

УДК 778. 38

В.К. Ероховец

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ЗАПИСЕЙ

Разработан способ последовательного воспроизведения голографических записей, заключающийся в использовании энергии пучков нулевого порядка на каждом предыдущем цикле считывания для воспроизведения этой же или других голограмм на последующих циклах. Дано общее математическое описание информационной и энергетической моделей способа.

Введение

К вопросу улучшения информационных характеристик голографической памяти и дисплеев можно подходить двояко: либо с позиций повышения плотности записей на физическом носителе, либо с энергетических позиций. Первый подход тривиален и не требует обоснования.

Необходимость второго подхода – энергетического – вызвана предельной чувствительностью пространственных анализаторов изображений (многоканальных фотоприемных матриц, зрительных каналов восприятия изображений, оптически управляемых транспарантов и т. п.). В связи с этим информационная емкость голографической памяти и дисплеев оказывается ограниченной энергетическими параметрами, а именно яркостью воспроизводимых страниц информации. Как правило, улучшение информационных характеристик достигается либо путем увеличения мощности лазерных источников (это связано с увеличением габаритов), либо путем уменьшения быстродействия голографических средств информационной техники. В свою очередь, яркость воспроизводимых изображений определяется дифракционной эффективностью голограмм. Для управления яркостно-энергетическими характеристиками предложен ряд усовершенствований, к наиболее распространенным из которых следует отнести методы отбеливания, дефокусировки и случайной фазовой маски [1, 2]. Однако применение перечисленных методов не позволяет достичь стабильной дифракционной эффективности фурье-голограмм выше 10 – 15%. Таким же низким и сопоставимым с дифракционной эффективностью η оказывается коэффициент использования когерентного излучения $K_{\text{ИКИ}}$ и при организации параллельного воспроизведения голограмм с нескольких матриц одновременно [1], когда выходное излучение лазера расщепляется на n каналов, каждый из которых предназначен для считывания голограмм в индивидуальной матрице:

$$K_{\text{ИКИ}} = P_I / P_R = \eta P_R n^{-1} / P_R n^{-1} = \eta, \quad (1)$$

где P_R и P_I – мощность соответственно считывающего и информационного пучков света, воспроизводимых с голограммы.

В настоящей работе дан хронологический обзор разработки способа последовательного воспроизведения голографических записей [4–10], с позиции общего математического описания представлены информационная и энергетическая модели данного способа, определена эффективность возможных практических реализаций, направленных на более полное использование светового потока считывающего пучка.

1. Модель последовательного воспроизведения

При записи голограмм на фоточувствительной пластине регистрируется интерференционная картина локализованного объектного $U_{\text{WO}}(x)$ и опорного $U_{\text{WR}}(x)$ пучков. Пусть комплексная амплитуда объектного пучка выражается через амплитудное $U_{\text{WO}}(x)$ и фазовое $\psi(x)$ распределения:

$$U_{WO}(x) = u_{WO}(x) \exp[j\psi(x)] \exp(j2\pi \sum_{i=1}^n v_{WO_i} x), \quad (2)$$

где объектный пучок представлен суммой N элементарных излучателей, на которые можно дискретизировать изображение входной страницы информации, с несущей частотой

$$v_{WO_i} = \frac{\sin \alpha_{WO_i}}{\lambda_W}. \quad (3)$$

Для простоты аналитических выкладок возьмем опорный пучок с плоским волновым фронтом, имеющий комплексную амплитуду

$$U_{WR}(x) = u_{WR} \exp(j2\pi v_{WR} x). \quad (4)$$

Тогда для интенсивности, регистрируемой фотопластиной, можно записать выражение

$$\begin{aligned} I(x) &= (U_{WO} + U_{WR})(U_{WO} + U_{WR})^* = u_{WO}^2(x) + u_{WR}^2 + \\ &+ u_{WO}(x) u_{WR} \exp[j\psi(x)] \exp\left[j2\pi \left(\sum_{i=1}^N v_{WO_i} - v_{WR}\right) x\right] + \\ &+ u_{WO}(x) u_{WR} \exp[-j\psi(x)] \exp\left[j2\pi \left(v_{WR} - \sum_{i=1}^N v_{WO_i}\right) x\right]. \end{aligned} \quad (5)$$

