

40. Ванюшев Б. В., Волков А. В., Гибин И. С. и др. Устройство хранения и считывания цифровых данных в голографической системе архивной памяти // Автометрия.— 1984.— № 3.
41. Заявка 52-17700 03Н 1/22 Японии. Голографическое запоминающее устройство/ К. К. Хитати.— Оpubл. 17.05.77.
42. Satoh I., Kato M. Holographic disc recording of digital data with fringe stabilization // Appl. Opt.— 1988.— 27, N 14.— P. 2987.

Поступила в редакцию 16 января 1989 г.

УДК 535.4 : 621.391

И. В. ПОЛЯНСКИЙ

(Черновцы)

## О СОГЛАСОВАННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЛИНЕЙНОЙ ГОЛОГРАММЫ

В работе [1] показано, что при использовании в качестве фильтра когерентного коррелятора тонкой нелинейной голограммы формируются три отклика, обладающие специфическими свойствами. Помимо фантомных изображений опорного источника и недостающего фрагмента сцены (если на вход фильтра подается часть поля объекта-эталона), возникает сопряженное изображение объекта. Корреляционный отклик нулевого порядка, соответствующий ситуации безопрорной голограммы [2], может быть использован для визуализации малых изменений в объектной сцене [3, 4]. Измерение интенсивности корреляционного пика (в первом порядке дифракции относительно поступающего на вход фильтра объектного поля) позволяет произвести интегральную оценку этих изменений. Отклик во втором дифракционном порядке воспроизводит поле объекта-эталона, причем координатное распределение яркости в сопряженном изображении оказывается инвариантным к амплитудным искажениям объектного поля.

Для использования описанного коррелятора в решении задач оптической обработки информации необходимо более детальное изучение механизма формирования сопряженного изображения и зависимости параметров трех корреляционных откликов от условий эксперимента. В настоящей работе излагаются результаты исследования эффективности восстановления сопряженного изображения в случае последовательной (паложенной) регистрации полей фрагментов объекта-эталона, а также яркостных и частотно-контрастных характеристик элементов поля на выходе фильтра.

**Дифракционная структура нелинейного голографического фильтра.** Представляя предмет конечным набором оптических ретрансляторов (ОР) [2, 4], запишем голограмму его поля

$$G_{(1)} = \sum_{q=1}^N a_q \exp \{-ik(\mathbf{r}_0 + \rho_q)\} \quad (1)$$

с опорным полем  $\Omega = a_0 \exp \{-ik\mathbf{r}_0\}$ , где  $a_0$  и  $a_q$  — амплитуды опорного источника и ОР с соответствующими индексами в области регистрации;  $\mathbf{r}_0$  — радиус-вектор опорного источника относительно центра голограммы;  $\rho_q$  — радиус-вектор  $q$ -го ОР относительно опорного источника. В случае нелинейной регистрации на выходе тонкой голограммы, считываемой посредством поля  $\Omega$ , сформируется распределение комплексных

амплитуд вида

$$\Omega + \sum_{l=\pm 1, 2, \dots} \sum_{q=1}^N a_q^{(l)} \exp\{-ik(\mathbf{r}_0 + l\rho_q)\} \equiv \Omega + \sum_{l=\pm 1, 2, \dots} G_{(l)}, \quad (2)$$

где  $G_{(l)}$  — виртуальные изображения в порядках дифракции с индексами  $l$ . При выполнении условия пространственного разделения дифракционных порядков (в плоскости голограммы пространственная частота (ПЧ), обусловленная интерференцией опорного и объектного полей, должна, по меньшей мере, в  $l$  раз превышать максимальную ПЧ, соответствующую объектному полю) формирование каждого элемента поля (2) происходит независимо от наличия других составляющих. Поэтому дифракционную структуру (общий оператор) голограммы можно описать в квазилинейном приближении как суперпозицию парциальных операторов:

