

30. Разработка системы дополненной реальности на базе призмы с поверхностями свободной формы

И. А. Гуськов

АО «НПО «Государственный институт прикладной оптики», Казань, Россия

В докладе рассматривается моделирование оптической схемы для формирования дополненной реальности на базе призмы свободной формы и оценка дифракционной эффективности голограммы, нанесенной на одну из поверхностей призмы. Данная работа предполагает одновременную численную оптимизацию показателей качества изображения системы и дифракционной эффективности голограммы. Была рассмотрена оптическая схема для диапазона 486–686 нм с одной асферической, одной сферической и одной биконической (поверхностью свободной формы) поверхностями.

Ключевые слова: Моделирование, Поверхность свободной формы, Голограмма, Численная оптимизация, Дифракционная эффективность, Дополненная реальность.

Цитирование: Гуськов, И. А. Разработка системы дополненной реальности на базе призмы с поверхностями свободной формы / И. А. Гуськов // HOLOEXPO 2019 : XVI международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. — С. 159–163.

Введение

В настоящее время существует множество систем, позволяющих реализовать наложение дополненной реальности на существующую. Основными требованиями к таким системам являются: широкое поле зрения, высокое качество изображения, малые габаритные размеры и вес. Существует ряд приборов, в которых реализованы простые формы визоров, например, плоскопараллельная пластина [1]. Для формирования изображения в данной системе используется световод. Однако подобная компоновка сильно ограничивает возможное поле зрения. Для того, чтобы одновременно соответствовать всем заявленным требованиям, необходимо использовать новые варианты оптических систем. В частности, ряд технических решений предполагает совмещение нескольких функций в одном сложном оптическом элементе. Таким элементом является линза или призма с поверхностями свободной формы — Freeform, совмещающая в себе несколько различных поверхностей, при этом внутри линзы происходит отражение от двух поверхностей. Полное внутреннее отражение (ПВО) позволяет использовать одну и ту же поверхность дважды и уменьшить потери излучения. На вторую отражательную поверхность может быть нанесено полупрозрачное зеркало или, как показано в [2], голограмма для дополнительной коррекции изображения.

В настоящей работе рассматривается оптическая схема, в которой используется объемно-фазовая голограмма. Схема записи и схема работы такой голограммы, как правило, определяются исходя из условий минимизации aberrаций. Однако углы падения излучения на решетку в схемах записи и работы обычно не соответствуют условию максимума дифракцион-

ной эффективности (ДЭ). Для отдельной длины волны это отклонение может быть скомпенсировано за счет выбора толщины слоя и глубины модуляции показателя преломления, однако даже в этом случае ДЭ по рабочему диапазону спектра снижается.

Соответственно, основной целью данной работы является моделирование системы типа freeform, оценка качества изображения, оценка показателя ДЭ непосредственно при расчете и оптимизации абберационных характеристик.

1. Методика расчета

Методики расчета и оптимизации, сходные с предлагаемой, рассматривались ранее [3] и [4]. Однако они не позволяли учесть сложную геометрию записи и работы голограммы, либо не позволяли одновременно варьировать параметры схемы записи и схемы работы совместно с вариацией конструктивных параметров схемы. Предлагаемая методика устраняет указанные ограничения и содержит следующие этапы расчета:

1. Численная оптимизация схемы стандартными программными средствами Zemax.
2. Расчет параметров голографического слоя, обеспечивающих максимальную ДЭ для центра решетки [3].
3. Расчет ДЭ методом элементарных решеток. Используются аналитические соотношения теории связанных волн Когельника [5]. Вычисление производится непосредственно в среде Zemax с помощью подпрограммы-макроса. Рассчитывается среднеквадратическое, минимальное и максимальное значения ДЭ по поверхности решетки для набора контрольных длин волн.
4. Повторная численная оптимизация схемы с включением значений ДЭ, вычисляемых в п. 3, в качестве слагаемых оценочной функции.