Положим, что при обработке фотопластины с зарегистрированной голограммой обеспечена линейная пропорциональность между ее амплитудным коэффициентом пропускания и интенсивностью голографической интерференционной картины. Тогда при освещении данной голограммы считывающим пучком света с плоским волновым фронтом и комплексной амплитудой

$$U_R(x) = u_R \exp(j2\pi v_R x) \quad (6)$$

комплексную амплитуду света на выходе голограммы можно представить как

$$\begin{aligned} U_{\hat{A}\hat{O}_1}(\delta) &= I(x) U_R(x) = u_R u_{WO}^2(x) \exp(j2\pi v_R x) + u_R u_{WR}^2 \exp(j2\pi v_R x) + \\ &+ u_{WO}(x) u_{WR} u_R \exp[j\psi(x)] \exp\left[j2\pi \left(\sum_{i=1}^N v_{WO_i} - v_{WR} + v_R\right) x\right] + \\ &+ u_{WO}(x) u_{WR} u_R \exp[-j\psi(x)] \exp\left[j2\pi \left(v_{WR} - v_R - \sum_{i=1}^N v_{WO_i}\right) x\right]. \end{aligned} \quad (7)$$

С точностью до постоянного множителя первые два слагаемых в выражении (7) умножаются на $\exp(j2\pi v_R x)$. Это означает, что соответствующие им составляющие распространяются от голограммы в направлении считывающего пучка. Третье слагаемое соответствует копии волнового фронта объектного пучка, четвертое слагаемое описывает составляющую, которая распространяется под еще более крутым углом относительно нормали голограммы. Учитывая реальную регистрацию голограмм на фотопластинах с конечной толщиной эмульсионного слоя, который в ряде практических случаев достаточен для подавления комплексно-сопряженного изображения, при энергетическом анализе воспроизведения голограмм последней составляющей в выражении (7) можно пренебречь.

Идея метода последовательного воспроизведения голографической информации заключается в использовании световой энергии с комплексной амплитудой двух первых слагаемых в выражении (7) на каждом предыдущем цикле считывания для воспроизведения этой же или любых других голограмм на последующих циклах.

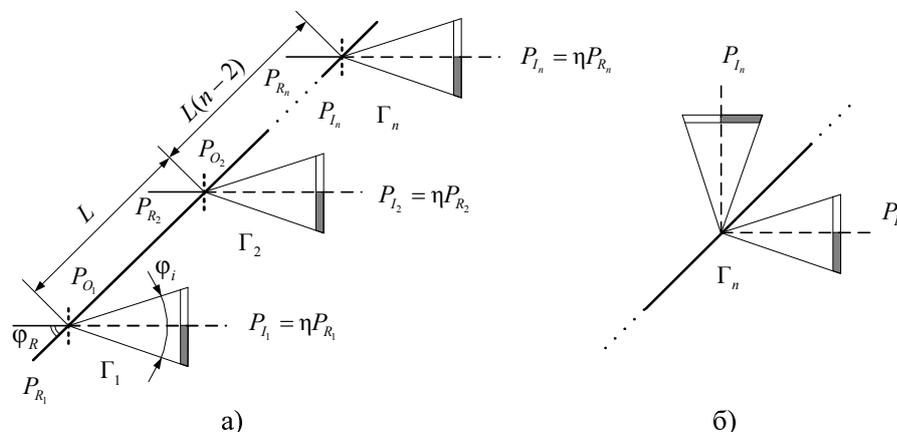


Рис. 1. Схема последовательного воспроизведения голограмм: а) для «толстых»; б) для «тонких» голограмм

Рассмотрим случай последовательного воспроизведения фазовых голограмм (рис. 1), расположенных на одной оптической оси пучка когерентного света мощностью P_{R_1} и находящихся друг от друга на расстоянии

$$L \geq \frac{2z \operatorname{tg} 0,5\varphi_l}{\cos \varphi_R} \quad (8)$$

Выбор фазовых голограмм для описываемого способа воспроизведения обусловлен следующей причиной. На этапе голографической регистрации информации при равномерном распределении интенсивности света в плоскости транспаранта прозрачность амплитудной голограммы очень неравномерна по ее апертуре в силу большого динамического диапазона интенсивностей оптического фурье-спектра. Это вызывает сильную модуляцию по интенсивности пучка света нулевого порядка и резко ухудшает качество изображения, воспроизводимого с очередной голограммы. Отбеливание амплитудной голограммы для ее преобразования в фазовую не исключает такой модуляции вследствие неравномерности дифракционной эффективности отдельных участков голограммы. Наиболее приемлемой альтернативой для устранения этого нежелательного явления оказывается применение случайной фазовой маски для записи фурье-голограмм. При этом распределение интенсивности света, а следовательно, и дифракционная эффективность по апертуре голограммы становятся практически равномерными. Нежелательные фазовые искажения волны нулевого порядка проявляются в рассеянии света, которое реально не сказывается на читаемости восстановленных картин с последовательно воспроизводимых голограмм и в дальнейшем будет учитываться в качестве составляющей в общем коэффициенте потерь ξ голограммы.