$$\left| \Omega + \sum_{l=\pm 1, 2, \dots} G_{(l)} \right|^2. \quad (3)$$

Рассмотрим процесс считывания голограммы (3) в режиме фильтрации (посредством объектного поля). В результате воздействия парциального оператором (3) вида  $\{G_{(1)}^* \Omega\}$  на поле (1) получаем известный из традиционной теории голографической фильтрации результат: восстанавливается поле, формирующее изображение опорного источника. Вследствие дифракции поля  $G_{(1)}$  на составляющей (3) вида  $\{G_{(2)}^* \Omega\} = a_0 \sum_{q=1}^N b_q^* \exp\{ik2\rho_q\}$  ( $b_q$  — амплитуда виртуального изображения  $q$ -го ОР предмета во втором порядке) на выходе фильтра формируется распределение комплексных амплитуд

$$a_0 \sum_{q=1}^N b_q^* a_q \exp\{-ik(\mathbf{r}_0 - \rho_q)\} + \Omega \sum_{q \neq p=1}^N \sum_{p=1}^N b_q^* a_p \exp\{-ik(\rho_p - 2\rho_q)\}, \quad (4a)$$

соответствующее сопряженному изображению объекта-эталона (первое слагаемое) и наложенного ореола. Сопряженное изображение можно получить и с помощью иного парциального оператора (3) —  $\{G_{(1)}^* G_{(-1)}\}$ :

$$\left( \sum_{q=1}^N |a_q|^2 \right) G_{(-1)} + \sum_{g \neq q=1}^N \sum_{p=1}^N \sum_{p=1}^N a_q^* a_g a_p \exp\{-ik(\mathbf{r}_0 - \rho_q + \rho_g - \rho_p)\}. \quad (4b)$$

Различие между выражениями (4a) и (4b) обнаруживается в случае, когда на вход фильтра подается поле подансамбля ОР объекта мощностью  $M < N$ . Воздействуя оператором  $\{G_{(2)}^* \Omega\}$  на поле подансамбля ОР, обнаруживаем, что в области сопряженного изображения должны восстанавливаться поля лишь считывающих ОР. Из выражения (4b), напротив, следует, что формируется сопряженное изображение всего

объекта-эталона с амплитудой, пропорциональной  $M$ . Эксперимент подтверждает последний вывод [1].

Выяснение различия операторов  $\{G_{(2)}^* \Omega\}$  и  $\{G_{(1)}^* G_{(-1)}\}$  проведем для случая, когда объект представлен тремя точками 1—3 (рис. 1). При линейной регистрации дифракционная структура голограммы тождественна ПЧ структуре экспонирующего поля и исчерпывающе описывается набором векторов решеток, соответствующих картинам интерференции полей точек объекта:

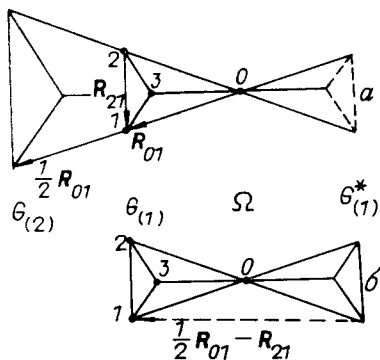


Рис. 1. Результат дифракции считывающего поля на нелинейной голограмме

$$\mathbf{R}_{qp} = \frac{\lambda L}{|\rho_q - \rho_p|} \mathbf{n}_{qp}, \quad (5a)$$

где  $q \neq p = 1, 2, 3$ ;  $L$  — расстояние от объекта до точки наблюдения;  $\mathbf{n}_{qp}$  — единичный вектор, направленный вдоль оси, соединяющей ОР с индексами  $q$  и  $p$ , и интерференции полей каждой точки объекта с полем опорного источника

$$\mathbf{R}_{0q} = \frac{\lambda L}{|\rho_q|} \mathbf{n}_{0q}. \quad (5б)$$

Наличие квадратичного эффекта, актуального в рассматриваемой задаче, обуславливает появление в структуре голограммы составляющих, характеризующихся удвоенными (относительно описываемых выражениями (5а) и (5б) ПЧ. Им соответствуют векторы решеток  $\frac{1}{2} \mathbf{R}_{qp}$  и  $\frac{1}{2} \mathbf{R}_{0q}$ .

