

УДК 778.38.01

**Исследование влияния параметров рельефно - фазовых дифракционных решеток
на дифракционную эффективность в различных участках поля зрения
голографического индикатора информации**

*Донченко С.С., студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Лазерные и оптико-электронные системы»*

*Научный руководитель: Одинокоев С.Б.,
д. т. н., доцент кафедры «Лазерные и оптико-электронные системы»
baryshnikov@bmstu.ru*

В течение последних лет произошел существенный прогресс в области разработки систем отображения информации для наשלемных и подобных им систем благодаря применению новых технологий и новых способов построения таких дисплеев и индикаторов, заключающихся в переходе от использования габаритных проекционных линзовых систем, полупрозрачных зеркал и т.п. к применению волноводных пластин с голограммными оптическими элементами, что существенно снизило массо-габаритные параметры оптических систем дисплеев и индикаторов и позволило использовать миниатюрные ЖК-дисплеи для вывода необходимой информации, которая затем перепроецируется оператору.

Дисплеи и индикаторы являются важной и неотъемлемой частью многих систем отображения информации. Без использования данных технологий управление сложнейшими системами различного назначения было бы невозможно, т.к. органы чувств оператора посылали бы в мозг огромное количество информации, и он «утонул» бы в их потоке. Так, например, в авиации для выполнения боевых задач необходимо в поле зрения пилотов с помощью специальных оптико-электронных систем вводить прицельную и пилотажно-навигационную информацию, а также сведения о состоянии основных агрегатов самолета, значительно снижая нагрузку на пилотов в условиях полета и боевого применения. И именно дисплеи и индикаторы на базе голографических оптических элементов позволяют решать поставленные задачи.

Использование голограммных оптических элементов и световодных пластин позволяет снизить массо-габаритные параметры всей системы отображения информации, т.к. не просто перепроецирует выходной зрачок коллимирующей оптической системы в плоскость расположения глаз оператора, а способна его

«растянуть» до необходимых размеров за счет наличия голографических оптических элементов. Это позволяет существенно уменьшить габариты оптической системы, что приводит к ее существенной миниатюризации.

Широкоугольная коллиматорная система для потолочного коллиматорного индикатора включает в себя ЖК-дисплей, формирующий необходимое для ввода в поле зрения оператора изображение, систему подсвета с лазерным или светодиодным источником излучения, проекционную систему и непосредственно сам индикатор, на котором остановимся более детально.

Индикатор представляет собой стеклянную пластину, в которой излучение может распространяться под действием полного внутреннего отражения, с нанесенными на поверхность голограммными оптическими элементами для ввода и вывода излучения из пластинки, как показано на рисунке.

