

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Шойдина Сергея Александровича  
«Голографические методы преобразования оптической информации в задачах удалённого  
воспроизведения динамических объёмных изображений»  
по специальности 1.3.6. Оптика  
на соискание ученой степени доктора физико-математических наук

**Целью** работы Шойдина С. А. является исследование структуры голографических дифракционных решёток и методы их преобразований для сжатия голографической информации при её передаче по стандартным радиоканалам для решения задач голографического телевидения и 3D дополненной реальности.

**Актуальность** поставленной темы подтверждается большим интересом исследователей к передаче динамической объёмной информации в различных задачах, например в задачах дистанционной хирургии или в задачах космической стыковки аппаратов и др. Это определяется глубоким противоречием между очень большой информационной ёмкостью голограмм, содержащих движущиеся 3D изображения живых объектов, как, например, человека и сравнительно малой пропускной способностью традиционных радиоканалов. Глубоко погружаясь в поставленную проблему автор исследует не только собственно информационную ёмкость голограмм и причины её избыточности, но, с другой стороны, и основные причины, её ограничивающие, включая три основные не устранимые полностью ограничения – резонанс спекл-поля, алиасинг и формфактор голограмм. Последний представляет особый интерес не только в поставленной автором проблеме, но и в близких областях исследования, как, например, при разработке новых голографических материалов.

**В первой** главе автор, проводя литературный обзор, анализирует основные методы представления голографических сигналов (расчёты информационной ёмкости голографических запоминающих устройств, методы компьютерного представления 3D изображений и существующие подходы к созданию для этого необходимых мониторов.). На основе этого исследования им сформулирован важный критерий, определяющий требования к качественной стороне сжатия голографической информации. Это передача по радиоканалу стандартной ширины полосы частот 3D голографической информации, позволяющая на приёмном конце канала синтезировать полноценные голограммы с телевизионной частотой кадровой развёртки, высоким пространственным разрешением восстановленного этими голограммами 3D изображения и одновременным наличием в каждом кадре вертикального и горизонтального параллакса.

**Во второй** главе соискатель, опираясь на известные проблемы сжатия голографической информации предлагает свой метод её передачи по каналам связи, основанный на передаче двух основных модальностей – текстуры поверхности 3d объекта и его карты высот. Там же автор показывает, что это эквивалентно передаче голографической информации о карте высот передаваемой 3D сцены не в видимом участке электромагнитного спектра, а в радиодиапазоне, а информации о поверхности аналогично телевизионному каналу. Таким образом, автор использует для сжатия голографической информации физические свойства голографического оптического сигнала, что позволяет существенно сжимать его без потерь качества видимого изображения. Точнее, автор показывает, что такой метод сжатия даже лучше известных методов спектрального сжатия и позволяет передавать голографическую информацию по существующим радиоканалам с телевизионной частотой кадровой развёртки так, что каждый кадр на приёмном конце канала связи обладает высоким пространственным



разрешением, не хуже современных стандартов TV высокой чёткости, и одновременно вертикальным и горизонтальным параллаксом.

**В третьей главе** соискатель рассматривает основные причины ограничения достижимой дифракционной эффективности и энтропии голограмм, выделяя одно из них, не замеченное ранее другими исследователями. В своих работах Шойдин С. А. описывает эффект взаимодействия двух нелинейных явлений – нелинейности распределения по полю голограммы локальной экспозиции и нелинейной зависимости локальной дифракционной эффективности от экспозиции, названный им формфактором по аналогии с формфактором в геодезии и атомной физике. Отсутствие любой одной из указанных двух нелинейностей приводит к исчезновению описываемого эффекта, поэтому он оставался столь долго незамеченным. Его ограничивающая роль в задачах хранения и передачи голографической информации должна учитываться не смотря на слабую, логарифмическую зависимость от него передаваемой информации. Характерная для автора глубина проникновения в изучаемую проблему на этот раз позволила найти весьма важное применение эффекта формфактора в измерениях кинетики дифракционной эффективности новых голографических материалов. Предложенный способ измерений не требует дополнительного оборудования, может применяться прямо в процессе записи голограмм и обладает точностью не хуже традиционных интерференционных методов. Можно сказать, что автором совместно с коллегами из Института прикладной физики АН Молдовы предложен новый дифракционный способ измерения фотоотклика голографических материалов, подтвержденный патентом.

**В четвёртой главе** автор доказывает возможность синтеза дифракционной структуры на приёмном конце канала связи из паттерна структурированного света в виде латерально освещающих 3D объект параллельных полос, при дифракции на которой возникает несколько порядков дифракции, один из которых восстанавливает объёмное изображение объекта, аналогичное восстанавливаемому голограммой этого объекта. Численные эксперименты полностью подтверждают открытый соискателем эффект, чья значимость в исследуемой проблеме заключается в существенном упрощении вычислений при синтезе компьютерной голограммы и снижении вычислительной нагрузки при рендеринге голографического видеопотока. Остальные параграфы четвёртой главы посвящены прямым физическим экспериментам по передаче такой голографической информации и синтезу голограмм отдельных кадров по полученной на приёмном конце канала связи информации. Они убедительно доказывают возможность реализации материальных голограмм с необходимыми в решаемой проблеме требованиями. Таким образом, в четвёртой главе диссертации автор доказывает физическую возможность осуществления проектов голографического телевидения с необходимой частотой 3D кадровой развёртки, каждый кадр которой обладает высоким пространственным разрешением, не хуже Full HD, и одновременно вертикальным и горизонтальным параллаксом.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

Достоверность полученных автором теоретических результатов определяется корректно выбранной для поставленной задачи моделью скалярного приближения теории дифракции. Обоснованность научных положений и выводов диссертационной работы подтверждается тем, что для получения результатов и их пояснения эффективно использованы аналитические оценки, имитационное моделирование численными



методами в различных программных продуктах и корректно полученные в прямых физических экспериментальных данные.

