

Искажения неосевых голографических линзовых элементов в схемах дисплеев дополненной реальности

Н. А. Путилин¹, С. С. Копенкин^{2,3}, С. Е. Дубынин^{2,4}, А. Н. Путилин², Ю. П. Бородин^{2,3}

¹ Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), Москва, Россия

² Физический институт имени П. Н. Лебедева РАН, Москва, Россия

³ МИРЭА - Российский технологический университет, Москва, Россия

⁴ ООО «Исследовательский центр Самсунг», Москва, Россия

При разработке дисплеев дополненной и смешанной реальности голографические устройства совмещения световых потоков линзового типа являются наиболее эффективными, однако искажения таких элементов становятся очень значительными при расширении апертуры и/или выходного зрачка. Доклад посвящен анализу трудноустраняемых искажений широкоапертурных внеосевых голографических линз, возникающих на границах раздела оптических сред при записи голограмм. Приведены результаты компьютерного моделирования и экспериментальной записи голографических линзовых бим-комбайнеров.

Ключевые слова: Голографические оптические элементы, Голографические искажения, Дисплеи дополненной реальности.

Цитирование: Путилин, Н. А. Искажения неосевых голографических линзовых элементов в схемах дисплеев дополненной реальности / Н. А. Путилин, С. С. Копенкин, С. Е. Дубынин, А. Н. Путилин, Ю. П. Бородин // HOLOEXPO 2022: XIX Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — Барнаул: ИП Колмогоров И. А., 2022. — С. 177–180.

Введение

Одной из быстроразвивающихся областей лазерной оптики и голографии, в последнее время, стали системы дополненной и смешанной реальности [1,2]. А поскольку одним из ключевых элементов таких систем являются оптические элементы совмещения реального и виртуального изображения — бим-комбайнеры (beam combiners, BC) то, интенсифицировались и исследования в области голографических оптических элементов, традиционно использовавшимся для построения такого типа устройств.

Искажения волновых фронтов при записи неосевых голографических линз

Традиционно в голографии изучались те случаи искажения волновых фронтов, которые возникают при изменении параметров восстанавливающей волны из состояния наилучшего восстановления, отталкиваясь от параметров записываемых пучков. Этому методу прибегают всегда, когда необходимо изучить голографические aberrации [3,4].

Иногда параметры воспроизводящей голограмму волны очень сильно отличаются от записывающих волн и в таком случае искажения восстановленных волновых фронтов очень значительны, именно такие режимы работы голографических бим-комбайнеров характерны

для работы широкоапертурных отражательных голографических дисплеев дополненной реальности [5].

Рассмотрим некоторые искажения такого типа голограмм, возникающие в любой схеме записи голограмм и которые ранее редко учитывались, а именно искажения волновых фронтов, возникающие на границе раздела сред. На рис. 1 показаны результаты моделирования волновых фронтов, доходящие до регистрирующей среды при записи широкоапертурных голографических линз, в данном случае считаем регистрирующую среду тонкой и брегговские эффекты не рассматриваем. Средний угол опорной волны 60° , фокусировка в воздухе 50 мм, от плоскости регистрирующей среды.

