

А. А. БЛОК, Б. В. ВАНЮШЕВ, А. М. ВАСИЛЬЕВ,
Л. В. ВЫДРИН, И. С. ГИБИН, В. А. ДОМБРОВСКИЙ,
Т. Н. МАНТУШ, Б. Н. ПАНКОВ, Е. Ф. ПЕН,
И. Е. ТВЕРДОХЛЕБ, А. И. ЧЕРНЫШЕВ
(Новосибирск)

УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ МАТРИЦ ГОЛОГРАММ

В данной статье рассматривается управляемое от ЭВМ М-400 устройство автоматической записи матриц голограмм, являющееся элементом экспериментальной оптико-электронной системы памяти [1].

На рис. 1 показана блок-схема устройства, где ОС записи — оптическая система формирования фурье-голограмм; ШД_x и ШД_y — шаговые двигатели X и Y; МУШД_x и МУШД_y — модули управления шаговыми двигателями X и Y; МУЛ — модуль управления лентопротяжным механизмом для смены фототранспарантов с изображениями страниц двоичной информации; МУЗ — модуль управления фотозатвором; КАМАК — магистраль крейта КАМАК; КК — крейт-контроллер (для связи с ЭВМ М-400); кассета — сменная кассета с фотоматериалом для записи голограмм; стол — стол с двухкоординатным шаговым перемещением кассеты.

Устройство обеспечивает последовательную регистрацию матрицы фурье-голограмм на регистрирующую среду, перемещаемую по двум координатам относительно опорного и сигнальных пучков с помощью управляемых от ЭВМ (или автономно) двух шаговых двигателей. Вначале кассета автоматически выводится на позицию первой голограммы. Затем после остановки двигателей и задержки t_3 , необходимой для гашения вибраций, вызванных работой шаговых двигателей, открывается затвор на время экспозиции $t_{\text{эк}}$. При этом сигнальный пучок, прошедший через фототранспарант с изображением страницы двоичной информации и объектив преобразования Фурье, интерферирует в плоскости фотоматериала с опорным пучком. После экспозиции проводится смена фототранспаранта и перемещение кассеты по одной из координат на расстояние, равное шагу между голограммами. Эти операции осуществляются с помощью лентопротяжного механизма и подвижного стола. При записи следующей голограммы все операции повторяются. Конфигурация матрицы голограмм (размерность, величина шага) задается оператором в программе управления записью в начальном диалоге с ЭВМ.

Оптико-механический блок изготовлен на базе серийного микроскопа БМИ и обеспечивает дискретное перемещение кассеты с регистрирующим материалом (применены шаговые двигатели), смену фототранспарантов с изображениями страниц данных и формирование сигнального и опорного пучков. На рис. 2 показаны основные элементы оптико-механического блока: оптическая система 1—16, содержащая светодели-

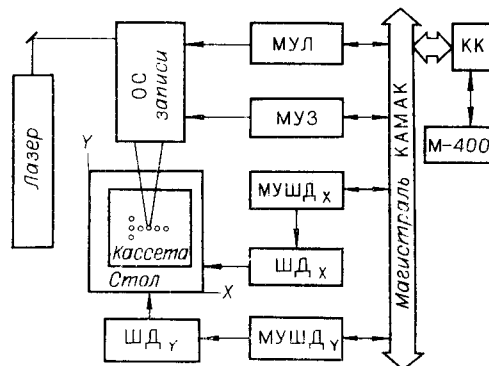


Рис. 1.

