

обладает следующими характеристиками: плотность записи $0,6 \cdot 10^4$ бит/ мм^2 , диаметр голограммы 0,3 мм, расстояние между голограммами 0,4 мм, емкость страницы данных 32×32 бит, емкость модуля памяти 3,5 Мбайт, скорость записи 3000 гол./ч, габариты устройства $100 \times 100 \times 60$ см. При достигнутом качестве изображений страниц, восстанавливаемых из массива голограмм, вероятность ошибки считывания данных находится на уровне 10^{-6} — 10^{-7} (без применения средств коррекции ошибок) [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Блок А. А. и др. Устройство автоматической записи матриц голограмм.— Автометрия, 1980, № 2.
2. Блок А. А. и др. Разработка и исследование электроуправляемого транспаранта на основе жидких кристаллов.— В кн.: Труды IV Всесоюз. конф. по голографии. Ереван: ВНИИРИ, 1982.
3. Вьюхина Н. Н. и др. Программные средства для исследований, отладки и тестирования ГЗУ.— Автометрия, 1984, № 3.
4. Бутт В. Е. и др. Фотоматричная система для исследования изображений страниц информации в голограммных ЗУ.— В кн.: Тез. докл. I Всесоюз. конф. по радиооптике. Фрунзе: ФПИ, 1981.
5. Пен Е. Ф. Расчет достоверности считывания информации в ГЗУ на основе экспериментальных данных характеристик качества восстановленных изображений.— В кн.: Труды IV Всесоюз. конф. по голографии. Ереван: ВНИИРИ, 1982.
6. Усанов Ю. Е. Влияние состава проявителя на свойства голографического изображения.— В кн.: Регистрирующие среды для голографии. Л.: Наука, 1975.

Поступила в редакцию 30 декабря 1983 г.

УДК 681.327.68 : 778.38

**Б. В. ВАНЮШЕВ, А. В. ВОЛКОВ, И. С. ГИБИН,
В. А. ДОМБРОВСКИЙ, С. А. ДОМБРОВСКИЙ,
Т. Н. МАНТУШ, Е. Ф. ПЕН, В. И. ПЕЧУРКИН,
В. А. ПОЛИВАНОВ, А. Н. ПОТАПОВ, П. Е. ТВЕРДОХЛЕБ,
А. И. ЧЕРНЫШЕВ, Л. Ф. ЧЕРНЫШЕВ**
(Новосибирск)

УСТРОЙСТВО ХРАНЕНИЯ И СЧИТЫВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ДАННЫХ В ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ АРХИВНОЙ ПАМЯТИ

Цель настоящей статьи — дать краткие сведения о структуре, принципе действия, оптической и электронной системах, программном обеспечении, конструкции и результатах испытаний опытного образца архивного голографического запоминающего устройства (АГЗУ) емкостью 1000 Мбайт. Данная работа является развитием предыдущего этапа исследований и разработок [1].

Созданное АГЗУ отличается от известных устройств [1—4] более высокой емкостью памяти (до 1000 Мбайт) и надежностью работы оптико-механических систем, возможностью автоматической смены модулей памяти, а также конструктивной законченностью.

Структура и принцип действия. Созданное устройство имеет общий накопитель барабанного типа и две автономные системы фотосчитывания с идентичными оптико-механическими узлами и электронными блоками. Схема АГЗУ с одним каналом считывания данных приведена на рис. 1, где 1 — лазер, 2 — электрооптический дефлектор (ЭОД), 3 — оптика формирования считывающего пучка, 4 — акустооптический дефлектор (АОД), 5 — оптическая система формирования раstra считывающих