Совокупность таких составляющих и описывается оператором  $\{G_{(2)}^* \Omega\}$ . Элементы восстановленного изображения, формирующиеся вследствие дифракции считывающего пучка на линейных и квадратичных составляющих структуры фильтра, показаны на рис. 1, а.

Помимо перечисленных, в структуре голограммы присутствуют решетки, описываемые векторами типа

$$(1/2) \mathbf{R}_{0q} - \mathbf{R}_{qp} \quad (5в)$$

(рис. 1, б). Соответствующие составляющие дифракционной структуры нелинейной голограммы

$$(a_q^{(1)})^* a_p^{(-1)} \exp \{ik(\rho_q + \rho_p)\},$$

являющиеся пространственным аналогом комбинационных частот («тонов») [5, 6], непосредственно входят в оператор  $\{G_{(1)}^* G_{(-1)}\}$ . Дифракция полей  $M$  считывающих ОР на решетках, описываемых комбинационными ПЧ (5в), приводит к восстановлению  $M$  совпадающих по локализации и фазе (при точном воспроизведении на этапе фильтрации геометрических и волновых условий записи) полных сопряженных изображений, что согласуется с экспериментом.

**Нелинейный голографический фильтр с наложенной записью.** Разобьем набор ОР предмета на два подансамбля:  $G_{(1)} = A + B$ , где  $A$  представлено ОР с номерами  $q = 1, 2, \dots, M$ , а  $B$  — с номерами  $p = M + 1, \dots, N$ . С учетом квадратичного эффекта общий оператор фильтра, сформированного в результате последовательной регистрации голограмм  $|A + \Omega|^2$  и  $|B + \Omega|^2$ , в матричной форме опишется таким образом:

$$\begin{vmatrix} |\beta|^2 & \beta^* B & \beta^* \Omega & 0 & 0 \\ B^* \beta & |B|^2 & B^* \Omega & 0 & 0 \\ \Omega^* \beta & \Omega^* B & 2|\Omega|^2 & \Omega^* A & \Omega^* \alpha \\ 0 & 0 & A^* \Omega & |A|^2 & A^* \alpha \\ 0 & 0 & \alpha^* \Omega & \alpha^* A & |\alpha|^2 \end{vmatrix}. \quad (6)$$

Здесь  $\alpha$  и  $\beta$  соответствуют сопряженным изображениям фрагментов  $A$  и  $B$ .

Результат фильтрации поля фрагмента  $A$  на структуре (6) находится умножением этого поля на элементы четвертой строки матрицы; все прочие элементы обуславливают формирование на выходе коррелятора ореолов, пространственно отделенных от восстановленных изображений  $\Omega$ ,  $A$  и  $\alpha$ . Поскольку поля фрагментов  $A$  и  $B$  разнесены во времени (не интерферируют), оператор (6) не содержит ПЧ составляющих, описываемых элементами  $\{A^* B\}$  и  $\{A^* \beta\}$ . Исходя из традиционно рассматриваемого интерференционного (габоровского) механизма формирования структуры голограммы, которому соответствует оператор (6), нельзя ожидать восстановления на выходе фильтра изображений  $B$  и  $\beta$  при считывании полем фрагмента  $A$ . Однако суперпозиция распределенный пропускания наложенных парциальных голограмм  $|A + \Omega|^2$  и  $|B + \Omega|^2$  приводит к формированию муаровой картины

$$\mathbf{R}_{qp}^{(m)} = \mathbf{R}_{0q} - \mathbf{R}_{0p}, \quad (7)$$

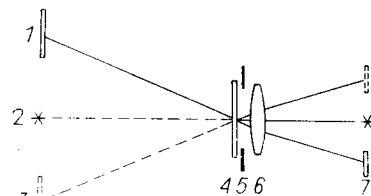


Рис. 2. Схема коррелятора с нелинейной безлинзовой фурье-голограммой:

1 — объект; 2 — опорный источник; 3 — сопряженное изображение; 4 — голограмма-фильтр; 5 — апертурная диафрагма; 6 — линза; 7 — плоскость формирования действительных изображений

