

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЁТ ГОЛОГРАММНОГО КОМБИНЕРА ВИРТУАЛЬНОГО ДИСПЛЕЯ

Г.И. Грейсух<sup>1</sup>, Е.Г. Ежов<sup>1</sup>, С.В. Казин<sup>1</sup>, С.А. Степанов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза, Россия

### Аннотация

Представлены пути и приёмы моделирования и расчёта голограммного комбинера виртуального дисплея, позволяющие, с одной стороны, обеспечить высокую и не зависящую от полевого угла дифракционную эффективность голограммы Денисюка, а с другой – в максимальной степени реализовать преимущества, открывающиеся благодаря замене на голограммный комбинер многослойного диэлектрического зеркала.

**Ключевые слова:** виртуальный дисплей, голограммный комбинер, дифракционная эффективность, монохроматические аберрации, поверхности свободной формы.

**Цитирование:** Грейсух, Г.И. Моделирование и расчёт голограммного комбинера виртуального дисплея / Г.И. Грейсух, Е.Г. Ежов, С.В. Казин, С.А. Степанов // Компьютерная оптика. – 2016. – Т. 40, № 2. – С. 188-193. – DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-2-188-193.

### Введение

Устройство, получившее название «виртуальный дисплей», осуществляет наложение искусственно формируемого изображения на реальную картину выделенного объёма окружающего пространства. Это устройство включает малогабаритный матричный формирователь изображения (микродисплей) и оптическую систему, которая по своему основному функциональному признаку является окуляром, т.к. отображает на бесконечности несущее информацию изображение, которое накладывается на картину, видимую непосредственно наблюдателем [1].

Работы по созданию и совершенствованию виртуальных дисплеев различного функционального назначения от кабинных и наплёмных до самых миниатюрных очковых широко ведутся начиная с 70-х годов прошлого столетия как в нашей стране, так и за рубежом. В нашей стране наиболее известны работы по этой тематике, выполненные в ГОИ им. С.И. Вавилова [2–4] и МГТУ им. Н.И. Баумана [5–8]. Достаточно полный обзор аналогичных работ, выполненных за рубежом, представлен в работах [9, 10].

Оптическая система виртуального дисплея состоит из проекционного объектива и комбинера. Комбинер размещает сформированное проекционным объективом изображение экрана микродисплея в поле зрения, не перекрывая его и обеспечивая возможность наблюдения окружающего пространства (см. рис. 1).

Что же касается конструкции комбинера, то в настоящее время предложено несколько вариантов её реализации и одним из наиболее перспективных является комбинер на основе объёмных голограмм, записанных во встречных пучках по методу Ю.Н. Денисюка. Эти голограммы имеют высокий коэффициент селективного отражения излучения одной длины волны и одновременно достаточное светопропускание всех других длин волн. Это и позволяет накладывать на цветную картину окружающего пространства монохромное информационное изображение. При этом в отличие от комбинера на основе многослойного диэлектрического зеркала голограмма-комбинер (ГК) может устанавливаться практически под любым углом к линии наблюдения, в том числе и нормально к ней.

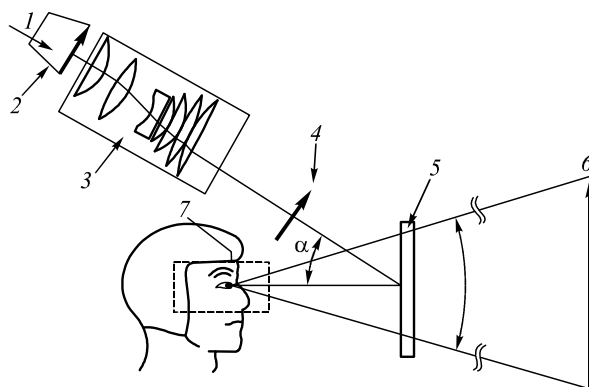


Рис. 1. Структурная схема виртуального дисплея: 1 и 2 – микродисплей и изображение на его экране; 3 – проекционный объектив; 4 – промежуточное реальное изображение; 5 – комбинер; 6 – мнимое изображение экрана микродисплея; 7 – выходной зрачок оптической системы