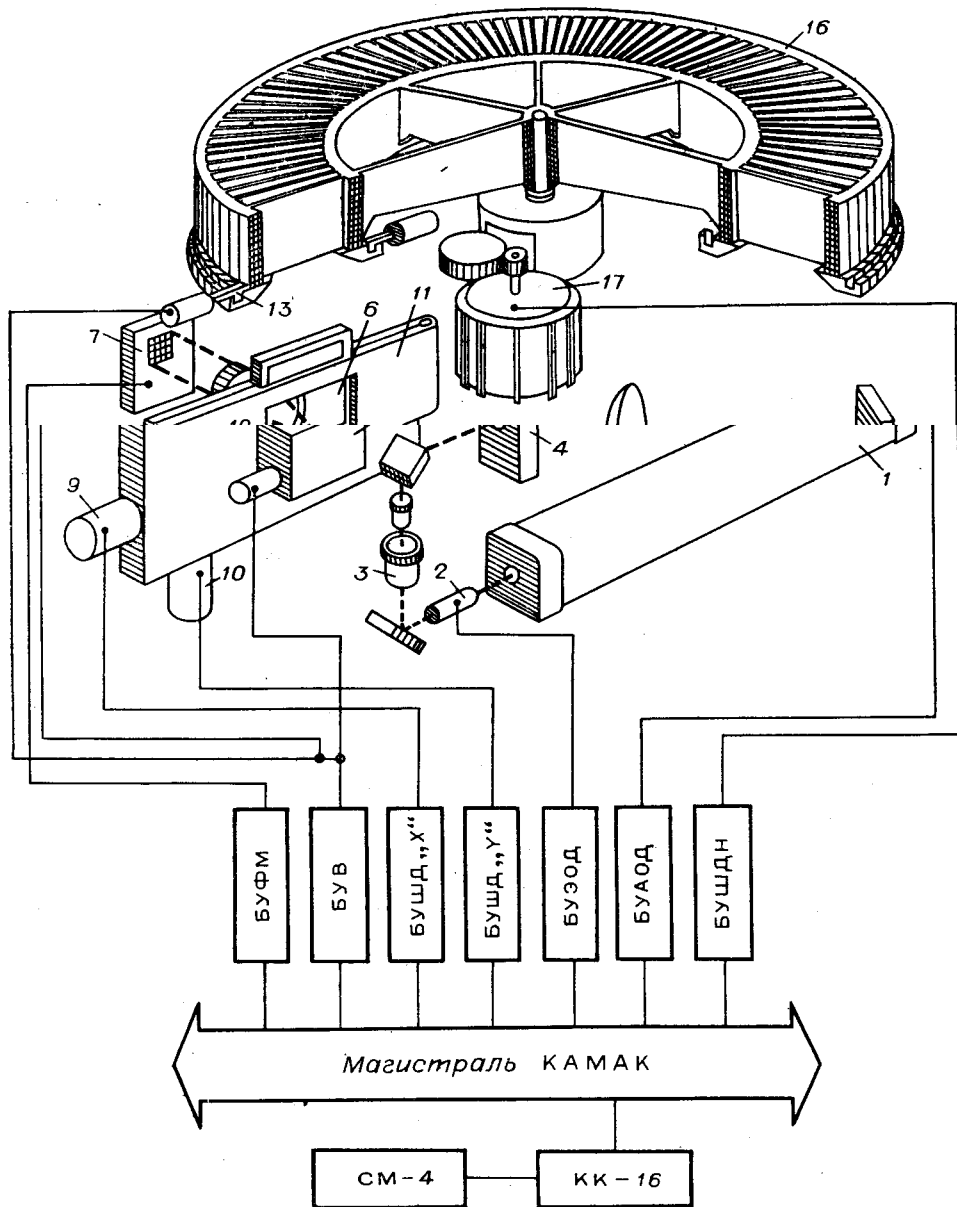


Рис. 1.