Эта голограмма подтверждается аналитически сложением распределений интенсивностей для случая, когда объект состоит из двух точек, а также экспериментально — посредством наложенной записи развернутых под соответствующим углом голографических решеток и микроскопического исследования структуры полученного транспаранта. Поскольку парциальные голограммы фрагментов  $A$  и  $B$  зарегистрированы нелинейно, то, следуя подходу, развитому в [5], к ПЧ, соответствующим (6) и (7), следует добавить комбинационные, описываемые векторами решеток

$$\frac{1}{2} R_{0q} - R_{qp}^{(m)}, \quad \frac{1}{2} R_{0p} - R_{qp}^{(m)}. \quad (8)$$

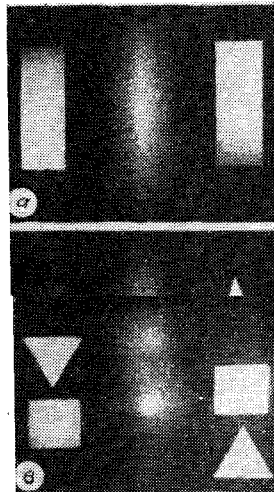
Спектр ПЧ фильтра (6), дополненный муаровыми и комбинационными составляющими, оказывается аналогичным спектру рассмотренного в [1] фильтра  $|A + B + \Omega + \beta + \alpha|^2$ , сформированного в результате параллельной регистрации полей фрагментов  $A$  и  $B$ . Дифракция поля  $A$  на решетках, описываемых набором векторов (7), приводит к восстановлению на выходе фильтра поля фрагмента  $B$ , а на решетках (8) — его сопряженного изображения  $\beta$ . Можно ожидать поэтому, что если эффективность комбинационного механизма формирования дифракционной структуры фильтра, обуславливающего появление решеток (7), (8), будет соизмерима с эффективностью интерференционного механизма (5), то и в случае наложенной записи нелинейных голограмм на выходе коррелятора восстановится полное сопряженное изображение при считывании частью объектного поля.

**Эксперимент.** Первой задачей экспериментального исследования процесса фильтрации с использованием нелинейной голограммы была проверка вывода о возможности восстановления полного сопряженного изображения объекта-эталона в случаях параллельной и наложенной записей голограмм его фрагментов. Использовалась схема безлинзовой фурье-голографии (рис. 2). Объектами 1 служили подсвечиваемые излучением гелий-неонового лазера образцы матового стекла, подготовленного абразивом М-28. Максимальный полевой угол объекта, оцениваемый из центра голограммы 4, составлял  $3 \cdot 10^{-2}$ , а угол между осями опорного и объектного полей —  $7 \cdot 10^{-2}$ . Фильтры записывались на фотопластинках «Микрат ЛОИ-2», которые обрабатывались проявителем ГП-2 с последующим фиксированием. Считывание производилось полем объекта 1. Посредством линзы 6 в плоскости 7 получались действительные изображения элементов восстановленного поля, которые могли быть зарегистрированы либо профотометрированы. Используя то обстоятельство, что в случае фазовых голограмм соотношением дифракционных эффективностей в различных порядках можно управлять [7], мы добились уравнивания яркостей наблюдаемых сквозь фильтр считывающего поля, корреляционного пика и сопряженного изображения. В этом случае дифракционная эффективность в соответствующих порядках составляла 2 %.

Фотограммы полей, формирующихся на выходе коррелятора, представлены на рис. 3. Справа на каждом фрагменте — наблюдаемое сквозь

Рис. 3. Результат фильтрации нелинейной голограммой

Фильтр основное изображение, в центре — фантомное изображение опорного источника на фоне ореола, а слева — сопряженное изображение. Фрагмент 3, а иллюстрирует результат считывания голограммы всем объектным полем, 3, б — его часть (в случае одновременной регистрации тывающего поля на комбинационных углах составляющих нелинейного фильтра (5в) и (8)). Другой мыслимый механизм — восстановление частью поля объекта-эталона поля опорного источника, который, в свою очередь, восстанавливает сопряженное изображение, — в данном случае исключен, поскольку при выбранной геометрии опыта заведомо выполняется критерий того, что голограмма тонкая: параметр Клейна [8]  $Q \sim 0,1$ .



