

УДК 53.087.353

Разработка оптической системы для устройств вспомогательной реальности

Афанасьева Ольга Леонидовна^(*)o-lin98@mail.ru
SPIN-код: 5989-1990

Соломашенко Артем Борисович

asol@bmstu.ru
SPIN-код: 2158-2998

Тимашова Лариса Николаевна

timashova@bmstu.ru
SPIN-код: 2004-3785

Волкова Мария Владимировна

mvvvolkova@bmstu.ru
SPIN-код: 5701-0182

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Представлен новый компактный окуляр для устройств вспомогательной реальности, разработанный на основе OLED-микродисплея. Окуляр представляет собой цельный, склеенный оптический блок, включающий в себя пять линз и призму AP-90 для изменения направления оптической оси. Несмотря на малые габариты (34,3×14,5×12 мм), окуляр обеспечивает приемлемый угол обзора — 22,4 градуса, размер выходного зрачка — 6 мм, а также достаточное удаление выходного зрачка — 30 мм для комфортной работы с устройством.

Ключевые слова: микродисплей, призмный окуляр, выходной зрачок, угловое поле зрения, вспомогательная реальность

Development of an optical system for assisted reality devices

Afanaseva Olga Leonidovna^(*)o-lin98@mail.ru
SPIN-код: 5989-1990

Solomashenko Artem Borisovich

asol@bmstu.ru
SPIN-код: 2158-2998

Timashova Larisa Nikolaevna

timashova@bmstu.ru
SPIN-код: 2004-3785

Volkova Maria Valentinovna

mvvvolkova@bmstu.ru
SPIN-код: 5701-0182

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. This paper presents a new compact eyepiece for assisted reality devices, developed on the basis of an OLED microdisplay. The eyepiece is a single, glued optical unit that includes five lenses and an AR-90 prism for changing the direction of the optical axis. Despite its small dimensions (34.3×14.5×12 mm), the eyepiece provides an acceptable viewing angle of 22.4 degrees, an exit pupil size of 6 mm, and a sufficient distance of the exit pupil of 30 mm for comfortable operation with the device.

Keywords: microdisplay, prism eyepiece, exit pupil, field of view, assisted reality

Введение. Носимые гарнитуры, представляющие собой цифровой инструмент с функциями дополненной реальности, способны трансформировать подходы к обучению, промышленному производству, строительной отрасли, здравоохранению и многим другим сферам человеческой деятельности. Они применяются для ремонта, сборки, мониторинга, контроля и удаленной поддержки [1, 2], предоставляя оператору цифровые технологические карты и инструкции в режиме hands-free, что снижает вероятность ошибок [3, 4]. Термин «дополненная реальность» объединяет различные технологии. Отдельный класс устройств — монокулярные гарнитуры с непрозрачным дисплеем на периферии поля зрения. В этом случае изображение не проецируется на среду, но дисплей не перекрывает все поле зрения, располагаясь ниже линии визирования глаза. Такая реализация позволяет использовать в составе устройств самосветящиеся микродисплеи даже невысокой яркости, что снижает габаритные размеры гарнитуры, энергопотребление и тепловыделение. Окуляр необходим для коллимации излучения, минимизируя нагрузку на зрение.

Материалы и методы. Настоящая работа посвящена определению требований и моделированию окуляра для устройств вспомогательной реальности в Zemax.

Результаты. В данной работе разработан многолинзовый окуляр, особенностью которого является то, что линзы склеены с призмой в единый блок, исключая необходимость в оправе. Из-за малых размеров микродисплея (диагональ не более 0,5 дюйма) окуляры имеют небольшое фокусное расстояние. Требуемая разрешающая способность определяется размером пикселя микродисплея, угловой размер которого не должен превышать 1 угл. мину. Диаметр выходного зрачка соответствует диаметру зрачка глаза — 6 мм. Предлагаемая схема призмного окуляра представлена на рис. 1, а. Окуляр состоит из призмы, к одному катету которой приклеена четырехлинзовая склейка, а ко второму — плосковыпуклая линза. Материалы линз: СТК19, ЛК7, ТФ10, ОК4, ТК16, материал призмы — К8. Развернутая схема призмного окуляра показана на рис. 1, б.

