

где  $E$  означает операцию усреднения величины, стоящей в скобках. Таким образом, на  $(k+1)$ -ой итерации для точки изображения получим:

$$g_{\text{out}}^{(k+1)} = g_{\text{out}}^{(k)} + E(\Delta g_{\text{out}}^{(k+1)}) \approx [f + \Delta f^{(k)} - E(A_0 / |F|) \Delta f^{(k)}] \exp i \varphi^{(k)} \quad (8)$$

Из (8) видно, что амплитуда изображения будет тем ближе к идеалу, чем ближе  $E(A_0/|F|)$  к единице. После нескольких итераций с использованием диффузного рассеивателя в плоскости объекта последнее выполняется с хорошей точностью.

*Литература:* 1. Василенко Г. И., Тараторин А. М. Восстановление изображений. М., Радио и связь, 1986. 2. J. R. Fienup. Phase retrieval algorithms : a comparison. Appl. Opt. 1982, 21, 2758 – 2769. 3. R. W. Gerchberg, W. O. Saxton. A practical algorithm for the determination phase from image and diffraction plane pictures. Optik, 1972, 35, 237–243. 4. Заявка на патент України (автори Кузьменко О. В., Комаров В. О., Єжов П. В.). Спосіб визначення фази за даними про амплітуду. Номер 2002031757, з пріоритетом від 04. 03. 02. 5. J. R. Fienup. Iterative method applied to image reconstruction and to computer-generated holograms. Opt. Eng. 1980, 19, 297-305.

УДК 535.317.1

## ОПТИКО-ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА ЗАПИСИ ГОЛОГРАММ

*Павел Ежов, Александр Кузьменко, Вячеслав Комаров, Николай Яковкин*

*Международный центр “Институт прикладной оптики” НАН Украины*

*Аннотация:* Разработана оптико-цифровая система обработки информации на базе термопластических сред, позволяющих осуществлять запись фазовых голограмм в “реальном времени” и их считывание для применения в различных областях защитных голографических технологий.

*Summary:* We developed the optical and digital system for information processing based on the thermoplastic recording media allowing to write the phase hologram in the “real – time” and read for application in various areas of security holographic technologies.

*Ключевые слова:* Оптическая голография, оптическая обработка информации, оптико-цифровые системы записи – считывания голограмм.

### I Введение

Наряду с существующими криптографическими методами защиты информации, в том числе и электронными, весомое место занимают оптические защитные технологии – системы идентификации, основанные на методах корреляционной оптики, голографические защитные элементы – радужные голограммы, дот матрикс, голограммы с кинематическими эффектами, комбинированные голограммы, совмещающие свойства различных типов голограмм и т. д.

В этой связи, системы записи голограмм с уплотнением информации, применяющиеся при создании голографической оптической памяти, являются перспективными для использования их в голографических защитных технологиях. Ключевым моментом в этих системах является уплотнение информации, т. е. уменьшение размеров голограмм. Для примера – при типичных размерах записанных голограмм  $1 \div 2$  мм, для тонких голограмм при теоретическом пределе  $3.78 \cdot 10^6$  бит, характерной плотностью является плотность записи  $10^4$  бит [1 – 3]. Возможно двоякое применение данных голограмм:

а) в качестве комбинированных голограмм и голографических меток, голографических защитных кодов – в виде пассивных защитных элементов имеющих целью увеличить степень защищенности основных элементов – удостоверений, банковских карт, бланков документов и т. д;

б) в качестве голографических носителей информации, всевозможного рода ключей, кодов, которые уже как активные элементы могут быть внедрены в те же удостоверения, устройства доступа (ключи) с различным временным интервалом действия, а так же использоваться для перенесения нужной информации к получателю, имеющему ответную считывающую часть.

Нужно сказать, что системы записи и системы считывания априори существуют для всех изложенных выше приложений, меняется только степень сложности устройств в зависимости от решаемых задач.

В докладе рассматривается макет оптико-цифровой системы записи-считывания голограмм на базе термопластических регистрирующих сред с записью в “реальном времени” и с возможностью гибко перестраивать систему в зависимости от возникающих задач.

## II Оптико-цифровая система записи-считывания голограмм

### II.1 Оптическая схема

Функционально, основная задача предлагаемой системы – нахождение оптимальных режимов записи-считывания с учетом применяемых голографических регистрирующих сред, типа защитных элементов и с учетом всех факторов – определение оптимальной конфигурации всех элементов системы под задаваемый тип задачи.