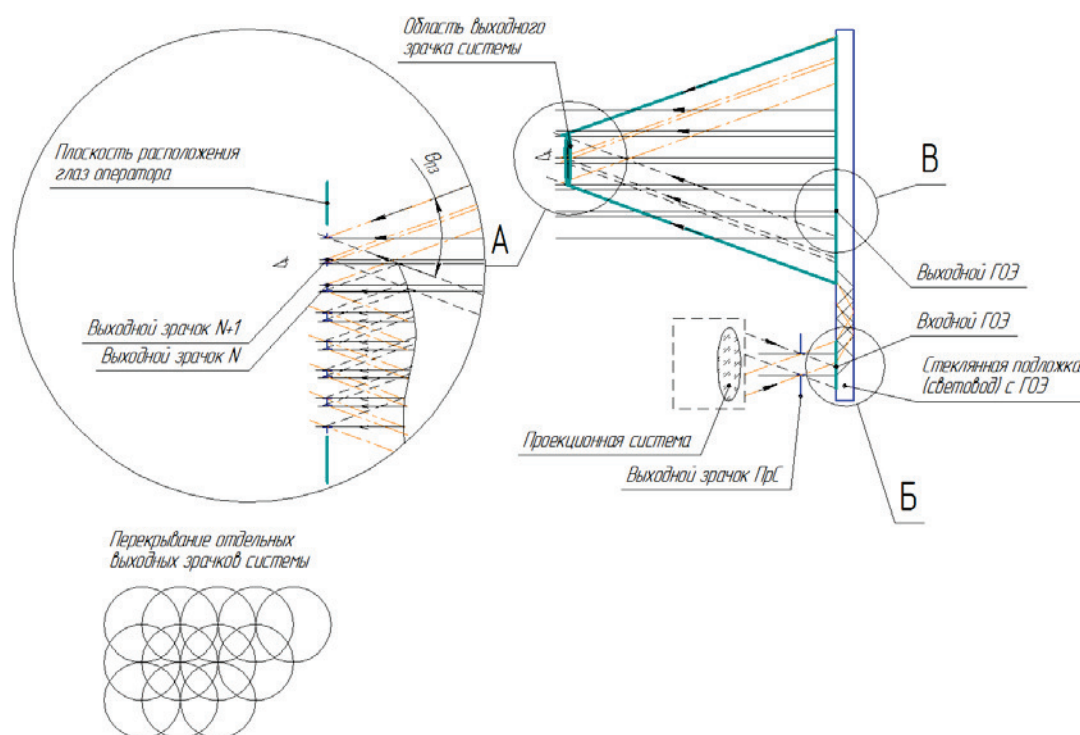


Рис. 1. Наложение выходных зрачков в плоскости расположения глаз оператора

Проекционная система (обозначена условно) формирует выходной зрачок небольшого размера (плоскость выходного зрачка проекционной системы может совпадать с голографических оптических элементов ввода излучения либо нет), а также необходимый угол поля зрения. Далее излучения попадает на первый голографический оптический элемент, с его помощью вводится в пластинку под углом полного внутреннего отражения и распространяется в ней. Для вывода излучения из пластинки

также используется голографический оптический элемент. Попадая на поверхность пластинки с голографического оптического элемента, часть излучения выводится из нее под тем же углом, под которым оно падало на пластинку с вводным голографическим оптическим элементом.

В каждой зоне выходного голографического оптического элемента из пластинки будет выводиться весь конус пучков излучения, формируемый проекционной системой; а пересечение крайних лучей (выделены жирным на рисунке 1), формирующих выходные зрачки на расстоянии 450 мм, определит размер зоны выходного зрачка ($100 \times 90 \text{ мм}^2$).

Таким образом, зона выходного зрачка будет состоять из большого числа перекрывающихся выходных зрачков проекционной системы, переносимых индикатором в плоскость расположения глаз оператора, как показано на рисунке 1. В результате небольших размеров (5-10 мм) выходной зрачок проекционной системы «растягивается» с помощью индикатор до зоны размером $100 \times 90 \text{ мм}^2$ за счет многократных перекрытий отдельных зрачков в зоне расположения глаз оператора.

Выводящая решетка голографического оптического элемента разбита на зоны, размер зоны, на которые будет разбита решетка, а соответственно и диафрагмы, установленной в обеих ветвях схемы получения, будет определяться из условия, что луч, идущий в пластинке, подчиняясь закону полного внутреннего отражения, при каждом падении на ту сторону пластинки, где есть дифракционная решетка, будет попадать на следующую зону. При данном подходе с правильно подобранным размером зоны и величиной экспозиции яркость изображения, наблюдаемого через голографический индикатор, будет равномерной по всему полю.

Стоит отметить, что на самом деле в пластинку входит конус лучей с большим углом поля, соответственно и внутри пластинки углы их распространения будут отличаться, поэтому определение размера зоны целесообразно вести по лучу, идущему параллельно оптической оси проекционной системы. В этом случае для крайних лучей обозначенное выше условие может не выполняться, лучи могут дважды попадать на одну и ту же решетку или, наоборот, пропускать зоны, что приведет к небольшому изменению яркости изображения по полю. Для голографических индикаторов, обеспечивающих небольшие углы поля зрения (до 10 градусов), это изменение невелико, и им можно пренебречь.

Теперь определим дифракционную эффективность каждой отдельной зоны с решеткой, чтобы яркость изображения, формируемого индикатором, была бы равномерной. Потерями на полное внутреннее отражение и потерями из-за дифракции

второго и более высоких порядков в силу их малой величины пренебрегаем на этапе предварительного расчета.

Допустим, что в пластинку попало излучение I_0 , тогда на первой дифракционной решетке с эффективностью η_1 в первой зоне выйдет доля излучения равная:

$$I_1 = I_0 \cdot \eta_1 \quad (1)$$

Далее для второй зоны с учетом вывода излучения на первой решетке и с учетом условия, что $I_1 = I_2 = \dots = I_N$ получим:

$$I_2 = (I_0 - I_1) \cdot \eta_2 = I_0 \cdot (1 - \eta_1) \cdot \eta_2 \quad (2)$$

$$\eta_2 = \frac{\eta_1}{1 - \eta_1} \quad (3)$$

То же самое для третьей решетки:

$$\begin{aligned} I_3 &= (I_0 - I_1 - I_2) \cdot \eta_3 = (I_0 - I_0 \cdot \eta_1 - I_0(1 - \eta_1) \cdot \eta_2) \cdot \eta_3 = \\ &= I_0 \cdot [1 - \eta_1 - (1 - \eta_1) \cdot \eta_2] \cdot \eta_3 = I_0 \cdot [(1 - \eta_1) \cdot (1 - \eta_2)] \cdot \eta_3 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} [(1 - \eta_1) \cdot (1 - \eta_2)] \cdot \eta_3 &= \eta_1 \Rightarrow [(1 - \eta_1) \cdot (1 - \frac{\eta_1}{1 - \eta_1})] \cdot \eta_3 = \eta_1 \Rightarrow \\ \Rightarrow [(1 - \eta_1) \cdot (\frac{1 - \eta_1 - \eta_1}{1 - \eta_1})] \cdot \eta_3 &= \eta_1 \Rightarrow \eta_3 = \frac{\eta_1}{1 - 2\eta_1} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \eta_4 \cdot (1 - \eta_1) \cdot (1 - \eta_2) \cdot (1 - \eta_3) &= \eta_4 \cdot (1 - \eta_1) \cdot (1 - \frac{\eta_1}{1 - \eta_1}) \cdot (1 - \frac{\eta_1}{1 - 2\eta_1}) = \\ &= \eta_4 \cdot (1 - \eta_1) \cdot (\frac{1 - 2\eta_1}{1 - \eta_1}) \cdot (\frac{1 - 3\eta_1}{1 - 2\eta_1}) = \eta_4 \cdot (1 - 3\eta_1) \end{aligned}$$

$$\eta_4 = \frac{\eta_1}{1 - 3\eta_1} \quad (6)$$

Таким образом, формула для определения дифракционной эффективности решетки в каждой зоне с учетом (4), (5) и (6) будет записана следующим образом:

$$\eta_i = \frac{\eta_1}{1 - (i - 1) \cdot \eta_1} \quad (7)$$

График зависимости дифракционной эффективности от номера зоны представлен на Рисунке 2.

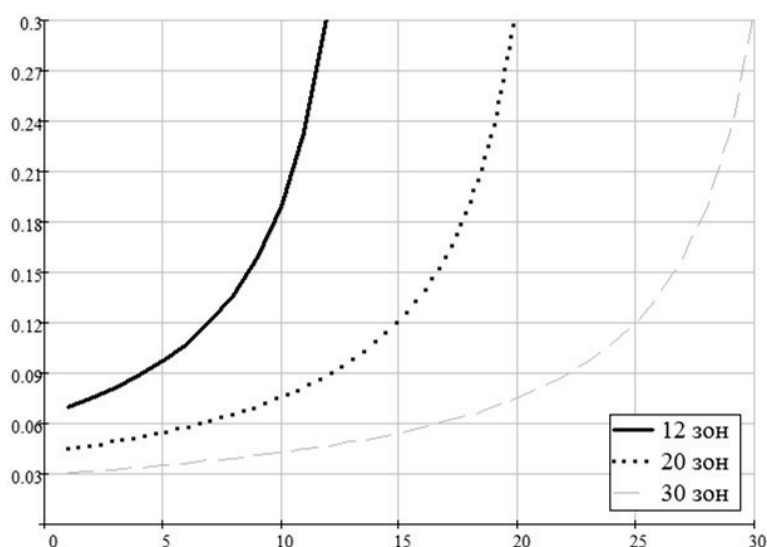


Рис. 2. Зависимость дифракционной эффективности от номера зоны разбиения (размер зоны $5 \times 5 \text{ мм}^2$) для разбиения на 12, 20 и 30 зон соответственно.

Максимальная эффективность соответствует максимально достижимой эффективности для рельефно-фазовых решеток (порядка 33 %)

Кроме того для того, чтобы получить высокую дифракционную эффективность в 1-м порядке используется профилированная решетка, которая получается при аналоговом способе записи за счет поворота пластинки с фоточувствительным слоем относительно биссектрисы двух записывающих пучков, поэтому получается «квазипилообразный» рельеф. Такая профилированная решетка позволяет максимально возможно подавить паразитные порядки и обеспечивает максимальную дифракционную эффективность в требуемом порядке дифракции (см. рисунок 3). Разница в эффективности между профилированной и не профилированной решеткой по результатам экспериментов составила около 10 % (см. рисунок 4).