### Требования к фронтам записи голограммы-комбинера

Рассматривая работу оптической системы виртуального дисплея в обратном ходе лучей (рис. 2), легко видеть, что на ГК из зрачка глаза наблюдателя будут падать параллельные пучки лучей в диапазоне углов  $-\omega_{\max} \leq \omega \leq \omega_{\max}$ , зависящем от выбора видимого увеличения системы. Дифракционная эффективность (ДЭ) ГК зависит от степени отступления от условия Вульфа-Брэггов, которое при отсутствии усадки регистрирующего голограмму слоя и при равенстве длин волн записи и восстановления определяется разностью углов падения на ГК лучей при записи и восстановлении [11, 12].

Обратившись к рис. 2, легко видеть, что при установке ГК нормально к линии наблюдения, вышеуказанная разность углов описывается соотношением

$$\Delta i = \omega - \arctg \left[ \frac{R + s \cdot \tg(\omega)}{c} \right], \quad (1)$$

где  $R$  – радиус выходного зрачка оптической системы (в обратном ходе лучей входного), больший или равный радиусу зрачка глаза,  $s$  – расстояние между ГК и зрачком вдоль линии наблюдения,  $c$  – расстояние от

ГК до точечного источника записи (радиус кривизны фронта записи голограммы).

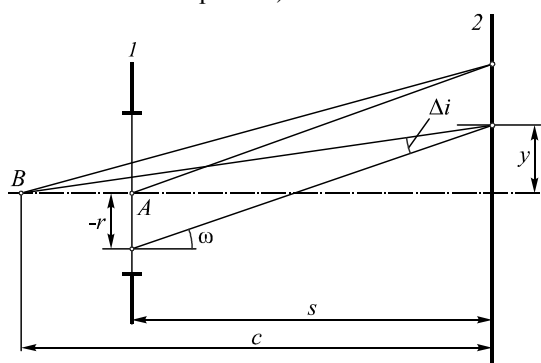


Рис. 2. К определению разности углов падения лучей на ГК: 1 – зрачок глаза наблюдателя; 2 – голограмма; А – центр зрачка; В – центр сферического фронта записи;  $\omega$  – полевой угол (угол наклона параллельного пучка лучей);  $\Delta i$  – разность углов падения на ГК луча, принадлежащего расходящемуся пучку записи, и луча параллельного пучка

На рис. 3 представлен один из вариантов наשלёмного виртуального дисплея, а в табл. 1 приведены значения разности углов  $\Delta i$ , вычисленные при значениях параметров, соответствующих такому дисплею ( $R = 5 \text{ мм}$ ,  $s = 50 \text{ мм}$ ). Эта таблица показывает, что если центр сферического фронта записи голограммы совмещён с центром зрачка ( $c = s$ ), то разность углов  $\Delta i$  практически не меняется при изменении полевого угла, а следовательно, ДЭ голограммы будет одинакова по всему полю зрения.



Рис. 3. Нашлемный виртуальный дисплей фирмы Sarnoff Corporation [13]

Причём благодаря тому, что разность углов  $\Delta i$  (зависящая в этом случае только от отношения  $R/s$ ) меньше максимального полевого угла  $\omega_{\text{max}}$  как минимум в 3,5 раза ( $\Delta i_{\text{max}} < 6^\circ$ ), можно рассчитывать на вполне приемлемую ДЭ.

Что касается второго фронта записи голограммы, то из чисто конструктивных соображений он должен быть наклонён по отношению к плоскости голограммы на угол  $\alpha \geq 45^\circ$  и в первом приближении быть плоским. Действительно, только в этом случае и при размещении восстанавливающих точечных источников в фокальной плоскости ГК восстанавливаться будут плоские волны, а соответствующие им лучи будут параллельными.

В результате требование независимости ДЭ ГК от полевого угла автоматически приводит к построению оптической системы виртуального дисплея по схеме с промежуточным действительным изображением, лежащим в фокальной плоскости ГК (см. рис. 1).