тель 2, зеркала 1, 3, 8, 13—15, коллиматор 5—7, фазовую маску 9, объектив преобразования Фурье 10, линзу фокусировки опорного пучка 12, фототранспаранты 16, модуль 11 (рамка с фотопластин-

кой); механизмы шагового перемещения кассеты 17—22 и протяжки пленки с фототранспарантами. Вращательное движение от шагового двигателя 18 преобразуется в поступательное движение кассеты 17 с помощью двух шестерен 21, 22 с передаточным числом 1:5 и микровинта 19 с гайкой 20. Микровинт закреплен неподвижно в осевом направлении, и при его вращении движение гайки передается столу через жесткий упор. Возвратное перемещение кассеты осуществляется с помощью пружины. В устройстве использованы шаговые двигатели типа ДШ-0,4А (один оборот — 16 шагов, скорость вращения — 100 шаг/с). Перемещение на расстояние, соответствующее минимальному шагу записи голограмм, осуществляется за 32 шага двигателя. Максимальное поле перемещения кассеты — 55×55 мм, при этом сум-

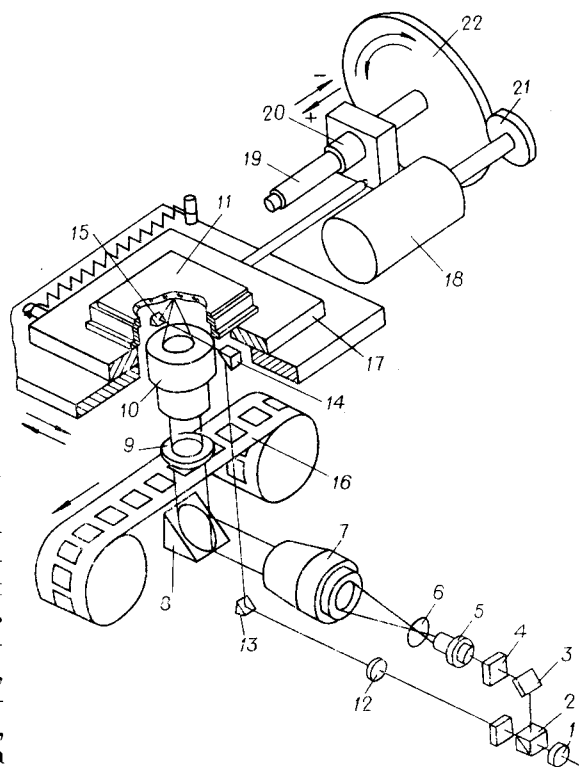


Рис. 2.

марная погрешность позиционирования составляет не более 8 мкм. Для привода лентопротяжного механизма, в качестве которого использован механизм камеры РФК-5, также применены шаговые двигатели. Обеспечено покадровое перемещение пленки со скоростью до 10 кадр/с и погрешностью позиционирования не хуже ± 10 мкм.

При записи голограмм на различных участках регистрирующей среды сигнальный и опорный пучки своего положения не меняют. Сменные фототранспаранты и перемещаемая среда расположены соответственно в передней и задней фокальных плоскостях объектива преобразования Фурье. В отличие от системы записи [2] фототранспаранты размещаются всегда в одном и том же месте. В этом случае для записи голограмм может быть применен малогабаритный объектив. Достоинствами примененной схемы являются также идентичность несущей частоты интерференционной картины для всех голограмм в матрице, инвариантность восстановленного изображения к сдвигу восстанавливающего пучка*.

Расчет и выбор параметров элементов оптической системы проводились при следующих исходных данных: размерность «читаемого» подмассива голограмм — 32×32 (определяется размерностью раstra акустооптического дефлектора системы считывания [1]); емкость страницы данных и ее геометрические размеры определяются параметрами фотоприемной матрицы, используемой при считывании (число фотоприемных ячеек — 32×32 , шаг между ячейками — 250 мкм, размеры фотоприемной ячейки — 100×100 мкм); длина волны излучения лазера — 514,5 нм.

Оптимизация искомых параметров оптической системы проводилась с учетом геометрических и дифракционных ограничений, aberrаций оп-

* При правильной настройке оптической системы сигнальный и опорный пучки имеют плоские волновые фронты в плоскости регистрации голограмм.

