

Особенности распределения яркости голограмм Денисюка

Воробьев С. П.

Голографическая студия, ВВЦ, Москва
holos@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Метод записи голограмм Ю. Н. Денисюка отличается простотой и безупречным качеством голографического изображения. Однако распределение яркости изображения в вертикальной плоскости, как правило, бывает неравномерным. В докладе объясняется, что причиной этого эффекта является поляризация записывающего пучка и предлагается способ устранения неравномерности распределения яркости изображения в зоне наблюдения.

1. ВВЕДЕНИЕ

Схема записи голограмм, разработанная Ю. Н. Денисюком [1], является одной из самых распространенных в изобразительной голографии и обеспечивает очень высокое качество изображения по сравнению с другими схемами. Энергетически эта схема так же выгодна, так как голограмма и объект освещаются одним и тем же пучком лазера.

Однако, яркость изображения, восстановленного голограммой Денисюка имеет характерное распределение в вертикальной плоскости: при наблюдении голограммы сверху яркость изображения выше, чем при наблюдении снизу. Это связано с тем, что в большинстве голографических схем для устранения переотражений в стеклянной подложке фотопластинки используют опорный пучок, поляризованный в плоскости падения и падающий на фотопластинку под углом Брюстера (около 56°). При этом направления записывающих пучков и ориентация их электрических векторов, как правило, не совпадают. Это приводит к уменьшению векторной суммы общего светового поля в определенных направлениях распространения и, в конечном счете, ослаблению яркости голографического изображения в этих направлениях. Для устранения неравномерности яркости изображения в вертикальной плоскости, для записи голограммы можно использовать опорный пучок с круговой поляризацией или линейной, поляризованной перпендикулярно плоскости падения. В этом случае величина векторной суммы световых полей от опорного и сигнального пучков не будет зависеть от угла между пучками и яркость изображения будет постоянна при любом угле наблюдения. Для того, чтобы избежать переотражений в фотопластинке, неизбежно появляющиеся при прохождении пучка с круговой поляризацией, на фотопластинку помещают оптический клин, с использованием иммерсионной жидкости.

2. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

Согласно общему уравнению интерференции двух волн [2], интерференционный член I_I может быть записан в виде:

$$I_I = 2a_1a_2\text{Cos}(\phi), \quad (1)$$

где a_1, a_2 – амплитуды интерферирующих волн, ϕ - разность фаз.

Выражение (1) записано для случая, когда обе волны поляризованы в одном направлении. В противном случае выражение (1) имеет другой вид:

$$I_I = 2a_1a_2\text{Cos}(\alpha)\text{Cos}(\phi) \quad (2)$$

где α - угол между электрическими векторами интерферирующих волн.

При линейном процессе записи голограммы и отсутствии деполяризации пучков в голографической схеме, можно считать, что яркость восстановленного изображения V_H будет иметь такую же зависимость от угла α :

$$V_H = K\text{Cos}(\alpha), \quad (3)$$

где K – коэффициент пропорциональности.

На рис. 1 показана схема наблюдения отражающей голограммы с трех различных направлений: перпендикулярно плоскости голограммы, и под углом 20° выше и ниже нормального направления.

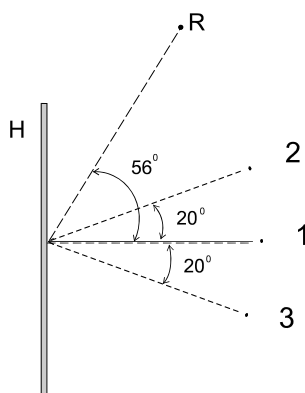


Рис. 1. Положение точек наблюдения голограммы

1 – нормальное положение глаз при наблюдении голограммы, 2 – наблюдение на 20° выше нормального положения, 3 – наблюдение на 20° ниже нормального положения, R – опорный источник, H – голограмма.

На рис. 2 показана зависимость относительной яркости голографического изображения от угла между опорным пучком и пучком, отраженным от объекта, рассчитанная согласно уравнения (3).