Табл. 1. Значения разности углов  $\Delta i$  и соответствующие им высоты в плоскости зрачка  $r$  в зависимости от полевого угла  $\omega$  и расстояния от ГК до точечного источника записи  $c$

c	$\omega$	$-R \leq r \leq R$			
		$\Delta i_{\text{max}}$	$r(\Delta i_{\text{max}})$	$\Delta i_{\text{min}}$	$r(\Delta i_{\text{min}})$
$\infty$	0	0	-5 мм	0	0
	10°	10°	-5 мм	10°	5
	20°	20°	-5 мм	20°	5
50 мм	0	5,71	-5 мм	0	0
	10°	5,64°	-5 мм	0	0
	20°	5,21°	-5 мм	0	0
75 мм	0	3,81°	-5 мм	0	0
	10°	7,09°	-5 мм	0,07°	4,5 мм
	20°	10,0°	-5 мм	2,81°	5 мм

К сожалению, из-за несоответствия схемы восстановления схеме записи ГК (запись плоским наклонённым фронтом, а восстановление наклонённым сферическим) возникают монохроматические аберрации и, в частности, весьма значительный астигматизм [14]. Действительно, нетрудно показать, что относительная астигматическая разность между сагиттальным  $f_s$  и меридиональным  $f_T$  фокусными расстояниями составляет

$$\frac{f_s - f_T}{f_s} = \sin^2 \alpha . \tag{2}$$

При этом сагиттальное фокусное расстояние равно расстоянию между ГК и зрачком вдоль линии наблюдения, т.е.  $f_s = s$  (см. рис. 2).

Столь значительный астигматизм, несвойственный вращательно-симметричным оптическим системам [15], в сочетании с осевой комой, пропорциональной  $\sin \alpha$ , существенно осложняет коррекцию аберраций оптической системы виртуального дисплея в целом. В результате для достижения приемлемого качества формируемого изображения необходимо использовать одну или несколько эффективных мер из ниже предлагаемых:

- асферизация одного из фронтов записи ГК, например, замена плоского фронта на фронт свободной формы (free form);
- включение в схему оптической системы поворотного зеркала свободной формы;
- наклоны и смещения относительно оптической оси центрированных асферических линз проекционного объектива;
- наклон относительно оптической оси микродисплея.

#### Моделирование и расчёт схемы записи голограммы-комбинера

На первом этапе, опираясь на известные из литературных и патентных источников схемные решения

и учитывая формат микродисплея, его разрешение и требуемое видимое увеличение оптической системы в целом выполняют компоновку и габаритный расчёт оптической схемы виртуального дисплея. Затем на основе расчёта обратного хода лучей осуществляют оптимизацию и определение конструктивных параметров оптической системы. Для этого может быть использована одна из известных программ оптического проектирования (Zemax, CodeV и т.п.).

На этапе оптимизации ГК целесообразно моделировать поверхность, вносящей в падающий на неё волновой фронт фазовую задержку, описываемую полиномом двух переменных. В частности, в среде Zemax [16] в качестве такой поверхности может быть успешно использована поверхность типа Binary1. Вносимая ею фазовая задержка описывается полиномом вида

$$\psi(x, y) = \sum_{j=1} A_j E_j(x, y), \quad (3)$$

где  $A_j$  – размерные коэффициенты, а  $E_j(x, y)$  – координатные множители:

$$E_1 = x, E_2 = y, E_3 = x^2, E_4 = xy, E_5 = y^2, \\ E_6 = x^3, E_7 = x^2y, E_8 = xy^2 \dots \quad (4)$$

Коэффициент  $A_1$  следует положить равным нулю, а  $A_2$  – вычислить по формуле

$$A_2 = \frac{2\pi}{\lambda} \sin \alpha, \quad (5)$$

где рабочая длина волны виртуального дисплея  $\lambda$  должна быть задана в миллиметрах. Остальные коэффициенты  $A_j$  при  $j \geq 3$  могут использоваться как оптимизационные параметры.

По завершении оптимизации поверхность Binary1, моделировавшую ГК, следует заменить на поверхность типа Optically Fabricated Hologram, дифракционная бесконечно тонкая микроструктура которой также, как и у реальной голограммы, формируется в результате интерференции двух когерентных волн записи. Моделирование фронтов записи осуществляется оптическими схемами, набираемыми в двух специальных файлах. В нашем случае первый фронт записи не требует для своего формирования какой-либо оптической схемы, т.к. представляет собой распространяющийся нормально к плоскости ГК сферический фронт, расходящийся из центра зрачка (точка  $A$  на рис. 2).