тики и характеристик восстановленных из голограмм изображений, требуемых для обеспечения достоверного считывания. Выбраны следующие параметры: объектив записи — фотографический объектив «Гелиос-44/2» ($f = 58$ мм, $1:2$); размер голограммы (определяется диаметром гауссового опорного пучка при записи на уровне $1/e^2$ по интенсивности) — 340 мкм; расстояние между голограммами — 400 мкм; размер разрядной ячейки в TRANSPARENTE ДАННЫХ — 140×140 мкм.

Расчет фокусного расстояния линзы опорного пучка и определение требований к ее установке проводились с учетом характера изменения диаметра и радиуса кривизны волнового фронта гауссового пучка в области перетяжки и параметров исходного лазерного пучка [3]. Расчетное значение фокусного расстояния линзы — 700 мм.

Электронный блок управления обеспечивает автоматический (от ЭВМ) и автономный режим работы и содержит выполненные в стандарте КАМАК два идентичных модуля дискретного перемещения каретки (для каждой координаты — один модуль): модуль управления лентопротяжным механизмом и модуль управления фотозатвором.

Модуль перемещения каретки представляет собой распределитель импульсов токов, коммутируемых полупроводниковыми ключами в обмотках шагового двигателя. Функциональная схема модуля приведена на рис. 3. Он снабжен автономным генератором импульсов и счетчиками на 32 и 128 состояний, обеспечивающими (совместно с устройством управления модуля) формирование заданного количества импульсов для отработки двигателем одного минимального шага матрицы голограмм, определение текущей координаты положения каретки и выбор направления вращения двигателя. Определение начального положения по обеим координатам осуществляется концевыми выключателями, а его отработка — специальным режимом работы модуля. В автономном режиме предусмотрено управление от кнопок, однократным нажатием которых обеспечивается установка каретки в положение, соответствующее началу отсчета, или ее перемещение в одном из двух противоположных направлений на один шаг матрицы голограмм. В автоматическом режиме модуль управляется 8-разрядным двоичным кодом. Семь первых разрядов этого кода используются для задания координаты текущего положения каретки (перемещение на произвольное количество шагов матриц голограмм), а восьмой — для установки начала отсчета.

Модуль управления лентопротяжным механизмом обеспечивает протяжку фото пленки с транспарантами и также представляет собой упрощенный вариант распределителя импульсов токов для привода шагового двигателя. Запуск распределителя в автономном режиме проводится от кнопки, а в автоматическом — от ЭВМ через магистраль КАМАК. С каждым пуском лентопротяжного механизма осуществляется протяжка пленки на один кадр. Останов шагового двигателя проводится с помощью концевого выключателя.

Модуль управления фотозатвором обеспечивает задание требуемого времени экспозиции в пределах 10—10240 мс. Время экспозиции может задаваться аппаратно (с клавишного регистра на передней панели модуля) или программно от ЭВМ 10-разрядным двоичным кодом. Дискретность установки — 10 мс. Кроме того, в автономном режиме фотозатвор может быть постоянно открытым. Функциональная схема модуля приведена на рис. 4. Модуль представляет собой счетчик импульсов, поступающих от автономного генератора. Счетчик имеет схемы предустановки, пуска и сброса.

Устройство обеспечивает запись матриц голограмм с максимальным форматом 128×128 при шаге записи 400 мкм. В поле модуля (рис. 5) записываемая матрица определяется начальным адресом X_0 , Y_0 , числом голограмм по координатам X , Y и шагом a . Из любого положения (точка A) стол сначала выводится в начало координат, а затем позициони-