Для сравнения яркостной тонопередачи в области фантомного (в нулевом порядке) и сопряженного изображений проводилось фотометрирование частей восстановленного поля на выходе коррелятора для случаев параллельной и последовательной регистраций голограмм квадрата и треугольника в расположении рис. 3, в при соотношении интегральной яркости между ними 2:1. Результаты фотометрирования, приведенные в таблице, показывают, что исходное соотношение яркостей гораздо лучше воспроизводится в сопряженном изображении, чем в основном, при считывании как квадратом, так и треугольником. Такое свойство сопряженного изображения, формирующегося в схеме голографического коррелятора, делает его весьма эффективным средством восстановления изображения объекта по его фрагменту.

Следующая задача состояла в изучении интегральных характеристик корреляционных откликов в зависимости от чисто амплитудных и чисто фазовых искажений поля объекта-оригинала.

Исследовалась зависимость яркостей корреляционного пика и сопряженного изображения от мощности  $M < N$  считывающего подансамбля ОР. Посредством квазиточечной диафрагмы, помещаемой на входе измерительного прибора, ореол практически полностью отсекается. Мощность измеряемого сигнала описывается квадратичной зависимостью

$$I_1 \sim (M/N)^2. \quad (9a)$$

Яркость же сопряженного изображения аппроксимируется соотношением

$$I_2 = A(M/N)^2 + B(M/N). \quad (9б)$$

Запись	Изображения			
	Основные		Сопряженные	
	Квадрат	Треугольник	Квадрат	Треугольник
Параллельная	3,8	0,3	0,3	0,2
	0,6	9,5	0,4	0,2
Наложённая	2,4	0,5	0,5	0,3
	0,6	2,4	0,5	0,3

Примечание. Выделена яркость считывающего фрагмента; отсчеты нормированы по мощности корреляционного пика.

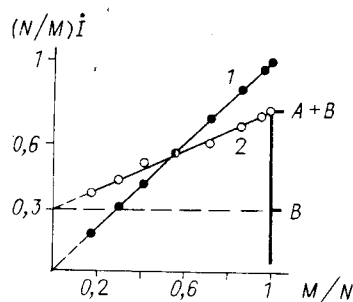


Рис. 4. Зависимость интенсивностей корреляционных откликов от мощности набора считывающих ОР:  
1 — корреляционный пик; 2 — сопряженное изображение

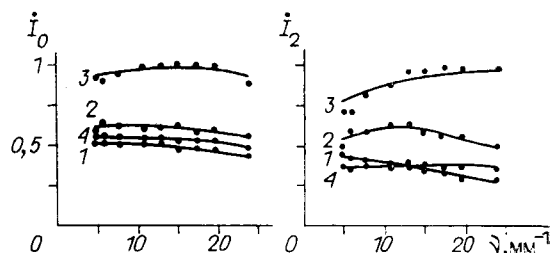


Рис. 5. Зависимость функции передачи спектра мощности объектного поля в области нулевого ( $I_0$ ) и второго ( $I_2$ ) дифракционных порядков от размера номинальной апертуры (мм):  
1 — 5; 2 — 10; 3 — 13; 4 — 18

Первое слагаемое в (9б) соответствует интенсивности информативного сигнала — сопряженного изображения, возникающего в результате когерентного наложения  $M$  парциальных изображений. Линейный член, характеризующийся коэффициентом  $B$ , появляется вследствие того, что сопряженное изображение формируется на фоне ореола, описываемого вторыми слагаемыми выражений (4). Некогерентная компонента может также возрастать из-за неточности установки фильтра.

Для оценки отношения сигнала к шуму в области сопряженного изображения, определяемого величиной  $AM/BN$  (отношением первого и второго слагаемых (9б)), следует найти коэффициенты  $A$  и  $B$ . С целью линеаризации зависимости (9б) левая и правая части этого выражения делятся на  $M/N$ ; графически изображается зависимость величины  $NI/M$  от относительной мощности считывающего подансамбля ОР. Обработанные таким образом результаты измерений приведены на рис. 4. Нормировка всех отсчетов производилась по максимальной яркости корреляционного пика. Коэффициент  $B$  находится из графика при  $M/N = 0$ ; при  $M/N = 1$  величина  $NI/M$  равна  $A + B$ .