Оптическую схему можно разбить на 2 положительных компонента. Первый отрицательный компонент, образованный склейкой из толстого положительного мениска 1 и отрицательной линзы 2, имеет малую отрицательную оптическую силу. Этот компонент работает в сходящихся пучках лучей. Форма компонента и увеличенная толщина корректирует кривизну поля, а разность дисперсий 1 и 2 линз корректирует хроматизм увеличения. Также увеличенная толщина мениска уменьшает передний фокальный отрезок, используемый для фокусировки окуляра. Второй положительный компонент образован склейкой из отрицательной линзы 3, положительной линзы 4, призмы 5 и положительной линзы 6. Склеенные поверхности корректируют сферическую аберрацию и кому, а за счет разности дисперсий линз корректируется хроматизм положения и увеличения. Первый и второй компоненты склеены между собой и образуют единый блок, не требующий конструктивных соединений.

Графики основных аберраций полученного окуляра представлены на рис. 2.

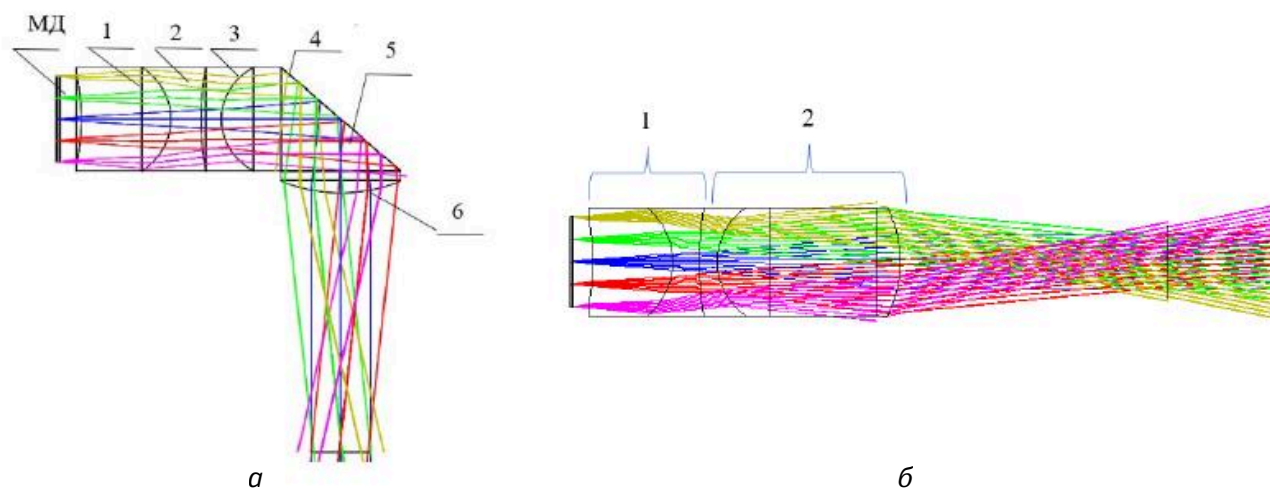
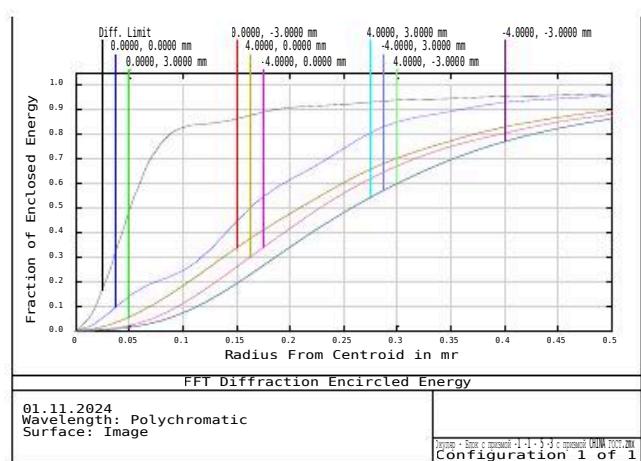
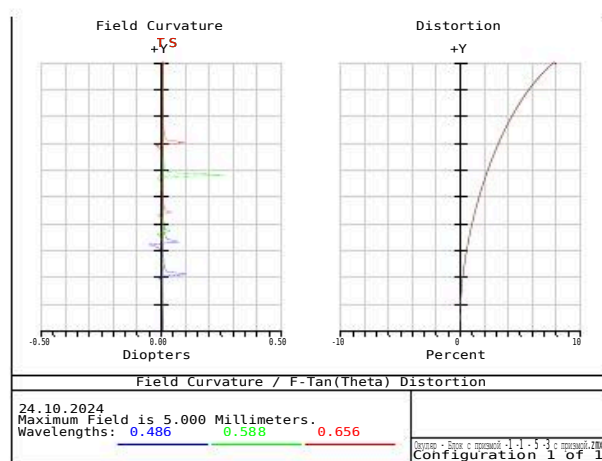


