

31. Расчет и моделирование световодной системы дополненной реальности на базе голографических элементов

Г. Э. Романова¹, С. Н. Корешев¹, В. С. Сидоренко¹

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия

В работе представлены теоретические соотношения и результаты моделирования системы дополненной реальности, построенной на основе световодного голографического элемента. Рассматриваются особенности построения таких систем, а также их возможные характеристики. Подробно описывается процесс моделирования системы в программе оптического проектирования Zemax, выбор объектов для описания компонентов системы. Представлены результаты расчетов и моделирования системы, работающей с монохроматическим излучением.

Ключевые слова: Расчет оптических систем, Трассировка лучей, Дифракционные оптические элементы.

Цитирование: Романова, Г. Э. Расчет и моделирование световодной системы дополненной реальности на базе голографических элементов / Г. Э. Романова, С. Н. Корешев, В. С. Сидоренко // HOLOEXPO 2019 : XVI международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. — С. 164–167.

Введение

В последние десятилетия не утихает интерес к системам дополненной реальности [1–2], однако массово изготавливаемые и повсеместно используемые системы не так широко распространены. Это связано с тем, что, несмотря на известные принципы построения, разработка системы с заданными характеристиками с учетом возможных ограничений, как со стороны пользователя, так и со стороны технологии, представляется достаточно сложной задачей. Поэтому выбор оптимальной системы, вопросы улучшения характеристик, в том числе с учетом современных технологий производства оптических элементов.

Световодные системы обладают преимуществом по сравнению с системами, построенными на традиционных оптических элементах. Прежде всего, к таким достоинствам можно отнести компактные размеры. Тем не менее, есть некоторые особенности, ограничивающие их распространение. Это прежде всего вопросы достижимых характеристик, технологическая осуществимость, а также особенности формируемого такой структурой изображения.

Кроме того, представляют интерес вопросы моделирования таких систем с использованием широко распространенного программного обеспечения.

1. Расчет параметров световодного голографического элемента

Принципиальная схема световодного устройства показана на рисунке 1

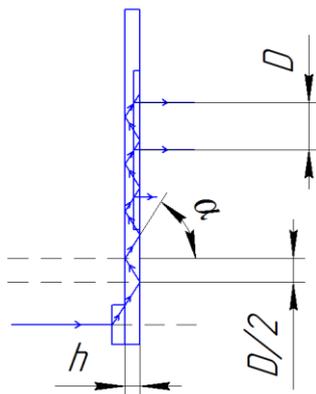


Рис. 1 Принципиальная схема световодного устройства

На рисунке 1 D размер субапертура, h — толщина световода, α — угол дифракции. Поскольку выполняется соотношение [3]

$$\operatorname{tg} \alpha = D/(2h),$$

то можно выбрать параметры системы с учетом необходимого размера зрачка (субапертуры), а также возможной толщины подложки. Необходимо учитывать тот факт, что поскольку вне зависимости от принципа организации световодного устройства, световой пучок распространяется по подложке за счет явления полного внутреннего отражения, максимальное угловое поле системы будет определяться предельным углом полного внутреннего отражения.

2. Пример моделирования световодного голографического элемента

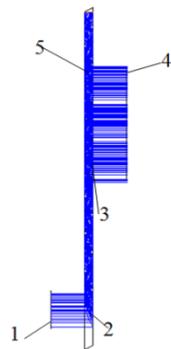
Для построения модели были выбраны следующие входные параметры:

- длина волны источника $\lambda = 0,64 \mu\text{м}$;
- диаметр входного зрачка (субапертуры) $D = 10 \text{ мм}$;
- угол дифракции $\alpha = 62^\circ$

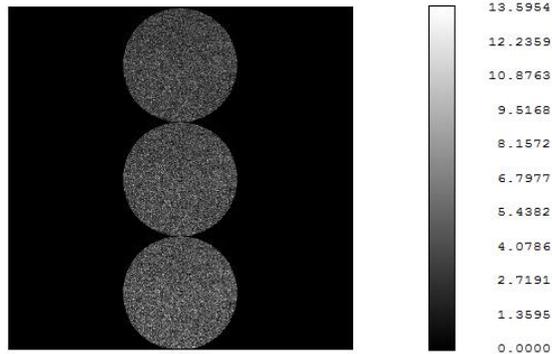
Для моделирования в программе Zemax Optic Studio [4] был выбран объект Дифракционная решетка (diffraction grating). На рисунке показан вид модели, а также результаты трассировки.