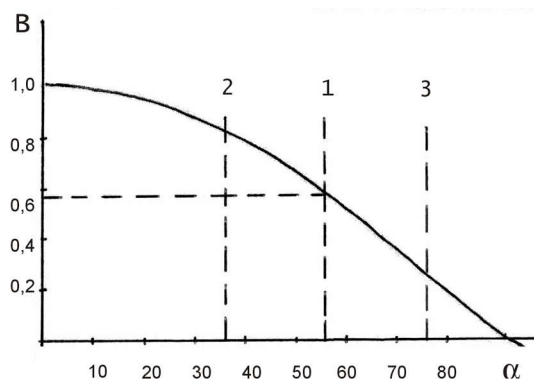


Рис. 2. Зависимость яркости изображения B от угла между опорным и сигнальным пучками α .

Предполагается, что оба пучка поляризованы в плоскости падения. На графике пунктирными линиями обозначены углы наблюдения, соответствующие рис. 1. Можно подсчитать, что при нормальном наблюдении (линия 1) яркость изображения почти в два раза меньше максимальной, когда наблюдение производится с направления падения восстанавливающего пучка. Яркость изображения при наблюдении из точки 2 больше в 1,5 раза, а при наблюдении из точки 3 меньше в 2,3 раза, чем при нормальном наблюдении.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

На рис. 3 показаны фотографии реального голографического изображения, снятые под такими же углами наблюдения, как и на рис. 1.

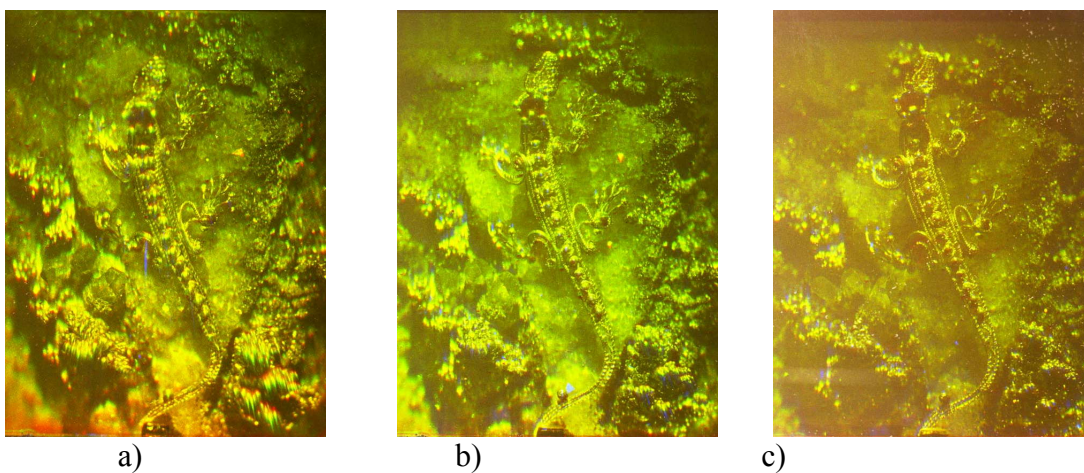


Рис. 3. Фотографии голографического изображения (голограмма любезно предоставлена заводом «Микрон», ОАО «Славич»)
 а) — наблюдение из точки 2 (см. рис. 1); б) — наблюдение из точки 1;
 в) — наблюдение из точки 3.

На рисунках заметно падение яркости и контраста при смещении точки наблюдения сверху вниз.

При копировании голограммы Денисюка пучком, падающим под углом Брюстера, яркость изображения перераспределяется еще больше.

Ослабить это нежелательное явление можно уменьшив угол падения опорного пучка. Однако, это опять может привести к появлению переотражений от поверхности фотопластинки и «древовидной» картине на изображении и сам эффект перераспределения яркости будет только ослаблен, но не устранен. Более эффективным решением является переход к круговой поляризации пучка и введение в схему записи оптического клина для устранения дополнительных переотражений.

На рис. 4 показано размещение оптического клина на фотопластинке при записи голограммы.