2. Оптическая схема

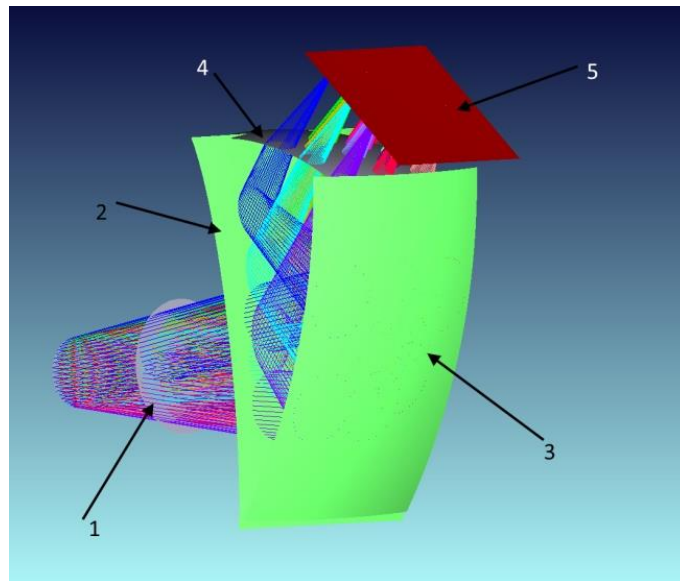
Данная система обладает следующими характеристиками: полное поле зрения $2\omega = 20 \times 15^\circ$, удаление визора от глаза 15–18 мм (соответствует удалению очков от зрачка глаза), диаметр зрачка глаза 6 мм, рабочий диапазон длин волн $\lambda = 486\text{--}656$ нм. Размер изображения составил 14,5 мм. Призма изготовлена из оптического пластика E48R методом прессования. ПВО в призме происходят на 2 и 3 поверхностях. Голограмма нанесена на поверхность 3.

Толщина системы на превышает 12 мм на стороне поверхности 4 и 6 мм по оптической оси, высота системы составила 26 мм.

Общий вид схемы представлен на рисунке 1.

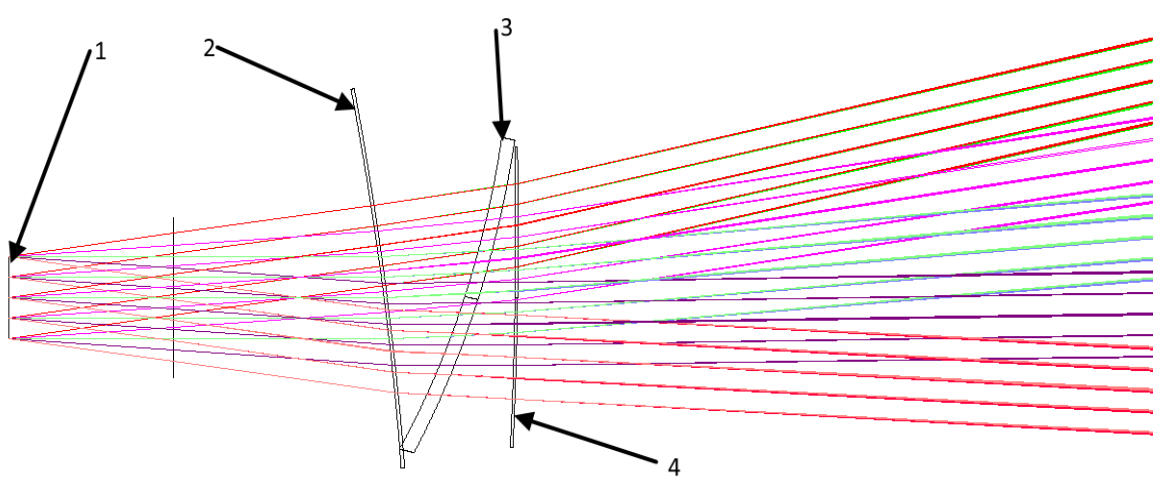
Голограмма записывается на длине волны 532 нм двумя точечными источниками и имеет частоту штрихов в вершине, равную 581 штр/мм. Глубина модуляции составила 0,024 мкм, толщина слоя подложки голограммы 15 мкм.

Для работы системы «на просвет» данная призма склеивается поверхностью 3 с компенсатором, который делает равной нулю оптическую силу поверхностей 1 и 3. Общий вид схемы приведен на рисунке 2.



1 — зрачок глаза, 2 — асферическая поверхность, 3 — сферическая поверхность, 4 — биконическая поверхность, 5 — поверхность LED матрицы.

