



**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА**

**Заключение диссертационного совета МГУ.013.6
по диссертации на соискание учёной степени доктора наук**

Решение диссертационного совета от 17 октября 2024 года № 14

О присуждении Гончарскому Антону Александровичу, гражданину Российской Федерации, 1975 года рождения, учёной степени доктора физико-математических наук. Диссертация «Разработка методов синтеза нанооптических элементов для формирования 2D и 3D изображений» по специальностям 1.3.6. «Оптика» и 1.2.2. «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» принята к защите 20 июня 2024 года, протокол № 7, диссертационным советом МГУ.013.6. В состав диссертационного совета на одно заседание в качестве дополнительных членов диссертационного совета введены 6 докторов наук, экспертов по второй научной специальности 1.2.2. «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»:

- д.ф.-м.н., проф. Бакушинский Анатолий Борисович (ФИЦ ИУ РАН – ИСА РАН);
- д.ф.-м.н., доц. Голубцов Пётр Викторович (МГУ);
- д.ф.-м.н., доц. Корпусов Максим Олегович (МГУ);
- д.ф.-м.н., проф. Леонов Александр Сергеевич (МИФИ);
- д.ф.-м.н. Плохотников Константин Эдуардович (МГУ);
- д.ф.-м.н., проф. Попов Виктор Юрьевич (МГУ).

Соискатель Гончарский Антон Александрович в 1997 году окончил физический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по специальности «Математическая физика». В 2000 году окончил очную аспирантуру физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. Диссертацию на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук на тему «Прямые и обратные задачи в компьютерном синтезе голограмм» по специальности 01.01.03 — «Математическая физика» защитил 21 февраля 2002 года на заседании диссертационного совета К 501.001.17 при Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова. С 2000 года соискатель работает в Научно-исследовательском вычислительном центре Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (НИВЦ МГУ), в настоящее время занимает должность старшего научного сотрудника лаборатории разработки систем автоматизации обработки изображений.

Диссертация выполнена в лаборатории разработки систем автоматизации обработки изображений Научно-исследовательского вычислительного центра Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (НИВЦ МГУ).

Официальные оппоненты:

Короленко Павел Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры оптики, спектроскопии и физики наносистем физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова,

Петров Николай Иванович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник отдела твердотельных лазеров и акустооптики Научно-технологического центра уникального приборостроения Российской академии наук» (НТИЦ УП РАН),

Шишленин Максим Александрович, доктор физико-математических наук, профессор РАН, заместитель директора по науке Института математики имени С.Л. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИМ СО РАН), —
дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 32 опубликованные работы, все по теме диссертации, из них 17 научных публикаций в рецензируемых научных изданиях, удовлетворяющих Положению о присуждении учёных степеней в МГУ имени М.В. Ломоносова и рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальностям 1.3.6. «Оптика» и «1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», и 9 патентов на изобретения. Все представленные в работе результаты получены автором лично или при его определяющем участии:

*Публикации в рецензируемых научных журналах, удовлетворяющих
Положению о присуждении учёных степеней в МГУ имени М.В. Ломоносова:*