Рассмотрим общую оптическую конфигурацию системы считывания – записи, которая состоит из:

а) системы регистрации, которая в свою очередь состоит из (рисунок 1а):

- 1) системы ввода информации;
- 2) собственно блока системы регистрации на фототермопластике (БФТП);
- 3) системы контроля амплитудных распределений в предметных и опорных световых пучках;
- 4) система регистрации эффективности записываемых голограмм;

б) системы считывания (рис. 1б).

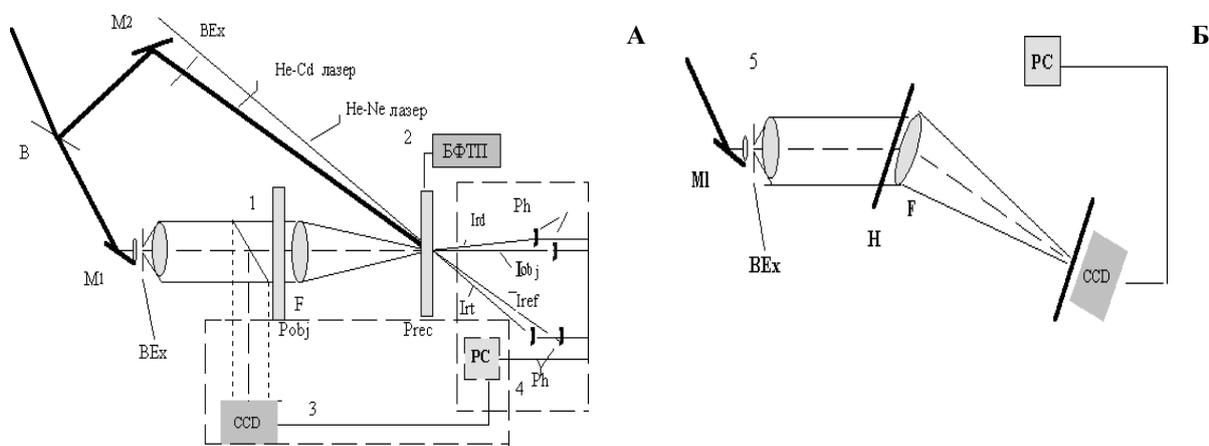


Рисунок 1 – Оптическая схема оптико-цифровой системы записи-считывания голограмм

А) Система записи

- 1) Система ввода информации;  $M_1, M_2$  – зеркала;  $B$  – делитель пучка;  $V_{Ex}$  – коллиматор с пространственной фильтрацией;  $P_{obj}, P_{rec}$  – плоскость объекта и плоскость записи соответственно;  $F$  – Фурье объектив.
- 2) Блок системы регистрации на фототермопластике (БФТП);
- 3) Система контроля амплитудных распределений в предметных и опорных световых пучках; CCD – камера для контроля качества пучков с АЦП; PC-IBM-совместимый компьютер;
- 4) Система регистрации эффективности записываемых голограмм;  $I_{rd}, I_{rt}$  – интенсивности дифрагированного и прошедшего пучков тестирующего (He-Ne) лазера;  $I_{obj}, I_{ref}$  – интенсивности объектного и референтного пучков (He-Cd,  $Ar^+$ , He-Ne); PC – IBM-совместимый компьютер с платой АЦП, Ph – фотодиоды системы регистрации соответственно.