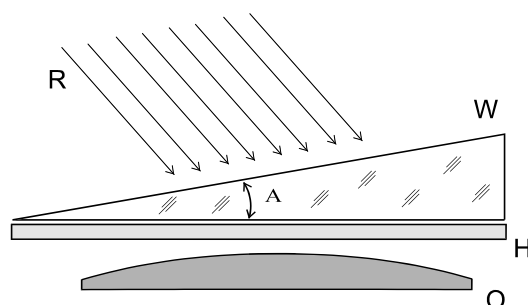


Рис. 4. Размещение клина на фотопластинке при записи голограммы
R – записывающий пучок, W – клин, A – угол клина, H – фотопластинка,
O – объект.

Угол клина должен быть таким, чтобы пространственная частота создаваемой им паразитной интерференционной картины была за пределами разрешения человеческого глаза. Несложные расчеты показывают, что величины угла $5-10^\circ$ вполне достаточно для получения качественного изображения. Для исключения интерференции в самой фотопластинке, между ней и клином вводят иммерсионную жидкость. В качестве иммерсии можно использовать нитротолуол ($n = 1,54$) или этиленгликоль ($n = 1,43$).

На рис. 5 приведены фотографии с голограммы, записанной с использованием клина с углом 5° .

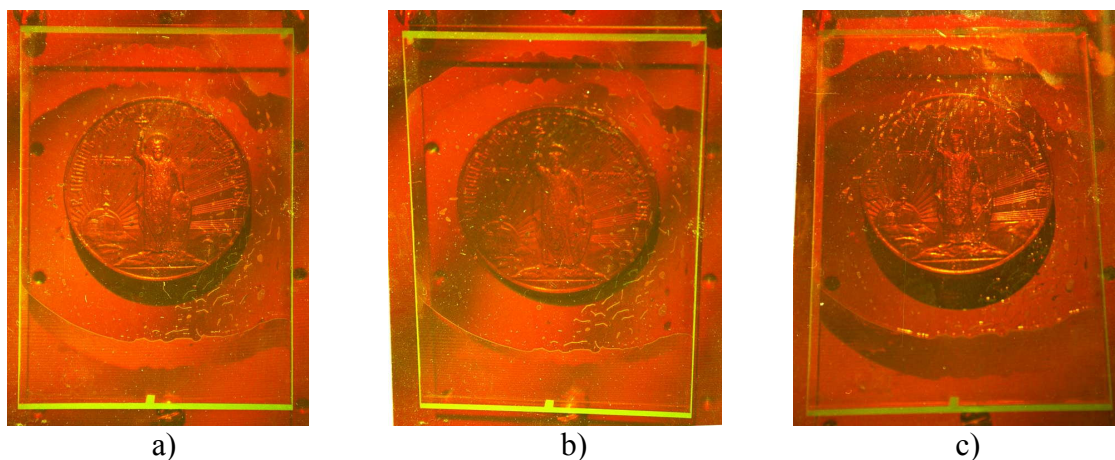


Рис. 5. Изображения голограммы, записанной с помощью клина

- a)– наблюдение из точки 1 (см. рис. 1); b) – наблюдение из точки 2;
c) – наблюдение из точки 3.

На фотографиях видно, что яркость изображений примерно одинакова, не зависимо от направления наблюдения. Небольшие светлые пятна вызваны некачественной адгезией иммерсионной жидкости (толуола) к поверхности клина.

Описанный способ записи голограмм может представить особый интерес при записи мастер-голограмм, когда относительно большая трудоемкость изготовления голограммы окупается при последующем производстве голограмм-копий с качественным изображением.

4. БЛАГОДАРНОСТИ

Автор благодарит Жаркого Сергея за помощь в оформлении доклада

5. ЛИТЕРАТУРА

1. Y. N. Denisyk, Optika and Spektroskopiya, v. 15, 522 (1963).
2. R. J. Collier, C. B. Burckhardt, L. H. Lin, Optical Holography, Academic Press, New York, 1971.