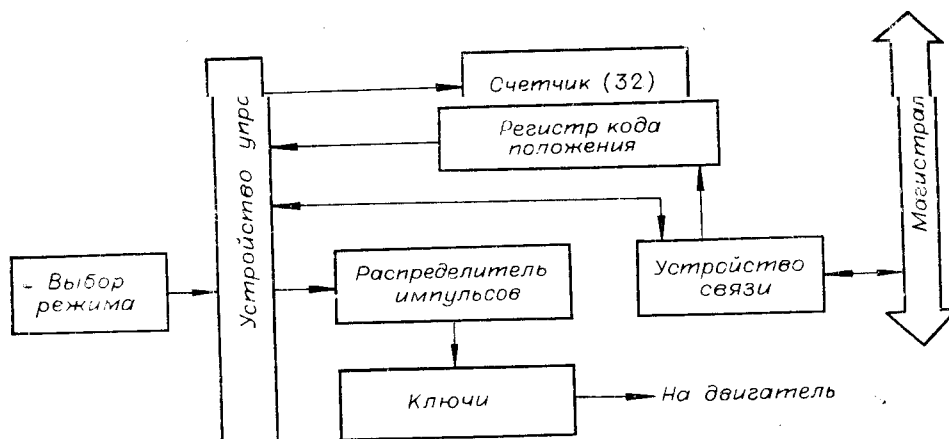


Рис. 3.

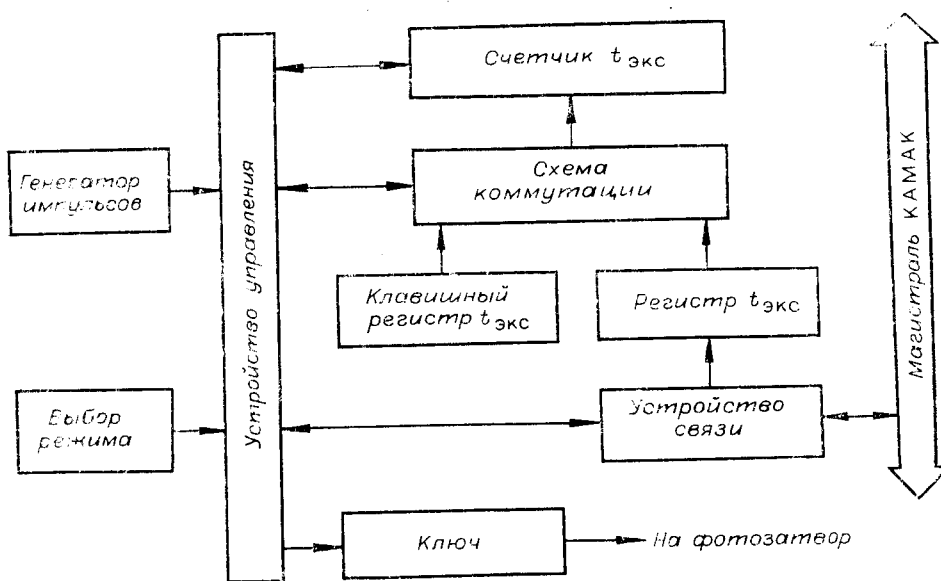


Рис. 4.

руется по текущим координатным адресам, начиная с X_0 , Y_0 (точка B). По координате X_m направление движения после записи всех голограмм строки изменяется. Запись массива заканчивается в точке C (характер сканирования показан на рис. 5 стрелками).

Процесс записи может быть прерван в любой момент времени через клавиатуру дисплея. В составе программного обеспечения устройства записи используется интерпретатор БЭЙСИК М-400 и внешняя (для интерпретатора) программа, работающая в реальном времени с модулями электронного блока управления. Программа на языке БЭЙСИК в режиме диалога осуществляет ввод исходных данных, проверяет правильность

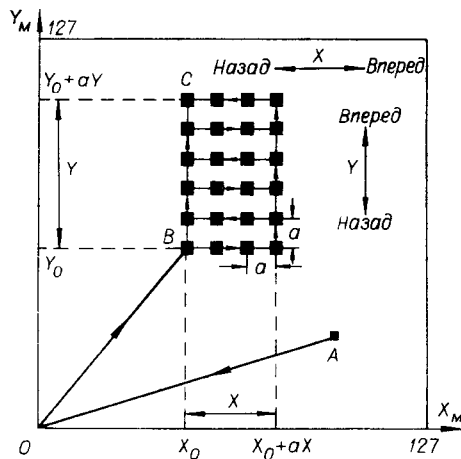


Рис. 5.

