

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИФРАКЦИОННЫХ РЕШЕТОК ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ СЕЛЕКТОГРАММ

*Н.М. Ганжерли*

Ранее нами была проведена серия экспериментов по записи и реконструкции трехмерных изображений объектов с помощью метода так называемых селектограмм [1-3]. В отличие от голограммы селектограмма записывается с использованием протяженного источника света. В частности, такой источник может быть сформирован из света, рассеянного самим регистрируемым объектом [3]. Поскольку в этом случае референтное излучение автоматически когерентно рассеянному объектом излучению, можно создавать условия для записи на селектограмме объемного изображения светом, характеризующимся низкой степенью когерентности [3]. Ранее было предложено формировать протяженный референтный источник света из объектной волны с помощью дифракционной решетки, расположенной перед объемной светочувствительной средой [4]. Однако реализация такой схемы записи связана с необходимостью создания толстослойной светочувствительной среды, что является весьма сложной проблемой.

В настоящей статье представлены результаты экспериментов, выполненных на основе метода псевдоглубоких голограмм, в котором запись в толстослойной среде заменена записью на тонкослойной наклонной фотопластинке [5]. При этом нами была проверена возможность записи по упомянутому выше методу расщепления объектной волны с помощью одной дифракционной решетки, установленной перед наклонной фотопластинкой, а также предложен и опробован метод записи с помощью специального интерферометра, состоящего из двух последовательно установленных идентичных дифракционных решеток (см. рис. 1, а, б).

Схема записи и реконструкции безопорной селектограммы для случая расщепления объектной волны с помощью дифракционной решетки представлена на рис. 1, а. Рассеянное диффузором  $D$  излучение лазера освещает объект-транспарант  $O$ . Излучение объекта, фильтруемое входной горизонтальной щелью  $S_1$ , попадает на находящуюся на фо-

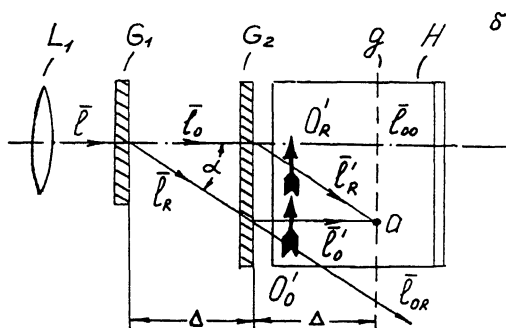
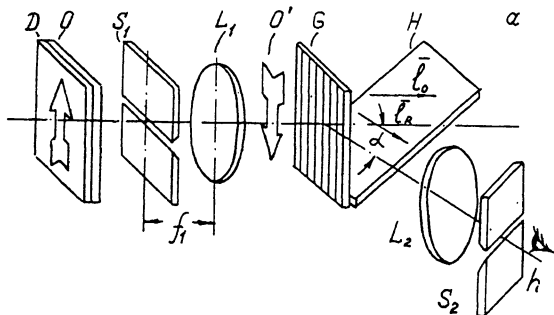


Рис. 1. Схема записи и реконструкции безопорной селектограммы для случая расщепления объектной волны с помощью одной дифракционной решетки (а) и с помощью интерферометра (вид сверху на фрагмент схемы) (б).  $D$  — диффузор;  $O$  — объект-транспарант;  $S_1$  и  $S_2$  — входная и выходная фильтрующие щели;  $L_1$  и  $L_2$  — линзы;  $O'$ ,  $O'_O$ ,  $O'_R$  — изображения объекта;  $G$ ,  $G_1$  и  $G_2$  — дифракционные решетки;  $H$  — наклонная фотопластинка;  $l_0$  и  $l_R$  — лучи, дифрагировавшие на решетке  $G_1$ ,  $l'_0$  и  $l'_R$  — лучи, которые, претерпев дифракцию на решетке  $G_2$ , осуществляют запись селектограммы;  $g$  — плоскость нулевой разности фаз интерферирующих пучков.