Полагая, что дифракционная эффективность η и коэффициент потерь ξ всех голограмм одинаковы, для мощностей света на входе и выходе n -й голограммы справедливы следующие соотношения:

$$\begin{aligned} P_{R_n} = P_{O_{(n-1)}} &= P_{R_1} (1 - \eta - \xi)^{n-1}; \\ P_{I_n} = \eta P_{R_n} &= \eta P_{R_1} (1 - \eta - \xi)^{n-1}; \\ P_{O_n} = P_{R_n} - \eta P_{R_n} - \xi P_{R_n} &= P_{R_1} (1 - \eta - \xi)^n. \end{aligned} \quad (9)$$

Здесь P_{R_n} – мощность считывающего пучка, а P_{I_n} и P_{O_n} – мощность света, дифрагируемая в информационный и нулевой порядки соответственно.

Таким образом, благодаря дифракции света в информационный порядок на каждой голограмме коэффициент использования когерентного излучения возрастает на величину

$$\Delta K_{\text{ЭЭЭ}} = \frac{\eta \left[(1 - \eta - \xi) - (1 - \eta - \xi)^n \right]}{\eta + \xi} 100\% \quad (10)$$

и общее значение $K_{\text{ИКИ}}$ определяется выражением

$$K_{\text{ЭЭЭ}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{I_i}}{P_{R_i}} = \frac{\eta \left[1 - (1 - \eta - \xi)^n \right]}{\eta + \xi}. \quad (11)$$

При одинаковом среднестатистическом коэффициенте заполнения информационными элементами воспроизводимых изображений их энергетические характеристики монотонно убывают с увеличением n по сравнению с первой голограммой в соответствии с зависимостью

$$P_{I_n} / P_{I_1} = (1 - \eta - \xi)^{n-1}. \quad (12)$$

Анализируя полученные формулы (9) и (13), для различных значений η и ξ можно сделать вывод, что наибольшая эффективность использования предложенного метода наблюдается для чисто фазовых голограмм с максимально возможной дифракционной эффективностью при условии линейной записи.

Потери света на голограмме являются определяющими в достижении максимального использования когерентного излучения, предельное значение которого оценивается выражением

$$K_{\text{ЭЭЭ}} = \frac{\eta}{\eta + \xi} 100\%. \quad (13)$$

Число последовательно считываемых голограмм должно определяться минимально допустимыми яркостными характеристиками при воспроизведении последней голограммы, а также предельно допустимой мощностью излучения на входе системы, не вызывающей выхода из строя первой голограммы. При практической реализации данный положительный эффект можно использовать для улучшения других параметров средств информационной техники, например яркостных, временных, емкостных, габаритных.

2. Воспроизведение многослойных голограмм

Хорошей иллюстрацией многослойной голограммы является рис. 1 при $L \rightarrow 0$. Особенность ее воспроизведения заключается в том, что оба световых пучка (как пучок нулевого порядка, так и информационный) каждого предыдущего слоя голограммы проходят через все последующие слои. При этом часть света нулевого порядка дифрагирует в информационный. В свою очередь, часть света информационного пучка дифрагирует в нулевой порядок. Это является свойством ассоциативности голограмм, в соответствии с которым комплексную амплитуду света на выходе голограммы при ее освещении копией объектного пучка можно представить как

$$U_{\text{АУО}}(\delta) = I(x) U_{\text{WO}}(x) = u_{\text{WO}}^3(x) \exp[j\psi(x)] \exp\left(j2\pi \sum_{i=1}^N v_{\text{WO}_i} x\right) + u_{\text{WO}}^2 u_{\text{WR}} \exp(j2\pi v_{\text{WR}} x) + u_{\text{WR}}^2 u_{\text{WO}}(x) \exp[j\psi(x)] \exp\left(j2\pi \sum_{i=1}^N v_{\text{WO}_i} x\right) + u_{\text{WO}}^2(x) u_{\text{WR}} \exp[j\psi(x)] \exp\left[j2\pi \left(\sum_{i=1}^N v_{\text{WO}_i} - v_{\text{WR}}\right) x\right]. \quad (14)$$