пучков, 6 — модуль памяти, 7 — узел фотоматрицы, 8 — двухкоординатный стол, перемещающий модуль 6 в зоне считывания с помощью шаговых двигателей 9 и 10, 11 — позиционер, 12 — привод позиционера, 13 — электромагниты, 14 — толкатель, 15 — привод толкателя, 16 — накопитель с модулями памяти, 17 — шаговый двигатель накопителя. Кроме того, на схеме условно изображены электронные блоки управления фотоматрицей (БУФМ), выборкой (БУВ), шаговыми двигателями

(БУШД «Х» и БУШД «У»), электрооптическим и акустооптическим дефлекторами (БУЭОД и БУАОД).

В ячейках накопителя 16 устанавливаются 288 модулей, в каждом из которых записано 160×170 голограмм, емкость голограммы 1024 бит. Общая емкость памяти 1000 Мбайт. Выборка информации из АГЗУ трехступенчатая.

На первой ступени (~10 с) вращающийся накопитель выводится на позицию, соответствующую номеру выбираемого модуля. Электромагниты 13 освобождают модуль из ячейки накопителя, оттягивая подпружиненные защелки. Толкатель 14 с помощью привода 15 принимает и доставляет модуль памяти в позиционер 11, в котором осуществляются ориентировка и точная фиксация его в зоне считывания. Электромагниты 13, приводы толкателя 15 и позиционера 12 управляются блоком управления выборкой.

На второй ступени двухкоординатный прецизионный стол 8, на котором закреплен позиционер 11, с помощью шаговых двигателей 9 и 10, управляемых БУШД «Х» и БУШД «У», доставляет модуль голограмм на заданную позицию считывания. Среднее время вывода модуля на позицию ~1,5 с. Время смены дорожки голограмм ~0,02 с.

На третьей (быстрой) ступени выборка данных из 32 голограмм осуществляется однокоординатным акустооптическим дефлектором 4, который управляется БУАОД. Время доступа к произвольной голограмме 10 мкс.

Электрооптический дефлектор 2, управляемый БУЭОД, позволяет скорректировать положение считывающего пучка на голограмме и компенсировать неточность позиционирования модуля памяти и угловую нестабильность восстанавливающего пучка [5]. Считывание изображения, восстановленного из голограммы, проводится многоэлементной фотоматрицей с числом ячеек 32×32 . Фотоматрица 7 управляется БУФМ. Данные изображения страницы через буферное ЗУ заносятся в ЭВМ по каналу программного обмена.

Оптическая система АГЗУ приведена на рис. 2. Здесь 1 — лазер (ЛГ-52-1, $\lambda = 0,63$ мкм); 2 — двухкоординатный электрооптический дефлектор; 3, 6, 10 — зеркала; 4 — телескоп; 5 — полуволновая пластина; 7 — однокоординатный акустооптический дефлектор; 8 — телескоп переменной кратности; 9 — фильтрующая диафрагма; 11 — выходная линза оптической системы дефлектора; 12 — модуль памяти; 13 — экран; 14 — фурье-объектив («Гелиос 44-2»); 15 — фотоматрица (МФ-14Б); 16 — канал контроля настройки системы фотосчитывания (диафрагма 17, фокон 18, фотодиод 19); 20 — канал контроля микродефектов голограмм (линза 21, экран 22, фокон 23, фотодиод 24); 25 — фотодиод контроля ошибки позиционирования модуля голограмм.