кусном расстоянии  $f_1$  от этой щели линзу  $L_1$ , формирующую систему горизонтально распространяющихся пучков, которые образуют изображение объекта  $O'$  вблизи наклонной фотопластинки  $H$ . Вплотную к торцу фотопластинки, перпендикулярно к оптической оси системы установлена голографическая дифракционная решетка  $G$ , которая расщепляет объектную волну на две эквивалентные компоненты:  $l_0$ , распространяющуюся по прежнему направлению, и  $l_R$ , отклоненную на угол  $\alpha$ , определяемый пространственным периодом дифракционной решетки  $G$ . Результат интерференции этих компонент записывается на фотопластинке  $H$ .

При рассмотрении процесса реконструкции селектограммы следует учитывать, что обе записанные на ней компоненты объектной волны  $l_0$  и  $l_R$  являются по существу

эквивалентными. Наиболее просто реконструировать компоненту  $I_R$ . В этом случае объект-транспарант  $O$  и дифракционная решетка  $G$  удаляются и голограмма освещается горизонтальной системой лучей, сформированных из излучения диффузора  $D$  линзой  $L_1$  (см. рис. 1, *a*). Реконструированная голограммой система лучей попадает на линзу  $L_2$ , оптическая ось которой совпадает с направлением дифрагированного порядка  $I_R$ . В фокальной плоскости этой линзы установлена выходная фильтрующая щель  $S_2$ , положение которой совпадает с изображением входной щели  $S_1$ , сформированным дифракционной решеткой  $G$  и линзой  $L_2$  при удаленной голограмме  $H$ .

Реконструированное голограммой излучение образует в фокальной плоскости линзы  $L_2$  размытое пятно, в котором представлены как компоненты, соответствующие взаимодействию с реальной глубокой голограммой, так и так называемые интермодуляционные компоненты, которые отсекаются щелью  $S_2$ . Проходящее через щель излучение образует трехмерное изображение объекта, воспринимаемое наблюдателем  $h$ .

Используемые в эксперименте голографические дифракционные решетки регистрировались по несимметричной схеме двумя плоскими волнами, пересекающимися под углом  $20^\circ$ , причем один из пучков падал нормально на поверхность светочувствительного слоя. В качестве регистрирующей среды использовались светочувствительные фотополимерные пленки фирмы "Дюпон" HRF-7-20 толщиной 20 мкм. За счет трехмерного характера записи минус первый порядок дифракции на решетках был подавлен. В качестве объекта был выбран транспарант диаметром 20 мм с изображением летучих мышей (рис. 2, *a*). Объект освещался излучением гелий-неонового лазера ( $\lambda = 633$  нм). Угол наклона фотопластинки по отношению к плоскости распространения лучей был равен  $18^\circ$ . Селектограммы регистрировались на высокоразрешающих голографических пластинках ПФГ-03.

Фотография восстановленного селектограммой изображения приведена на рис. 2, *б*. Об объемном характере изображения свидетельствовал тот факт, что изображение было локализовано в пространстве в той же плоскости, где объект-транспарант находился при регистрации. При удалении фильтрующей щели  $S_2$  изображение полностью размывалось. Этот факт подтвердил то, что изображение было сформировано посредством селекции излучения из непрерывного фона глубокими решетками наклонной голограммы. Разрешение восстановленного изображения следует

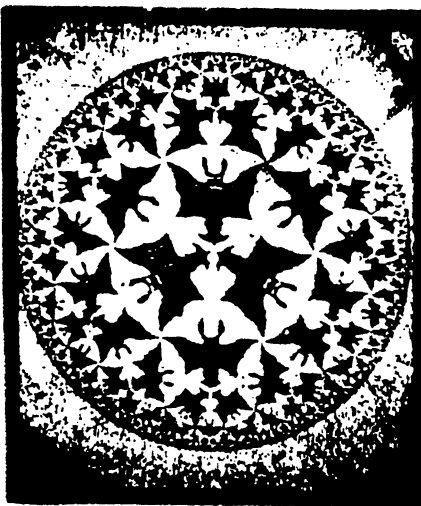


Рис. 2. Результаты эксперимента по регистрации изображений когерентным излучением с помощью безопрной селектограммы и дифракционной решетки: а — объект-транспарант с изображением одной из графических работ художника М.К. Эшера; б — изображение, восстановленное селектограммой излучением гелий-неонового лазера. Ширина выходной фильтрующей щели 2 мм.

признать вполне достаточным для визуального восприятия, если учесть размер объекта.