Что же касается оптической схемы формирования второго фронта записи, то для её поиска следует создать дополнительный Zemax-файл. В нём найденная в результате оптимизации поверхность Binary1 должна освещаться первым фронтом записи, а сформированный этой поверхностью асферический и распространяющийся под углом  $\alpha$  к оптической оси фронт с помощью дополнительных оптических элементов должен быть превращён в идеально сферический. Как правило, это удаётся достичь лучевой оптимизацией конструктивных параметров одного или двух зеркал свободной формы. В среде Zemax это поверхность Extended polynomial, описываемая полиномом

$$z(x, y) = \frac{c(x^2 + y^2)}{1 + \sqrt{1 - (1 + \kappa)c^2(x^2 + y^2)}} + \sum_{j=1} B_j E_j(x, y), \quad (6)$$

где  $z(x, y)$  – координата точки поверхности в системе координат, плоскость  $XOY$  которой касается вершины этой поверхности;  $c$  – кривизна поверхности в её вершине;  $\kappa$  – коническая константа;  $B_j$  – коэффициенты асферичности,  $E_j(x, y)$  – координатные множители, определяемые уравнениями (4).

На рис. 4 представлена двухзеркальная оптическая схема поиска конструктивных параметров элементов схемы формирования второго фронта записи ГК. Найденные в ходе оптимизации параметры зеркал 2, 3 и обратный ход лучей, исходящих из точки  $C$ , заносится в специальный файл, отведённый под оптическую схему формирования второго фронта записи. В итоге поверхность Optically fabricated Hologram моделирует схему записи ГК, представленную на рис. 5.

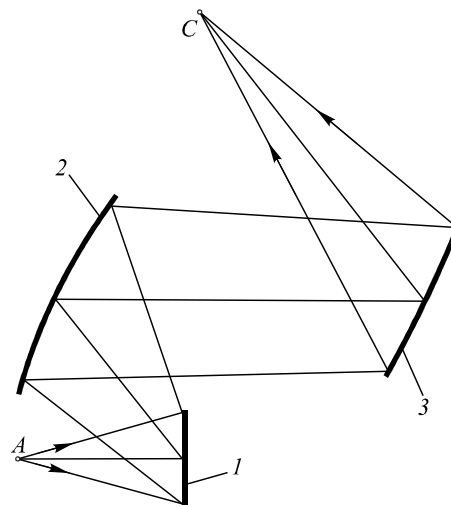


Рис. 4. Оптическая схема поиска конструктивных параметров элементов схемы формирования второго фронта записи ГК:  $A$  – центр сферического фронта нормально освещающего поверхность Binary1 (1); 2, 3 – зеркала свободной формы;  $C$  – действительное изображение точечного источника  $A$

Окончательная оптимизация оптической системы виртуального дисплея в целом в среде Zemax может быть осуществлена по всем конструктивным параметрам, включая и параметры схемы формирования второго фронта записи ГК.

### Заключение

Представленные в настоящей статье пути и приёмы моделирования и расчёта ГК виртуального дисплея позволяют, с одной стороны, обеспечить высокую и не зависящую от полевого угла ДЭ, а с другой – в максимальной степени реализовать преимущества, открывающиеся благодаря замене на ГК комбинера на основе многослойного диэлектрического зеркала.

Оптимизация и поиск конструктивных параметров элементов оптической схемы формирования асферического фронта записи голограммы Денисюка, базирующиеся на лучевом расчёте, существенно облегчаются благодаря использованию промежуточной мо-

дели в виде бесконечно тонкого фазоадерживающего транспаранта.