Рис. 1. Оптическая схема на базе призмы свободной формы



1 — зрачок глаза, 2 — асферическая поверхность, 3 — сферическая поверхность, 4 — корректирующая сферическая поверхность

Рис. 2. Общий вид схемы

3. Анализ качества изображения

Для оценки качества изображения в полученной схеме используются точечные диаграммы и графики дисторсии. Графики дисторсии были выбраны, так как высокая децентрировка и наклоны поверхностей системы неизбежно приведут к усилению данной aberrации. Контроль дисторсии осуществлялся в ходе всего расчета.

Хочется отметить, что дисторсия не превышает 6 %, при том, что для систем, работающих с глазом человека, разрешается дисторсия до 8 %.

III. Формирование голографических изображений с помощью голограммной оптики и оптико-голографические дисплеи

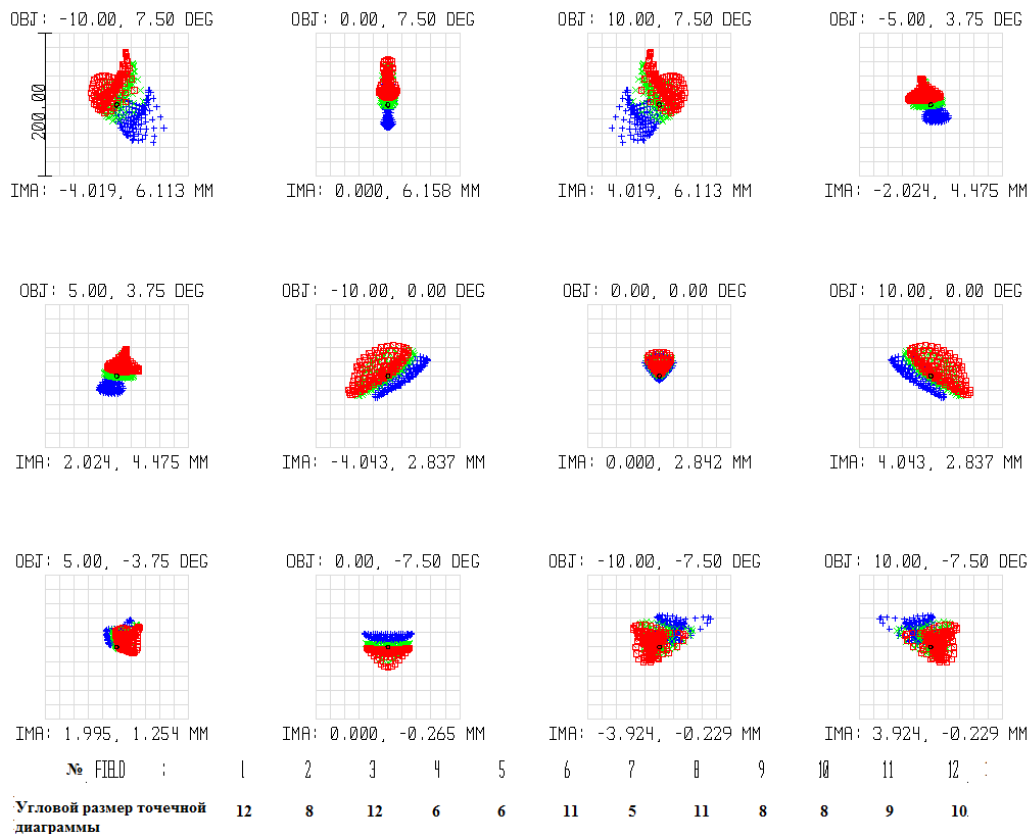


Рис. 3. Точечные диаграммы системы

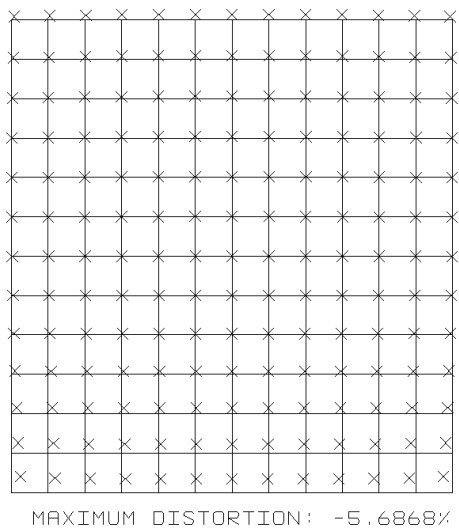


Рис. 4. Диаграмма дисторсии системы

4. Анализ дифракционной эффективности

Расчет ДЭ проводится с использованием теории связанных волн. При расчете входной зрачок системы заполняется лучами в узлах сетки 21 × 21 элемент. Для каждой точки определяются углы падения в схеме записи, из которых рассчитываются частота штрихов и наклон полос, а также угол падения в схеме работы. Расчет повторяется для 3 контрольных длин волн — цен-