1. **Гончарский А.А.**, Нестеров А.В., Низьев В.Г., Новикова Л.В., Якунин В.П. *Оптические элементы лазерного резонатора для генерации луча с осесимметричной поляризацией* // Оптика и спектроскопия, 2000, Т. 89, № 1, С. 146–149. **IF = 0,904 (РИНЦ)**. Общий объём статьи = 0,8 п.л.; личный вклад = 0,4 п.л.
2. **Гончарский А.А.**, Туницкий Д.В. *Об обратной задаче синтеза оптических элементов для лазерного излучения* // Вычислительные методы и программирование, 2006, Т. 7, № 1, С. 138–162. **IF = 0,516 (РИНЦ)**. Общий объём статьи = 1,8 п.л.; личный вклад = 1,0 п.л.
3. **Гончарский А.А.** *Об одной задаче синтеза нанооптических элементов* // Вычислительные методы и программирование, 2008, Т. 9, № 4, С. 405–408. **IF = 0,516 (РИНЦ)**. Общий объём статьи = 0,5 п.л.
4. **Гончарский А.А.** *О некоторых задачах синтеза плоской дифракционной оптики в оптическом диапазоне длин волн* // Вычислительные методы и программирование, 2009, Т. 10, № 3, С. 286–289. **IF = 0,516 (РИНЦ)**. Общий объём статьи = 0,5 п.л.
5. **Гончарский А.А.**, Дурлевич С.Р. *Нанооптические элементы для формирования 2D-изображений* // Вычислительные методы и программирование, 2010, Т. 11, № 3, С. 246–249. **IF = 0,516 (РИНЦ)**. Общий объём статьи = 0,5 п.л.; личный вклад = 0,3 п.л.
6. **Гончарский А.А.**, Дурлевич С.Р. *Об одной задаче синтеза нанооптических элементов для формирования динамических изображений* // Вычислительные методы и программирование, 2013, Т. 14, № 3, С. 343–347. **IF = 0,516 (РИНЦ)**. Общий объём статьи = 0,5 п.л.; личный вклад = 0,3 п.л.
7. **Гончарский А.А.**, Дурлевич С.Р. *Об одной задаче синтеза нанооптических защитных элементов* // Вычислительные методы и программирование, 2015, Т. 16, № 2, С. 290–297. **IF = 0,516 (РИНЦ)**. Общий объём статьи = 0,6 п.л.; личный вклад = 0,4 п.л.
8. Goncharsky A.V., **Goncharsky A.A.**, Durlevich S.R. *Diffraction optical element with asymmetric microrelief for creating visual security features* // Optics Express, 2015, Vol. 23, No. 22, P. 29184–29192. **JIF = 3,561 (WoS)**. Общий объём статьи = 0,6 п.л.; личный вклад = 0,4 п.л.
9. **Гончарский А.А.**, Серёжников С.Ю. *Об одной задаче синтеза бинарных нанооптических элементов* // Вычислительные методы и программирование, 2016, Т. 17, № 4, С. 415–424. **IF = 0,516 (РИНЦ)**. Общий объём статьи = 0,8 п.л.; личный вклад = 0,5 п.л.
10. Goncharsky A.V., **Goncharsky A.A.**, Durlevich S.R. *Diffraction optical element for creating visual 3D images* // Optics Express, 2016, Vol. 24, No. 9, P. 9140–9148. **JIF = 3,561 (WoS)**. Общий объём статьи = 0,6 п.л.; личный вклад = 0,4 п.л.
11. Goncharsky A.V., **Goncharsky A.A.**, Durlevich S.R. *High-resolution full-parallax computer-generated holographic stereogram created by e-beam technology* // Optical Engineering,

2017, Vol. 56, No. 6, P. 063105. **JIF = 0,993 (WoS)**. Общий объём статьи = 0,9 п.л.; личный вклад = 0,5 п.л.

12. **Goncharsky A.A., Durlevich S.R.** *Cylindrical computer-generated hologram for displaying 3D images* // Optics Express, 2018, Vol. 26, No. 17, P. 22160–22167. **JIF = 3,561 (WoS)**. Общий объём статьи = 0,5 п.л.; личный вклад = 0,3 п.л.
13. **Goncharsky A.A., Durlevich S.R.** *High-resolution computer-generated hologram for creating 2D images with kinematic effects of motion* // Journal of Optics, 2020, Vol. 22, No. 11, P. 115702. **JIF = 2,516 (WoS)**. Общий объём статьи = 0,5 п.л.; личный вклад = 0,3 п.л.
14. **Гончарский А.А., Дурлевич С.Р.** *Об одной обратной задаче синтеза нанооптических защитных элементов для визуального и автоматизированного контроля* // Вычислительные методы и программирование, 2020, Т. 21, № 1, С. 56–63. **IF = 0,516 (РИНЦ)**. Общий объём статьи = 0,5 п.л.; личный вклад = 0,3 п.л.
15. **Goncharsky A.A., Durlevich S.R.** *DOE for the formation of the effect of switching between two images when an element is turned by 180 degrees* // Scientific reports, 2020, Vol. 10, P. 10606. **JIF = 4,379 (WoS)**. Общий объём статьи = 0,7 п.л.; личный вклад = 0,4 п.л.
16. **Goncharsky A.A., Goncharsky A.V., Melnik D.V., Durlevich S.R.** *Nanooptical elements for visual verification* // Scientific reports, 2021, Vol. 11, P. 2426. **JIF = 4,379 (WoS)**. Общий объём статьи = 0,6 п.л.; личный вклад = 0,4 п.л.
17. **Goncharsky A.V., Goncharsky A.A., Durlevich S.R., Melnik D.V.** *Synthesis of nano-optical elements for zero-order diffraction 3D imaging* // Scientific reports, 2022, Vol. 12, P. 8639. **JIF = 4,379 (WoS)**. Общий объём статьи = 0,7 п.л.; личный вклад = 0,4 п.л.