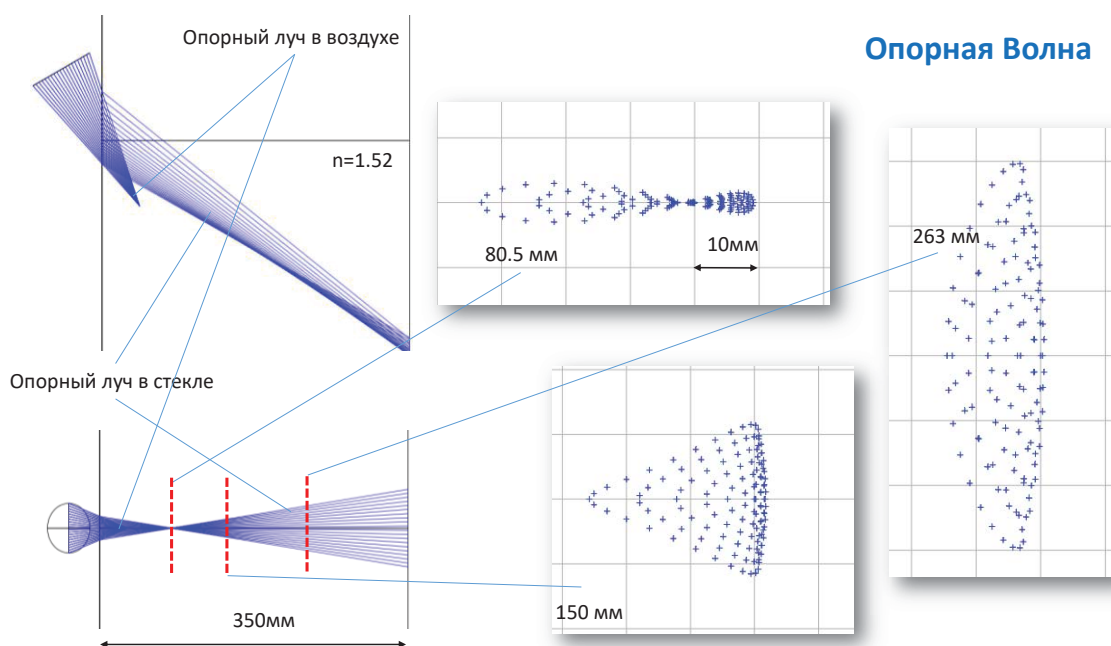


Рис.1. Моделирование перехода опорной волны через границу раздела сред

Характерно, что при таких углах падения света на границы подложки и покровного защитного слоя со стороны воздуха возникают значительные искажения и волны, регистрируемые на голограмме, фиксируют эти искажения. Опорная волна приобретает искажения при прохождении света через покровный слой (порядка 50 мкм из лавсана или поликарбоната), а предметный луч – рис.2 (угловой апертурой более 60° сильно искажается на границе подложки, на которую нанесена регистрирующая среда.

