

*Письма в ЖЭТФ, том 13, стр. 443 – 446*

*20 апреля 1971 г.*

## **О ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ**

*В. А. Зубов, А. В. Крайский, Т. И. Кузнецова*

Целью большинства работ по голографии является получение статических изображений неподвижных объектов. В тех же случаях, когда объект существенно перемещается за время экспозиции, принимаются специальные меры (см. [1]), направленные на то, чтобы перемещения объекта не ухудшали четкость изображения. Однако можно стремиться

не к исключению перемещений, а к тому, чтобы с помощью голографии записать сам процесс движения. В данной работе предлагается способ непрерывной записи временных изменений волнового фронта. Способ основан на использовании специально сформированного опорного пучка.

Пусть на фотопластинку падает плоская волна (сигнал), направленная перпендикулярно пластинке. Поле волны на пластинке имеет вид

$$E(t) = \mathcal{E}(t) \exp[-i\omega t].$$

На ту же пластинку направляется вспомогательное излучение (опорный пучок). В отличие от обычной голографии опорный пучок не является монохроматическим: частота излучения меняется линейно по его сечению. В плоскости пластинки поле опорного пучка имеет вид:

$$\exp[-i\omega t + i\frac{\omega}{c} x \sin \alpha + i\alpha x t \cos \alpha]. \quad (1)$$

Здесь  $\alpha$  — угол между опорным пучком и нормалью к пластинке. Существенной характеристикой опорного пучка является произведение константы  $\alpha$  — скорости изменения частоты по поперечному сечению — и ширины пучка  $D$ . Величина  $\alpha D$  дает полное изменение частоты по всему поперечному сечению, эта величина должна охватывать необходимый спектр частот исследуемого сигнала.

Совместное действие исследуемого сигнала и опорного дает на фотопластинке (с точностью до множителя пропорциональности) почернение

$$S(x) = S_0 + \int \mathcal{E}(t') \exp[-i\alpha x t' \cos \alpha] dt' + \text{компл. сопр.}, \quad (2)$$

где  $S_0$  не зависит от  $x$ . Таким образом, пропускание содержит информацию о фурье-образе исследуемого сигнала (второе слагаемое в формуле (2)). Подчеркнем, что здесь регистрируются временные фурье-компоненты.

При воспроизведении сигнала выполняется обратное преобразование Фурье. На фотопластинку направляется восстанавливающий световой пучок, который формируется по тому же принципу, что и опорный, но возможно, с другой скоростью изменения частоты по сечению пучка. Поле восстанавливающей волны в плоскости пластинки имеет вид

$$\exp[-i\omega t + i\frac{\omega}{c} x \sin \alpha + i b x t \cos \alpha].$$

При этом в дальней зоне за пластинкой под нулевым углом будет наблюдаться поле вида

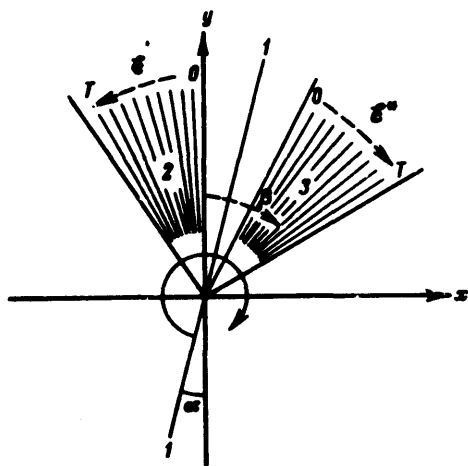
$$\tilde{\mathcal{E}}\left(\frac{b}{a}t\right) \exp[-i\omega t].$$

Функция  $\tilde{\mathcal{E}}$  не точно совпадает с исходным сигналом  $\mathcal{E}$ , а является сверткой исходного сигнала  $\mathcal{E}$  с некоторой аппаратной функцией ширины  $\Delta t = (\alpha D)^{-1}$ . Таким образом, исходный сигнал воспроизводится с временным разрешением  $\Delta t$ . Подчеркнем, что сигнал при восстановлении растягивается во времени в отношении  $a/b$ .

Расчет показывает, что при восстановлении поле в дальней зоне имеет вид

$$\tilde{E}_z \left( \frac{b}{a} t - \frac{\omega}{c} \frac{1}{a} \frac{\sin \beta}{\cos \alpha} \right) \exp[ - i \omega t ] ,$$

где  $\beta$  – угол наблюдения. Сигнал занимает некоторый интервал углов (см. рисунок), причем разным углам  $\beta$  соответствуют разные моменты времени сигнала. В частности, при использовании монохроматического восстанавливающего пучка ( $b = 0$ ), можно получить статическую картину, где временная зависимость переведена в угловую.



Схематическое изображение восстановленного поля в дальней зоне: 1 – начальное направление восстанавливающего пучка, 2 – восстановленный сигнал в начальный момент восстановления, 3 – сопряженный сигнал в начальный момент восстановления. Картина поворачивается в направлении, указанном сплошной стрелкой

Сопряженный сигнал в каждый момент времени расположен симметрично основному сигналу относительно распространения недифрагированного пучка и имеет вид

$$\tilde{E}_z^* \left( - \frac{b}{a} t + \frac{\omega}{c} \frac{1}{a} \frac{\sin \beta - 2s \sin \alpha}{\cos \alpha} \right) \exp[ - i \omega t ] .$$

Опорный пучок с необходимыми свойствами может быть сформирован из излучения одномодового лазера с помощью вращающегося зеркала или специальной электрооптической ячейки. Электрооптическая ячейка должна быть изготовлена из двух призм, причем одна призма дает увеличение коэффициента преломления, а другая – уменьшение его приложении напряжения. При электрооптическом коэффициенте  $r = 10^{-7}$  см/в (кристалл KDP при температуре  $-100^\circ\text{C}$ ) и напряжении  $10^4$  в с помощью ячейки сантиметровых размеров можно получить отношение полной длительности  $T$  к разрешаемому интервалу  $T/\Delta t = 1000$ . При этом, в частности, можно рассчитывать на временное разрешение  $\Delta t \approx 10^{-12}$  сек (см. [2]).

Выше рассматривалась запись функций, зависящих только от одной переменной – времени, и в соответствии с этим записанная на голограмме информация (почернение) представляла собой функцию только одной

координаты  $x$ . Очевидным обобщением такого метода является использование двух координат на фотопластинке, при этом по  $x$  попережнему записывается временная информация, а по  $y$  — зависимость сигнала от одной пространственной координаты. Еще более важной представляется задача записи функции двух пространственных координат и времени. Укажем, что такая запись возможна при использовании объемной фотоэмульсии и опорного пучка, рассмотренного выше типа. Следует подчеркнуть, что при этом записывается как амплитуда, так и фаза регистрируемого светового поля. Это означает, что в результате восстановления можно получить объемное изображение, зависящее от времени.

Физический институт  
им. П.Н.Лебедева  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
5 марта 1971 г.

### Литература

- [ 1 ] Ю.Н.Денисюк, Д.И.Стаселько, В.П.Минина. Оптико-механическая промышленность, №11, 73, 1968.
  - [ 2 ] В.А.Зубов, А.В.Крайский, Т.И.Кузнецова. Авторская заявка №1373640/25 — 26; Аннотации докладов, представленных на V Всесоюзную конференцию по нелинейной оптике, Изд. МГУ, 1970, стр. 155.
-