Особенностью объекта Diffraction Grating является возможность задания только круглой апертуры. Альтернативной возможностью может быть использование Lenslet Array (Массива микролинз) [4], используемого с соответствующими настройками. Для имитации нулевого и первого порядка дифракции использовались настройки с распределением энергии пучка в соответствии с таблицей (Split by table below) [4].

При прохождении через вторую решетку часть энергии выходит из волновода и направляется в глаз оператору, остальная часть продолжает свое распространение в световоде, этот процесс будет происходить при каждом столкновении пучка с дифракционной решеткой. Распределение энергии будет зависеть от дифракционной эффективности решетки. Для данной системы дифракционная эффективность второй решетки составляет 5 %.

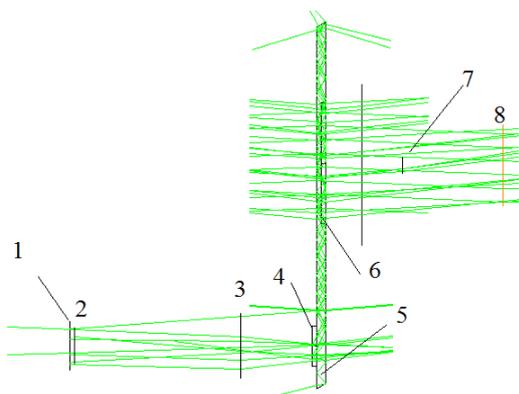


- 1 — источник излучения;
2, 3 — голографические дифракционные
элементы; 4 — приёмник излучения;
5 — тело волновода
а) схема системы с ходом параллельного
пучка

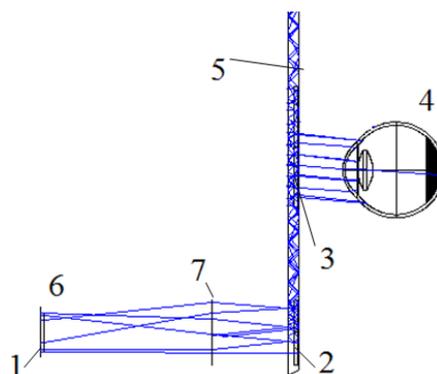


- б) результаты трассировки: зрачковая зона

Рис. 2. Модель световода и результаты трассировки



- 1 — источник, 2 — слайд,
3 — коллиматорный объектив (идеальная
линза), 4, 6 — дифракционные решетки,
5 — тело световода, 7 — параксиальная
линза, имитирующая модель глаза,
8 — приемник
а) схема системы с упрощенной моделью
глаза (идеальная линза)



- 1 — источник, 2 и 3 — голографические
дифракционные элементы; 4 — приёмник
излучения; 5 — тело волновода; 6 — тест-
объект; 7 — коллиматорный объектив
(идеальная линза)
б) схема системы с моделью глаза

Рис. 3 Модель системы с учетом формирующего объектива (идеальной линзы) и упрощенной модели глаза

На рисунке 3а изображен ход лучей внутри устройства, на котором 1 — источник излучения, 2 — тест объект, 3 — параксиальная линза (формирующий изображение объектив), этими компонентами формируется и проецируется изображение, 4 и 6 — пропускающие дифракционные решетки ввода (дифракционная эффективность $\approx 100\%$) и вывода (дифракционная эффективность $\approx 5\%$) излучения соответственно, 5 — световод, 7 и 8 — параксиальная линза и приемник излучения в совокупности, моделирующие человеческий глаз.