Предметная волна

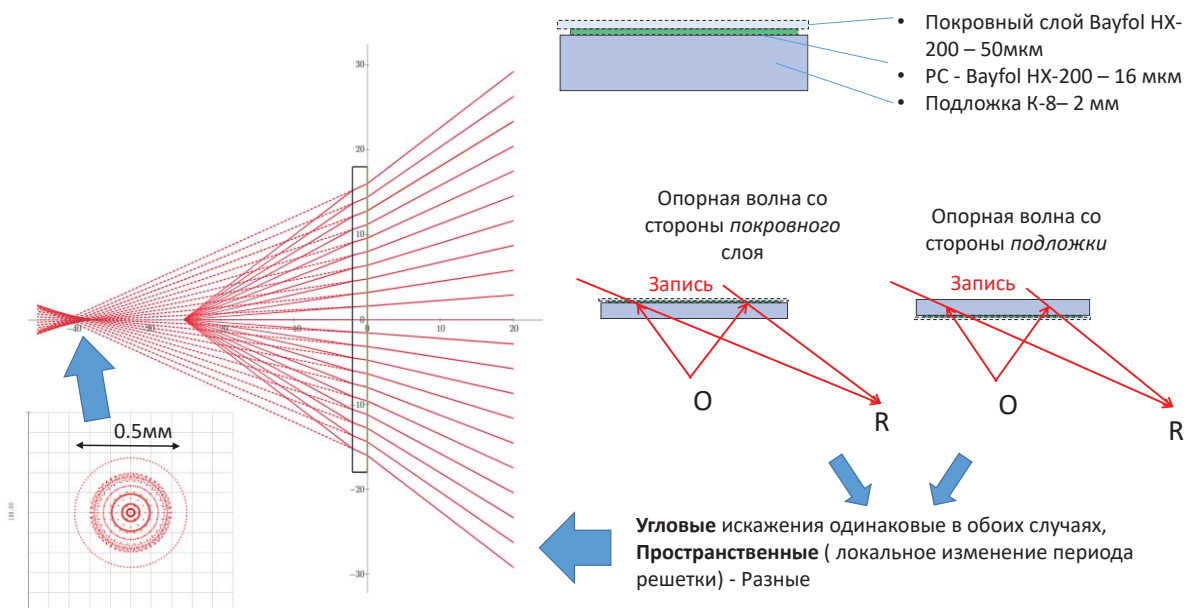


Рис.2. Моделирование перехода предметной волны через границу раздела сред

Особенно это заметно на сходящемся опорном пучке, поскольку при воспроизведении комплексно-сопряженным опорным пучком искажения пучков не компенсируются при обратном распространении света через границу подложки, а приобретают дополнительные искажения. Экспериментальная запись таких голограмм на регистрирующей среде Bayfol HX-200 подтвердила адекватность компьютерной модели. Исследовались схемы восстановления голограмм, как волнами максимально подобными волнам записи (фокусировка точка в точку), так и волнами, соответствующими восстановлению виртуального изображения (точка в бесконечность). Записанные голограммы имели эквивалентное фокусное расстояние для формирования виртуального изображения порядка 12.5 мм, угловая апертура голограмм достигала 100° , а линейная апертура до 50 x 40 мм. Если не применять дополнительных средств слежения за зрителем и предискажения волновых фронтов, то искажения голографических линз ограничивали зрачок оптической системы такого виртуального дисплея до 2.5 мм.

Заключение

Приведен анализ искажений широкоапертурных голографических линз для дисплеев дополненной реальности, связанных с особенностями схем записи и рефракцией в слоях регистрирующих сред. Показаны возможные пути минимизации части искажений и схемы компенсации искажений путем предискажений записывающих пучков.

Список источников

- [1] Kress B. C. Optical architectures for augmented-, virtual-, and mixed-reality headsets. – Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, 2020.
- [2] Сакмаки О., Ролланд J. Head-worn displays: a review // Journal of display technology. – 2006. – Т. 2. – №. 3. – С. 199-216.

- [3] Юу Ф. Т. С. Введение в теорию дифракции, обработку информации и голографию // М.: Советское радио–1979.–304 с. – 1979.
- [4] Грейсух Г. И. и др. Моделирование и расчёт голограммного комбинера виртуального дисплея // Компьютерная оптика. – 2016. – Т. 40. – №. 2. – С. 188-193.
- [5] Yeom H. J. et al. 3D holographic head mounted display using holographic optical elements with astigmatism aberration compensation // Optics express. – 2015. – Т. 23. – №. 25. – С. 32025-32034.

Distortions of Off-Axis Holographic Lens Elements in Augmented Reality Display Circuits

N. A. Putilin^{1,2}, S. S. Kopenkin^{2,3}, S. E. Dubynin^{2,4}, A. N. Putilin², Y. P. Borodin^{2,3}

¹ Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK), Moscow, Russia

² Lebedev Physical Institute of the RAS, Moscow, Russia

³ MIREA - Russian Technological University, Moscow, Russia

⁴ Samsung R&D Institute Rus (SRR), Moscow, Russia

The lens-type holographic elements application in augmented and mixed reality displays are the most effective, however, the distortion of such an elements becomes very significant when the attempts was made for expanding aperture and/or exit pupil. The report is devoted to the analysis of hard-to-remove distortions of wide-aperture off-axis holographic lenses that occur at the boundaries of optical media during hologram recording. The results of computer simulation and experimental recording of holographic lens beam combiners are presented.

Keywords: Holographic optical elements, Holographic distortions, Augmented reality displays.