

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 003.005.02 (24.1.028.01) НА  
БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА АВТОМАТИКИ И ЭЛЕКТРОМЕТРИИ  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО  
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от «30» июня 2023 г. № 8

О присуждении Шойдину Сергею Александровичу, гражданину Российской Федерации, степени доктора физико-математических наук.

**Диссертация** «Голографические методы преобразования оптической информации в задачах удалённого воспроизведения динамических объёмных изображений», представленная на соискание учёной степени доктора физико – математических наук по специальности 1.3.6. «Оптика», принята к защите «29» марта 2023 г., протокол заседания № 5 диссертационным советом Д 003.005.02 (24.1.028.01) на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института автоматки и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук (ИАиЭ СО РАН), 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, д. 1, приказ Минобрнауки России 255/нк от 28 марта 2020 года.

**Соискатель** Шойдин Сергей Александрович 12.01.1952 года рождения.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Исследование влияния аберраций оптической системы на плотность записи информации в голографических запоминающих устройствах» по специальности 01.04.05 «Оптика» в диссертационном совете К.105.01.01 на базе Государственного оптического института имени С. И. Вавилова защитил в 1985 году.

**Работает** доцентом Кафедры фотоники и приборостроения федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий», г. Новосибирск.

**Диссертация** выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный

университет геосистем и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, на Кафедре фотоники и приборостроения.

**Научный консультант** - доктор физико-математических наук, профессор, **Венедиктов Владимир Юрьевич**, профессор кафедры Лазерных измерительных и навигационных систем федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), г. Санкт-Петербург.

**Официальные оппоненты:**

**1. Шандаров Станислав Михайлович,**

доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры электронных приборов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», г. Томск

**2. Канев Федор Юрьевич,**

доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт оптики атмосферы им. В. Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук, г. Томск.

**3. Вениаминов Андрей Викторович,**

доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», г. Санкт-Петербург.

**дали положительные отзывы на диссертацию.**

**Ведущая организация:** Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», г. Томск.

В своём **положительном** отзыве, подписанном:

**Самохваловым Игнатием Викторовичем** - д.ф.-м.н., профессор, профессор Кафедры оптико-электронных систем и дистанционного зондирования федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», лауреат Государственной премии СССР в области науки и техники;

**Калайда Владимиром Тимофеевичем** - д.т.н., профессор,  
профессор Кафедры оптико-электронных систем и дистанционного зондирования  
федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования «Национальный исследовательский Томский  
государственный университет»;

**Горловым Евгением Владимировичем** – к.ф.-м.н.,  
доцент Кафедры оптико-электронных систем и дистанционного зондирования  
федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования «Национальный исследовательский Томский  
государственный университет», лауреат премии Президента РФ в области науки и  
инноваций для молодых ученых за 2018 год,

**и утверждённом**

**Красновой Татьяной Семеновной** - кандидат геолого-минералогических наук,  
профессор, и.о. проректора по научной и инновационной деятельности  
Национального исследовательского Томского государственного университета,  
указала, что:

Научная новизна присутствует в результатах по ограничениям дифракционной  
эффективности и энтропии голограмм неустранимыми физическими эффектами.

Практическая значимость заключается в открывающихся возможностях новых  
подходов в решении задач стыковки подводных и космических аппаратов;  
незаменимым считаем предложенный автором метод передачи гиперспектральной  
3D информации (особенно в опухолевой дистанционной хирургии).

Совокупность результатов и выводов, полученных автором, следует  
квалифицировать как научное достижение в области голографии

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их**  
высокой научной квалификацией и опытом в области изучения физических основ  
волновой оптики, включая голографию и методы преобразования оптической и  
голографической информации, наличием научных публикаций по указанным  
направлениям, а также их профессиональной способностью оценить научную и  
практическую ценность результатов диссертационной работы.

