

## Обзор известных объективных критериев контроля качества голограмм

Д. Б. Чекунин<sup>1</sup>, С. Б. Одинокоев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт — филиал АО «Гознак», Москва, Россия

<sup>2</sup> Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, Москва, Россия

Визуальная оценка качества методом *in situ* на соответствие с эскизом. Контроль визуализации защитных элементов по экспликации голограммы (security features). Обзор известных критериев качества восстанавливаемых голографических изображений цифровыми способами. Оценка возможности введения общих критериев качества для защитных голограмм, изготовленных по различным технологиям. Важность оценки кажущейся глубины сцены восстанавливаемого изображения, возможность оцифровки данного параметра. Введение понятия эталонной голограммы.

*Ключевые слова:* контроль качества, соотношение сигнал/шум, оцифровка.

*Цитирование:* Чекунин, Д. Б. Обзор известных объективных критериев контроля качества голограмм / Д. Б. Чекунин, С. Б. Одинокоев // НОЛОЕХРО 2021 : XVIII Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2021. — С. 131–134.

В настоящее время оценка качества защитных голограмм выполняется методом *in situ* на соответствие эскизу экспертом или группой специалистов [1]. Контроль визуализации защитных элементов по экспликации голограммы (security features) выполняется обычно без контроля условий освещённости. Всё это приводит к отсутствию объективного контроля качества голографической продукции таким способом [2].

С целью решения задачи по объективному контролю качества голографической продукции сотрудниками НИИ — филиала АО «Гознак» отдела визуальных видов защиты (далее — ОВВЗ), в течение последних 12 лет, был выполнен ряд исследований по возможности оцифровки качественных показателей серийной голографической продукции. Специалистами ОВВЗ были опробованы различные варианты опытных приборов. Выполненные исследования не привели к положительному результату, так как все предложенные приборы проектировались для решения задач отличных от нашей (экспертный контроль, экспресс-верификация по базе образов, создание цифровых образов ДЗЭ) [3]. При этом в рамках данных исследований была выявлена необходимость оцифровки следующих трёх параметров дифракционного защитного элемента (далее ДЗЭ):

- максимальная интегрированная дифракционная эффективность в нулевом порядке,
- интегрированная угловая селективность для одного канала записи,
- глубина сцены кажущегося восстанавливаемого изображения.

Параллельно с нашими исследованиями был выполнен поиск аналогичных работ. Однако в связи с закрытостью индустрии защищённой голографии информации в открытых источ-

никах найти не удалось. Также был выполнен поиск патентных решений. Все они были оценены как нереализованные в полном объёме и/или также, как и фактически опробованные приборы, задуманы для решения других узкоспециализированных задач. В связи с этим дальнейший поиск информации выполнялся по опубликованным научным исследованиям.

Для поиска была выбрана основная тематика: «Обзор известных критериев качества восстанавливаемых голографических изображений цифровыми способами». Поиск выполнялся с использованием системы международного цитирования Scopus среди научных периодических изданий, по рефератам статей, с глубиной исследований более 30 лет.

В целом анализ выполненных исследований показал разнородность как исследуемых образцов, так и подходов к оценке качества голограмм. Общее для большинства исследований — попытка применения индекса структурного подобия, разработанного для оценки качества видеоизображения (плоского), что, как нам кажется было безусловно ошибочным решением.

Также исследователи предлагали следующие критерии оценки качества голограмм:

- дифракционный критерий — параметр Клейна;
- локальная дифракционная эффективность;
- оценка количества уровней при пороговой обработке изображений;
- оценка методом двойной шкалы стимульных нарушений (психосоматика);
- оценка качества по пиковому соотношению сигнал/шум;
- фотометрический анализ изображения (сравнение дифракционных спектров);
- измерение параметров микрорельефа (пространственной частоты, глубины рельефа, ориентации решетки) оптическим или механическим способами;
- цифровое сравнение изображений исследуемой и эталонной голограмм.

Все предложенные способы оценки являются косвенными и не дают возможности объективно оценить ДЗЭ. При этом следует отметить, что все они дают именно цифровую оценку. Возможно, применив все вышеуказанные способы комплексно можно было бы получить наиболее полную информацию о голограмме, но такие исследования заняли бы слишком много времени и были бы чрезвычайно трудоёмкими, в том числе потребовали бы привлечения высококвалифицированных специалистов.

Таким образом, проведённый поиск и исследования не дали положительного результата. По нашему мнению, отсутствие положительного результата связано со следующими основными факторами.

1. В рассмотренных работах, не была учтена необходимость введения общих критериев качества для защитных голограмм, изготовленных по различным технологическим цепочкам. В рамках наших исследований была выявлена существенная зависимость качественных характеристик голограммы от технологии её изготовления. Более того, была отслежена зависимость снижения качества ДЗЭ в процессе эмбоссирования в начале, середине и в конце рулона полуфабриката.

