

# Применение голографических бим-комбайнеров в различных типах дисплеев дополненной реальности

А. Н. Путилин<sup>1</sup>, А. В. Морозов<sup>1,2</sup>, В. В. Дружин<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Физический институт имени П. Н. Лебедева РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> ООО «Исследовательский центр Самсунг», Москва, Россия

<sup>3</sup> Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, Москва, Россия

Одним из основных элементов дисплеев дополненной реальности (AR) является элемент совмещения световых потоков — бим-комбайнер (BC). Применение голографических оптических элементов для этих целей позволило разработать компактные, планарные схемы AR дисплеев. В докладе описываются несколько типов BC, а именно, изображающие широкоапертурные BC линзового типа, волноводные голографические перископические системы и отражательные осевые голографические зеркала. Рассмотрены их основные характеристики и ограничения применения.

*Ключевые слова:* Голографические оптические элементы, дисплеи дополненной реальности, волноводные голограммы.

*Цитирование:* Путилин, А. Н. Применение голографических бим-комбайнеров в различных типах дисплеев дополненной реальности / А. Н. Путилин, А. В. Морозов, В. В. Дружин // HOLOEXPO 2022: XIX Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — Барнаул: ИП Колмогоров И. А., 2022. — С. 186–189.

## Введение

Оптические элементы совмещения реального и виртуального изображения – бим-комбайнеры (beam combiners, BC) являются определяющим функциональным узлом систем дополненной и смешанной реальности [1]. Голограммы оказываются одним из самых эффективных BC поскольку практически не искажают недифрагировавшие световые пучки и, одновременно, разделяют по углам локально формируемый источник виртуального изображения и реальное окружающее зрителя пространство.

### Виды голографических устройств совмещения световых потоков

Два большие класса голографических BC составляют изображающие (одновременно выполняющие роль последней линзы оптической проекционной системы) и неизображающие устройства совмещения (выполняющие роль параллельного переноса виртуального изображения в область комфортного восприятия зрителя) — рис.1.

Оба эти класс имеют свои преимущества и недостатки, более того, в последнее время все чаще в конкретных условиях преимущества могут меняться с недостатками, например, в схемах с экстремально большим углом обзора, поэтому появились схемы комбинированного использования голографических линзовых и неизображающих волноводных перископов [2,3].