Луч лазера 1 направляется зеркалом 3 на телескоп 4 (кратность 2,7),

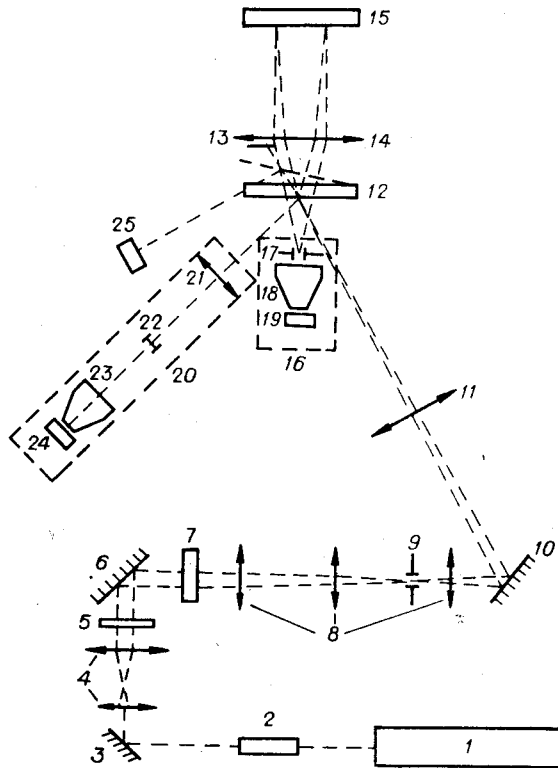


Рис. 2.

используемый для согласования размера пучка и входной апертуры акустооптического дефлектора 7, и обеспечивает пучок заданного размера ($2\omega = 300$ мкм) и радиуса кривизны фронта ($R \geq 2$) в плоскости модуля голограмм. Дефлектор 7 совместно с телескопом 8 переменной кратности (2,7—3,7) и линзой 11 формирует растр из 32 пучков (размер раstra 12,8 мм). Изменением кратности телескопа 8 можно обеспечить совпадение размеров раstra считывающих пучков и дорожки голограмм с точностью ± 10 мкм. Щелевая диафрагма 9, расположенная в плоскости, сопряженной с плоскостью модуля памяти, фильтрует шумы восстанавливающего пучка, обусловленные aberrациями оптики и несовершенством акустооптической ячейки. Восстановленное из голограммы изображение проецируется фурье-объективом 14 на фотоматрицу 15. Фокусные расстояния фурье-объективов в устройстве записи голограмм и АГЗУ обычно отличаются на 1—2%, в то же время допустимое несоответствие фокусных расстояний составляет 0,1% [6]. Поэтому для согласования масштаба восстановленного изображения с фотоматрицей последняя смещается из задней фокальной плоскости фурье-объектива 14 на фиксированное расстояние. Появляющийся при этом сдвиг изображений, восстановленных из разных голограмм в дорожке, компенсируется расходимостью раstra считывающих пучков (путем сдвига вдоль оптической оси выходной линзы 11).

Двухкоординатный электрооптический дефлектор 2 входит в состав подсистемы автоподстройки считывающего пучка и обеспечивает коррекцию положения восстанавливающего пучка в пределах ± 150 мкм, а также осуществляет режим динамического считывания путем сканирования пучка по голограмме (± 80 мкм) в процессе чтения данных. Динамическое считывание приводит к подавлению дифракционных помех и повышению достоверности чтения [7]. Полуволновая пластинка 5 преобразует горизонтально поляризованный пучок на выходе электрооптического дефлектора 2 в пучок с вертикальной поляризацией на входе акустооптического дефлектора 7.

Канал настройки системы фотосчитывания 16, входная плоскость которого сопряжена с плоскостью модуля голограмм, позволяет контролировать положение раstra считывающих пучков, совмещение восстановленных изображений с фотоматрицей с точностью ± 10 мкм, а также дифракционную эффективность голограмм в дорожке.

Контроль наличия микродефектов на модуле памяти осуществляется с помощью оптического канала 20. Отраженный от модуля считывающий пучок собирается линзой 21 и фильтруется диафрагмой 22. Рассеянный свет, несущий информацию о наличии на голограмме микродефектов, собирается фокусом 23 и детектируется фотодиодом 24.

Контроль ошибки выборки и позиционирования модуля памяти в обойме позиционера проводится по отраженному от плоскости модуля считывающему пучку с помощью фотодиода 25.

