени подобия углов дифракции света, отражённого от идентичных зон на поверхности сравниваемых голограмм.

Можно констатировать, что подобные приборы не обладают достаточным быстродействием и, в настоящее время, являются в большей степени средствами экспертного, но не оперативного контроля. Связанно это с тем, что для проведения достоверного колориметрического анализа необходимо осуществить большое количество замеров дифракционных углов из многих зон на поверхности сравниваемых голограмм. Дополнительные трудности возникают в случае, если голограмма наносится на документ в прозрачном ламинационном слое, из-за различий в фоновых изображениях, находящихся непосредственно под проверяемой голограммой и эталонной.

Для преодоления указанных трудностей предлагается осуществлять анализ спектра Фурье, получаемого путём аналогового преобразования, от всей поверхности исследуемой голограммы. При таком подходе не требуется набирать изображения картин дифракции для



1 — лазер; 2 — микрообъектив; 3 — микродиафрагма; 4 — коллимационная линза; 5 — зеркало;  
 6 — голограмма; 7 — светоделительный кубик; 8, 11 — линза; 9, 12 — экран;  
 10 — подвижная диафрагма

Рис. 1. Оптическая схема анализатора пространственного спектра Фурье

разных углов освещения и наблюдения, а будет достаточно однократной регистрации картины Фурье-образа для дальнейшей цифровой обработки.

Голограмму можно представить как совокупность разнообразных дифракционных решеток, которые образуют её единое комплексное световое поле. Если осветить такую голограмму целиком и произвести преобразование Фурье отражённого от её поверхности света, то в частотной плоскости возникнет картина, состоящая из набора пространственных частот всех дифракционных решёток присутствующих в голограмме. Визуально подобный Фурье-образ представляет собой набор пар светлых точек (максимумов) расположенных симметрично относительно центрального максимума (нулевого порядка дифракции). Интенсивность сфокусированных максимумов в частотной плоскости соответствует дифракционной эффективности и площади поверхности, которую занимает на голограмме соответствующая дифракционная решётка. Полная картина положений и интенсивностей всех пространственных частот Фурье-образа будет присуща только данной голограмме. И незначительное отклонение от её характеристик будет говорить о несоответствии исследуемой голограммы эталонной.

Разработанная оптическая схема (рисунок 1), позволяет регистрировать картину Фурье-образов голограмм.

В начале оптической схемы расположено приспособление для фиксации исследуемой голограммы или дифракционной решётки 6, находящееся в узле совместно со светоделительным кубиком 7. Приспособление расположено в плоскости P1 перпендикулярной оптической оси схемы и находящейся в фокальной плоскости линзы 8. На светоделительный кубик сбоку

падает коллимированный, монохроматический, когерентный пучок света, от лазера 1 ( $\lambda = 532$  нм), сформированный элементами 2–5. Свет, отражаясь от границы раздела кубика, падает перпендикулярно на голограмму и, отражаясь от неё, распространяется в направлении линзы 8, которая осуществляет прямое преобразование Фурье на фокусном расстоянии в частотной плоскости P2. В ней расположен экран 9, с закреплённой на нём ирисовой диафрагмой (10). Экран установлен на координатном столе, что позволяет перемещать отверстие диафрагмы в плоскости Фурье-образа в двух направлениях. Линза 11 осуществляет обратное Фурье-преобразование. В плоскости P3 (12) формируется исходное изображение исследуемой голограммы, в случае отсутствия экрана 9, или изображение зон, содержащих определённую дифракционную решётку, в случае использования диафрагмы в качестве пространственного фильтра.

Общая картина всех сфокусированных максимумов отраженного от голограммы света регистрируется на экране 9 на цифровую ПЗС-матрицу для дальнейшего анализа.

Программное обеспечение позволяет находить координаты сфокусированных максимумов в частотной плоскости. Количество парных максимумов на экране в плоскости P2, исключая нулевой порядок, соответствует количеству дифракционных решёток присутствующих на освещённом участке голограммы, которые различаются периодом и/или углом поворота. Определив координаты максимумов можно рассчитать параметры дифракционных решёток. Расстояние между порядками дифракции, симметричными относительно максимума нулевого порядка, связано с периодом соответствующей дифракционной решётки следующим соотношением:

$$d = \frac{\lambda}{\sin\left(\arctg\left(\frac{2f}{D}\right)\right)}$$

где  $d$  — период дифракционной решётки,  $\lambda$  — длина волны,  $f$  — расстояние от линзы до экрана (фокусное расстояние линзы),  $D$  — расстояние между дифракционными максимумами +1 и –1 порядков. Угол между линией, соединяющей максимумы  $\pm 1$  порядков и, например, горизонтальной линией, равен углу поворота дифракционной решётки в плоскости голограммы. Полученный таким образом набор параметров сравнивается с данными, полученными с эталонной голограммы. Алгоритм работы программы обработки на этом этапе основан на поиске максимума функции корреляции при повороте вокруг нулевых порядков Фурье-образов тестового и эталонного образцов.

Примечательно, что для проверки подлинности голограммы, на этом этапе анализа можно обойтись без предварительного исследования эталона. Вполне достаточно информации о параметрах дифракционных решёток, которая может быть предоставлена производителем голограмм в текстовом виде. Из значений координат максимумов вычисляются периоды и углы поворота дифракционных решеток проверяемой голограммы, как было описано выше, а сравнение осуществляется между таблицей параметров переданной производителем

голограммы и таблицей данных, полученной в результате обработки данных тестируемого образца.

На следующем этапе исследования проводится сравнение интенсивностей дифракционных максимумов в Фурье-образах соответствующих дифракционных решёток эталона и проверяемого образца. Фотометрические данные в этом случае получают обработкой цифровых изображений дифракционных максимумов, формируемых в плоскости P2 (9). Интенсивности максимумов нормируются по максимумам нулевых порядков. Приведенные значения интенсивностей света, сфокусированного в плоскости наблюдения от разных элементов дизайна голограммы, являются её уникальным свойством. В данном случае, для сравнения полученных значений с эталонными, требуется предварительное документирование подлинного образца.

Применение описанного метода позволит сократить время аппаратного контроля подлинности голограмм.