

# Цифровой контроль качества голограмм

Д. Б. Чекунин<sup>1</sup>, И. К. Цыганов<sup>2</sup>, Д. С. Лушников<sup>2</sup>, Е. Ю. Злоказов<sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

Оценка возможности создания системы цифрового контроля качества голограмм. Этапы развития системы. Пилотная установка и её компоненты. Оцифровка качества голограмм с помощью программно-аппаратного комплекса типа нейронная сеть.

*Ключевые слова:* Контроль качества, Голограмма, Оцифровка.

*Цитирование:* Чекунин, Д. Б. Цифровой контроль качества голограмм / Д. Б. Чекунин, И. К. Цыганов, Д. С. Лушников, Е. Ю. Злоказов // HOLOEXPO 2022: XIX Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — Барнаул: ИП Колмогоров И. А., 2022. — С. 262–265.

В статье «Обзор известных объективных критериев контроля качества голограмм» [1] были предложены три систематизированных критерия контроля качества дифракционных защитных элементов (ДЗЭ), а также система контроля качества на основе эталонной голограммы. По сути была предложена схема создания цифрового аналога человека-эксперта заменяемого электромеханической системой, отслеживающей одновременно три параметра голограммы с целью полной имитации наблюдения голограммы экспертом для оценки качества дифракционного защитного элемента (далее - ДЗЭ).

Нами была выполнена работа по уточнению формулировки трёх предложенных для оценки качества ДЗЭ основных параметров цифрового контроля:

- максимальная интегральная дифракционная эффективность фиксированной по площади ДЗЭ в нулевом порядке;
- угол полного наблюдения в канонических условиях (селективность) для одного канала записи в одной угловой координате;
- глубина сцены кажущегося восстанавливаемого изображения для выбранного объекта наблюдения (слоя или кадра записи, или участка изображения) определяемая по параллаксу.

Если по первым двум критериям сложностей с фиксацией значения в цифровом виде не возникает, то третий критерий вызывает наибольшие вопросы по принципиальной возможности оцифровки.

На основании результатов работы Ельцова А.В. «Резкость и глубина растровых стереоизображений» [2] было принято решение использовать расчёт ширины полосы нерезкости для определения кажущейся глубины сцены.

Тем самым мы устанавливаем три измеряемых цифровых критерия ДЗЭ достаточных для создания релевантной системы контроля качества голограмм.

Для оценки практической возможности создания эталонной голограммы были изучены результаты коллег из АО «Научно-производственное объединение «Государственный институт прикладной оптики», Казань (Россия) «Методика измерений радиусов кривизны и формы сферических поверхностей линз и зеркал, в том числе пробных стекол, на основе использования аттестованных отражательных амплитудных синтезированных голограмм в качестве оптических образцов» [3] в которой были рассмотрены аналогичные задачи. Авторы работы, так же, как и мы, предложили использовать эталонную голограмму и сделали выводы, что при физическом изготовлении системы с такой голограммой возникает не менее пяти неустраняемых ошибок. При этом допуски, предъявляемые к эталону в рамках данной работы, позволили использовать эталон такой точности, однако для решения наших задач выявленные ошибки являются недопустимыми.

Также при предварительной проработке аппаратного оформления оптической схемы запланированного прибора авторы пришли к выводу, что для оценки каждого из предложенных критериев будет необходимо создание собственной уникальной оптической схемы, что приведет к необходимости сборки трёх различных пилотных установок или постоянной перенастройке схемы при смене контролируемого параметра. Реализация такой схемы для эффективной работы в задуманных условиях является практически невозможной.

При выполнении дальнейшего поиска решения было сделано предположение, что технология изготовления ДЗЭ, включает множество этапов, поэтому на каждом из них неизбежно возникают локальные дефекты как дифракционных решёток, так и отражающей поверхности. В связи с этим мы предлагаем концепцию индивидуального дифракционного образа («отпечатка пальца») каждой изготовленной голограммы. То есть, несмотря на то что вся технология изготовления направлена на получение максимальной повторяемости, по итогам ранее проведённых исследований мы знаем, что на каждом технологическом переделе допускаются дефекты, приводящие к возможности изменения дифракционной картины локально в различных частях ДЗЭ. В случае если исследовать ДЗЭ посредством фиксации дифракционного отклика одновременно со всей поверхности голограммы, появляется возможность сравнения таких дифракционных картин. Как с эталонной голограммой, так и между собой. Но как было показано ранее создание эталонной голограммы для решения задачи качества множества ДЗЭ невозможно. Если нельзя организовать прямое сравнение по одному или сразу трём критериям качества ДЗЭ, то надо сравнивать ДЗЭ между собой.

