

## ЗАПИСЬ РАДУЖНЫХ ГОЛОГРАММ В ГОЛОГРАФИИ ДЕНИСЮКА

## RECORD RAINBOW HOLOGRAMS IN DENISYUK HOLOGRAMS

*Макалада голограмманы жазуу схемасы каралган, ал схема Габордун, Бнетондун жана Денисюктун голограммаларынын касиеттерин бириктирет. Мындай голограмманы жазуу схемасынын негизинде жылчыксыз ыкча менен жазуу методу жатат. Бул голограммаларга чагылган жарыкта жана жарып өткөн жарыкта байкоо жүргүзгөндөгү касиеттери каралды.*

**Ачык сөздөр:** радугалык голограмма, мейкиндик, Габор, Денисюк, ак жарык, күзгү жана диффузиялык компоненттер.

*В статье рассматривается схема записи голограммы, объединяющей свойства голограмм Габора, Бентона и Денисюка. В основе схемы записи такой голограммы лежит метод записи радужных голограмм бесщелевым способом. Рассмотрены свойства таких голограмм при наблюдении в отраженном и проходящем свете.*

**Ключевые слова:** радужная голограмма, пространство, Габор, Денисюк, белый свет, зеркальные и диффузные компоненты.

*The method of record of hologram combining properties of Gabor, Benton and Denisyuk holograms is considered in the paper. The properties of these holograms are considered for cases of reflected and transmitted light.*

**Keywords:** rainbow hologram, space, gabor, denisyuk, white light, specular and diffuse components.

В классификации голограмм голограмма Денисюка занимает особое место [1]. При записи этой голограммы предметная и опорная волны падают на записывающую среду с противоположных сторон. Такая голограмма называется толстослойной или отражательной. Во всех других голограммах записывающие волны падают на поверхность среды с одной стороны. Такие голограммы называются поверхностными или тонкослойными. В работах [2-3] была показана возможность получения голограммы, объединяющей свойства голограмм Габора, Лейта-Упатниекса и Бентона.

Возникает вопрос можно ли объединить голограмму Денисюка с другими голограммами, которые по классификации не относятся к толстослойным?

Возможность такого объединения дает голограмма, записанная на основе метода бесщелевой радужной голографии [2].

Схему записи голограммы во встречных пучках дополним осевой схемой записи голограммы Габора (рис.1). Опорный пучок света  $A$  проходит через толстослойную среду  $H$  и падает на объект  $O$ . Объект подбираем таким образом, чтобы в свете, отраженном от него, присутствовали зеркальная и диффузная компоненты. Тогда, согласно Габору, волну, отраженную объектом  $O$ , можно представить как сумму [4]:

$$\vec{a}(x, y) = \vec{a}_0 + \vec{a}_1(x, y) = \vec{a}_0 \exp(-i\varphi_0) + \vec{a}_1(x, y) \exp(-i\varphi(x, y)) \quad (1)$$

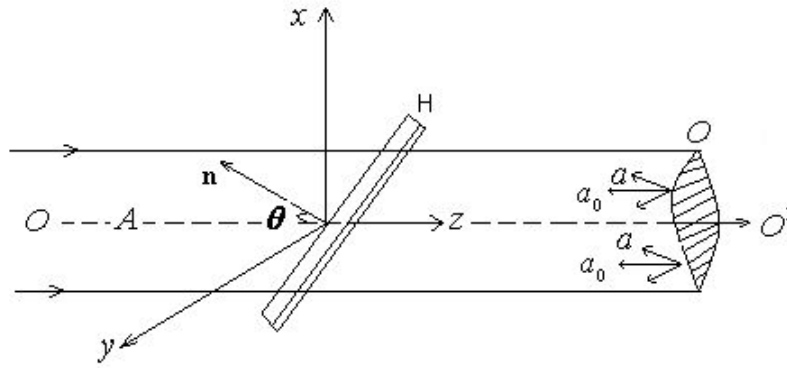


Рис.1. Схема записи объединенной голограммы

Здесь  $a_0$  и  $a_1$  соответствуют зеркальной и диффузной компонентам отраженной от объекта  $O$  волны.