**Соискатель имеет** 131 опубликованную научную статью, 14 патентов и авторских  
свидетельств, 5 учебных изданий. По теме диссертации опубликовано 34 работы,  
из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 27 работ, в том числе 2  
патента. Вклад соискателя в публикации составляет 80% и более. В системе РИНЦ

зарегистрировано 89 публикаций с количеством цитирований 211. Индекс Хирша этих публикаций, согласно РИНЦ, равен 8. Все представленные в диссертации сведения об опубликованных Шойдиным С. А. работах являются достоверными. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации, в которые автор внес основной или наиболее весомый вклад:

**В изданиях, входящих в международные базы цитирования Web of Science**

1. Шойдин С. А. Запись голограмм в динамических безрелаксационных средах / С. А. Шойдин, Е. А. Сандер – Текст: непосредственный // Опт. и спектр. – 1985. – Т. 58. – № 1. – С. 200-202.
2. Сандер Е. А. Экспериментальное наблюдение пространственного резонанса спекл-поля с неоднородностями показателя преломления / Е. А. Сандер, В. В. Шкунов, С. А. Шойдин – Текст: непосредственный // ЖЭТФ. – 1985. – Т. 88. – № 1. – С. 116-119.
3. Шойдин С. А. Парадоксальные изображения и парадоксальные технические решения в голографии на примере гражданских разработок / С. А. Шойдин // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2015. – Т. 58. – № 11-3. – С. 140-144.
4. Шойдин С. А. Требования к лазерному излучению и формфактор голограмм / С. А. Шойдин – Текст: непосредственный // Оптический журнал. – 2016. – Т. 83. – № 5. – С. 65-75.
5. Шойдин С. А. Метод достижения максимальной дифракционной эффективности голограмм на основе оптимизации формфактора / С. А. Шойдин – Текст: непосредственный // Компьютерная оптика. – 2016. – Т. 40. – № 4. – С. 501-507. – <https://doi.org/10.18287/2412-6179-2016-40-4-501-507>.
6. Шойдин С. А. Формфактор голограмм сложных изображений / С. А. Шойдин, А. В. Трифанов – Текст: непосредственный // Компьютерная оптика. – 2018. – Т. 42. – № 3. – С. 362-368. – <https://doi.org/10.18287/2412-6179-2018-42-3-362-368>.
7. Привалов В. Е. Формфактор и временная когерентность излучения / В. Е. Привалов, С. А. Шойдин, А. В. Трифанов // Опт. журнал. – 2018. – Т. 85. – № 9. – С. 25-30. <https://doi.org/10.17586/1023-5086-2018-85-09-25-30>.
8. Шойдин С. А. Влияние нелинейности фотоотклика на дифракционную эффективность голограмм / С. А. Шойдин – Текст: непосредственный // Автометрия. – 2019. – Т. 55. – № 1. – С. 35-39. – <https://doi.org/10.15372/AUT20190105>.
9. Shoydin S. A. Use of spatial symmetries for problems of modeling of image transfer processes / S. A. Shoydin, A. L. Pazoev – Текст: электронный // Proc. SPIE 11208, 25th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. – 2019. – Т. 11208. – С. 74-79. – <https://doi.org/10.1117/12.2539833>.