В связи с этим было принято решение заменить эталонную голограмму в принципиальной схеме предлагаемого прибора на программно-аппаратный комплекс на основе нейросетевого моделирования. Суть данного предложения заключается в том, что у нас не единичные изделия, в отличие от коллег, а продукция, изготавливаемая в промышленном масштабе большими тиражами. Данное обстоятельство позволяет нам на относительно небольшом количестве образцов (около 1000 - 2000 единичных экземпляров)

условно идентичных ДЗЭ, выполнить обучение модели нейронной сети и установить технологические допуски для любого индивидуального ДЗЭ той же серии.

Таким образом можно выделить три основные стадии создания системы цифрового контроля качества ДЗЭ.

### **Стадия первая – пилот**

Создание пилотной установки, для подтверждения принципиальной возможности реализации данного метода контроля качества ДЗЭ.

На специально построенном пилотном стенде и специально разработанной тестовой голограмме отрабатываются максимумы методики и возможности собранного комплекса с одновременным набором статистических данных с применением на специально изготовленной партии ДЗЭ.

Пилотная установка включает в себя следующие основные компоненты:

- оптическая схема с коллиматором для освещения всей поверхности ДЗЭ;
- в качестве осветителя предполагается использование постоянного лазера с длиной волны около 555 нм (зелёный);
- система позиционирования образца на базе гексапода;
- в качестве приёмника чёрно-белая CMOS-матрица;
- программно-аппаратный комплекс с нейронной сетью.

На данной стадии необходима работа группы экспертов для релевантного обучения нейронной сети по принципу «плохой-хороший».

### **Стадия вторая – тиражирование**

На основе данных и результатов, полученных в рамках пилота, дорабатываются граничные требования к составляющим комплекса, и к тестовым образцам.

С целью решения задачи автоматизации контроля качества ДЗЭ и обеспечения повторяемости результатов для сертификации метода, и приборов, должно быть построено не менее трёх идентичных частично автоматизированных комплекса с целью создания релевантного лабораторного комплекса оценки качества ДЗЭ.

Одновременно в трёх независимых лабораториях при производстве, должна быть выполнена отработка методики на серийных образцах продукции и выбор объективных «технологических ворот» качества серийных ДЗЭ.

### **Стадия третья – автоматизация**

Создание прототипа автоматического устройства контроля качества ДЗЭ для систем типа «step-repeat».

Адаптация системы для онлайн-контроля в агрегатах постоянного цикла на бумагоделательных машинах, в том числе в процессе промышленного производства продукции, содержащей защитные нити и фольгу с голограммами.

## Заключение

Постройка данной уникальной системы, основанной на цифровом контроле с помощью нейронной сети, позволит выполнять как автоматизированный, так и автоматический контроль качества ДЗЭ в готовых изделиях или на стадии производства.

## Благодарности

Выражаем благодарность за помощь в подготовке доклада В. П. Бессмельцеву и А. А. Гончарскому.

## Список источников

- [1] **Чекунин Д. Б.** Обзор известных объективных критериев контроля качества голограмм / Д. Б. Чекунин, С. Б. Одинокоев // HOLOEXPO 2021: XVIII Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2021. — С. 131–134.
- [2] **Ельцов А. В.** Резкость и глубина растровых стереоизображений [Электронный ресурс]. URL: <http://www.stereogen.ru/Stat1.htm>.
- [3] **Курт В. И.** Методика измерений радиусов кривизны и формы сферических поверхностей линз и зеркал, в том числе пробных стекол, на основе использования аттестованных отражательных амплитудных синтезированных голограмм в качестве оптических образцов / В. И. Курт, А. В. Лукин, А. Н. Мельников, А. И. Садрутдинов, Е. В. Яковлев // HOLOEXPO 2021: XVIII Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2021 — С. 149–152.

## Digital quality control of holograms

*D. B. Chekunin<sup>1</sup>, I. K. Ciganov<sup>2</sup>, D. S. Lushnicov<sup>2</sup>, E. Y. Zlokazov<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Research institute - branch office of the Joint Stock Company "Goznak", Moscow, Russia

<sup>2</sup> Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

<sup>3</sup> National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia

Evaluation of the possibility of creating a digital quality control system for holograms. Stages of system development. The pilot plant and its components. Digitization of the quality of holograms using a software and hardware complex of the "neural network" type.

*Keywords:* Quality control, Hologram, Digitization, Neural network.