Электронная система управления. Структурная схема электронной системы управления приведена на рис. 3. Функционально электронные блоки управления можно объединить в следующие пять подсистем: управления механической выборкой, акустооптическим дефлектором, чтением информации с голограмм, автоюстировки считывающего луча, автоподстройки времени накопления.

Подсистема управления механической выборкой реализует указанные ранее первую и вторую ступени медленной выборки данных. В состав подсистемы входят модули управления шаговыми двигателями, осуществляющими перемещение стола в узле считывания по координатам X и Y соответственно (МУШД «X», МУШД «Y»), модуль управления шаговым двигателем накопителя (МУШДН) и модули управления выборкой (МУВ1 и МУВ2). МУШД «X» и МУШД «Y» позволяют проводить перемещение стола на 512×512 позиций с шагом 0,4 мм. МУШДН с помощью шагового двигателя накопителя (ШДН) приводит во вращение

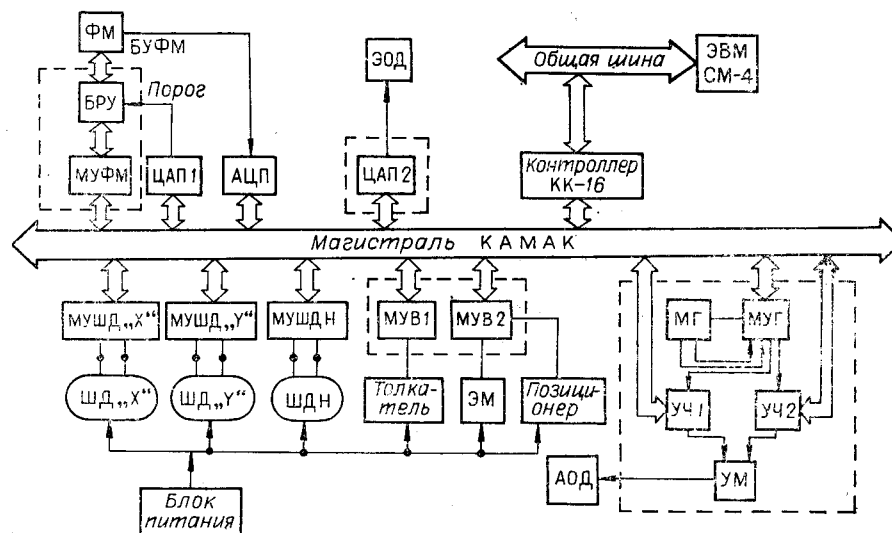


Рис. 3.

накопитель с модулями памяти, а МУВ1 и МУВ2 управляют работой толкателя, электромагнита (ЭМ) и позиционера узла считывания.

Подсистема управления АОД содержит модуль генераторов (МГ), модуль управления генераторами (МУГ), удвоители частоты (УЧ1, УЧ2) и усилитель мощности (УМ). Модуль генераторов вырабатывает по двум каналам 32 стабилизированные кварцем частоты. Управление МГ осуществляется от магистрали КАМАК через МУГ. Перенос спектра выходных сигналов МГ в рабочий диапазон частот выполняется УЧ1 и УЧ2. Через усилители мощности сигналы с заданной частотой поступают на АОД.

Подсистема управления чтением данных с голограмм состоит из модуля управления фотоматрицей (МУФМ), блока разрядных усилителей (БРУ) и цифроаналогового преобразователя (ЦАП1). При помощи ЦАП1 задается уровень порога считывания информации.

Подсистема автоустойки считывающего луча содержит высоковольтный ЦАП2, АЦП и электрооптический дефлектор (ЭОД), а также отдельные модули, входящие в подсистему управления чтением информации с фотоматрицы. Работа подсистемы основана на оценке интенсивности восстановленного с голограммы изображения. При этом при помощи ЭОД осуществляется двухкоординатное скапирование луча лазера относительно считываемой голограммы и определяется такое положение пучка, при котором интенсивность восстановленного изображения максимальна. Соответствующее этому положению управляющее воздействие, подаваемое на электрооптический дефлектор через высоковольтный ЦАП2, запоминается и в дальнейшем используется в качестве поправки при адресации к голограммам. Информация об интенсивности изображения снимается с ячеек фотоматрицы (ФМ) и через АЦП поступает в ЭВМ. Процесс автоустойки необязательно выполнять для каждой голограммы, а можно проводить его по одной или нескольким голограммам модуля памяти. Подсистема управляется программно от ЭВМ. Ее подробное описание дано в [5].