Исследованная схема не может быть использована для записи безопрной селектограммы в случае, когда когерентность рассеянного объектом излучения ограничена, поскольку область, где накладываются и интерферируют с нулевой разностью фаз, вплотную прилегает к решетке  $G$ . Вместе с тем очевидно, что, когда запись осуществляется по методу псевдоглубоких голограмм, решетка, характеризующаяся нулевой разностью фаз, физически не может быть помещена в середину наклонной фотопластинки. В связи с этим нами была опробована схема записи селектограммы, в которой расщепление лучей объекта осуществлялось с помощью интерферометра, состоящего из двух последовательно установленных идентичных дифракционных решеток. На рис. 1, б представлен вид сверху на фрагмент модифицированной схемы. В этом случае решетка  $G_1$  расщепляет излучение объекта на две компоненты  $I_0$  и  $I_R$ , а решетка  $G_2$  расщепляет каждую из них еще на две — дифрагированную и недифрагированную. Дифрагированные на решетке  $G_2$  компоненты  $I'_R$  и  $I'_0$  снова сходятся в точке  $a$  с разностью хода, равной нулю. Лучи  $I'_0$  и  $I'_R$  представляют собой

центральные лучи пучков, формирующих изображения  $O'_O$  и  $O'_R$  объекта в ветвях интерферометра. Каждой паре таких лучей соответствуют другие точки, в которых разность хода между лучами этой пары равна нулю. Все эти точки лежат в плоскости  $g$ , которая отстоит от решетки  $G_2$  на расстояние  $\Delta$ , равное расстоянию между решетками  $G_1$  и  $G_2$ . Таким образом, интерферометр переносит плоскость, в которой разность фаз интерферирующих пучков равна нулю, в центральную часть наклонной фотопластинки.

Нами был проведен эксперимент по регистрации селектограммы излучением с ограниченной степенью пространственной когерентности, для чего диффузор  $D$  перемещался во время экспозиции в горизонтальном направлении. Взаимная когерентность излучения точек объекта при этом нарушается и все голограммы, записанные в результате перекрестного взаимодействия излучения разноименных точек объекта, стираются. Сохраняются только те голограммы, которые записывает каждая из точек объекта после того, как ее излучение было раздвоено интерферометром.

Эксперимент показал, что в этом случае вместо целостного объекта голограмма восстанавливает узкую горизонтальную полоску, интенсивность которой изменяется так, что можно предположить, что эта полоска изображает одно из горизонтальных сечений объекта. Анализируя полученный результат, мы пришли к выводу, что голограмма в этом случае записалась только вдоль линии пересечения наклонной фотопластинки с плоскостью нулевой разности фаз интерферирующих лучей. Мы также провели эксперимент, когда на одной фотопластинке записывалось несколько голограмм, соответствующих различным положениям плоскости нулевой разности фаз. Для этого интерферометр как целое последовательно перемещался между экспозициями из одного положения в другое, все остальные элементы установки оставались при этом неподвижными. Восстановленное изображение представляло собой ряд светящихся горизонтальных полосок, по-разному модулированных по яркости. Сравнение этого изображения с исходным объектом показало, что каждая из указанных полосок соответствовала одному из горизонтальных сечений зарегистрированного объекта подобно тому, как каждая из строк на телевизионном экране является частью представленного на нем изображения.

Пользуюсь случаем выразить благодарность Ю.Н. Денисюку за обсуждение результатов экспериментов, а также С.А. Писаревской за изготовление дифракционных решеток.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований.

## Список литературы

- [1] Денисюк Ю.Н. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 2. С. 15–21.
- [2] Denisjuk Yu.N., Ganzherli N.M. // Opt. Engin. 1993. V. 32. N 5. P. 958–962.
- [3] Денисюк Ю.Н., Ганжерли Н.М. Оптика и спектроскопия. 1993. Т. 75. В. 5. С. 1092–1108.
- [4] Денисюк Ю.Н. Письма в ЖТФ. 19957 Т. 21. В. 2. С. 51–57.
- [5] Денисюк Ю.Н. // ЖТФ. 1990. Т. 60. В. 6. С. 59–66.

Поступило в Редакцию  
1 февраля 1995 г.

---