

## ЛИТЕРАТУРА

1. Акаев А. А., Майоров С. А. Когерентные оптические вычислительные машины. Л., Машиностроение, 1977.
2. Перов Н. И., Елинсон М. И. Реверсивные среды для устройств оптической памяти.— Микроэлектроника, 1977, т. 6, вып. 6.
3. Хайкин Б. Е. Операции, методы и структуры обработки информации в оптических вычислительных машинах.— В кн.: Оптические методы обработки информации. Л., Наука, 1974.
4. Володип Е. Б., Свидзинский К. К. Возможность построения интегральных управляемых транспарантов для оптической цифровой техники и связи.— Автоматика, 1977, № 4.
5. Майоров С. А., Ли Си Кен. Об одном методе выполнения арифметических и других операций на голографических устройствах.— Приборостроение, 1974, № 2.
6. Басов Н. Г. и др. Разработка принципов построения и способов реализации оптоэлектронного процессора табличного типа.— Препринт. М., изд. ФИАН им. Лебедева, 1977.
7. Вычислительная техника за рубежом в 1976 г./Под ред. В. К. Зейденберга. М., изд. ИТМ и ВТ АН СССР, 1977.
8. Карцев М. А. Структура вычислительных систем и их эффективность при решении разных классов задач.— Препринт № 11. М., изд. ИТМ и ВТ АН СССР, 1977.

*Поступила в редакцию 19 февраля 1979 г.*

УДК 681.31 : 681.327.68 : 778.38

**И. Е. ТВЕРДОХЛЕБ**

*(Новосибирск)*

### ГОЛОГРАФИЧЕСКАЯ ПАМЯТЬ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ МАШИНЫ

Известно, что интерес к голографическим ЗУ возник в 1964—1965 гг. в связи с проблемами внешней памяти ЭВМ. Однако архитектура современных ЭВМ не позволила эффективно использовать высокую скорость выдачи данных, свойственную такой памяти, хорошие предпосылки для организации параллельных вычислений и возможности работы с изображениями. Возникли трудности на пути создания оперативных фотосред и управляемых транспарантов. Стало ясно, что освоение новой для вычислительной техники оптической технологии потребует больших затрат средств и времени. В то же время усилия в магнитной и полупроводниковой технологиях привели к существенному улучшению характеристик дисковых ЗУ и МОИ ЗУ, а также к созданию новых ЗУ на ЦМД, ПЭС и МОИ-структурах с электронной адресацией (ЭА МОИ), способных в настоящее время удовлетворять потребностям вычислительной техники. Плотность записи данных в отдельных типах таких ЗУ достигла плотности упаковки на оптических носителях.

Существенный прогресс произошел также в системах массовой памяти. На основе магнитных носителей созданы системы памяти ТВМ (фирма «Amplex Corp.») [1] и IBM 3850 (фирма IBM) [2] емкостью  $\sim 10^{12}$  бит и плотностью записи  $\sim 10^5$  бит/см<sup>2</sup>, что позволило им конкурировать с системой оптической памяти «Unicon-690» (фирма «Precision Instr.») [3].

Большой, чем ожидалось, оказалась стоимость лазеров, дефлекторов, оптики и других элементов голографических ЗУ.

Сложилась ситуация, когда, по словам Ти Чжэня и Зука, «разработка ЗУ на базе оптических методов, первоначально намечавшаяся как ре-

волюционное усовершенствование, сейчас превратилась в осторожный эволюционный процесс» [4]. Поэтому, начиная с 1974—1975 гг., наступил новый период поисков. На основе ранее проведенных исследований сформулированы требования к фотосредам с «идеальными» характеристиками [5]; предложена модель элементарной ячейки оперативной памяти [6]; сконцентрировано внимание на фотосегнетоэлектриках, обладающих рядом необходимых для оперативной записи параметров. Изучаются механизмы памяти на основе фоторефракции, многофотонных поглощений и управляемых многослойных структур [5, 7]. Совершенствуются элементы голографической памяти. Рассматриваются вопросы реализации голографических ЗУ с перезаписью данных [8]. Все свидетельствует о том, что в области оперативной голографической памяти происходит накопление новых сведений.

Вместе с тем в области постоянных (полупостоянных) голографических ЗУ уже сейчас имеются среды для записи и хранения данных [9]. Разработаны экспериментальные образцы голограммных ЗУ; изучена их работа в режимах, близких к реальным. Тем самым созданы предпосылки для промышленного освоения устройств голографической памяти. Поэтому возникают естественные вопросы о преимущественной сфере применения неоперативных устройств голографической памяти, их достоинствах по сравнению с существующими ЗУ и целесообразности освоения новой технологии памяти.