Исследование влияния фазовой модуляции считывающего поля [9] показало высокую чувствительность корреляционных откликов к такого рода искажениям. С нарастанием фазовых флуктуаций, вносимых на трассе освещающего предмет пучка либо между предметом и фильтром, в области как корреляционного пика, так и сопряженного изображения происходит быстрое перераспределение интенсивности между информативным сигналом и ореолом в пользу последнего. Аналогичное влияние на структуру откликов оказывают и фазовые неоднородности, вносимые подложкой фильтра, которая характеризуется крупными в масштабе  $\lambda$  зонами корреляции [10]. Дифракционная структура (3) оказывается промодулированной по фазе. От различных зон корреляции фильтра в точку изображения приходят сигналы со случайными сдвигами фаз, вследствие чего яркость корреляционного отклика снижается, а мощность фона возрастает. Однако непосредственная экспериментальная оценка отношения сигнала к фону для основного и сопряженного изображений затруднительна, поскольку ореол не может быть пространственно отделен от изображения. Нами исследовалась зависимость частотно-контрастной характеристики (ЧКХ) процесса формирования корреляционных откликов нулевого и второго порядков от размера номинальной (геометрической) апертуры фильтра.

Пока номинальная апертура меньше линейного размера фазовой неоднородности фильтра, формирование корреляционных откликов протекает в соответствии с изложенным в предыдущих разделах: для каждой точки восстановленного изображения удовлетворяется условие Рэлея детальной коррелированности парциальных сигналов. При увеличении апертуры вплоть до размеров фазовой неоднородности яркость и разрешение возрастают в соответствии с обычными дифракционными усло-

виями. Когда апертурой охватываются несколько фазовых неоднородностей, функция рассеяния точки (изображение опорного источника) усложняется: расчленяется на соответствующее число пятен, которые вследствие стационарности сдвига фаз между частично налагающимися сигналами от различных неоднородностей интерферируют между собой. Сопряженное изображение формируется как свертка изображения, описываемого выражениями (4), с функцией рассеяния точки, имеющей тот же вид, что и корреляционный отклик первого порядка. Ухудшение разрешения, связанное с уменьшением эффективной апертуры сравнительно с номинальной, проявляется в виде снижения контраста.

Фотограммы основного и сопряженного изображений получены при различных апертурах, причем обеспечивались одинаковые экспозиции для всех кадров. Среднее пропускание образцов (изображений) было на уровне 0,4. Полевой угол составлял  $1,6 \cdot 10^{-2}$  (что соответствует максимальной ПЧ  $25 \text{ мм}^{-1}$ ), а угловое расстояние между центром предмета и опорным источником —  $10^{-1}$ . Полученные фотограммы исследовались в схеме оптического дифрактометра. Измерялись спектры мощности объекта-эталопа в отсутствие голограммы и спектры мощности основного наблюдаемого сквозь фильтр и сопряженного изображений. Отсчеты, полученные для изображений, нормировались по соответствующим отсчетам эталопа; максимальное отношение в данной группе измерений принималось за единицу.

Полученные таким способом ЧКХ представлены на рис. 5. Кривые 1—3 иллюстрируют повышение контраста (разрешения) с увеличением апертуры, пока изображение строится лучами, прошедшими сквозь одну фазовую неоднородность фильтра. Геометрические размеры апертуры, при которой достигается наилучшее разрешение, согласуются с данными работы [10]. Дальнейшее увеличение апертуры приводит к снижению контраста как в основном, так и в сопряженном изображении (кривые 4). Поскольку ПЧ объектного поля сосредоточены в сравнительно узкой низкочастотной области (что практически всегда имеет место в голографическом корреляторе), изменение контраста происходит более или менее равномерно, не приводя к большим деформациям спектра. Из приведенных результатов видно, что разрешение в области корреляционного отклика второго порядка не уступает разрешению в основном изображении.