Видно, что второе слагаемое выражения (14) описывает составляющую света, которая распространяется в направлении, совпадающем с направлением опорного (считывающего) пучка света. Эти особенности учтены при энергетическом анализе, в связи с чем для n -й голограммы характерна система уравнений следующего вида:

$$\begin{aligned} P_{I_n} &= (\eta + \Delta\eta) P_{R_i} = \eta P_{R_i} \left[1 + \sum_{i=2}^N (1 - 2\eta - \xi)^{i-1} (1 - \xi)^{n-i} \right]; \\ P_{0_n} &= P_{R_i} \left[(1 - 2\eta - \xi)(1 - \xi)^{n-1} - \eta \sum_{i=2}^n (1 - 2\eta - \xi)^{i-1} (1 - \xi)^{n-i} \right]. \end{aligned} \quad (15)$$

Из графиков (рис. 2), изображающих зависимости приращения дифракционной эффективности $\Delta\eta$ многослойной голограммы от дифракционной эффективности отдельных голограмм η без потерь, видно, что с увеличением числа n максимальное приращение возрастает и его оптимальное значение смещается в сторону более низкой дифракционной эффективности отдельных голограмм ($\eta = 0,1 - 0,2$), практическая реализация которых не представляет особых трудностей. Предельное значение дифракционной эффективности

$$\eta_i = \eta + \Delta\eta = \eta \left[1 + \lim_{i \rightarrow \infty} \sum_{i=2}^n (1 - 2\eta - \xi)^{i-1} (1 - \xi)^{n-i} \right] = \eta \left[1 - (1 - 2\eta - \xi)(1 - \xi) \right]^{-1}, \quad (16)$$

которое может быть достигнуто при организации многослойной голограммы, не превышает 50% даже в случае абсолютно фазовых отдельных голограмм для любого значения η . Дифракционная эффективность отдельных голограмм η определяет лишь скорость приближения η_m к значению 0,5 и, как следствие, число отдельных голограмм в многослойной голограмме по заданной результирующей дифракционной эффективности η_m . Из графиков также видно, что наиболее предпочтительным является составление многослойной голограммы из голограмм с дифракционной эффективностью $\eta \approx 0,25$ (значение η_m при $n=1$), когда при пяти – шести слоях удастся осуществить перекачку в информационный порядок около 50% энергии лазерного света.

Абсорбционный характер реальных фазовых голограмм, получаемых, например, из амплитудных путем их отбеливания, резко ограничивает энергетические возможности многослойных голограмм. Это следствие сильного амплитудного подавления наиболее мощных световых составляющих информационного порядка, идущих от отдельных голограмм с меньшим порядковым номером. Относительная величина световых потерь определяется по формуле

$$P_{\xi_n} / P_{R_i} = 1 - (P_{0_n} + P_{I_n}) = 1 - (1 - \xi)^n, \quad (17)$$

причем с увеличением значения ξ максимальная величина η_m значительно уменьшается и количество слоев n может быть ограничено двумя – тремя.

Практическая реализация многослойной матрицы голограмм предполагает запись n -го количества абсолютно идентичных матриц и их пространственное объединение в «сэндвич», причем для уменьшения эффекта размывания краев информационных элементов в воспроизводимом изображении толщина отдельных матриц должна быть по возможности минимальной. На фотопластинах со стеклянной подложкой, толщина которых сопоставима с размерами голограмм (например, фотопластинах типа ЛОИ-2, ПЭ-2), принципиально возможным оказывается создание «сэндвича» лишь из двух матриц голограмм с обращенными друг к другу эмульсионными слоями.