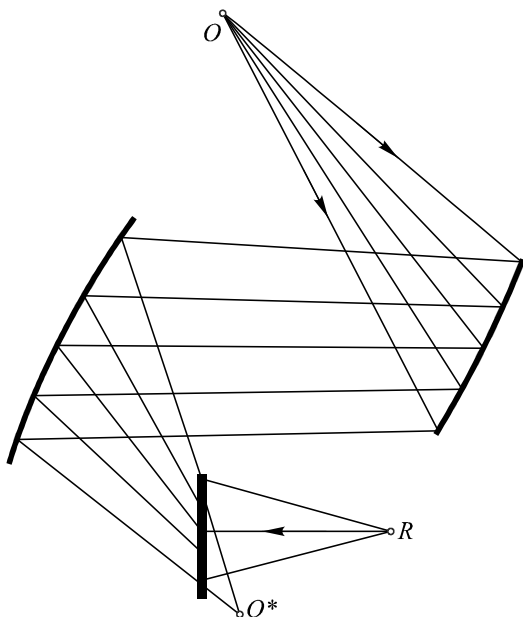


Рис. 5. Оптическая схема записи голограммы Денисюка, моделируемая поверхностью *Optically fabricated Hologram* в среде *Zemax*:  $R$  и  $O$  – центры расходящихся сферических фронтов;  $O^*$  – условный центр деформированного фронта, формируемого системой двух зеркал свободной формы

Вносимая им фазовая задержка, геометрия зеркал оптической схемы формирования асферического фронта записи голограммы и собственно модель голограммы Денисюка описываются в настоящей статье в форме принятой в среде *Zemax* для поверхностей *Binary1*, *Extended polynomial* и *Optically Fabricated Hologram* соответственно.

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, в рамках государственного задания вузу в сфере научной деятельности.

### Литература

1. Бахолдин, А.В. Оптические устройства виртуальных дисплеев / А.В. Бахолдин, В.Н. Васильев, В.А. Гримм, Г.Э. Романова, С.А. Смирнов // Оптический журнал. – 2013. – Т. 80(5). – С. 17-24.
2. Пат. 2057352 Российская Федерация G 02 B 5/32. Голографическая оптическая система отображения информации / Кузилин Ю.Е., Павлов А.П., Тютчев М.В., Ган М.А., Новосельский В.В., Душутин М.В., Куликов А.В.; заявитель и правообладатель Научно-исследовательский институт комплексных испытаний оптико-электронных приборов и систем Всероссийского научного центра "ГОИ им. С.И.Вавилова"; №92000936/28, заявл. 15.10.1992, опублик. 27.03.1996.
3. Ган, М.А. Широкоугольные оптические системы с комбинером на основе синтезированных объёмных голограмм для нашиваемых дисплеев / М.А. Ган, С.А. Щеглов, Я.М. Ган, А.С. Чертков // Оптический журнал. – 2008. – Т. 75(3). – С. 18-23.