К результатам, обладающим научной новизной, следует отнести полученные автором результаты по анализу структуры голограмм и отделению служебной голографической структуры от структуры, несущей полезную информацию. Первая служит для разделения порядков дифракции и похожа по смыслу на несущую пространственную частоту (точнее на набор двумерных, а иногда и трёхмерных пространственных гармоник, чем сильно отличается от известной несущей в радиотехнике), а вторая представляет собой девиацию несущих гармоник и отвечает за восстановление объёмных изображений 3D голографируемого объекта.

Также научной новизной обладают полученные автором результаты по определению основных неустранимых в полной мере физических эффектов, накладывающих ограничение на отношение сигнал/шум в восстановленном голограммами изображениях. Это и резонанс спекл-поля в объёмных голограммах, и неустранимое для объёмных объектов проявление алиасинга, и эффект формфактора, впервые обнаруженный автором как мешающий, ограничивающий дифракционную эффективность и энтропию, но позволивший впоследствии использовать его для измерений кинетики новых голографических материалов.

Научной новизной обладают и все экспериментальные результаты, впервые показавшие путь и возможность эффективного сжатия и передачи с телевизионной частотой кадровой развёртки голографической информации, которая позволяет синтезировать на приёмном конце канала связи голограммы, восстанавливающие 3D изображения с высоким пространственным разрешением и одновременно обладающие как вертикальным, так и горизонтальным параллаксом.

Практическая ценность полученных Шойдиным С. А. результатов заключается в достижении высокой степени сжатия голографической информации на основе проделанного анализа структуры голографических дифракционных решёток, что впервые показало возможность передачи голографического видеопотока по известным радиоканалам, и открывает путь к созданию систем 3D дополненной реальности, не использующих индивидуально носимые специальные очки и приспособления. Предлагаемый соискателем метод передачи голографической информации обладает всеми преимуществами голограмм и, в отличие от стереосистем и проекторов светового поля, обладающих противоречием между аккомодацией и конвергенцией, позволяет максимально точно воспроизводить все виды восприятия человеком объёма: как с помощью механизмов аккомодации и конвергенции, так и с помощью окклюзии, неламбертовского затенения и параллакса движения. Также, практическая ценность полученных соискателем результатов подтверждается двумя патентами по теме диссертации. Первый – на предложенный и детально проработанный автором способ сжатия голографической информации и её передачи по каналу связи и второй – на способ использования обнаруженного автором эффекта формфактора голограмм при измерениях кинетики дифракционной эффективности разрабатываемых новых голографических материалов.

В качестве замечаний к диссертации Шойдина С. А. можно отметить следующее:

1. Автор в своих работах часто использует собственное изображение. Впрочем, это может быть вызвано требованиями этической экспертизы, с подозрением относящейся к наличию авторских прав на используемые изображения.



2. Иногда в тексте работ у Шойдина С. А. понятие «карта глубин голографируемого 3D объекта» заменяется на понятие «карта высот голографируемого 3D объекта», а иногда на просторечие «маска», что может путать читателя.
3. Используя расчёт дифракционного интеграла Кирхгофа, автор часто прибегает к разбиению голографического объекта по слоям, объясняя это тем, что используемое в этой процедуре быстрое преобразование Фурье (БПФ) даёт сбои при переходе фазы через  $2\pi$ . Однако, уже сравнительно давно существуют методы развёртки фазы, которые могут исправить этот недостаток БПФ.

В заключении следует отметить, что не смотря на приведённые выше отдельные замечания, диссертационную работу Шойдина С. А. можно считать завершённым научным исследованием с отчётливо сформулированными результатами и защищаемыми положениями, имеющими научное и практическое значение.

Представленная диссертационная работа Шойдина С. А. «Голографические методы преобразования оптической информации в задачах удалённого воспроизведения динамических объёмных изображений» отвечает критериям, установленным в п.9-14 Положения о порядке присуждения учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, а её автор, Шойдин Сергей Александрович, заслуживает присуждения ему учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.6 Оптика.

Даю согласие на обработку персональных данных

Д.ф.-м.н., профессор кафедры технологии и предпринимательства  
Института математики, физики и информатики Красноярского государственного  
Педагогического университета  
адрес: 600100, Красноярск, ул. Академика Киренского, 67, кв. 106. \_\_\_\_\_,  
Телефон: +7(962)082-47-16,  
E-mail: director.nifti@mail.ru,

Дата 1.06.23

Подпись Кирко Владимира Игоревича удостоверяю

должность

печать



Кирко Владимир Игоревич

И. О. Фамилия

Подпись Кирко В.И. заверяю

Начальник общего отдела Алекс Г.И. Мослякина

КГПУ им. В.П. Астафьева