ввода и передает внешней программе следующие аргументы: адрес начала матрицы (первой голограммы), число голограмм по координатам, шаг записи, время экспозиции и указатель смены кадра лентопротяжным механизмом.

Внешний вид созданного устройства записи показан на рис. 6. С помощью этого устройства проведена автоматическая запись матриц голограмм размерностью 32×32 , 64×64 , 128×128 и др. На рис. 7 показан внешний вид матрицы 64×64 голограмм с шагом 800 мкм. Максимальная скорость записи ограничена временами перемещения кассеты и сменами перемещения кассеты и сменами

фотоотрапаранта, а также временем успокоения вибрирующих элементов устройства и составляет ~ 100 гол./мин.

Запись голограмм проводилась на фотоматериалах НРБ [4], обеспечивающих более высокую дифракционную эффективность голограмм по сравнению с отечественными фотоматериалами типа ЛОИ-2. Соотношение интенсивностей опорного и сигнального пучков составляло 8:1, а средняя экспозиция ~ 2 мДж/мм² для длины волны $\lambda = 514,5$ нм. Обработка голограмм проводилась в проявителе ГП-2. В результате обработки образовывалась амплитудно-фазовая голограмма, обладающая существенно различным поглощением света при восстановлении He-Ne ($\lambda = 632,8$ нм)-или Ag-лазерами ($\lambda = 514,5$ нм) [5]. Дифракционная эффективность голограмм при восстановлении указанными лазерами отличалась соответственно в 5 раз и составляла в среднем ~ 5 и 1%. Среднее значение отношения сигнал/помеха в восстановленном изображении равно $\sim 20:1$, а флуктуации интенсивности «1» и «0» соответственно ± 30 и $\pm 50\%$.

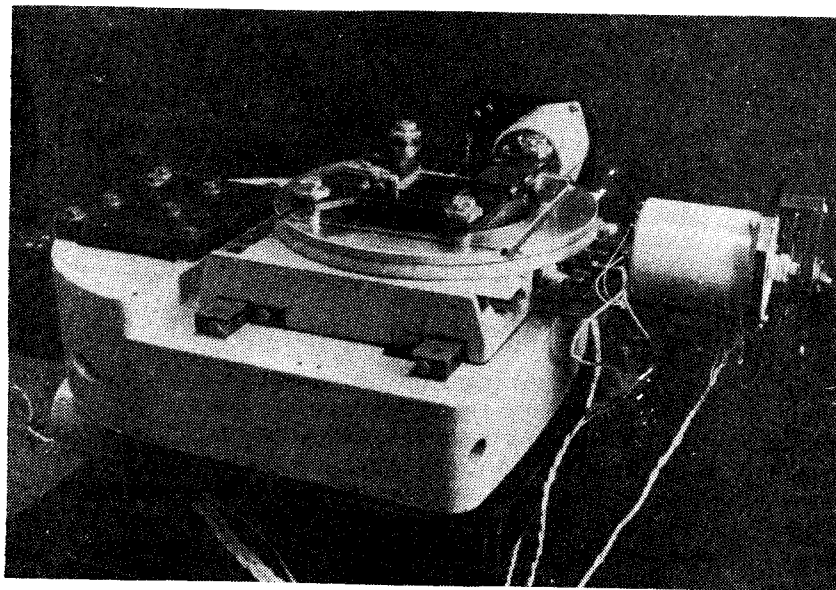


Рис. 6.