Подсистема автоподстройки времени накопления служит для уменьшения влияния разброса дифракционной эффективности голограмм и нестабильности мощности излучения лазера на надежность считывания. При ее работе стабилизируется энергия информационных пучков (путем автоподстройки времени накопления в зависимости от интенсивности считываемого изображения). Информация об интенсивности считываемого изображения, как и при работе системы автоустойки, снимается с ячеек фотоматрицы.

Электронная система управления АГЗУ выполнена в стандарте и повышению достоверности считывания, а также возможностям выбора оптимальных режимов работы элементов АГЗУ, обеспечивающих минимум ошибок. С этой целью для кодирования страниц (голограмм) использован корректирующий код Хемминга, позволяющий в каждой информационной строке страницы (32 разряда) исправлять одиночные ошибки и обнаруживать двойные. Могут быть заданы различные функциональные режимы работы программ чтения данных: с коррекцией и диагностикой ошибок или без них, с многократным проходом заданного массива и подсчетом возникающих одиночных и двойных ошибок в строках страниц, с различными вариантами визуализации содержимого страниц, с использованием каталога плохих страниц модуля, при котором исключаются дефектные участки среды носителя.

В состав программного обеспечения входят программы ввода с терминала адресов и размеров массивов, в также режимов чтения; сканирования массива, выборки модулей и ввода страниц в ЭВМ; визуализации данных, учета и вывода ошибок; стабилизации положения пучка лазера и др. Структура программных средств рассмотрена в [8].

Конструкция опытного образца УСГ состоит из следующих функциональных узлов: накопитель, система позиционирования и оптико-механический блок.

Накопитель барабанного типа приводится во вращение шаговым двигателем ДШ-6А через мембранную муфту и двухступенчатый редуктор. Точность установки накопителя на позиции выборки модуля составляет $\pm 0,5$ мм и определяется точностью единичного шага двигателя $\pm 5\%$ ($\pm 0,9^\circ$) и редуктора.

Система позиционирования модулей памяти включает в себя двухкоординатный стол с закрепленным на нем позиционером, толкатель и электромагниты. Двухкоординатный прецизионный стол предназначен для перемещения модуля по двух взаимно-ортогональным направлениям. Конструкция данного стола подобна конструкции стола, использованного в УЗГ [9]. Основное отличие состоит в том, что вместо пары «микровинт — гайка» применен шариковый механизм, имеющий большой КПД и допускающий большую скорость вращения винта. На двухкоординатном столе закреплен позиционер, служащий для ориентации и фиксации голографических модулей памяти. Позиционер состоит из корпуса, шарнирно соединенной с ним обоймы и аналогового привода. На корпусе позиционера смонтирована система ориентации модуля. Обойма служит для приема модулей и установки их в ориентирующую систему. Время ориентирования и фиксации модуля в позиционере не превосходит одной секунды, точность позиционирования 10 мкм. Толкатель служит для перемещения модулей из накопителя и обратно. Толкатель представляет собой шток, приводимый в движение электродвигателем ДПМЗОН1-01 через червячный редуктор. Максимальный ход штока 195 мм, время перемещения штока из одного крайнего положения в другое 0,7 с.