Патенты на изобретения:

18. **Гончарский А.А., Гончарский А.В., Дурлевич С.Р., Мельник Д.В.** Патент ЕАПО № ЕА017394В1. «Микрооптическая система формирования визуальных изображений».
19. **Goncharsky A.A., Goncharsky A.V., Durlevich S.R.** Patent No. EP2546070B1. “Microoptical system for forming visual images” (European Patent Organization).
20. **Гончарский А.А., Гончарский А.В., Дурлевич С.Р.** Патент ЕАПО № ЕА018197В1. «Микрооптическая система формирования динамических визуальных изображений».
21. **Гончарский А.А., Гончарский А.В., Дурлевич С.Р., Мельник Д.В.** Патент ЕАПО № ЕА031691В1. «Микрооптическая система для формирования изображений с кинематическими эффектами движения».
22. **Goncharsky A.V., Goncharsky A.A., Durlevich S.R., Melnik D.V.** Patent No. EP3466712B1. “Micro-optic system for forming visual images with kinematic effects of movement” (European Patent Organization).
23. **Гончарский А.А., Гончарский А.В., Дурлевич С.Р., Сережников С.Ю.** Патент ЕАПО № ЕА031709В1. «Микрооптическая система для формирования 2D изображений с кинематическими эффектами движения».
24. **Гончарский А.А., Гончарский А.В., Чернышев А.В.** Патент ЕАПО № ЕА018419В1. «Способ защиты и идентификации оптических защитных меток (варианты) и устройство для его осуществления».
25. **Гончарский А.А., Гончарский А.В., Дурлевич С.Р., Мельник Д.В.** Патент ЕАПО № ЕА030058В1. «Микрооптическая система формирования визуальных изображений с кинематическими эффектами движения».
26. **Гончарский А.А., Гончарский А.В., Дурлевич С.Р., Мельник Д.В.** Патент ЕАПО № ЕА036455В1. «Способ синтеза плоских дифракционных оптических элементов для формирования визуальных 3D-изображений в нулевом порядке дифракции».

На автореферат диссертации поступило 3 отзыва, все положительные.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что они являются специали-

стами в области оптики и численных методов решения обратных задач, имеют публикации по тематике диссертации. Указанные оппоненты не имеют совместных проектов и публикаций с соискателем.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований продемонстрирована возможность как эффективного численного расчета фазовых функций оптических элементов, так и реального синтеза нанооптических элементов для формирования различных 2D и 3D изображений; для формирования микрорельефа оптических элементов используется электронно-лучевая литография с точностью 10 нанометров по глубине микрорельефа. Благодаря высокой наукоемкости такие оптические элементы могут найти применение в области защиты от подделок. Все результаты диссертации подтверждены экспериментально. Кроме того, в диссертационной работе разработаны приборы автоматизированного контроля подлинности нанооптических элементов. Проведенные исследования вносят существенный вклад в развитие оптики и численных методов решения обратных задач синтеза плоских оптических элементов.

Результаты диссертации могут быть использованы в МГУ имени М.В. Ломоносова и других высших учебных заведениях в основных образовательных программах при создании новых и обновлении имеющихся материалов учебных курсов, а также в научно-исследовательских институтах для ознакомления с результатами и методами исследований по соответствующей тематике.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Разработаны эффективные методы расчета фазовых функций бинарных нанооптических элементов на основе киноформов для формирования 2D изображений с кинетическими эффектами движения при наклонах оптического элемента. Разработаны методы синтеза бинарных нанооптических элементов на основе внеосевых линз Френеля с параболическими и седлообразными фазовыми функциями. Для синтеза таких элементов оптимальным является использование пересекающихся линз Френеля при их пересечении на половину диаметра. Оптимальный размер линз Френеля лежит в пределах 0.5 - 2.0 мм, размер минимальной зоны линз Френеля составляет 1 микрон.

