

# Осевая голограмма в системах дополненной реальности

А. А. Калинина<sup>1</sup>, А. Н. Путилин<sup>2</sup>, С. С. Копёнкин<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Московский физико-технологический институт «МФТИ», Москва, Россия

<sup>2</sup> Физический институт им. П.Н.Лебедева, РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup> Российский технологический университет МИРЭА, Москва, Россия

Обычно, в системах дополненной реальности используются внеосевые голограммы для переноса изображения, что обеспечивает широкое поле зрения системы, высокую эффективность, а также компактность. Главным недостатком таких систем является небольшой размер выходного зрачка, порядка 1мм, что ограничивает использование подобных систем в реальных устройствах. Для достижения широкого поля зрения и большого выходного зрачка одновременно, предлагается использовать осевую голограмму. В данной работе рассмотрены особенности формирования виртуального изображения в системах дополненной реальности с осевой голограммой, предложена реализация системы в качестве очков дополненной реальности, а также представлены результаты экспериментов. Предложенная система обладает полем зрения более 50° и диаметром выходного зрачка более 10 мм.

*Ключевые слова:* Дополненная реальность, Очки дополненной реальности, Голографические оптические элементы.

*Цитирование:* Калинина, А. А. Осевая голограмма в системах дополненной реальности / А. А. Калинина, А. Н. Путилин, С. С. Копёнкин // HOLOEXPO 2022: XIX Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — Барнаул: ИП Колмогоров И. А., 2022. — С. 168–171..

## Введение

Многие исследования показывают, что использование внеосевых голограмм в устройствах дополненной реальности позволяет достичь поля зрения более 90° [1,2]. Однако, такие системы всегда имеют ограниченный выходной зрачок – не более 1 мм диаметром. Данная работа посвящена поиску таких свойств голограмм, которые смогли бы обеспечить формирование виртуального изображения одновременно в широком поле зрения и с большим выходным зрачком. Проведенные исследования показывают, что свойства осевой голограммы способны обеспечить вышеупомянутые требования. В данной работе рассматриваются свойства осевых голограмм, а также описывается конфигурация очков дополненной реальности с использованием осевой голограммы.

## 1. Свойства осевой голограммы

Особенность голографических оптических элементов заключается в том, что при восстановлении волнового фронта может использоваться волна, отличающаяся от исходной волны, используемой при записи. Для того, чтобы сформировать виртуальное изображение в системе дополненной реальности в широком поле зрения и с большим выходным зрачком, мы предлагаем использовать схему с осевой отражательной фазовой голограммой. Положение точек записи голограммы  $Y_1Z_1$  и  $Y_2Z_2$  совпадают (Рис. 1).

$$S_R = S_O, \quad (1)$$

где  $S_R$  – расстояние от плоскости голограммы до точки записи опорной волны,  $S_O$  расстояние от плоскости голограммы до точки записи объектной волны.

Данное условие формирует плоское промежуточное изображение у голограммы. Промежуточное изображение – это плоскость, в которой сходятся пучки, при освещении голограммы коллимированными пучками. В случае внеосевых схем – промежуточное изображение обладает изогнутой асимметричной формой. В случае осевой голограммы с концентрическим положением точек записи опорной и объектных волн промежуточное изображение – плоское и находится на расстоянии  $S_i$  от голограммы.

Таким образом, если расположить источник изображения в плоскость промежуточного изображения голограммы, то расходящиеся от объекта сферические пучки преобразуются в параллельные и формируют выходной зрачок (рис.2). При этом величина выходного зрачка будет зависеть только от угла расхождения излучения у излучающего объекта, а поле зрения системы – от продольных размеров голограммы и угловой апертуры опорной и объектной волн.

Моделирование системы выполнялось в среде OpticsStudio, с использованием типа поверхности голограммы «Optically Fabricated Hologram». Диаметр зеркала был выбран 80 мм, радиус кривизны  $R = -63,2$  мм, материал подложки BK7, регистрирующая среда Baupol HX200 16 мкм, длина волны источника  $\lambda=514$  нм, расстояния  $S_R = S_O = 41,845$ мм. В этом случае расстояние от голограммы до промежуточного изображения составило  $S_i = 20,16$ мм.