Падающую слева на фотопластинку  $H$  опорную волну представим в виде  $\vec{A} = A \exp(i\psi)$ , а волны, падающие на эту пластинку справа, обозначим через  $a(x, y)$ . Здесь  $\vec{a}_0 = a_0 \exp(-i\varphi_0)$  служит второй опорной волной, а  $\vec{a}_1 = a_1 \exp(-i\varphi_1)$  представляет собой диффузную компоненту. Для удобства наблюдения восстановленных с голограммы изображений фотопластинку  $H$  поместим под некоторым углом  $\theta$  относительно оптической оси  $OO'$  ( $\theta$  - угол между оптической осью и нормалью  $n$  к плоскости поверхности  $x$  у пластинки  $H$ ). Тогда интенсивность света в плоскости фотопластинки равна

$$\begin{aligned}
 I(x, y) &= \left| A \exp(i(\psi + \gamma)) + a_0 \exp(-i(\varphi_0 + \gamma)) + a_1 \exp(-i(\varphi_1 + \gamma)) \right|^2 = \\
 &= A^2 + a_0^2 + a_1^2 + 2a_0a_1 \cos(\varphi_1 + \varphi_0) + 2Aa_1 \cos(2\gamma + \psi + \varphi_1) + \\
 &\quad + 2Aa_0 \cos(2\gamma + \psi + \varphi_0),
 \end{aligned} \tag{2}$$

где  $\gamma = 2\pi \alpha x$  - пространственная частота ( $\alpha = \frac{\sin \theta}{\lambda}$ ),  $\lambda$  - длина записывающей волны,  $A^2$  - фоновая засветка, и  $a_0^2$  - когерентный фон,  $a_1^2$  - размытое негативное изображение объекта.

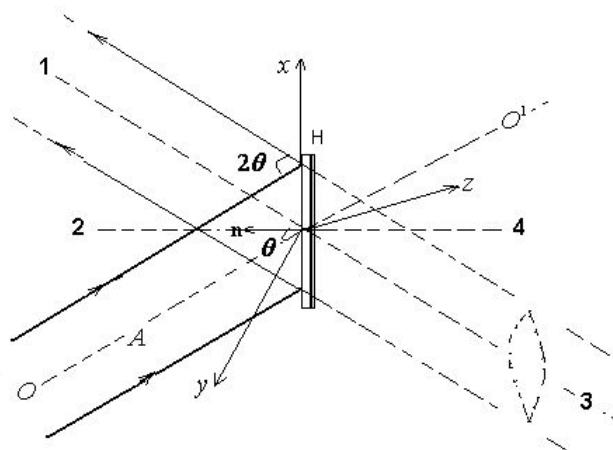


Рис. 2. Схема восстановления изображений с голограммы Н

В данной голограмме присутствуют три интерференционных члена, описывающие:

1.  $2Aa_1 \cos(2\gamma + \psi + \varphi_1)$  - голограмму Денисюка, записанную в толщине фотослоя (объемная).

2.  $2a_0a_1 \cos(\varphi_1 + \varphi_0)$  - осевую голограмму Габора, записанную на поверхности фотослоя (со стороны предмета) и по глубине фотослоя в направлении соосной опорной волны  $a_0$ .

3.  $2Aa_0 \cos(2\gamma + \psi + \varphi_0)$  - регулярную голографическую решетку по объему (объемная регулярная голографическая решетка). Это объемная регулярная голографическая решетка обладает как отражательной, так и пропускающей способностью. Необходимые условия для записи этих голограмм с достаточной дифракционной эффективностью задаются неравенствами

$$A \geq a_0/2, \quad a_0 \geq a_1/2$$

Рассмотренная голограмма обладает следующими свойствами:

1. При освещении голограммы параллельным пучком белого света, совпадающим по направлению с исходной опорной волной  $A$ , в отраженном свете в направлении под углом  $2\theta$  (положение наблюдателя 1) видно мнимое изображение объекта  $O^1$  (рис.3). При наклоне голограммы в сторону уменьшения угла мнимое изображение становится прозрачным, а при повороте голограммы на угол  $+\theta$  мнимое изображение переходит в действительное (положение 2 наблюдателя). Оно прозрачно и окрашено в цвета радуги (рис. 4). В промежуточных положениях наблюдателя, за передним изображением видны края двух других изображений. Все эти три изображения лежат на одной оси. Для того, чтобы увидеть их необходимо сместить точку наблюдения в сторону от оси, как это делал Д. Габор [5] для наблюдения восстановленных изображений. Но Габор мог увидеть только одно из двух изображений – действительное или мнимое. Переднее или заднее изображения, в зависимости от положения наблюдателя, будет или мнимым или действительным. Изображение, находящееся между ними, мы назвали сфокусированным. Сделать четкие снимки всех трех изображений одновременно не удалось. При настройке фотоаппарата на переднее изображение заднее изображение исчезает. Поэтому видны только силуэты всех трех изображений.



Рис.3. Фотография мнимого изображения объекта от голограммы в отраженном свете (положение наблюдателя 1).

Рис. 4. Фотография действительного изображения объекта в отраженном свете (положение наблюдателя 2).

Если наблюдение вести в прямом свете, проходящем сквозь голограмму (0-й порядок дифракции), то восстановленное изображение, в зависимости от точки наблюдения, мнимое (рис.5),или действительное (рис.6).



Рис.5. Фотография действительного изображения объекта в проходящем свете (положение наблюдателя 3).

Рис. 6. Фотография мнимого изображения объекта в проходящем свете (положение наблюдателя 4).

Эти изображения слегка прозрачны и окрашены в цвета радуги. В промежуточных положениях наблюдателя, за передним изображением видны края двух других восстановленных изображений [5].

2. При освещении голограммы параллельным пучком белого света, совпадающим по направлению сопряженной исходной опорной волной, в отраженном свете в направлении под углом  $2\theta$  мы увидим действительное изображение объекта. При изменении точки наблюдения за этим изображением видны края сфокусированного и мнимого изображений. При изменении точки наблюдения действительное изображение постепенно становится прозрачным, за ним появляется мнимое изображение. При этом за мнимым изображением наблюдается край еще одного изображения. При повороте голограммы на угол  $+\theta$ , действительное изображение превращается в мнимое, окрашенное в цвета радуги. В проходящем через голограмму свете, в зависимости от положения наблюдателя, мы также увидим мнимое или действительное изображения объекта. Превращение действительного изображения объекта в мнимое или, наоборот, мнимого в действительное, при повороте голограммы на угол  $\theta$ , объясняется тем, что это равносильно замене исходной волны на волну, сопряженную ей. Соответственно, при этом восстанавливаемая вторая опорная волна меняется на сопряженную ей волну.

### Список литературы

1. Денисюк Ю. Н. Голограмма с записью в трехмерной среде как наиболее совершенная форма изображения [Текст] Ю.Н. Денисюк, В.И. Суханов // Успехи физических наук. – 1970. - вып. №6. – с. 176-181.

2. Марипов А. Объединенная голограмма Габора, Лейта, Денисюка и Бентона [Текст] / А. Марипов, Н.М. Кулмурзаев // Известия КТУ. - Бишкек: 2004. - № 6. - с. 55- 59.
3. Maripov A., Ismanov J. The Talbot Effect (a Self-Imaging Phenomenon) in Holography. J. Appl.Phys., 1993. - 74(8).- p.7039-7044.
4. Gabor D., Diffraction Microscopy. - Journ. Appl. Phys.1948.Vl.19. - P.1191-1198.
5. Марипов А. Классическая и современная голография. Состояние и перспективы ее развития [Текст] А. Марипов, Н.М. Кулмурзаев, К.С. Омурзаков // Международная научно-техническая конференция «Инновации в образовании, науке и технике» /// Известия КГТ. – Бишкек: 2006. - № 9. - т.П. - с.151-153.