10. Shoydin S. A. Use of spatial symmetries for problems of modeling of image transfer processes / S. A. Shoydin, A. L. Pazoev – Текст: электронный // Proc. SPIE 11208, 25th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. – 2019. – Т. 11208. – С. 74-79. – <https://doi.org/10.1117/12.2539833>.
11. Шойдин С. А. Пространственный фотоотклик, формфактор и требования к голографическим материалам/ С. А. Шойдин, М. С. Ковалев – Текст: непосредственный // Опт. и спектр. – 2020. – Т. 128. – № 7. – С. 885-896. – <https://doi.org/10.21883/OS.2020.07.49557.108-20>.
12. Шойдин С. А. Синтез голограмм на приёмном конце канала связи с объектом голографирования / С. А. Шойдин – Текст: непосредственный // Компьютерная оптика. – 2020. – Т. 44. – № 4. – С. 547-551. – <https://doi.org/10.18287/2412-6179-CO-694>.
13. Shoydin S. A. Formfactor of a hologram on a chalcogenide glassy semiconductor and azopolymer / S. A. Shoydin, A. Yu. Meshalkin, M. S. Kovalev – Текст: электронный // Optical Materials Express. – 2020. – Т. 10. – № 8. – С. 1819-1825. – <https://doi.org/10.1364/OME.399017>.
14. Шойдин С. А. Способ дистанционного формирования голографической записи / С. А. Шойдин, А. Л. Пазоев – Текст: непосредственный // Автометрия. – 2021. – Т. 57. – № 1. – С. 92-102. – <https://doi.org/10.15372/AUT20210110>.
15. Shoydin S. A. Transmission of 3D Holographic Information via Conventional Communication Channels and the Possibility of Multiplexing in the Implementation of 3D Hyperspectral Images / S. A. Shoydin, A. L. Pazoev – Текст: электронный // Photonics. – 2021. – Т. 8. – № 10. – С. 448-471. – <https://doi.org/10.3390/photonics8100448>.
16. Shoydin S. A. Recording a Hologram Transmitted over a Communication Channel on One Sideband / S. A. Shoydin, S. B. Odinokov, A. L. Pazoev, I. K. Tsyganov, E. A. Drozdova – Текст: электронный // Appl. Sciences. – 2021. – Т. 11. – № 23. – С. 11468. – <https://doi.org/10.3390/app112311468>.
17. Шойдин С. А. Сжатие 3D голографической информации аналогично передаче информации на одной боковой полосе / С. А. Шойдин, А. Л. Пазоев – Текст: непосредственный // Оптический журнал. – 2022. – Т. 89. – № 3. – С. 79-88. – <https://doi.org/10.17586/1023-5086-2022-89-03-79-88>.
18. Шойдин С. А. Синтезированные на приёмном конце канала связи голограммы 3D объекта в технологии Dot Matrix / С. А. Шойдин, А. Л. Пазоев, А. Ф. Смык, А. В. Шурыгин – Текст: непосредственный // Компьютерная оптика. – 2022. – Т. 46. – № 2. – С. 204-213. – <https://doi.org/10.18287/2412-6179-CO-1037>.

### **В изданиях, входящих в международные базы цитирования Scopus**

19. Shoydin S. A. Application of Denisyuk's holograms in advertising / S. A. Shoydin – Текст: электронный // Optical Memory and Neural Networks. – 2013. – Т. 22. – № 4. – С. 272-274. – <https://doi.org/10.3103/S1060992X13040127>.
20. Shoydin S. A. Influence of laser parameters on information capacity of communication channel / S. A. Shoydin – Текст: электронный // Optical Memory and Neural Networks. – 2014. – Т. 23. – № 4. – С. 287-294. – <https://doi.org/10.3103/S1060992X14040122>.
21. Shoydin S. A. Paradoxical images and counterintuitive technical solutions in holography in the context of civil projects / S. A. Shoydin – Текст: электронный // Optical Memory and Neural Networks. – 2016. – Т. 25. – № 3. – С. 180-183. – <https://doi.org/10.3103/S1060992X16030048>.
22. Shoydin S. A. Requirements to lasers and formfactor of holograms / S. A. Shoydin – Текст: электронный // Optical Memory and Neural Networks. – 2016. – Т. 25. – № 2. – С. 95-101. – <https://doi.org/10.3103/S1060992X16020053>.
23. Shoydin S. A. Holographic memory without reference beam / S. A. Shoydin – Текст: электронный // Optical Memory and Neural Networks. – 2016. – Т. 25. – № 4. – С. 262-267. – <https://doi.org/10.3103/S1060992X16040056>.
24. Privalov V. E. Holograms Form Factor and the Recording Laser Radiation Mode Structure / V. E. Privalov, V. G. Shemanin, S. A. Shoydin – Текст: электронный // Optical Memory and Neural Networks. – 2018. – Т. 27. – № 3. – С. 196-202. – <https://doi.org/10.3103/S1060992X18030098>.