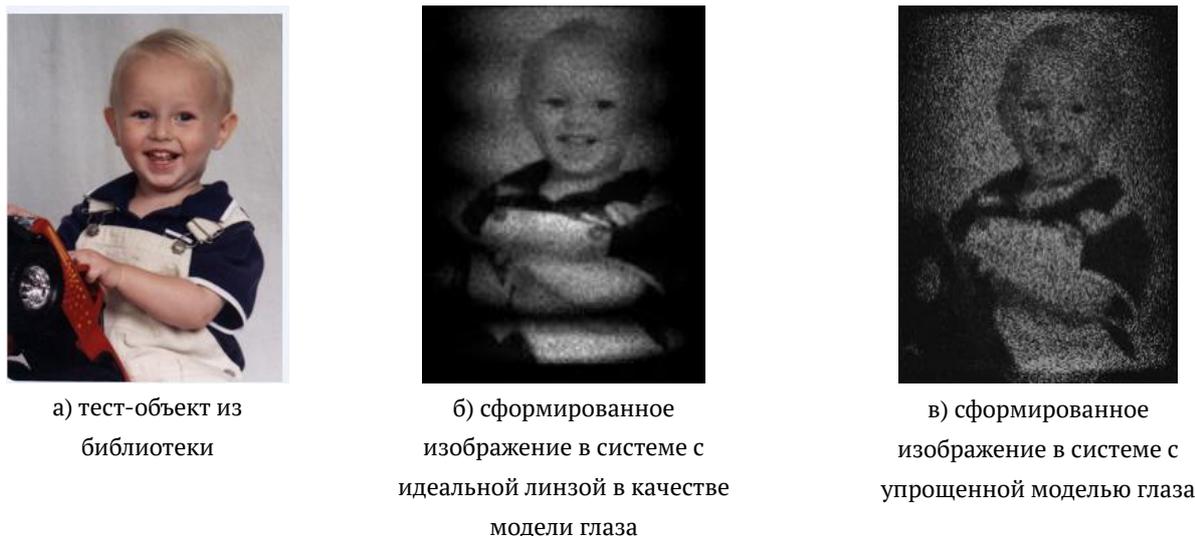


Рис. 4. Вид тест объекта и изображение, сформированное системой

В качестве тест объекта использовался слайд из библиотеки zemax, показанный на рисунке 4а. Для оценки корректности моделирования с учетом упрощенной модели глаза — идеальной линзы, было проведено моделирование с учетом модели глаза, доступной в базе статей Zemax [4].

Фокусное расстояние использованного объектива (идеальной линзы) в системах было выбрано 40 мм, размер тестового изображения соответствовал угловому полю 18 градусов. Наблюдаемая неравномерность освещенности по изображению может быть скорректирована за счет предискажения изображения на дисплее.

Заключение

Определены требования, предъявляемые к голограммным оптическим элементам, входящим в состав систем ввода и вывода излучения. Показана возможность обеспечения равномерного распределения интенсивности виртуального изображения по апертуре выходного зрачка при использовании для вывода излучения из световода голограммных оптических элементов с невысокой дифракционной эффективностью, равной 5–7 %. Рассмотрены вопросы моделирования устройства дополненной реальности в программе Zemax.

Список источников

- [1] **Jin Su Lee.** See-through display combined with holographic display and Maxwellian display using switchable holographic optical element based on liquid lens / Jin Su Lee, Yoo Kwang Kim, and Yong Hyub Won // Opt. Express. — 2018. — Vol. 26. — P. 19341–19355.
- [2] **Kasai, I.** A practical see-through head mounted display using a holographic optical element / I. Kasai, Y. Tanuiri, T. Endo, H. Ueda // Optical Review. — 2001. — Vol. 8. — № 4. — P. 241–244.
- [3] **Корешев, С. Н.** Оптические системы голографических коллиматорных прицелов / С. Н. Корешев, М. К. Шевцов // Оптический журнал. — 2015. — Том 82. — № 9. — С. 22–28.
- [4] <https://www.zemax.com/>.