4. Пат. 2057352 Российская Федерация G 02 B 27/00. Оптическая система нашиваемого коллиimatorного дисплея / Ган М.А., Бармичева Г.В., Старков А.А., Щеглов С.А., Ган Я.М.; заявитель и правообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие "Научно-производственная корпорация "Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова"; №2007146758/28, заявл. 10.12.2007, опублик. 27.04.2009, Бюл. № 12. – 9 с.: ил.
5. Одиноков, С.Б. Оптическая схема получения голографического индикатора для отображения знаково-символьной информации / С.Б. Одиноков, В.В. Маркин, Д.С. Лушников, А.С. Кузнецов, А.Б. Соломашенко, Е.А. Дроздова // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2012. – № 9. – DOI: 10.18698/2308-6033-2012-9-362.
6. Odiakov, S.B. Combined holographic optical elements for multicolor holographic screens and indicators / S.B. Odiakov, A.S. Kuznetsov, V.V. Kolyuchkin, E.A. Drozdova, A.B. Solomashenko // Journal of Physics: Conference Series. – 2015. – Vol. 584. – 012024.
7. Betin, A. A combination of computer-generated Fourier holograms and light guide substrates with diffractive optical elements for optical display and sighting system / A. Betin, S. Donchenko, M. Kovalev, S. Odiakov, A. Solomashenko, E. Zlokazov // Digital Holography & 3-D Imaging Meeting, OSA Technical Digest. – 2015. – DW2A.20.
8. Одиноков, С.Б. Комбинированные голограммные оптические элементы для индикаторов знаково-символьной информации / С.Б. Одиноков, А.Ю. Жердев, В.В. Колочкин, А.Б. Соломашенко // Компьютерная оптика. – 2014. Т. 38, № 4. – С. 704-709.
9. Cakmakci, O. Head-Worn Displays: A Review / O. Cakmakci, J. Rolland // Journal of display technology. – 2006. – Vol. 2(3). – P. 199-216.
10. Kress, B. Diffractive and holographic optics as combiners in Head Mounted Displays [Electronical Resource] / B. Kress. – URL: <http://www.cubeos.org/wearia/wp-content/uploads/2013/09/Bernhard-Kress-WearIA13.pdf> (Request Date 05.04.2016).
11. Brotherton-Ratcliffe, D. Analytical treatment of the polychromatic spatially multiplexed volume holographic grating / D. Brotherton-Ratcliffe // Applied Optics. – 2012. – Vol. 51(30). – P. 7188-7199.
12. Горноста́й, А.В. Метод расчёта дифракционного делителя пучков лазерного излучения со спектральной селекцией на основе бихромированной желатины / А.В. Горноста́й, С.Б. Одиноков // Компьютерная оптика. – 2016. – Т.40, № 1. – С. 45-50. – DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-1-45-50.
13. Vuzix\_Blade [Electronical Resource]. – URL.: [http://cyberpunkworld.net/news/vuzix\\_blade\\_novyj\\_displej\\_dlja\\_dopolnennoj\\_realnosti/2010-06-07-24](http://cyberpunkworld.net/news/vuzix_blade_novyj_displej_dlja_dopolnennoj_realnosti/2010-06-07-24) (Request Date 15.03.2016).
14. U.S. Patent 4,998,786 A G02B 27.01, G02B 27/00, G02B 5/32, G03H 1/04, 359/15, 359/22. Method of production holograms particularly for holographic helmet displays / Friesem A.A., Amitai Ya; Priority: 15.01.1988; Field: US 07/270,868, 14.11.1988; Pub. Date: 12.03.1991.
15. Грейсх, Г.И. Композиция и расчёт высоко разрешающих оптических систем с градиентными и дифракционными элементами / Г.И. Грейсх, Е.Г. Ежов, С.А. Степанов // Компьютерная оптика. – 2000. – Вып. 20. – С. 20-24.
16. ZEMAX: software for optical system design [Electronical Resource]. – URL.: <http://www.radiantzemax.com> (Request Date 15.03.2016).

### *Сведения об авторах*

**Грейсух Григорий Исаевич**, 1943 года рождения. В 1965 году окончил Пензенский политехнический институт по специальности «Радиотехника». Заслуженный работник высшей школы РФ, доктор технических наук (1990 год), профессор. Работает заведующим кафедрой физики и химии Пензенского государственного университета архитектуры и строительства. Является членом Европейского оптического общества (EOS) и Российского оптического общества им. Д.С. Рождественского. Г.И. Грейсух – специалист в области расчета оптических систем, дифракционной и градиентной оптики. В списке научных работ Г.И. Грейсуха более 130 статей, 3 монографии, 9 авторских свидетельств. E-mail: [grey@pguas.ru](mailto:grey@pguas.ru).

**Ежов Евгений Григорьевич**, 1977 года рождения. В 1999 году окончил Пензенский государственный университет по специальности «Радиотехника». Доктор физико-математических наук (2008 год), доцент. Работает профессором кафедры информационных систем и компьютерного моделирования Пензенского государственного университета архитектуры и строительства. Специалист в области расчета оптических систем, математического моделирования и защиты информации. В списке научных работ Е.Г. Ежова свыше 50 статей и учебник. E-mail: [grey@pguas.ru](mailto:grey@pguas.ru).

**Казин Сергей Владимирович**, 1988 года рождения. В 2010 году окончил Пензенский государственный университет архитектуры и строительства по специальности «Информационные системы и технологии». Кандидат физико-математических наук (2012 год), научный сотрудник кафедры физики и химии Пензенского государственного университета архитектуры и строительства. В списке научных работ С.В. Казина 12 публикаций. E-mail: [grey@pguas.ru](mailto:grey@pguas.ru).