К основным узлам оптико-механической системы относятся узел акустооптического дефлектора, обеспечивающий вращение дефлектора по трем взаимно-ортогональным осям на величину $\pm 2^\circ$, узел перемещения фотоматрицы, оснащенный съемными юстировочными устройствами, способными перемещать фотоматрицу в плоскости на ± 5 мм, а также вращать ее вокруг собственной оси на величину $\pm 5^\circ$. Внешний вид АГЗУ показан на рис. 4.

Испытание созданного образца АГЗУ проводилось с целью проверки надежности работы электронно-механической системы выборки и точности позиционирования модулей памяти в зоне считывания, а также

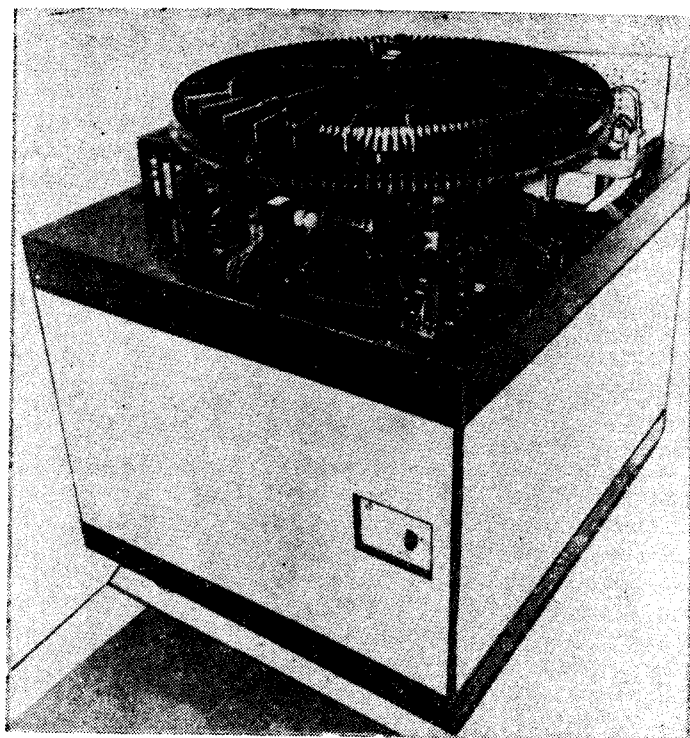


Рис. 4.

оценки «аппаратного» уровня достоверности считывания информации. Автоматическая выборка и позиционирование модуля осуществлялись по специальной программе в течение нескольких часов без проведения считывания информации. При этом контролировались точность выхода каждой приемной ячейки накопителя в плоскость приемной обоймы позиционера и точность позиционирования модуля. Установлено, что при тщательной настройке механических узлов точность выхода ячейки накопителя в плоскость приемной обоймы составляет $\pm 0,5$ мм, а неточность позиционирования модуля в зоне считывания — меньше 10 мкм. Частота сбоев электромеханической системы при выборке модуля составляет 10^{-4} (один сбой на 10^4 выборок) и обусловлена ошибками (устраняемыми!) в позиционировании накопителя. Предполагается, что путем совершенствования накопителя и системы управления приводом частота сбоев будет уменьшена на несколько порядков.

На втором этапе испытаний проводилось считывание матриц 32×32 , 32×170 голограмм тестовых изображений («шахматное», «единичное» поля и др.). Результат фотосчитывания контролировался визуально (на экране дисплея) и автоматически (с помощью ЭВМ). Проведены также испытания на продолжительность безошибочного считывания массивов голограмм (дефектные голограммы маскировались). Установлено, что «аппаратная» надежность считывания информации соответствует 10^{-7} .

Заключение. Таким образом, создан опытный образец устройства считывания голограмм архивной системы памяти со следующими характеристиками: емкость памяти 1000 Мбайт, среднее время доступа 10 с, скорость выдачи данных 1—2 Мбит/с. Экспериментально показано, что в режиме автоматической выборки и считывания модулей памяти частота ошибок 10^{-7} (без применения средств коррекции ошибок) при плотности записи данных $0,6 \cdot 10^8$ бит/см².