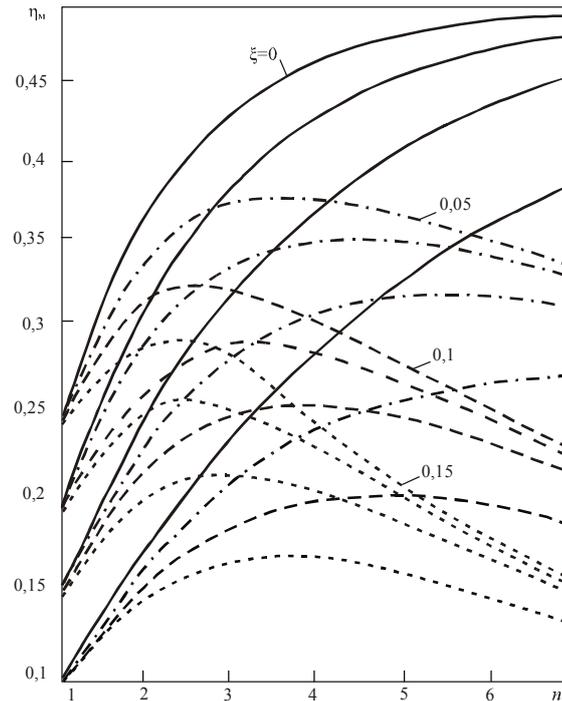


Рис. 2. Графики дифракционной эффективности многослойных голограмм

Для исключения эффекта размывания краев информационных элементов и сокращения временных затрат на запись n идентичных матриц наиболее эффективен способ получения многослойной матрицы с применением метода интерференционного копирования [11], который заключается в замене волновых фронтов, сформированных реальными транспарантами, волновыми фронтами, воспроизводимыми голограммами соответствующих транспарантов. Вплотную к исходной матрице фазовых голограмм располагают вторую неэкспонированную фотопластину, и со стороны матрицы освещают две пластины световым пучком с направлением, длиной волны и кривизной волнового фронта, идентичными соответствующим параметрам опорного пучка при записи исходной матрицы голограмм. Часть света, которая дифрагирует на интерференционных решетках голограмм исходной матрицы и воспроизводит волновые фронты изображений записанных транспарантов, является объектом голографического копирования, а вторая часть — пучок нулевого порядка — используется в качестве опорного пучка. Интерференционная картина этих пучков по всей площади матрицы фиксируется в течение времени экспозиции на регистрирующем слое фотопластины, которая затем подвергается химической обработке.

Для получения двухслойной матрицы скопированную и исходную матрицы голограмм совмещают друг с другом абсолютно так же, как и на этапе копирования. Аналогично могут быть получены третья, четвертая и последующие матрицы и на основе их совмещения многослойная матрица голограмм. Из-за различия соотношения интенсивностей объектного и опорного световых пучков при копировании дифракционная эффективность голограмм отдельных матриц оказывается разной, с учетом этого для мощностей света в информационном и нулевом порядках после прохождения каждого слоя голограмм по аналогии с предыдущим вариантом можно записать выражения

$$P_{I_n} = P_{R_1} \sum_{i=1}^n \eta_i (1-\xi)^{n-i} \left[\prod_{i=2}^n (1-2\eta_{i-1}-\xi) \right]; \quad (18)$$

$$P_{0_n} = P_{R_1} \left\{ (1-\eta_1-\xi)(1-\xi)^{n-1} - \sum_{i=2}^n \eta_i (1-\xi)^{i-1} \left[\prod_{i=2}^n (1-2\eta_{i-1}-\xi) \right] \right\}.$$

Максимальная дифракционная эффективность, которую могут иметь голограммы первой копии матриц, определяется формулой [12]

$$\eta_2 = \eta_1 (V_2 / V_1)^2, \quad (19)$$

где V_1 и V_2 – контраст интерференционных полос голограмм исходной матрицы и ее копии соответственно. Аналогично для второй и третьей копий $\eta_3 = \eta_{м2}(V_3 / V_2)^2$, $\eta_4 = \eta_{м3}(V_4 / V_3)^2$ и т. д., где $\eta_{м2}$ и $\eta_{м3}$ – дифракционная эффективность голограмм двух- и трехслойной матриц соответственно. Тогда для $(n-1)$ -й копии матрицы

$$\eta_i = \eta_1 \prod_{i=2}^n (V_i / V_{i-1})^2 = \eta_1 (V_n / V_1)^2. \quad (20)$$

Полагая, что распределение интенсивности света в объектном и опорном пучках равномерно по апертуре голограммы, а также учитывая известное соотношение [12] оценки контраста интерференционных полос

$$V_i = \frac{2\sqrt{R_i}}{R_i + 1}, \quad R_i = \frac{P_{O(i-1)}}{P_{I(i-1)}}, \quad (21)$$

выражение (20) для определения дифракционной эффективности голограмм любой копии при условии $V_1 = 1$ можно привести к виду

$$\eta_i = \frac{4\eta_1 P_{I(i-1)} P_{O(i-1)}}{(P_{I(i-1)} + P_{O(i-1)})^2}. \quad (22)$$

Графики зависимости $\eta_m = f(\eta_1, \xi, n)$, построенные согласно выражению (18) с учетом (22), подобны графикам, представленным на рис. 2, но максимально достижимое значение несколько меньше для последнего варианта. Это объясняется уменьшением значения дифракционной эффективности каждой копии матрицы голограмм по сравнению с матрицей-оригиналом.