**Степанов Сергей Алексеевич**, 1951 года рождения. В 1974 году окончил Куйбышевский государственный университет (ныне Самарский государственный университет) по специальности «Физика». Доктор физико-математических наук (1999 г.), профессор (2001 г.), работает профессором кафедры физики и химии Пензенского государственного университета архитектуры и строительства. Является членом Европейского оптического общества (EOS) и Российского оптического общества им. Д.С. Рождественского. С.А. Степанов – специалист в области расчета оптических систем, дифракционной и градиентной оптики. В списке научных работ С.А. Степанова более 80 статей, 2 монографии, 5 авторских свидетельств. E-mail: [asut@pguas.ru](mailto:asut@pguas.ru).

---

*Поступила в редакцию 21 марта 2016 г. Окончательный вариант – 12 апреля 2016 г.*

---

## **DESIGN OF A HOLOGRAPHIC COMBINER FOR A VIRTUAL DISPLAY**

*G.I. Greisukh<sup>1</sup>, E.G. Ezhov<sup>1</sup>, S.V. Kazin<sup>1</sup>, S.A. Stepanov<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> Penza State University of Architecture and Construction*

### **Abstract**

Ways and methods of modeling and calculating a holographic combiner for a virtual display are presented. On the one hand, they allow Denisyuk holograms with high diffraction efficiency independent of the field angle to be generated. On the other hand, they allow the advantages of the holographic combiner when compared with a multilayer dielectric mirror to be maximally realized. Optimization and search of the design parameters of elements of an optical setup for generating an aspherical wavefront for recording a Denisyuk hologram are based on ray tracing. These processes are greatly facilitated by the use of an intermediate model in the form of a thin transparency for phase delay. The phase delay of this transparency, the mirror geometry of the optical setup that forms the aspherical wavefront for recording the hologram, and the actual model of Denisyuk hologram in this article are described in the form adopted in the Zemax environment for surfaces such as Binary1, Extended polynomial and Optically Fabricated Hologram.

**Keywords:** virtual display, holographic combiner, diffraction efficiency, monochromatic aberrations, freeform surface.

**Citation:** Greisukh GI, Ezhov EG, Kazin SV, Stepanov SA. Design of a holographic combiner for a virtual display. *Computer Optics* 2016; 40(2): 188-93. DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-2-188-193.

**Acknowledgements:** The work was financially supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation in the framework of government Grants to Higher Education Institutions for Scientific Research.