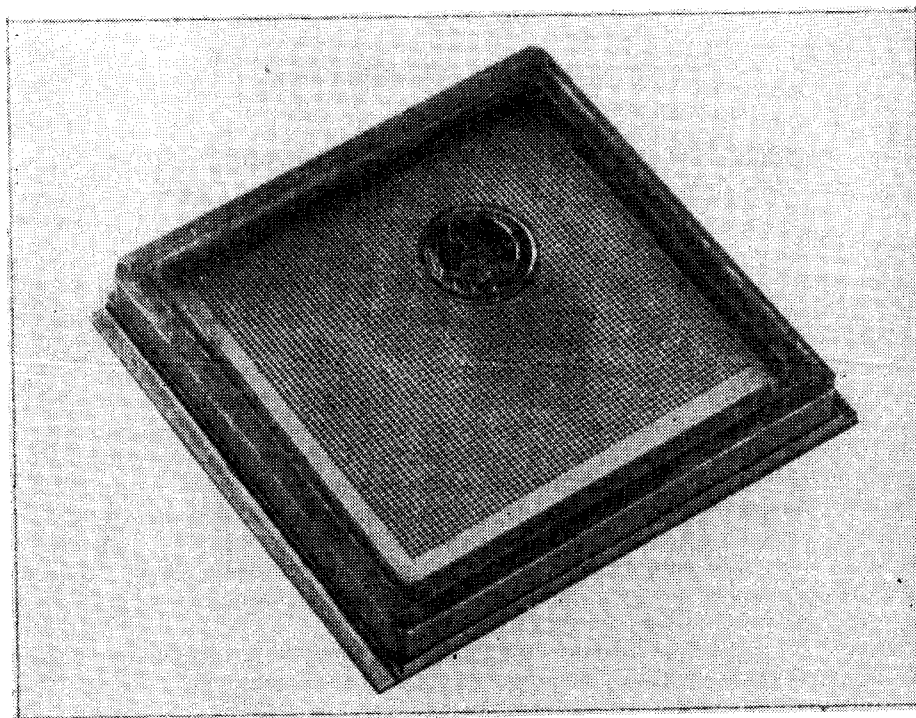


Рис. 7.

Разброс дифракционной эффективности голограмм в матрице 32×32 не превышает $\pm 10\%$.

Фототранспаранты с исходными изображениями регистрируемых массивов данных изготавливались с помощью управляемого от ЭВМ устройства микрофильмирования «Карат» [6]. В экспериментах были использованы тестовые изображения страниц 32×32 бит: «шахматное», «единичное» поля в парафазном коде и некоторые другие.

Запись фурье-голограмм проводилась с использованием случайной фазовой маски, изготовленной методом травления на кварцевом стекле [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Выдрин Л. В., Вьюхина Н. Н., Гибин И. С. и др. Экспериментальная оптико-электронная (голографическая) система памяти.— *Автометрия*, 1980, № 2.
2. Валис А. С., Каушинис С. И., Малишаускас М. А. и др. Устройство для записи голограмм на накопитель постоянного голографического запоминающего устройства.— *ОМП*, 1978, № 11, с. 71.
3. Домбровский В. А., Домбровский С. А., Пен Е. Ф. Влияние параметров гауссового опорного пучка на искажение восстановленных из голограммы изображений.— *Опт. и спектр.*, 1979, т. 45, вып. 5, с. 974.
4. Ковачев Н., Сыйнов В., Матеева Ц. Дифракционная эффективность голограмм на дискретных носителях.— *Квант. электроника*, 1976, т. 3, вып. 11, с. 2399.
5. Усанов Ю. Е. Влияние состава проявителя на свойства голографического изображения.— В кн.: *Регистрирующие среды для голографии*. Л., Наука, 1975, с. 98.
6. *Устройство микрофильмирования «Карат»*.— Информационный листок 959-79. Новосибирск, Новосибирский межотраслевой территориальный центр научно-технической информации и пропаганды, 1976.
7. Левин В. Я., Пен Е. Ф., Солдатенков И. С. и др. Изготовление и исследование фазовых масок для устройств хранения и обработки информации.— *ОМП*, 1978, № 3, с. 43.

Поступила в редакцию 19 сентября 1979 г.