Для создания многослойных матриц голограмм методом интерференционного копирования требуется разработка специальной технологии последовательного нанесения фоточувствительного материала на экспонированный, химически обработанный и закрепленный слой матрицы. При использовании же серийных фотопластин типа ЛОИ-2 или ВРЛ возможен вариант лишь двухслойной матрицы голограмм с обращенными друг к другу эмульсионными слоями. Попытки получения копии для создания трехслойной матрицы на указанных пластинах с записью на высокой несущей пространственной частоте из-за значительной толщины стеклянной подложки, сравнимой с размером голограмм, вызывают разделение информационного пучка света и пучка света нулевого порядка в плоскости копирования, в результате чего копирование оказывается в большей или меньшей степени перекрестным (с информацией соседних голограмм в матрице). Наиболее существенный недостаток двух представленных выше методов получения многослойных матриц – относительно низкая результирующая дифракционная эффективность, которая в идеальном случае не может превысить 50% и резко падает с увеличением ξ .

3. Голографический идентификатор с двумя информационными каналами

Рассмотрим возможности способа последовательного считывания для многократного воспроизведения одной голограммы. Примером такой реализации способа с формированием двух информационных каналов является схема с оптической обратной связью на выход голограммы, когда из пучка света нулевого порядка формируется сопряженный относительно считывающего пучок света (рис. 3). Предполагается, что зеркало Z_1 , установленное за голограммой Γ , перпендикулярно пучку света нулевого порядка и отъюстировано относительно выходного зеркала Z_2 лазера L . Таким образом получается трехзеркальная лазерная система, состоящая из зеркал лазера Z_2 и Z_3 , между которыми находится активный элемент АЭ, и пассивного резонатора, состоящего из выходного зеркала Z_2 лазера, голограммы и зеркала Z_1 .

К сожалению, технологические возможности построения такой системы чрезвычайно ограничены в силу низкой добротности реального пассивного резонатора. Из-за больших потерь в общем случае на недетерминированной голограмме использовать интерференционные эффекты в пассивном резонаторе практически не удастся. Поэтому при энергетическом анализе эффективности схемы ограничимся конечным числом отражений пучка света от зеркал Z_1 и Z_2 , который при дифракции на «толстой» голограмме формирует два информационных канала. Масштаб воспроизводимых изображений на рис. 3 условен и определяется оптической структурой объектного канала в схеме записи голограмм и информационных каналов в схеме воспроизведения.

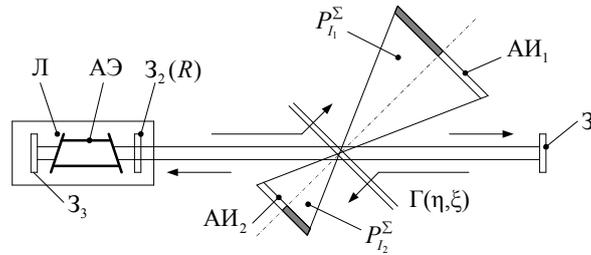


Рис. 3. Схема голографического идентификатора с двумя информационными каналами

Каждый раз при i -м прохождении волнового фронта через голограмму от выходного зеркала лазера к зеркалу Z_1 часть энергии мощностью

$$P_{I_1} = \eta P_R R^{i-1} (1 - \eta - \xi)^{2(i-1)} \quad (23)$$

дифрагирует в плоскость первого анализатора изображений $АИ_1$, а при j -м прохождении в обратном направлении часть энергии мощностью

$$P_{I_2} = \eta P_R R^{j-1} (1 - \eta - \xi)^{2(j-1)} \quad (24)$$

дифрагирует в плоскость второго анализатора изображений $АИ_2$, восстанавливая волновой фронт объектного пучка, используемого на этапе записи. Здесь R – коэффициент отражения выходного зеркала лазера, а $\xi = \xi_0 + \xi_n + \xi_p$ – суммарный коэффициент потерь голограммы на отражение ξ_0 , поглощение ξ_n и рассеяние ξ_p когерентного света. При этом эквивалентная дифракционная эффективность голограммы в первом и втором информационных порядках соответственно оценивается выражениями

$$\eta_{\check{Y}_1} = \frac{P_{I_1}^{\Sigma}}{P_R} = \frac{\eta}{1 - R(1 - \eta - \xi)^2}; \quad (25)$$

$$\eta_{\check{Y}_2} = \frac{P_{I_2}^{\Sigma}}{P_R} = \frac{\eta(1 - \eta - \xi)}{1 - R(1 - \eta - \xi)^2}. \quad (26)$$