### **В изданиях из перечня ВАК РФ**

25. Пазоев А. Л. Передача 3D голографической информации по радиоканалу методом, близким SSB / А. Л. Пазоев, С. А. Шойдин – Текст: непосредственный // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2023. – С. 132–134. – <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2023-23-1-21-27>.

### **Патенты по теме диссертации**

26. Шойдин С. А.; Способ дистанционного формирования голографической записи. Патент RU2707582C1, Россия, МПК G03H 1/00; заявл. 03.07.2018; опубл. 28.11.2019. Бюл. № 34.
27. Шойдин С. А., Мешалкин А. Ю.; Способ экспресс анализа величины динамического диапазона фотоотклика фазового голографического материала. Патент RU2734093C1, Россия, МПК G03H 1/00, G01M 11/00; заявл. 07.04.2020; опубл. 12.10.2020, Бюл. № 29.

### **Акты о практическом применении полученных в диссертации результатов:**

1. Акт о практическом применении полученных результатов диссертационного исследования С. А. Шойдина на тему «Голографические методы преобразования оптической информации в задачах удалённого воспроизведения динамических объёмных изображений» Ministry of Education and Research of Republic of Moldova, Institute of Applied Physics.
2. Акт о практическом применении полученных результатов диссертационного исследования С. А. Шойдина на тему «Голографические методы преобразования оптической информации в задачах удалённого воспроизведения динамических объёмных изображений» Акционерного общества «Новосибирский приборостроительный завод».

### **На диссертацию и автореферат поступили отзывы:**

1. Отзыв на автореферат **Надежды Константиновны Павлычевой** (д.т.н. проф. каф. оптико-электронных систем Казанского национального исследовательского технического университета им. А. Н. Туполева) содержит следующие замечания:
  - ✓ Автор использует слишком много англоязычных терминов. Данное замечание не принципиально и не препятствует общей положительной оценке работы
2. Отзыв на автореферат **Григория Исаевича Грейсуха** (д.т.н., зав. каф. физики и химии Пензенского государственного университета архитектуры и строительства, Почетного работника науки и техники, Заслуженного работника высшей школы РФ, проф.) Замечаний нет.
3. Отзыв на автореферат **Владимира Игоревича Кирко** (д.ф.-м.н., проф. каф. Технологии и предпринимательства Института математики, физики и информатики Красноярского педагогического университета,) содержит следующие замечания:
  - ✓ 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
  - ✓ 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.
  - ✓ 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.

4. Отзыв на автореферат **Михаила Николаевича Скворцова** (д.ф.-м.н., руководителя научно-исследовательской группы лазерной спектроскопии Института лазерной физики СО РАН) содержит следующие замечания:

✓ Замечанием к работе можно высказать слишком большую публикационную активность автора, что могло повлиять на сроки написания представленной Шойдиным С. А. диссертации, а также наличие некоторых несущественных опечаток, впрочем никак не повлиявших на понимание общей структуры работы и основных её положений

5. Отзыв на автореферат **Александра Алексеевича Черемисина** (д.ф.-м.н., профессора, заведующего отделом Физики и Химии высокоэнергетических систем Института химической кинетики и горения им. В. В. Воеводского СО РАН,) содержит следующие замечания:

✓ Бросается в глаза, что автор в своих работах часто использует собственное изображение.

✓ Автор часто использует вместо правильного определения одной из модальностей 3D изображения (карта высот) жаргон «маска». Это не для всех типов изображений выглядит корректно. Например, словосочетание «маска холодильника» звучало бы странно.

6. Отзыв на автореферат **Анатолия Васильевича Лукина** (д.т.н., главного научного сотрудника НПО ГИПО, рук. Направлений дифракционной и асферической оптики) содержит следующие замечания:

✓ В качестве замечания, а вернее - пожелания автору в его дальнейшей работе учитывать рекомендации недавно утвержденного Гост р. 59737-2021. оптика и фотоника. Элементы оптические голограммные синтезированные осевые. Общие технические условия. Введ. 01.03.2022. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 40 с.