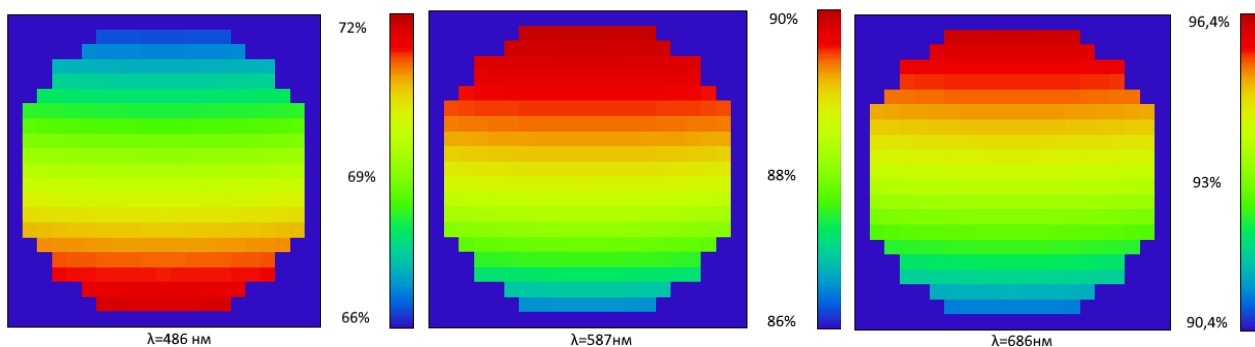


Рис. 5. Распределение ДЭ по поверхности голограммы

тра и краев рабочего диапазона. Результат расчета распределения ДЭ по поверхности решетки на длинах волн 486, 587 и 640 нм, полученный с помощью подпрограммы-макросов Zemax, показан на рисунке 5.

Представленный результат получен после оптимизации с включением значений ДЭ в оценочную функцию. Для оптимизации используется среднеквадратическое значение ДЭ.

Заключение

Таким образом, в настоящей работе показано моделирование системы дополненной реальности на базе призмы свободной формы, проведена оптимизация схемы с учетом ДЭ голограммы.

Показано, что за счет включения среднеквадратических значений ДЭ на контрольных длинах волн в оценочную функцию можно существенно повысить ДЭ для коротковолновой части рабочего диапазона, что позволит обеспечить высокую и равномерную освещенность изображения.

К преимуществам системы можно отнести наличие лишь одного оптического элемента, высокое поле зрения, хорошее качество изображения. Однако главным недостатком остается очень высокая сложность изготовления.

Список источников

- [1] **William, P. Bleha** Binocular Holographic Waveguide Visor Display / William P. Bleha, Lijuan Alice Lei // HOLOEYE Systems Inc., San Diego CA, 2015. —URL: http://www.holoeyesystems.com/uploads/media/Binocular_Holographic_Waveguide_Visor_Display_01.
- [2] HoloLens 2, Mixed reality is ready for business. Microsoft corporation, 2018. — URL: <https://www.microsoft.com/en-CY/hololens>.
- [3] **Wissmann, P.** Simulation and optimization of volume holographic imaging systems in Zemax / P. Wissmann, S. B. Oh, and G. Barbastathis // Opt. Express. — 2008. — Vol. 16. — P. 7516–7524.
- [4] **Muslimov, E. R.** Transmission holographic grating with improved diffraction efficiency for a flat-field spectrograph / E. R. Muslimov // Proc. of SPIE. — 2012. — Vol. 8787. — P. 87870
- [5] **Kogelnic, H.** Coupled wave analysis for thick hologram gratings / H. Kogelnic // Bell Syst. Tech. J. — 1969. — Vol. 48. — P. 2909–2947.