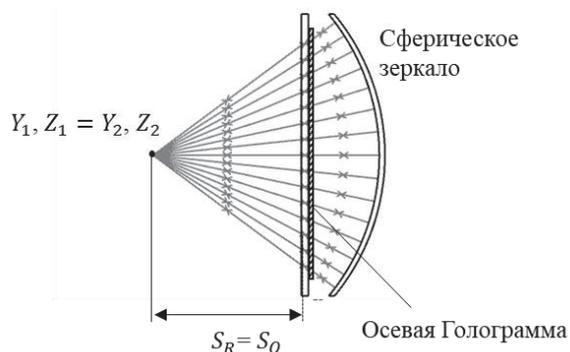


Рис. 1. Схема записи осевой голограммы

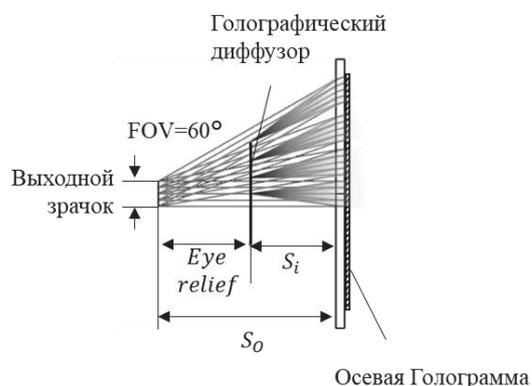


Рис. 2. Схема восстановления волнового фронта из плоскости промежуточного изображения

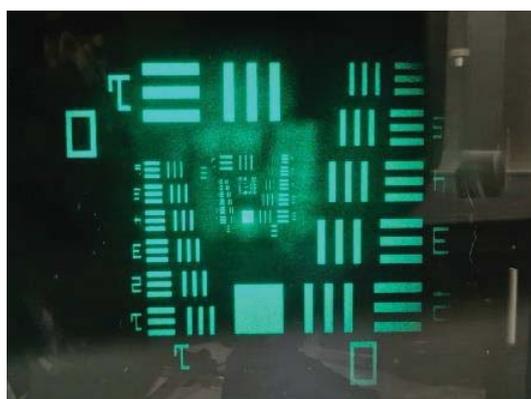


Рис. 3. Виртуальное изображение наблюдаемое из плоскости выходного зрачка

## 2. Результат

Рассмотренная система обладает полем зрения  $60^\circ$  и выходным зрачком 10 мм, при значении eye relief 21,7 мм. Данная схема была воспроизведена в виде прототипа. В качестве источника изображения, расположенного в плоскости промежуточного изображения голограммы, использовалась голограмма с записанным пространственным изображением мира.

## Заключение

Свойства голографических оптических элементов могут быть использованы для достижения различных целей и решения оптических задач. В данном случае, свойства осевой голограммы помогли достичь компромисса между полем зрения и размером выходного зрачка. Однако осевые голограммы обладают и недостатками, которые следует учесть при их использовании в системах. К таким недостаткам относятся шумы переотражений, возникающие при прохождении излучения через подложку голограммы и саму голограмму – выражаются в виде бликов, как на Рис.3. Тем не менее, данная проблема может быть легко решена изменением геометрии схемы записи голограммы.

## Благодарность

Данная работа была выполнена при поддержке программы УМНИК - VR/AR 2020, Грант №677ГУЦЭС8-D3/63857, а также при использовании студенческой лицензии OpticsStudio, предоставленной компанией Zemax.

## Список источников

- [1] **Bongsu Shin** Compact augmented-reality glasses using holographic optical element combiner / B. Shin, S. Kim, V. Druzhin, P. Malinina, S. Dubynin, A. Bolotova, S. Kopenkin, A. Putilin, W. Seo, C.-K. Lee, G. Sung, Y.-T. Kim, J. Seo, J.-S. Chung, H.-S. Lee, // SPIE Proceedings – 2019. – V.10944. – P10944G.
- [2] **A. R. Travis**, Wedge guides and pupil steering for mixed reality / A. R. Travis, L. Chen, A. Georgiou, J. Chu, J. Kollin, // Jnl Soc Info Display. – 2018. – Vol 1. – P. 526–533.

## Axial hologram in augmented reality systems

*A. A. Kalinina<sup>1</sup>, A. Putilin<sup>2</sup>, S. Kopenkin<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> MIPT, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Lebedev Physical Institute of the RAS, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Russian technological university (MIREA), Moscow, Russia

Conventionally, hologram-based augmented reality systems operate with off-axial holograms for image transferring. It provides wide field-of-view, high efficiency and system compactness. The main drawback of such systems is tiny eyebox ~1mm that limits using of the system in real devices. We offer using of axial hologram in augmented reality system for achievement of combination of wide field-of-view with large eyebox size. In this paper we demonstrate features of virtual image formation in systems with axial hologram, show the system architecture and prove our

investigations with experimental results. The system has field-of-view more than 50° and eyebox diameter more than 10mm.

*Keywords:* Holographic optical elements, Augmented reality glasses, HMD, Head-mounted display.