7. Отзыв на автореферат **Александра Вячеславовича Сюй** (д.ф.-м.н., доцента, главного научного сотрудника МФТИ (г. Долгопрудный)) содержит следующие замечания:

✓ В качестве замечания по автореферату Шойдина С. А. можно отметить, что он в своих работах часто использует собственное изображение. Впрочем, это может быть вызвано требованиями этической экспертизы.



8. Отзыв на автореферат **Алексея Леонидовича Толстика** (д.ф.-м.н., проф., заведующего кафедрой лазерной физики и спектроскопии Белорусского государственного университета) содержит следующие замечания:
- ✓ В качестве замечаний можно указать на отсутствие в автореферате информации о характеристиках применяемых голографических материалов и использование громоздких, сложносочиненных предложений, затрудняющих чтение излагаемого материала. Замечания, естественно, не снижают значимости полученных результатов
9. Отзыв на автореферат **Евгения Юрьевича Злоказова** (д.ф.-м.н., профессора Отделения лазерных и плазменных технологий офиса образовательных программ НИЯУ МИФИ,) содержит следующие замечания:
- ✓ В качестве замечаний к работе стоит указать ряд небрежностей в представлении иллюстраций. В частности: на Рисунке 4а не отмечены единицы, в которых представлены данные по шкале видности ( $V$ ), имеются расхождения с текстом, где видность представлена долей единицы; для Рисунков 14б и 14г, нигде не разъясняется, какой параметр интерференционных полос передаётся цветом; на Рисунке 14д очень мелкое изображение.
10. Отзыв на автореферат **Виктора Владимировича Криштопа** (д.ф.-м.н., главного научного сотрудника НИИ радиофотоники и оптоэлектроники ПАО «ЛНППК») содержит следующие замечания:
- ✓ В качестве замечания можно отметить следующее: Используя расчёт дифракционного интеграла Кирхгофа, автор борется с эффектом перескока фазы через  $2\pi$  путём значительного сжатия объекта голографирования по глубине, не используя уже существующие методы борьбы с этим эффектом методами развёртки фазы.
11. Отзыв на автореферат **Леонида Леонидовича Кулюка** (д.ф.-м.н., профессора, заведующего лабораторией полупроводниковых соединений ИПФ Молдавского Государственного Университета) не содержит замечания:
12. Отзыв **Юрия Николаевича Захарова** (к.ф.-м.н., научного сотрудника центра передовых методов биомедицинского имиджинга и фотоники Гарвардского Университета (Бостон, США)) содержит следующие замечания:
- ✓ В качестве замечаний можно отметить следующее: Введенный автором термин “формфактор” (в его понимании) несколько затрудняет восприятие, т.к. известно, как минимум, 2 других значения этого слова. Несколько устарели критерии высшего качества изображения и стандартов передачи информации (Fool HD, 5G, etc.). Также, на мой взгляд, автор слишком мало места уделяет возможным путям

применения полученных результатов в том числе, в медицинских применениях. Так, дистанционные методы хирургии давно ждут подобных, предложенным автором, технических решений. Особенно актуален факт, отмеченный во второй главе диссертации, где показано, что предложенный автором метод передачи голографической 3D информации в виде основных модальностей 3D изображения, может использоваться не только в видимом спектре, но и в ИК, что может помочь прямо видеть 3D конфигурацию области воспалений. Впрочем, это может являться новой, самостоятельной областью исследования, базирующейся на результатах работы С.А. Шойдина.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

Впервые **предложен, обоснован и реализован** метод сжатия голографической видеоинформации, основанный на устранении несущих пространственных частот голографических видеок кадров путём передачи двух 2D модальностей 3D изображения (текстура+карта высот), что эквивалентно передаче голограммы карты высот в радиодиапазоне, а текстуры в TV стандарте высокого разрешения с последующим синтезом компьютерной голограммы видимого диапазона на приёмном конце канала связи.