Анализируя формулы (23) и (26) для различных значений η , ξ и R , можно сделать вывод, что наибольшая эффективность использования описанного способа наблюдается для чисто фазовых голограмм с максимально возможным коэффициентом $R \rightarrow 1,0$. Множитель $(1 - \eta - \xi)$ в числителе выражения (26) несколько уменьшает эквивалентную дифракционную эффективность второго информационного канала по сравнению с первым. Определяющим фактором достижения максимального использования когерентного излучения

$$K_{\check{E}\check{E}\check{E}} = \frac{P_{I_1}^{\Sigma} + P_{I_2}^{\Sigma}}{P_R} = \frac{\eta(2 - \eta - \xi)}{1 - R(1 - \eta - \xi)^2} \quad (27)$$

является не столько дифракционная эффективность голограммы, сколько потери в пассивном резонаторе, т. е. величина ξ . Предельные значения $K_{\text{ики}}$ при $R \rightarrow 1,0$ оцениваются выражениями (25) – (27) и представлены графиками на рис. 4.

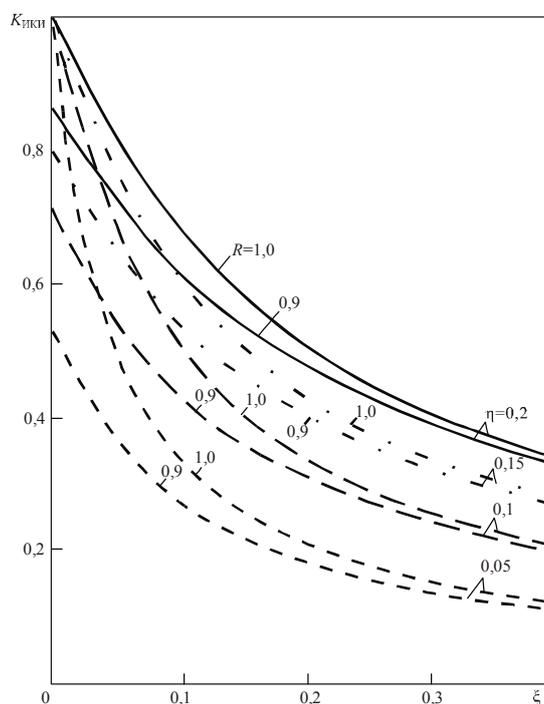


Рис. 4. Зависимость коэффициента использования когерентного излучения для голографического идентификатора

Из рис. 4 видно, что для абсолютно фазовых голограмм ($\xi \rightarrow 0$) осуществляется 100%-я дифракция лазерного света в плоскость воспроизводимых изображений с соотношением $\eta_{\dot{Y}_2}/\eta_{\dot{Y}_1} = 1 - \eta$. Столь высокие значения $K_{\text{ики}}$ обусловлены повышением яркости в плоскости первого анализатора изображения в $[1 - R(1 - \eta - \xi)]^{-1}$ раз и формированием второго информационного канала с интегральной мощностью $P_{I_2}^{\Sigma} = P_R \eta_{\dot{Y}_1}$. Последнее обстоятельство особенно ценно для реализации вспомогательного визуального контроля при настройке электронных трактов воспроизведения в документальной памяти в процессе преобразования голографических записей в обычные микроформы или полноформатные документы, фрагментного считывания по двум информационным каналам и т. п. Подтверждение этому – создание первых образцов голографической информационной техники [4–5, 13–16] с помощью данного способа.

Заключение

Разработан способ последовательного воспроизведения голографических записей, основанный на использовании энергии пучков нулевого порядка на каждом предыдущем цикле считывания для воспроизведения этой же или другой голограммы на последующих циклах. Дано общее математическое описание информационной и энергетической модели способа. Показана 100%-я эффективность последовательного и двухканального воспроизведения голограмм. Для многослойных голограмм эффективность уменьшается вдвое. Практическим оформлением для полного использования лазерного излучения является амплитудно-фазовый характер реальных голограмм.

Список литературы

1. Акаев А.А., Майоров С.А. Оптические методы обработки информации. – М.: Высшая школа, 1988. – 237 с.