## Голографические элементы совмещения световых потоков (BC - beam combiners) для дисплеев дополненной реальности (AR)

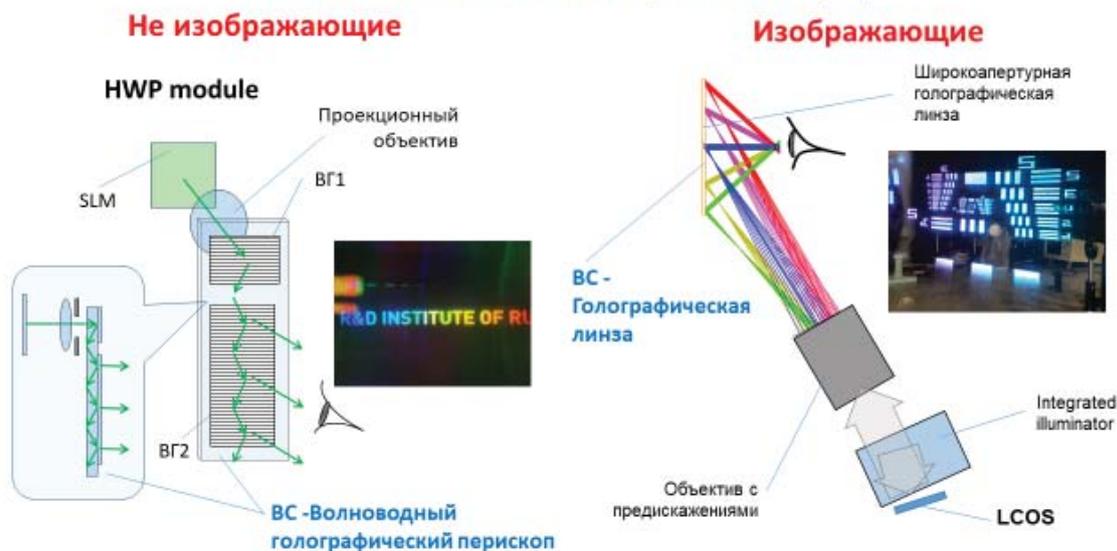


Рис.1. Классы голографических бим-комбайнеров

Рассмотрим основные свойства голографических бим-комбайнеров линзового типа, с точки зрения минимизации габаритов проекционной системы выгодно, когда последний и самый большой изображающий компонент проекционной системы совмещен с бим-комбайнером, обладающим наилучшей прозрачностью и небольшой толщиной. Очевидно, что таким высоким требованиям отвечают лишь голографические линзы. На рис. 1 справа показана схема работы широкоапертурного НМД формирующего виртуальное изображение апертурой более  $60^\circ$  и использующего голографическую линзу с эквивалентным фокусным расстоянием в 12,5 мм и линейными размерами в 50 на 40 мм, схема записи таких линз (точечный расходящийся предметный пучок и наклонный сходящийся опорный). Поскольку схема записи сильно отличается от схемы воспроизведения виртуального изображения, то при воспроизведении наблюдаются очень большие голографические aberrации в изображении. Линза имеет значительный астигматизм, локальные фокусы варьируются от 16 мм до 7 мм, кривизна области формирования вторичного изображения проекционной системы очень велика, поэтому для успешного формирования вторичного действительного изображения перед голографической линзой используется специально спроектированный объектив, формирующий изображение наклоненное к плоскости модулятора на угол до  $60^\circ$  градусов. Голограммы записывались в регистрирующей среде Baufol NX-200, толщиной 16...25 мкм, тремя лазерами (635, 532, 470 нм) одновременно. ДЭ достигала 30%, а брегговский резонанс имел ширину до 7 градусов, что позволяло надеяться на величину зрачка всего НМД дисплея до 3...4 мм. В реальности голографические aberrации были настолько велики, что реальный зрачок не превышал 2,5 мм.

Неизображающие устройства совмещения световых потоков в НМД дисплеях получили широкое распространение именно потому, что они не изменяют кривизну волновых фронтов виртуально изображения, а только мультиплицируя выходной зрачок проектора в несколько раз.



**Рис. 2.** Технологии изготовления голографических бим-комбайнеров

Таким образом, наибольшие нагрузки по формированию качественного виртуального изображения ложатся на традиционную проекционную оптику. Применяются небольшого размера проекторы и волноводные голографические перископы, выходной зрачок проектора (до 10 мм) мультиплицируется в зрачок более 25 на 18 мм, в специализированных HMD для рассматривания виртуального изображения сразу двумя глазами зрачок мог достигать 200 на 15 мм.

Для изготовления голографических бим-комбайнеров используют все возможные варианты записи голограмм — отражательные, пропускающие и осевые, а также регистрирующие среды от брегговских фотополимерных до фоторезистов — рис. 2. Конкретная функциональность дисплея позволяет выбрать необходимую схему записи, общие возможности голографических технологий для построения HMD позволяют уже в настоящее время достичь поля зрения — в  $120^\circ$  и эффективности BC до 50% при RGB формируемом изображении.

### Заключение

Приведен анализ возможных видов голографических устройств совмещения световых потоков, показаны преимущества каждой из схем их формирования и соответствующие недостатки. Показаны возможные пути совмещения технологий для достижения необходимой функциональности дисплеев дополненной реальности.

### Список источников

- [1] Xiong J. et al. Augmented reality and virtual reality displays: emerging technologies and future perspectives // Light: Science & Applications. – 2021. – Т. 10. – №. 1. – С. 1-30.
- [2] Putilin A. N. et al. Device for enlarging exit pupil area and display including the same : заяв. пат. 17090999 США. – 2021.

- [3] Shin B. et al. Eye-box expansion using waveguide and holographic optical element for augmented reality head-mounted display // Optical Architectures for Displays and Sensing in Augmented, Virtual, and Mixed Reality (AR, VR, MR). – SPIE, 2020. – T. 11310. – C. 142–147.

## **Application of holographic beam combiners in various types of augmented reality displays**

*A. N. Putilin<sup>1</sup>, A. V. Morozov<sup>1,2</sup>, V. V. Druzhin<sup>2,3</sup>*

<sup>1</sup> Lebedev Physical Institute of the RAS, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Samsung R&D Institute Rus (SRR), Moscow, Russia

<sup>3</sup> Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

One of the main elements of augmented reality (AR) displays is an element of combining light fluxes — a beam combiner (BC). The use of holographic optical elements for these purposes has made it possible to develop compact, planar AR display circuits. The report describes several types of BCs, namely, wide-aperture lens-type BCs, waveguide holographic periscope systems, and reflective axial holographic mirrors. Their main characteristics and application limitations are considered.

*Keywords:* Holographic optical elements, Augmented reality displays, Waveguide holograms.