Б) Система считывания

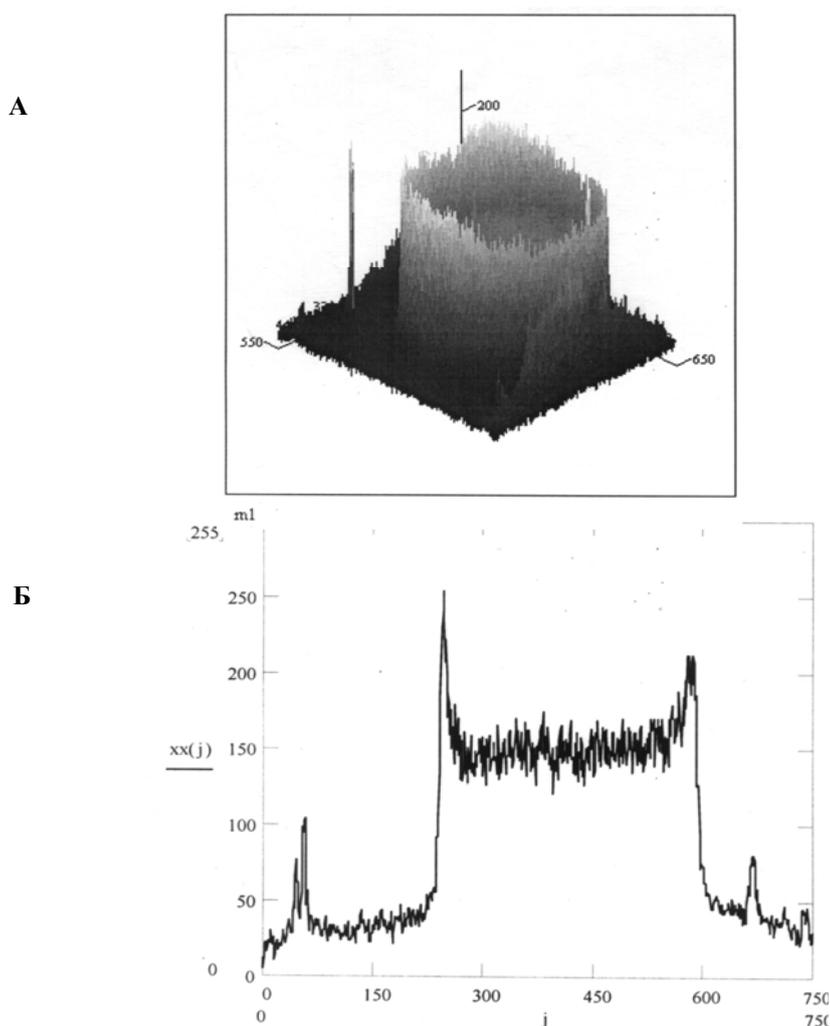
- $M_1$  – зеркало;  $V_{Ex}$  – коллиматор с пространственной фильтрацией;  $H$  – голограмма;  $F$  – Фурье-объектив; CCD – камера считывания.

Рассмотрим работу системы в режиме записи (рис. 1а). Световой пучок лазера достигая делителя пучка  $B$ , разделяется на объектный и референтный с интенсивностями  $I_{obj}, I_{ref}$  соответственно, и далее каждый проходит через свой коллиматор. Амплитуда поля референтного пучка в плоскости регистрации ( $P_{rec}$ ) имеет Гауссово распределение, амплитудное распределение поля объектного пучка в плоскости объекта  $P_{obj}$

(транспарант) имеет вид, представленный на рис. 2а, центральное сечение на рис. 2б при диаметре пучка 60 мм.

Контроль за указанными распределениями производится CCD камерой системы 3 (рис. 1а), Специализированное программное обеспечение 8-битовый АЦП фирмы Spiricon, специализирующейся на разработке оборудования и программ для анализа амплитудных распределений лазерных пучков. В отличие от методов выделения центрального участка распределения Гаусса, метод, предложенный и реализованный нами, использует практически всю энергию пучка и является модификацией методов, представленных в [4 – 5]. Далее в плоскости регистрации интерферируют Фурье-образ объекта, сформированный соответствующим объективом F, и плоская опорная волна. Разрешающая способность объектива при монохроматическом освещении составляет около 300 л/мм.

Регистрация проводится блоком регистрации БФТП на фототермопластическую регистрирующую среду – ПЕПК – поли-N-эпоксипропил-карбазол, синсебилизованный 3-я масовыми % гексилового эфира 2,7-динитро-9-дицианометил-4-карбоновой кислоты. Плотность мощности, достаточная для экспозиции (0.633  $\mu\text{m}$ ) лежит в диапазоне от долей – до единиц  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ . Привлекательным свойством данных сред является то, что они являются реверсивными, количество циклов запись-стирание для данной среды составляет от нескольких сотен до нескольких тысяч. Система регистрации 4 (рис. 1а), позволяет рассчитать дифракционную эффективность записанной голограммы для данного соотношения интенсивностей опорного и предметного пучков, регистрируя фотодиодами Ph мощность дифрагированного и прошедшего пучков.