### References

- [1] Bakholdin AV, Vasil'ev VN, Grimm VA, Romanova GE, Smirnov SA. Virtual-display optical devices. *Journal of Optical Technology* 2013; 80(5): 274-278. DOI: 10.1364/JOT.80.00274.
- [2] Kuzilin, JE, Pavlov AP, Tyutchev MV, Gan MA, Novoselskiy VV, Dustin VM, Kulikov AV. Holographic optical display system information. Patent RU 2057352, date of publication 27.03.1996.
- [3] Gan MA, Shcheglov SA, Gan YaM, Chertkov AS. Wide-angle optical systems with a combiner based on synthesized volume holograms for helmet-mounted displays. *Journal of Optical Technology* 2008; 75(3): 151-155. DOI: 10.1364/JOT.75.000151.
- [4] Gan MA, Barmicheva VG, Starkov AA, Shcheglov SA, Gan YaM. The optical system of the collimator helmet-mounted display. Patent RU 2353958 C1, date of publication 27.04.2009, bull. 12.
- [5] Odinov SB, Markin VV, Lushnikov DS, Kuznetsov SA, Solomchenko AB, Drozdova EA. Optical scheme for holographic display iconic-character information [In Russian]. *Engineering journal: science and innovation* 2012; 9. DOI: 10.18698/2308-6033-2012-9-362.
- [6] Odinov SB, Kuznetsov AS, Kolyuchkin VV, Drozdova EA, Solomashenko AB. Combined holographic optical elements for multicolor holographic screens and indicator. *Journal of Physics: Conference Series* 2015; 584: 012024.
- [7] Betin A, Donchenko S, Kovalev M, Odinov S, Solomashenko A, Zlokazov E. A combination of computer-generated Fourier holograms and light guide substrates with diffractive optical elements for optical display and sighting system. *Digital Holography & 3-D Imaging, Meeting, OSA Technical Digest* 2015; DW2A.20.
- [8] Odinov SB, Zherdev AY, Kolyuchkin VV, Solomashenko AB. Combined holographic optical elements for character/symbol display devices. *Computer optics* 2014; 38(4): 704-709.
- [9] Cakmakci O, Rolland J, Head-Worn Displays: A Review. *Journal of display technology* 2006; 2(3): 199-216.
- [10] Kress B. Diffractive and holographic optics as combiners in Head Mounted Displays. Source: <http://www.cubeos.org/wearia/wp-content/uploads/2013/09/Bernhard-Kress-WearIA13.pdf>.
- [11] Brotherton-Ratcliffe D. Analytical treatment of the polychromatic spatially multiplexed volume holographic grating. *Applied Optics* 2012; 51(30): 7188-7199. DOI: 10.1364/AO.51.007188.
- [12] Gornostay AV, Odinov SB. A method to design a diffractive laser beam splitter with color separation based on bichromated gelatin. *Computer Optics* 2016; 40(1): 45-50. DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-1-45-50.
- [13] Vuzix\_Blade. Source: [http://cyberpunkworld.net/news/vuzix\\_blade\\_novyj\\_displej\\_dlja\\_dopolnennoj\\_realnosti/2010-06-07-24](http://cyberpunkworld.net/news/vuzix_blade_novyj_displej_dlja_dopolnennoj_realnosti/2010-06-07-24).
- [14] Friesem AA, Amital Ya. Method of production holograms particularly for holographic helmet displays. Patent US 4,998,786 A, Publish Date 12.03.1991.
- [15] Greisukh GI, Ezhov EG, Stepanov SA. Composition and design of high-resolution optical systems with gradient and diffractive elements [In Russian]. *Computer optics* 2000; 20: 20-24.
- [16] ZEMAX: software for optical system design. Source: <http://www.radiantzemax.com>.

### Authors' information

**Grigoriy Isaevitch Greisukh** (b. 1943) graduated (1965) from Penza Politechnical Institute, majoring in Radio Engineering. He is the deserved worker of the Russian Higher School. He received his Doctor in Technical (1990) degrees from Leningrad Institute of Precision Mechanics and Optics. He is chief of the Physics and Chemistry department of Penza State University of Architecture and Construction. G.I. Greisukh is EOS and D.S. Rozhdestvensky Optical Society member. His current research interests include design of optical system, diffractive and gradient-index optics. He is co-author of 130 scientific papers, 3 monographs, and 9 inventions. E-mail: [grey@pguas.ru](mailto:grey@pguas.ru).

**Eugeniy Grigorievich Ezhov** (b. 1977) graduated (1981) from the Penza State University majoring in Radio Engineering. He received his Doctor in Physics & Maths (2008) degrees from Samara State Aerospace University. His current research interests include design of optical systems, mathematical modeling, and data security. He is co-author over 50 scientific papers and tutorial. E-mail: [grey@pguas.ru](mailto:grey@pguas.ru).

**Sergey Vladimirovich Kazin** (b. 1988) graduated (2010) from the Penza State University, of Architecture and Construction majoring in Information Systems and Technologies. He received his Candidate in Physics & Maths (2012) degrees from Samara State Aerospace University. He is researcher of the Physics and Chemistry department of Penza State University of Architecture and Construction. He is co-author of 12 publications. E-mail: [grey@pguas.ru](mailto:grey@pguas.ru).

**Sergei Alekseevich Stepanov** (b. 1951) graduated (1974) from Kuibyshev State University (presently, Samara State University), majoring in Physics. He received his Doctor in Physics & Maths (1999) degrees from Samara State Aerospace University, professor (2001). He is professor in the Physics and Chemistry department of Penza State University of Architecture and Construction. He is a EOS and D. S. Rozhdestvensky Optical Society member. His current research interests include design of optical system, diffractive and gradient-index optics. He is co-author of more 80 scientific papers, 2 monographs, and 5 inventions. E-mail: [asut@pguas.ru](mailto:asut@pguas.ru).

*Received March 21, 2016. The final version – April 12, 2016.*