В настоящей статье на основе анализа возможностей постоянной голографической памяти в сравнении с существующими видами памяти автор приходит к выводу о том, что такая память может оказать большое влияние на развитие информационных машин (ИМ), под которыми принято понимать «ЦВМ для автоматизации процессов поиска, логической обработки и хранения больших объемов информации» [10]. Такие машины известны как информационно-поисковые (информационно-логические, справочно-информационные) системы [11—13], банки данных [14] и архивные ЭВМ [15].

ИМ, создаваемые на основе существующих вычислительных средств, в ряде важных приложений (космос, радиолокация, управление и др.) не удовлетворяют предъявляемым требованиям по длительности и надежности хранения данных, скоростям их записи и обработки, емкости памяти и некоторым другим характеристикам. Для таких ИМ необходимо иерархическое семейство запоминающих устройств со специализацией на длительном хранении, обработке и вводе — выводе больших массивов данных. Они должны быть надежными и сравнительно дешевыми. Этим требованиям в достаточной мере отвечает голографическая память с записью и считыванием страниц данных.

Излагаемая точка зрения в ряде случаев дополняет взгляды зарубежных [16—21] и отечественных [13, 22, 23] специалистов и не согласуется со взглядами Е. Баррекета [24], отдающего предпочтение оптическим методам лишь при создании устройств ввода — вывода данных ЭВМ и средств связи. Правда, Е. Баррекет признает, что «...если оптические ЗУ и выйдут на рынок, то только благодаря полному использованию преимуществ параллелизма...», т. е. уникальному свойству оптической памяти, которое до сих пор практически не использовалось.

**1. Информационные машины.** В табл. 1 указаны примеры прикладных хранилищ («библиотек») и объемы имеющихся в них данных. Эти библиотеки, складывающиеся на протяжении многих лет, образуют «золотые» фонды знаний в каждой из указанных областей и служат информационным, исследовательским и производственным целям. Важно, что дополнение или корректировка данных в имеющихся «библиотеках» происходит редко по мере получения новых знаний.

Хранимые данные — текстовые, графические или фотографические документы. Они представляются в памяти в цифровом виде, в виде изоб-

Т а б л и ц а 1

Область применения	Наименование хранилища	Ориентировочный объем
Химия (спектроскопия)	Каталог органических соединений	$10^5$ — $10^6$ соединений
Астрономия	а) Каталог радиоисточников на звездном небе, б) каталог изображений солнечных вспышек	Более $10^4$ радиоисточников, $10^4$ — $10^5$ снимков
Космос (исследование природных ресурсов Земли)	а) Информационная модель сложного объекта (техническая диагностика), б) архив фотоизображений, в) каталог спектральных наблюдений	$10^4$ — $10^5$ реакций на заданные команды, $10^6$ снимков, $10^4$ — $10^5$ спектров (одномерных функций)
Радиолокация	Каталог известных целей	$10^4$ описаний
Дактилоскопия	Каталоги дактилоскопических отпечатков	$10^6$ — $10^7$ отпечатков
Медицина	Картотека лекарств и лекарственных препаратов	$10^4$ — $10^5$ лекарств, препаратов
Производство. Учреждения	Картотеки документов	$10^4$ — $10^5$ документов
Патентно-техническая библиотека	Картотека патентов и авторских свидетельств	Более $10^7$ аннотаций

ражений и смешанно. Выбор смешанного представления объясняется соображениями экономичного использования ресурса памяти, требованиями точности или скорости обработки и участием в информационном обмене человека-пользователя. Последнее приводит к необходимости применения в составе ИМ «картинных» устройств ввода — вывода данных на основе электромеханических систем, электронно-лучевых трубок и плоских панелей (газоразрядные, светодиодные, жидкокристаллические). Для ввода — вывода документов применяются также системы микрофильмирования, включающие читальные и копировальные аппараты.

Представление об объемах памяти ЗУ, требуемых для хранения данных прикладных библиотек, можно получить, если, например, учесть, что для экономичного описания физико-химических характеристик одного органического соединения требуется не менее  $10^3$  бит информации. Тогда для хранения описаний о  $10^5$ — $10^6$  известных соединениях необходимо иметь память емкостью  $\sim 10^9$  бит. Значительно большие объемы памяти (на 2-3 и более порядков) требуются для хранения космических фотоизображений, дактилоскопических отпечатков и производственных архивов. Поэтому ЗУ большой емкости занимают в ИМ господствующее положение. Основные типы применяемых ЗУ: а) для хранения собственно документов (формуляры, снимки, карты и т. п.) — магнитные ленты и диски, перфокарты, перфоленты, микрофильмы, микрофиши; б) для хранения поисковых описаний документов — полупроводниковые и магнитные ЗУ; в) для хранения реферативных материалов — магнитные диски, ленты. Перечисленные ЗУ отличаются емкостями памяти и временами доступа.