**Рисунок 2 – Амплитуда распределения поля в объектной плоскости**

А) двумерное распределение;

Б) центральное сечение данного распределения.

Система реализована на 10-битовом АЦП-1050, выполненном в виде платы с разъемом под PC-слот компьютера. Работа системы под управлением компьютера осуществляется посредством разработанного программного обеспечения. Записанные голограммы являются тонкими фазовыми голограммами с максимальной дифракционной эффективностью  $\eta=33.9\%$  (не учитываем случай специальной формы штриха, когда  $\eta=40.4\%$ ).

Рассмотрим работу оптико-цифровой системы в режиме считывания (рис. 1б). Пучок лазера, который соответствует сопряженному референтному пучку при записи, формируемый коллиматором  $V_{\text{ex}}$  со стандартным гауссовым распределением амплитуды поля, проходит голограмму  $H$  в плоскости, где расположена CCD-камера и посредством объектива  $F$  формирует изображение объекта. Требование к объективу  $F$  – элемент изображения должен быть по площади не меньше, чем площадь 4-х элементарных светочувствительных пикселей камеры, что составляет  $15 \times 15 \mu\text{m}$ , и не больше размера, обеспечивающего требуемое количество бит в изображении. Камера, применяемая в системе Б (рис. 1б), способна обеспечить максимальное число бит –  $5.6 \cdot 10^4$  для квадратной входной бинарной матрицы.

Таким образом камера с интерфейсом является стандартной CCD-камерой с размером активной зоны  $600 \times 480$  пикселей, 8-битным АЦП (в виде платы для PC) и программным обеспечением, позволяющим выполнять стандартные процедуры, а именно: мониторинг процесса считывания, время смены кадра до  $1/5$  с, останов выбранного кадра, запись этого кадра. запись последовательности кадров.

## II.2 Тестирование оптико-цифровой системы записи-считывания

В качестве иллюстрации работы системы рассматривается задача записи тестовой страницы информации емкостью  $10^4$  бит и ее считывание. Объект был выбран так, что расположение логических единиц (им соответствует светлые участки на транспаранте) относительно темных участков (логических нулей) представляет собой повторяющиеся упорядоченные комбинации.

Параметры объекта – размер 1-го бита на входной странице –  $80 \mu\text{m}$ , размер голограммы  $5 \text{ mm}$ , что не меньше минимального размера голограммы  $4.2 \text{ mm}$  [1] по критерию Рэлея. Отношение линейных размеров объекта к диаметру Фурье-объектива  $1/4$  [1] и расположение объекта (вплотную к Фурье-объективу), что исключает потерю разрешающей способности голограммы из-за виньетирования объекта.

Получены фазовые пропускающие голограммы с дифракционной эффективностью  $\eta=(3-9)\%$  при отношении интенсивности референтного пучка к интенсивности объектного  $1/20 - 1/5$ , соответственно, с нарастающими искажениями элементов изображения (вследствие нарастания нелинейного отклика среды) при росте отношения интенсивности пучков. Установлено, что самым критичным является вариация температуры окружающей среды на условия записи ФТП. т. е. термостабилизация является необходимым условием стабильности получаемых результатов (наряду с однородностью слоя ФТП ( $1-3 \mu\text{m}$ ) и качественными контактами).

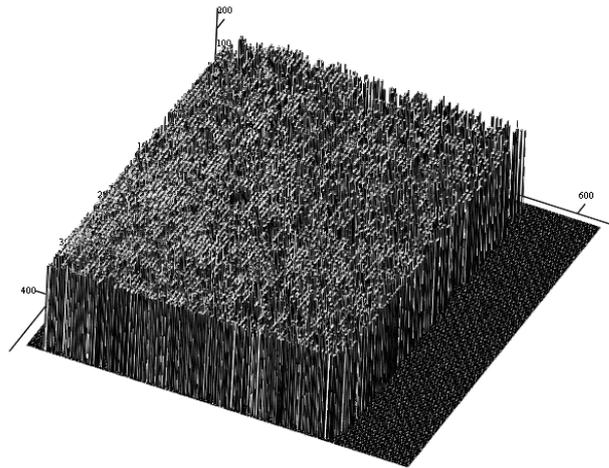
Изображение, полученное с голограммы, содержащей минимальные искажения ( $\eta=3\%$ ) представлено на рис. 3. Несмотря на то, что в плоскости объекта при записи относительные вариации интенсивности составляли  $6\%$ , изображение данного объекта подвергнуто процедуре бинаризации. Подбор режимов считывания с изменением масштаба показал, что:

- а) для достоверного считывания информации необходимо иметь такие линейные размеры объекта, которые обеспечивают полный захват его изображения в кадре.
- б) необходима разработка программного обеспечения для оценки степени достоверности считывания значимых элементов изображения.

