

УДК 535.6 535.4

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СИНТЕЗА ЦИФРОВЫХ ГОЛОГРАММ
ФРЕНЕЛЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗ НИХ КОМПЛЕКСНОГО ПОЛЯ ОБЪЕКТНОЙ
ВОЛНЫ В ШИРОКОМ СПЕКТРАЛЬНОМ ДИАПАЗОНЕ**

**Прохоренков Н.О. (ФГАОУ ВО «НИУ ИТМО»),
Научный руководитель – к.т.н., доцент Волынский М.А.
(ФГАОУ ВО «НИУ ИТМО»)**

Введение. Цифровая голография – это метод регистрации интерференционных картин от взаимодействия референтного и объектного волновых фронтов, обработка и анализ которых осуществляется при помощи электронной вычислительной машины [1]. Благодаря высокой скорости получения информации не только об амплитуде объектного волнового фронта, но и, что более важно, о его фазе, а также возможности компьютерной обработки получаемых данных, этот метод находит широкое применение в различных областях науки и техники. Так, в настоящее время возможности цифровой голографии часто используются для решения задач в микроскопии, неразрушающем контроле деталей, медицине, защите информации и во многих других [1-3]. По этой причине разработка компьютерных моделей, которые позволяют не только производить синтез, но и обрабатывать зарегистрированную цифровую голограмму представляет особый интерес.

Основная часть. Данная работа нацелена на разработку компьютерной модели, которая позволяет производить не только синтез цифровых голограмм Френеля в широком спектральном диапазоне и восстановления из них комплексного поля объектной волны, но и анализ информации об амплитуде и фазе объекта.

Для синтеза цифровой голограммы Френеля использовалось решение дифракционного интеграла Гельмгольца-Кирхгофа в Френелевском приближении, поскольку голограмма Френеля – голограмма, формирующаяся как результат интерференции объектного и плоского опорного пучков в плоскости регистрации, расположенной в области дифракции Френеля [2]. Предполагается, что голограмма регистрируется во внеосевой схеме записи, основным достоинством которой является возможность пространственного разделения трех дифракционных порядков, формирующихся при восстановлении комплексного поля объектной волны. Однако в силу дискретности электронных приемников их разрешение намного ниже фотопластинок, применяющихся в аналоговой голографии, что накладывает ограничение на величину угла между опорным и объектными пучками. Это, в свою очередь, иногда приводит к невозможности разделения нулевого (фоновой компоненты) и +1 порядков дифракции [4]. Эта проблема может быть решена различными численными методами [5].

Наиболее часто используемыми методами для численного восстановления комплексного поля объектной волны являются метод свертки и метод Френеля [2,3]. В данной работе использовался второй метод, достоинством которого является высокая скорость вычислений и отсутствие ограничений на максимальное расстояние реконструкции.

Тестирование разработанной модели производилось на выборке цифровых изображений, сформированной из открытой базы данных [6].

По результатам тестирования было обнаружено, что при фильтрации нулевого порядка дифракции методом вычитания значения средней яркости из исходной голограммы, нарушается точность передачи цветов от исходного объекта к его восстановленному изображению. Если же отказаться от данного шага, то точность цветопередачи повышается, однако на изображении появляются полосовые артефакты, обусловленные дифракцией. Для борьбы с ними для амплитудной составляющей восстановленного комплексного поля объектной волны был разработан метод, основанный на фильтрации спектров пространственных частот объекта и его изображения. Данный метод в значительной степени повысил точность передачи цвета. Было выявлено, что наиболее точно передаются цвета, «степень белости» которых близка к нулю, и, наоборот, менее точно, тех у которых данная

величина близка к единице. Еще одним результатом данной работы является внедрение в модель аппарата, который позволяет производить анализ фазовой составляющей комплексного поля объектной волны. Как результат, было установлено, что в ходе работы разработанной модели сохраняется исходная фаза, что согласуется с теорией. Анализ полученных фазовых карт для тестовой выборки продемонстрировал, что фаза является одномодовой с максимумом в области околонулевых значений.

Выводы. В результате работы была разработана компьютерная модель, которая позволяет производить синтез цифровых голограмм Френеля, в широком спектральном диапазоне видимого света, и восстановление из них комплексного поля объектной волны. Также данная модель позволяет производить анализ амплитудного и фазового распределения восстановленного объектного поля.

Список использованных источников:

1. **Javidi, B.** Roadmap on digital holography [Invited] / B. Javidi, A. Carnicer, A. Anand, et.al // Optical Express. – 2021. – v. 29. – No 22/25. – P. 35078-35118.
2. **Волынский, М.А.** Формирование и анализ изображений в оптической когерентной томографии и цифровой голографии: учебно-методическое пособие / М.А. Волынский, И.П. Гуров, Н.Б. Маргарянц: Санкт-Петербург – ИТМО (университет), 2019. – 54 с.
3. **Гендин, В.Г.** Формирование и анализ параметров когерентных световых полей методами цифровой голографии для бесконтактного контроля объектов : диссертация канд. техн. наук /В.Г. Гендин : СПб НИУ ИТМО. – Санкт-Петербург, 2013. – 113 с.
4. **Locatelli, M.** Mid Infrared digital holography and Terahertz imaging / M. Locatelli : University of Florence. – Florence , 2015. – 113p
5. **Гендин, В.Г.** Цифровая голографическая микроскопия: современные методы регистрации голограмм объектов / В.Г. Гендин, И.П. Гуров // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2012. – Т. 79. – №3. – С. 19–27.
6. База данных TAMPERE17 noise-free image database [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://webpages.tuni.fi/imaging/tampere17/>