Рис. 1. а — схема призмного окуляра:

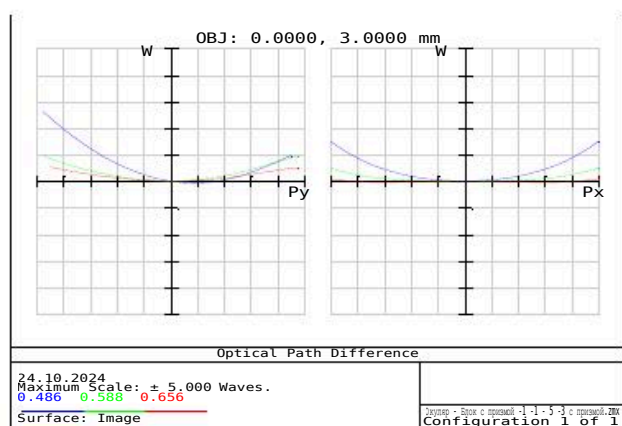
1–4 — линзы; 5 — призма AP-90; 6 — линза; МД — микродисплей; б — развернутая схема призмного окуляра: 1, 2 — положительные компоненты



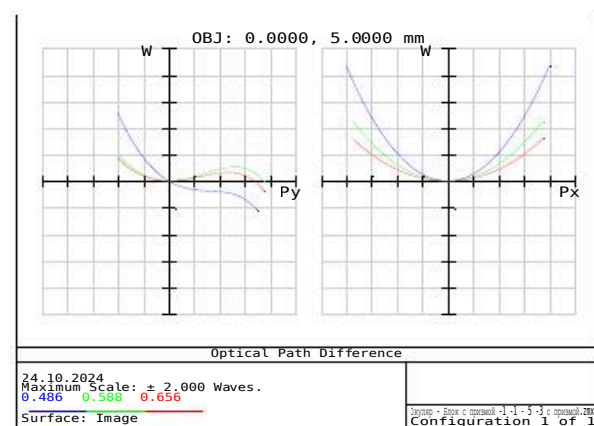
а



б



в



г

Рис. 2. а — концентрация энергии в пятне рассеяния; б — графики кривизны поля и дисторсии; в — графики волновых aberrаций ($y = 3$ мм); г — графики волновых aberrаций ($y = 5$ мм)

Расстояние между микродисплеем и первой линзой составляет 2,2 мм, обеспечивая необходимый зазор для юстировки. Фокусное расстояние первого компонента — 500,4 мм, второго — 14,4 мм. Габаритные размеры (без микродисплея): 34,3 мм (ширина), 14,5 мм (толщина) и 12 мм (высота).

Заключение. Рассмотрена реализация окуляра для устройств вспомогательной реальности, представляющего собой единый оптический блок, сформированный из пяти склеенных линз и призмы, предназначенной для изменения направления оптической оси. Данная конструкция минимизирует необходимость в юстировке (за исключением положения микродисплея) и упрощает монтаж оптической системы в корпусе устройства. При этом, несмотря на компактные габариты (34,3×14,5×12 мм), достигаются приемлемые характеристики: угол поля зрения 22,4 градуса, размер выходного зрачка 6 мм и значительное удаление выходного зрачка 30 мм, превышающее фокусное расстояние окуляра.

Список источников

- [1] Finley E.N., DeWildt S.M., MacArthur N.A., Rougeau Z.A., Sarda E.I. IIoT and Assisted Reality: Re-Shaping Traditional Robotic Cells. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. Monterrey, Mexico, 2021, pp. 102–115.
- [2] Zhu J., Ong S.K., Nee A.Y. A context-aware augmented reality system to assist the maintenance operators. International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM), 2014, pp. 293–304. <https://doi.org/10.1007/s12008-013-0199-7>
- [3] Willis C., Dawe J., Leng C. Creating a smart classroom in intensive care using assisted reality technology. Journal of the Intensive Care Society, 2024, vol. 25, no. 1, pp. 89–94.
- [4] Çalışkan A., Özdemir V. Augmented Reality (AR) Assisted Smart Glasses: Case Study for Remote Support Between Two Distant Production Plants. Akıllı Sistemler ve Uygulamaları Dergisi, 2021, vol. 4, no. 1, pp. 10–19.