2. Микаэлян А.Л. Оптические методы в информатике: запись, обработка и передача информации. – М.: Наука, 1990. – 229 с.
3. Микаэлян А.Л. Ассоциативная обработка информации и проблема памяти // Вестник Российской академии наук, 2002. – Т. 72. – №2. – С. 107-119.
4. А. с. 647979 СССР, МКИ² G 11 C 11/42. Способ считывания голографической информации и устройство для его способа осуществления / Н.А. Ярмош, А.Г. Куконин, В.К. Ероховец, Д.К. Сигитов (СССР). – № 2342298/18-24; Заявлено 01.04.76; Опубл. 20.10.78 // Бюл. № 46.
5. Пат. РФ 2025760. МКИ⁵ G 03 H 1/28. Способ получения и восстановления оптических голограмм и устройство для его осуществления / В.К. Ероховец. – № 4938314/25; Заявл. 27.05.91; Опубл. 30.12.94 // Бюл. № 24.
6. А. с. 647926 СССР, МКИ² G 03 Y 1/26, G 06 G 9/00, G 11 G 13/04. Устройство для воспроизведения модулей информационных массивов / Н.А. Ярмош, А.Г. Куконин, В.К. Ероховец (СССР). – № 2322593/18-25; Заявл. 30.01.76; Опубл. 30.11.85 // Бюл. № 44.
7. А. с. 711885 СССР, МКИ² G 11 C 11/42. Голографическое запоминающее устройство / Н.А. Ярмош, В.К. Ероховец, С.В. Кузьмин (СССР). – № 2511330/18-42; Заявл. 25.07.77; Опубл. 28.09.79 // Бюл. № 49.
8. А. с. 673050 СССР, МКИ² G 11 C 11/42. Голографическое запоминающее устройство / Н.А. Ярмош, А.В. Гуринович, В.К. Ероховец (СССР). – № 2513701/18-24; Заявл. 08.08.77; Опубл. 15.03.79 // Бюл. № 48.
9. А. с. 711887 СССР, МКИ² G 11 C 11/42. Голографическое запоминающее устройство / Н.А. Ярмош., В.К. Ероховец (СССР). – № 2596635/18-24; Заявл. 29.03.78; Опубл. 28.09.79 // Бюл. № 49.
10. А. с. 674553 СССР, МКИ² G 11 C 11/42. Голографическое запоминающее устройство / Н.А. Ярмош., В.К. Ероховец, А.А. Борискевич (СССР). – № 2584687/18-24; Заявл. 24.02.78; Опубл. 22.03.79 // Бюл. № 48.
11. Оптическая голография: В 2 т. / Под. ред. Г. Колфилда. – М., 1982.
12. Кольер Г., Беркхард К., Лин Л. Оптическая голография. – М., 1973.
13. Пат. РБ 307 U BY, МПК⁷ G03 H 1/28. Устройство для идентификации голографических марок / Л.В. Танин, А.С. Рубанов, В.К. Ероховец и др. – № и 20000162; Заявл. 20.10.2000; Опубл. 02.04.2001 // Афіцыйны бюлетэнь Дзярж. пат. ведамства Рэспублікі Беларусь. – 2001. – № 3. – С. 147.
14. Пат. РБ 850 U BY, МПК⁷ G03 H 1/28. Устройство для идентификации ценных бумаг / Л.В. Танин, А.С. Рубанов., В.К. Ероховец и др. – № и 2002028; Заявл. 25.07.2002; Опубл. 30.06.2003 // Афіцыйны бюлетэнь Дзярж. пат. ведамства Рэспублікі Беларусь. – 2003. – № 2. – С. 275.
15. Ероховец В.К. Синтез защитных голограмм со скрытым изображением // Анализ цифровых изображений: Сб. науч. тр. – Мн.: ОИПИ НАН Беларуси, 2002. – С. 92-98.
16. Ероховец В.К. Геометрический анализ идентификаторов защитных голограмм // Анализ цифровых изображений: Сб. науч. тр. – Мн.: ОИПИ НАН Беларуси, 2003. – С. 107-116.

Поступила 25.11.04

*Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси,
Минск, Сурганова, 6
e-mail: erokh@newman.bas-net.by*

V.K. Erokhovets

CONSECUTIVE REPRODUCTION OF HOLOGRAPHIC RECORDS

The way of holographic records consecutive reproduction is developed. The energy of zero order bunches on each previous cycle of the reading for the reproduction of this or other holograms on the subsequent cycles is used. The general mathematical description of information and power model of the method is given.