В заключение сформулируем основные результаты выполненного исследования. При использовании нелинейной голограммы в качестве фильтра оптического коррелятора в случаях одновременной и палоченной записей формируется полное сопряженное изображение объекта-эталопа. В механизме восстановления корреляционного отклика во втором дифракционном порядке существенную роль играют комбинационные ПЧ. Исходное распределение интенсивности воспроизводится в области сопряженного изображения значительно лучше, чем в области основного. Возможен оптимальный выбор апертурных условий фильтрации, при которых контраст в области сопряженного изображения оказывается максимальным. Сопряженное изображение не уступает по качеству основному, сформированному при аналогичных апертурных условиях. Описанные свойства сопряженного изображения позволяют оптимистически оценивать перспективы применения коррелятора с пелликлоидной голограммой в качестве фильтра в задачах оптической обработки информации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полянский П. В. О формировании сопряженного изображения в схеме обобщенного голографического фильтра // Оптика и спектроскопия.— 1988.— 65, № 2.
2. Ковальский Л. В., Полянский В. К. Исследование возможностей метода голографии без использования опорного пучка // Оптика и спектроскопия.— 1970.— 28, № 2.

3. Закшецкая Т. Я., Ковальский Л. В., Полянский В. К. Безопорная голограмма как фильтр оптического коррелятора // Оптическая голография и ее применение.— Л.: ЛДНТП, 1974.
4. Полянский В. К., Росляков С. Н., Тарновецкий В. В. Яркие характеристики изображения, восстановленного по безопорной голограмме // Укр. физ. журн.— 1980.— 25, № 4.
5. Стрэт Дж. В. (Рэлей). Теория звука.— М.: ГИТТЛ, 1955.— Т. 2.— С. 417.
6. Горелик Г. С. Колебания и волны.— М.: ГИФМЛ, 1959.
7. Стринадко Л. В., Полянский В. К., Стринадко М. Т. О структуре поля, рассеянного фазовым транспарантом // Оптика и спектроскопия.— 1980.— 49, № 5.
8. Кольер Р., Беркхарт К., Лин Л. Оптическая голография.— М.: Мир, 1973.
9. Полянский П. В. Влияние фазовой модуляции объектного поля на результат голографической фильтрации // Автометрия.— 1989.— № 1.
10. Мохунь И. И., Полянский В. К., Протасевич В. И., Яценко В. В. Влияние фазовых неоднородностей на свойства оптического тракта // Автометрия.— 1982.— № 2.

*Поступила в редакцию 10 октября 1988 г.*

УДК 681.327.68 : 778.38

**А. А. БЛОК**  
(Новосибирск)

### **ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ КОДИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ГЗУ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ СТРАНИЦ ДАННЫХ**

Достоверность считывания цифровой информации в голографических запоминающих устройствах (ГЗУ) в сильной степени зависит от стабильности характеристик качества изображений страниц данных, восстановленных из массива голограмм, на которую, в свою очередь, влияет большое количество факторов: флуктуации параметров элементов ГЗУ (лазера, устройства набора страниц данных, дефлектора, формирующей оптики и т. д.), нестабильность параметров режима записи и обработки голограмм, неравномерность характеристик регистрирующей среды, пыль, турбулентность воздушной среды, вибрации и т. д. [1 — 3].

Одним из наиболее существенных дестабилизирующих факторов является влияние информационного содержания страниц данных на характеристики восстановленных изображений. Под информационным содержанием в этом случае подразумевается количество оптических «1»  $N_1$  и их размещение в странице данных. Анализ публикаций и опыт практической работы по записи больших массивов голограмм различных типов реальной цифровой информации и исследованию их характеристик показывают, что влияние информационного содержания страниц данных на характеристики восстановленных изображений изучено недостаточно.

Цель настоящей статьи — показать воздействие информационного содержания страниц данных на характеристики восстановленных из голограмм изображений для различных типов информации (полутонные изображения, текст, графика) и предложить достаточно эффективный способ кодирования данных, позволяющий стабилизировать характеристики восстановленных изображений и тем самым повысить достоверность считывания информации.

Рассмотрим физические аспекты влияния содержимого страницы данных на характеристики ее качества при восстановлении. Регистрация фурье-голограмм цифровых данных практически всегда осуществляется на нелинейном участке характеристической кривой фотоматериала. Это связано с тем, что при записи фурье-голограмм в ГЗУ при-