## III Заключение

Таким образом, реализована и протестирована оптико-цифровая система записи-считывания в «реальном времени» голограмм на базе фототермопластических регистрирующих сред. В качестве теста использован объект, представляющий информацию в двоичном коде. Определены оптимальные параметры записи-считывания для данного объекта и геометрия оптической схемы. Отмечено, что геометрические размеры объекта не соответствуют оптимальным условиям считывания. Из этого следует, что добавление транспаранта на основе ЖК в канал ввода информации значительно упростит задачу реализации нужных масштабных преобразований в объектной плоскости.

Нами разработан алгоритм предобработки входных изображений, позволяющий модифицировать [6, 7] Фурье-спектры объектов путем подавления  $\delta$ -образных составляющих и таким образом в значительной мере нивелировать нелинейный отклик регистрирующего материала во время записи голограмм.



**Рисунок 3 – Изображение фрагмента изображения размерностью 64x78 элементов**

Из вышесказанного следует, что предложенная оптико-цифровая система записи-считывания голограмм с учетом дальнейшей модификации может использоваться для определения оптимальных схем при решении различных задач в области обработки и защиты информации с целью проработки технологических схем узкоспециализированных голографических приборов и систем для создания и внедрения в промышленном масштабе.

*Литература:* 1. Кольер Р., Беркхарт К., Лин. Л. // *Оптическая голография* / М.: Москва. 1973. 512 С. 686. 3. *Оптическая голография* / Под ред. Г. Колфилда. М.: Мир. 1982. т. 2. 414 С. 735. 3. Акаев А. А., Майоров С. А. // *Оптические методы обработки информации*, М.: Высш. шк., 1988. 74. С. 237. 4. W. Lee. Method for converting a Gaussian laser beam into a uniform beam, *Opt. Commun.* 36, 1981 2469-471.5. Chang-Yuan Han, Yukihiro Ishii, Kazumi Murata. Reshaping collimated laser beams with Gaussian profile to uniform profiles. *Appl. Opt.* Vol. 22, № 22, 1983 3644-3647. 6. J. R. Fienup. Phase retrieval algorithms : a comparison. *Appl. Opt.* 1982, 21, 2758 – 2769. 7. R. W. Gerchberg, W. O. Saxton. A practical algorithm for the determination phase from image and diffraction plane pictures. *Optik*, 1972, 35, 237–243.

УДК 681.7; 535.8

## **ФОРМУВАННЯ ВІДБИВАЛЬНИХ ОПТИЧНИХ МІТОК НА ОСНОВІ ХАЛЬКОГЕНІДНОГО СКЛА ДЛЯ СИСТЕМ ОПТИЧНОГО ЗАХИСТУ**

*Сергій Костюкевич, Петро Шепелявий, Леонід Муравський\*, Тарас Вороняк\*,  
Володимир Фітьо\*\**

*Інститут фізики напівпровідників НАН України, м. Київ,*

*\*Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, м. Львів,*

*\*\*Національний університет “Львівська Політехніка”, м. Львів*

*Анотація:* Представлені результати запису на неорганічний резист кількох інтерференційних картин від різних комбінацій еталонної і трансформованої фазових масок. Показано, що халькогенідне скло є вдалим перспективним матеріалом для реалізації запропонованих відбивальних оптичних міток, які в свою чергу забезпечують високу ступінь захисту документів та інших об'єктів від підробки.

*Summary:* Results of the recording of several interference patterns with different combinations of the etalon and transformed phase masks with the use of the inorganic resist are presented in this work. It is shown that chalcogenide glasses are perspective material for the realization of the proposed reflective optical marks, which in their turn provide high level of the protection for the documents and other objects from counterfeiting.

*Ключові слова:* Оптичні мітки, неорганічний резист, корелятори спільного перетворення Фур'є.