В настоящее время проводятся испытания эффективности устройств коррекции времени накопления и положения считывающего пучка, обнаружения и контроля дефектных участков носителя, а также программных средств коррекции ошибок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Выдрин Л. В. и др. Экспериментальная оптико-электронная (голографическая) система памяти.— Автометрия, 1980, № 2.
2. Stewart W. S. et al. An experimental read-write holographic memory.— RCA Rev., 1973, vol. 34, N 3.
3. D'Auria L., Huighard T. P., Seera C. S., Spitz E. Experimental holographic read-write memory using 3-D storage.— Appl. Opt., 1974, vol. 13, N 4.
4. Кручинин Н. С. и др. Голограммное запоминающее устройство.— В кн.: Тез. докл. на Всесоюз. конф. «Автоматизация научных исследований на основе применения ЭВМ.» Новосибирск: ИАиЭ СО АН СССР, 1977.
5. Ванюшев Б. В., Орлов Е. М., Тарков В. А. Устройство автоподстройки луча.— Автометрия, 1984, № 3.
6. Домбровский В. А., Домбровский С. А. Требования к аберрациям оптических элементов и точности их установки в голограммных ЗУ.— Автометрия, 1982, № 6.
7. Домбровский В. А., Домбровский С. А., Пен Е. Ф. Влияние дифракционного фона на качество восстановленного изображения в ГЗУ.— В кн.: Труды IV Всесоюз. конф. по голографии. Ереван: ВНИИРИ, 1982, т. 2.
8. Вьюхина Н. П. и др. Программные средства для исследований, отладки и тестирования ГЗУ.— Автометрия, 1984, № 3.
9. Блок А. А. и др. Устройство автоматической записи матриц голограмм цифровых данных.— Автометрия, 1984, № 3.

Поступила в редакцию 30 декабря 1983 г.

УДК 681.327 : 621.378

**Н. Н. ВЬЮХИНА, А. П. ЛИТВИНЦЕВА, Т. Н. МАНТУШ,
Е. С. СЕЛИХОВА, Л. Ф. ЧЕРНЫШЕВ**

(Новосибирск)

ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ, ОТЛАДКИ И ТЕСТИРОВАНИЯ ГЗУ

Для ввода в действие голографического ЗУ (ГЗУ) [1, 2] создан комплекс программных средств, ориентированных на экспериментальные исследования и опытную эксплуатацию устройства, отладку и тестирование его основных оптико-электронных и электронных блоков и узлов*. Созданные программные средства предназначены для работы в вычислительных системах на базе ЭВМ СМ-4 и «Электроника-60».

Применение двух систем обусловлено большим объемом работ по отладке и запуску отдельных устройств и всей системы. Эти работы могут вестись параллельно и независимо.

В более мощной системе на базе СМ-4 исследуется работа ГЗУ, проводится его опытная эксплуатация как архива цифровых данных. Здесь работает многопользовательская операционная система RSX11M (OS-RV 2.0), обеспечивающая одновременное выполнение задач по записи и чтению данных. Кроме стандартных устройств вычислительного комплекса (процессор с диспетчером памяти, ОЗУ емкостью 124 К слов, накопители НМД и НМЛ, АЦПУ, терминалы и др.), в конфигурацию включены 5 крейтов КАМАК с электронными модулями ГЗУ.

Наладка и тестирование блоков и узлов ГЗУ выполняются в системе на базе «Электроника-60». Здесь используется операционная система РАФОС, а в состав аппаратных средств, кроме стандартных (процессор, ОЗУ емкостью 32 К слов, накопитель НГМД, АЦПУ, терминал), входят один-два крейта КАМАК для включения испытуемых модулей и необходимых устройств генерации и отображения данных (ТВ-монитор с приводом, генераторы слов, индикаторы и др.).

* В работе принимала участие И. Б. Татарникова.