Впервые **предложен, обоснован и реализован** метод сжатия голографической видеоинформации путём формирования дифракционной структуры восстановления 3D изображение объекта на основе латеральной проекции паттерна структурированного света.

Предложенные, обоснованные и реализованные методы сжатия голографической видеоинформации позволяют сравнительно просто комплексировать любые 3D изображения электромагнитного спектра, включая ИК, УФ и радиодиапазон, а также изображения, сформированные частично электромагнитным излучением (текстура) и частично (карта высот) ультразвуковым.

Предложенные, обоснованные и реализованные методы сжатия голографической видеоинформации позволяют передавать 3D голографическую видеоинформацию по существующим радиоканалам.

**Доказано**, что предложенные методы передачи голографической информации позволяют восстанавливать 3D изображение с более высоким пространственным разрешением, чем при спектральной селекции минус первого порядка дифракции.

**Показано**, что дифракционные структуры, сформированные с помощью латеральной проекции структурированного света из параллельных полос, при

дифракции на них опорного пучка, согласованного по условиям Брэгга, позволяют получать восстановленные 3D изображения на разных длинах волн при медианном увеличении частоты этих полос, что существенно уменьшает требования к рендерингу голографического видеоряда в задачах голографического TV и 3D дополненной реальности. Причём восстановленные таким образом 3D изображения тоже обладают одновременно и вертикальным, и горизонтальным непрерывным параллаксом,

**Введено** новое понятие – эффект формфактора голограмм, объясняющее причины недостижимости дифракционной эффективности, предсказанной в модели Когельника, что вызвано взаимодействием двух нелинейных характеристик – неравномерности экспозиции по полю голограммы и нелинейной зависимости дифракционной эффективности от экспозиции.

**Показано**, что этот эффект является имманентным для голограмм как с дифракцией Брэгга, так и Рамана-Ната. Он проявляется как при записи голограмм гауссовыми пучками, так и пучками спекл-полей и другими сложными изображениями, в т. ч. при записи изобразительных голограмм, что указывает на его фундаментальную природу, позволившую использовать эффект формфактора при измерении кинетики фотоотклика новых голографических материалов.

**Показано**, что эффект неправильной дискретизации аналогового сигнала (алиасинг) имманентно присущ компьютерным голограммам при записи 3D объектов и может быть уменьшен при использовании бителецентрической телескопической системы на этапе восстановления изображения.

**Впервые** по существующему радиоканалу осуществлена передача голографической 3D информации с TV частотой кадровой развёртки, и произведён синтез видеоряда из компьютерных голограмм, восстанавливающих объёмное видеоизображение из 291 кадра с разрешением 2000x2000 пикселей, где каждый кадр обладает непрерывным горизонтальным и вертикальным параллаксом.

**Впервые** произведена запись аналоговых материальных голограмм на основе синтезированных на приёмном конце канала связи компьютерных голограмм, восстанавливающих 3D изображения высокого пространственного разрешения с непрерывным горизонтальным и вертикальным параллаксом.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:** в результате анализа физической структуры голограмм выделены две группы гармоник, одна из которых играет служебную роль разделения порядков дифракции, другая содержит информацию о голографируемой 3D сцене. Этот подход **позволил преодолеть**

**противоречие** между большой информационной ёмкостью голограмм и ограниченностью доступного радиодиапазона.

Развитые в работе методы преобразования оптической голографической информации позволяют без ущерба для качества восстановленного на приёмном конце канала связи голографического изображения в сжатом виде передавать всю необходимую информацию для синтеза **голографического видеоряда высокого пространственного разрешения** на уровне современных стандартов телевидения высокой чёткости (Full HD, 4K) с TV частотой кадровой развёртки, что является существенным вкладом в представление о путях преобразования 3D оптической информации в задачах удалённого воспроизведения динамических объёмных изображений.