2. Разработаны методы расчета и синтеза нанооптических элементов, формирующих эффект смены 2D изображений при повороте элемента на 180 градусов. Для формирования таких элементов необходимо использовать многоградиционный микрорельеф с точностью формирования 10 нанометров по глубине.

3. Разработаны методы синтеза многоградиционных нанооптических элементов для формирования 2D изображений с полным параллаксом. В основе метода лежит представление фазовой функции оптического элемента как суммы киноформа, формирующего изображение символа, и гладкой поверхности второго порядка, определяющей характер движения символов при наклоне оптического элемента.

4. Разработаны методы синтеза многоградиционных нанооптических элементов, формирующих кинетические эффекты движения по одной из координат. Для формирования микрорельефа нанооптического элемента используются фрагменты многоградиционных линз Френеля и дифракционных решеток. С помощью математического моделирования определены оптимальные параметры структуры нанооптического элемента. Оптимальный размер линз Френеля лежит в пределах 50-100 микрон. Периоды дифракционных решеток не превышают 0.7 микрон.

5. Разработаны методы расчета фазовых функций бинарных нанооптических элементов для формирования 3D изображений с полным параллаксом в первом порядке дифракции. Трехмерное изображение наблюдается при освещении источником белого света в

широком диапазоне углов наклона оптического элемента (± 15 градусов по вертикали и горизонтали).

6. Разработаны методы синтеза нанооптических элементов для формирования эффекта смены двух 3D изображений. Для пространственного разделения двух 3D изображений используются многоградиационные структуры с точностью формирования 10 нанометров по глубине.

7. Разработаны методы синтеза нанооптических элементов для формирования 3D изображений на неплоской поверхности. Эффективность метода продемонстрирована на примере расчета фазовой функции и синтеза нанооптического элемента на цилиндрической поверхности, формирующего 3D изображение с полным обзором на 360 градусов.

8. Разработаны методы расчета и синтеза многоградиационных нанооптических элементов для формирования 3D изображений с полным параллаксом в нулевом порядке дифракции. 3D изображение наблюдается в диапазоне ± 25 градусов в окрестности нулевого порядка дифракции, при этом сформированное 3D изображение сохраняется при повороте оптического элемента в диапазоне углов поворота от 0 до 360 градусов.

9. Разработаны методы формирования микрорельефа нанооптических защитных элементов для формирования 2D и 3D изображений с использованием электронно-лучевой литографии с глубиной микрорельефа до 300 нанометров и с точностью формирования микрорельефа 10 нанометров по глубине.

10. Разработаны и изготовлены многоградиационные нанооптические элементы для автоматизированного контроля. Сформулирован инвариантный относительно сдвига и поворота признак для автоматизированной верификации подлинности.

11. Разработаны и изготовлены портативные приборы автоматизированного контроля подлинности нанооптических защитных элементов с использованием когерентного излучения с длиной волны 650 нанометров. Регистрация изображений осуществляется кольцевыми детекторами. Процедура верификации подлинности защитного элемента осуществляется микропроцессором с помощью разработанного алгоритма распознавания менее чем за 10 миллисекунд. Вес портативного прибора — 80 граммов.

На заседании 17 октября 2024 года диссертационный совет принял решение присудить Гончарскому Антону Александровичу учёную степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **20** человек, из них **7** докторов наук по специальности 1.3.6. «Оптика» и **5** докторов наук по специальности 1.2.2. «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из **28** человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» — **19**, «против» — **1**, недействительных бюллетеней — **нет**.

Председатель
диссертационного совета МГУ.013.6
доктор физико-математических наук,
профессор

Салецкий Александр Михайлович

Учёный секретарь
диссертационного совета МГУ.013.6
доктор физико-математических наук,
доцент

Косарева Ольга Григорьевна

Дата оформления заключения: 17 октября 2024 года.