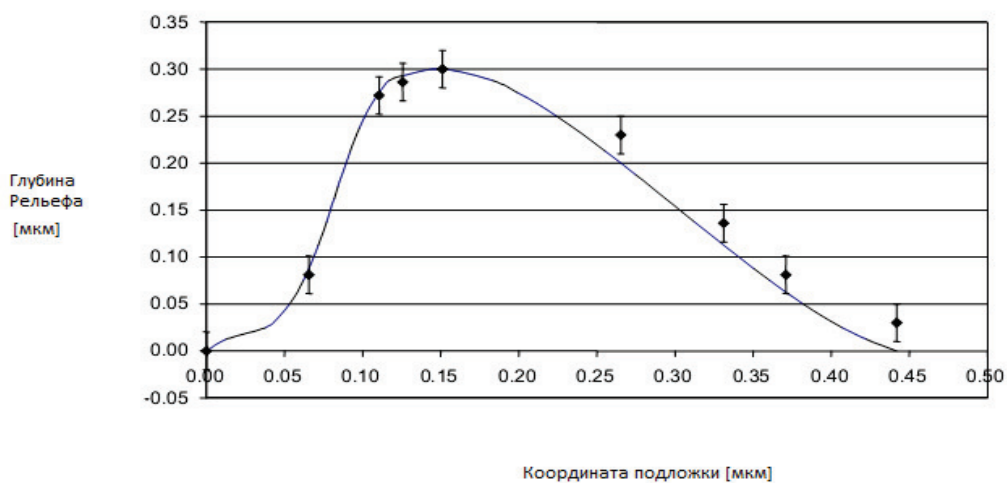


Рис. 4. Профиль фазовой дифракционной решетки

Чтобы получить разную дифракционную эффективность для 1-го порядка у дифракционных элементов разных зон, можно варьировать глубину рельефа. По результатам эксперимента была получена экспериментальная кривая зависимости дифракционной эффективности от глубины рельефа (см. рисунок 3).

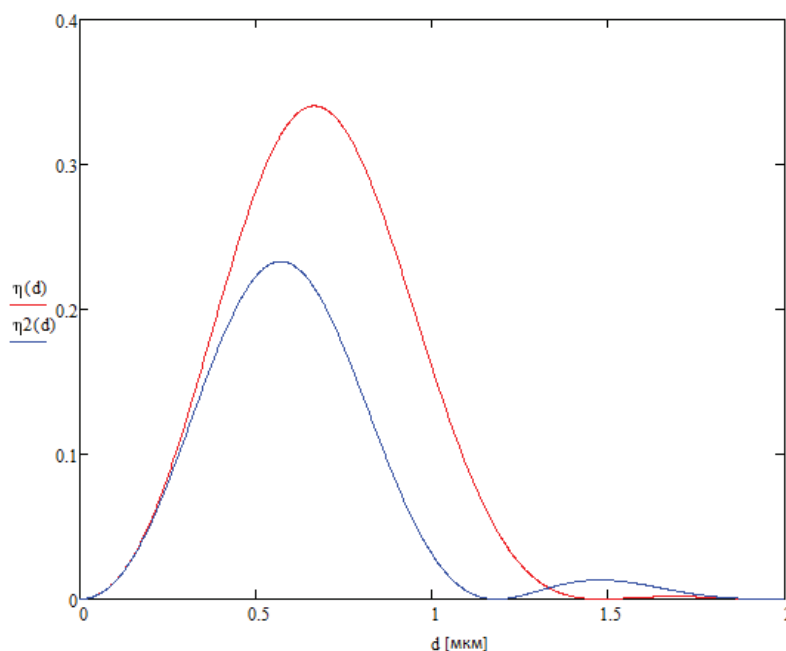


Рис. 3. Зависимость дифракционной эффективности от глубины рельефа. Синим цветом обозначена дифракционная эффективность не профилированной решетки, красным – профилированной

Выводы

В данной работе было рассмотрено устройство дисплеев на базе голограммных оптических элементов, способ построения такого типа дисплея, а также влияние основных параметров фазовых профилированных дифракционных решеток на распределение дифракционной эффективности в поле зрения голографического индикатора. Было показано, что максимальная эффективность достигается при глубине рельефа порядка 0.75 мкм и составляет около 23 % для непрофилированной решетки. Кроме того, использование профилированной решетки повысить дифракционную эффективность индикатора еще на 10 %, таким образом максимально достижимая дифракционная эффективность составила 33 %.

Список литературы

1. Leon Eisen, Michael Meyklyar. Planar Configuration for image projection, Applied Optics, 2006 г.

2. Joseph Gurwich, Victor Weiss, Leon Eisen. Design and experiments of planar optical guides for virtual image displays, Proc. Of SPIE, 2007 г.
3. Revital Shechter, Yaakov Amitai, and Asher A. Friesem. Compact Beam expander with linear grating, Applied Optics, 2002 г.