Показано, что **передача голографической информации** в виде двух основных модальностей 3D изображения позволяет синтезировать компьютерные голограммы **с более высоким разрешением** восстановленного изображения, **чем при передаче спектральной селекцией** минус первого порядка дифракции, что **удобно при комплексировании** 3D гиперспектральных изображений электромагнитного спектра излучения, включая ИК, УФ и радиодиапазон, а также органично позволяет объединять акустические и видео изображения.

**Обнаружено**, что дифракционная структура, полученная с помощью латерального освещения голографируемого объекта структурированным светом при освещении её опорным пучком, согласованным с ней по условиям Брэгга, восстанавливает объёмное изображение объекта, **упрощая синтез** компьютерных голограмм.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики** подтверждается тем, что:

- предложенный метод сжатия и передачи голографической 3D информации закреплён патентом «Способ дистанционного формирования голографической записи» (RU2707582C1) и принят для внедрения на АО НПЗ им. Ленина г. Новосибирск.
- полученные результаты, объясняющие эффект формфактора, закреплены патентом «Способ экспресс анализа величины динамического диапазона фотоотклика фазового голографического материала» (RU2734093C1)..
- переданные по радиоканалу и восстановленные предложенными методами 3D голографические изображения обладают вертикальным и горизонтальным непрерывным параллаксом, что является значимым не только при решении задач создания голографического ТВ и 3D дополненной реальности, но и при решении

актуальных задач дистанционной хирургии, задач сближения и стыковки дистанционно управляемых объектов с неуправляемыми в разных условиях (под водой, в космосе, в агрессивных средах).

#### **Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

Полученные в диссертации результаты не противоречат известным научным положениям, согласуются между собой и внутренне непротиворечивы. Они обладают ясной физической трактовкой и подтверждены достаточным количеством численных и физических экспериментов, результаты которых опубликованы. Полноту и достоверность результатов изучения научной проблемы обеспечили верно выбранная методология и корректно применяемые методы исследования.

**Теория и численные методы** построены на скалярной теории дифракции и применении модели преобразования Френеля на основе двумерного быстрого преобразования Фурье.

**Установлена** достоверность численных расчетов, подтверждаемая многочисленными сравнениями восстановленных 3D изображений на приёмном конце канала связи предлагаемым соискателем методом как с исходным изображением, так и с изображением, полученным классическими методами. Достоверность численных расчетов также подтверждается характеристиками записанных классических аналоговых голограмм по рассчитанным компьютерным голограммам. Предложенные автором диссертации решения убедительно аргументированы и позволяют преодолеть, как ранее считалось, неустранимые противоречия.

#### **Соответствие специальности**

Диссертационная работа соответствует специальности 1.3.6 «Оптика», так как область исследования диссертации относится к исследованию физических свойств процессов интерференции и дифракции с использованием структурированного света для формирования и обработки оптических голографических изображений с целью разработки новых принципов построения оптических систем и инструментов.

#### **Личный вклад соискателя состоит в**

-определяющей роли при постановке задач исследования, выборе направлений и принципов исследований. Идеи, методика, постановка и проведение работ по синтезу компьютерных голограмм осуществлялась под руководством соискателя.  
-в обработке и интерпретации экспериментальных данных, подготовке основных публикаций по выполненной работе.

**В ходе защиты диссертации было высказано пожелание на основе диссертации написать монографию.**

На заседании 30 июня 2023 года диссертационный совет принял решение: за новые научно обоснованные голографические методы обработки и преобразования оптической голографической информации в задачах удалённого воспроизведения динамических объёмных изображений и на основании решения автором ряда актуальных научных проблем, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, присвоить **Шойдину Сергею Александровичу** учёную степень доктора физико-математических наук по специальности 1.3.6 . «Оптика».

При проведении электронного тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человек, из них 7 докторов наук по специальности 1.3.6 «Оптика», участвовавших в заседании (очно 16 , дистанционно 6 ), из 30 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 22 , против 0 .

Председатель диссертационного совета

академик РАН



Шалагин Анатолий Михайлович

Ученый секретарь диссертационного совета

д. ф.-м. н.

Ильичев Леонид Вениаминович

« 3 » июля 2023 г.