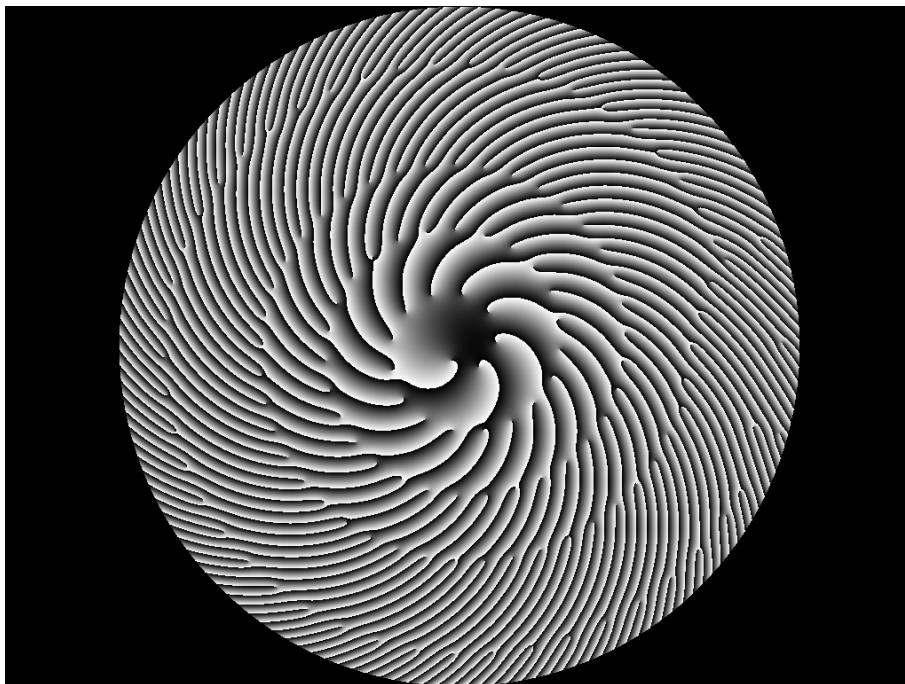


Рис. 1. Пример типичного фрактального киноформа

2. В большинстве работ не была учтена важность оценки кажущейся глубины сцены восстанавливаемого изображения. Работая с псевдо-объемными изображениями, стала очевидной необходимость оцифровки данного параметра, с учётом законов перспективы и коэффициента масштабности.

3. Следующий фактор — отсутствие стандартизированных образцов голограмм, пригодных для исследований. Каждая группа исследователей изучала совершенно различные образцы голограмм, что не позволило оценить преимущество и повторяемость исследований, даже по наиболее часто упоминаемому параметру индекса структурного подобия.

С целью решения данной задачи предлагается ввести понятие эталонной голограммы-миры. В качестве эталонной голограммы предлагается использовать фрактальный геометрический объект. Прототипом такой голограммы-миры можно предложить типичный фрактальный киноформ (рис. 1). Такой объект с обязательными реперными точками, согласованный с представителями сообщества голографистов, можно рекомендовать для создания реального эталона. Следует отметить, что данный эталон требует всестороннего обсуждения и критических замечаний сообщества голографистов.

В ряде исследований было предложено контролировать сравнение уровня сигнал/шум при сравнении измеряемого объекта и эталонного образца. Однако данное решение не учитывает шумов собственно самого метода оцифровки, что также можно было бы исправить, имея эталонный образец. Также очевидно, что вся оцифровка данных при сравнении уровня сигнал/шум измеряемого объекта и эталонного образца требует разработки аппаратных фильтров нового типа, например, с применением преобразования Хартли. Все ранее выполненные работы традиционно используют аппроксимативное Фурье преобразование, не обла-

дающее достаточной точностью результатов расчёта. Оптимальным графическим отражением результатов таких сравнений могла бы быть плоскостная гистограмма шумовых сигналов ДЗЭ за вычетом собственных шумов (шероховатости) полимерной и/или бумажной подложки.

По-видимому, одной из проблем, возникающих у исследователей, пытавшихся анализировать голографическую продукцию, которая помешала выполнить задачу с положительным результатом, была проблема позиционирования образца и обеспечения его плоскостных свойств в случае закрепления образца на подложке. ДЗЭ представляет собой микрооптическую структуру с повторяющимися элементами, слабо отличимыми друг от друга в малой апертуре приборов увеличения, это объясняет невозможность точного позиционирования образца. Без решения данной задачи исследовать голограммы на качественные характеристики не представляется возможным. В качестве варианта решения задачи позиционирования образца можно предложить обязательное введение в голограмму, подготовленную для анализа, специальных опорных микрометок расположенных так, чтобы они позволяли получить «верный угол» для позиционирования образца, и при этом их равноудаление не должно превышать апертуру прибора. Это позволит обеспечить релевантный уровень идентификации голограммы, и выполнить контроль верного позиционирования.

### **Заключение**

Выполнен выбор объективных цифровых критериев качества защитных голограмм. Предложен единый для отрасли объект контроля «эталонная голограмма». Предложен способ оценки и контроля качества голограмм с целью стандартизации методики и создания приборно-программного комплекса.

### **Благодарность**

Авторы данной работы выражают благодарность коллегам из компаний АО «НПО «Криптен» и ООО «ХолоГрэйт» готовивших образцы для данных исследований и лично директору НИИ — филиала АО «Гознак» Г. В. Корнилову.

### **Список источников**

- [1] **Туркина, Е. С.** Голограмма как способ защиты / Е. С. Туркина // Ценные бумаги: Регистрация. Экспертиза. Фальсификации: Ежемесячный информационный бюллетень. — М. : ИПК «ИнтерКрим-Пресс», 2016. — № 5.
- [2] **Одинокоев С. Б.** Методы и опико-электронные приборы для автоматического контроля подлинности защитных голограмм / С. Б. Одинокоев. — М. : Техносфера. — 2013.
- [3] **Одинокоев С. Б.** Дифракционный компаратор защитных голограмм на документах. Модернизация и опытная эксплуатация / С. Б. Одинокоев, И. К. Цыганов, В. Е. Талаллаев, В. В. Колючкин, Н. В. Пирютин / Фотоника. — 2021. — Том 15. — № 1. — С. 86–98.