Обработка в ИМ ограничена главным образом поиском, сортировкой, упорядочиванием и перестройкой данных, хранимых в памяти [12, 25,

26). В отличие от ЭВМ такие машины ориентированы на задачи «невычислительного» характера: выборку данных, удовлетворяющих заданным признакам; поиск закономерностей в массивах данных; упорядочивание, классификацию и перестройку данных. Важной особенностью этих задач является то, что алгоритмы их решения допускают распараллеливание. Однако, несмотря на это, обработка данных в ИМ, созданных на основе ЭВМ, реализуется чаще всего последовательными методами.

Таким образом, ИМ — автоматические (или автоматизированные) библиотеки (банки, каталоги, картотеки) редкообновляющихся данных, предназначенные для накопления, долговременного хранения, специализированной обработки и выдачи документов, рефератов этих документов и их поисковых описаний. Такие машины ориентированы на информационное обеспечение коллектива пользователей (в том числе ЭВМ).

**2. Требования к устройствам памяти ИМ.** Память ИМ должна быть большой емкости, долговременной и устойчивой к дефектам носителя, электромагнитным, радиационным и другим воздействиям. Последнее определяется, в частности, большой ценностью накопленных в прикладных библиотеках данных, которые не могут быть быстро восстановлены. Ввиду большого объема хранимых данных в ИМ требуется обеспечивать высокую (в ряде случаев предельно высокую) скорость обработки данных. Практически это означает, что память таких устройств должна иметь параллельную организацию, обладать малым временем доступа к блоку (странице) данных и хорошо сопрягаться с параллельными процессорами (цифровым, аналоговым) — матрицей (линейкой) специализированных обрабатывающих элементов. Параллельная организация памяти вытекает также из необходимости хранения и восстановления документов в их естественном виде.

Исходя из разнообразия задач, решаемых ИМ, используемый принцип хранения данных должен быть пригодным для построения «иерархии» долговременных ЗУ повышенной емкости, среди которых выделим три основных типа:

- 1) ЗУ емкостью  $10^6$ — $10^8$  бит и временем доступа 1—10 мкс;
- 2) ЗУ емкостью  $10^8$ — $10^{10}$  бит и временем доступа 5—50 мс;
- 3) ЗУ емкостью  $10^{10}$ — $10^{12}$  (и более) бит и временем доступа 1—100 с.

При параллельной организации памяти и указанных временах доступа к блоку (странице) данных в ЗУ I типа можно обеспечить чрезвычайно высокую скорость выдачи данных ( $\sim 10^9$ — $10^{10}$  бит/с). Поэтому их целесообразно применять в автоматических каталогах, работающих в реальном времени. Скорости выдачи и обработки данных в таких устройствах можно согласовать путем применения матрицы (линейки) обрабатывающих элементов.

ЗУ III типа — системы архивной памяти — предназначены для накопления и долговременного хранения документов.

ЗУ II типа по времени доступа, скорости выдачи данных и емкости памяти занимают промежуточное положение и объединяют в себе возможности ЗУ I и III типов. Такие ЗУ могут совмещать функции автоматического каталога и системы памяти большой емкости с «дисковым» временем доступа. Они ориентированы, в частности, на хранение, поиск, логическую обработку и выдачу реферативных материалов.

Наконец, устройства памяти ИМ должны обладать свойствами многоканального доступа, что необходимо для поиска и выдачи данных по запросам коллектива пользователей.

Существует несколько технологий памяти, принципиально пригодных для создания ЗУ с требуемыми (или близкими) характеристиками. Рассмотрим их возможности.

**3. Перфокарты, перфоленты. Полупроводниковая и магнитная память.** Долговременное хранение больших массивов данных осуществля-

ется, как правило, с помощью перфокарт, перфорированных и магнитных лент [27].

Перфокарты обладают высокой надежностью хранения данных и удобны для визуальной проверки записей. Данные на перфокартах легко сортировать, дополнять и обновлять. Однако перфокарты обладают низкими плотностью записи (~80 бит/перфокарту) и скоростью ввода данных (максимум 2667 бит/с).

Перфолента позволяет реализовать более плотную запись, чем перфокарта. При равных объемах памяти стоимость перфоленты ниже стоимости перфокарты. В то же время лента хуже приспособлена для исправления, дополнения или исключения записей. Скорость ввода данных с перфоленты составляет ~2000 бит/с.

Магнитная лента характеризуется довольно высокими плотностью записи и скоростью ввода-вывода данных. Емкость ленты ~20 млн бит, что эквивалентно 250 тыс. перфокарт. Лента допускает многократное использование при скоростях протяжки 25—50 м/с. Недостатки устройств памяти на магнитных лентах: необходимость машинной интерпретации записей, невозможность произвольной выборки данных и необходимость обеспечения специальных условий хранения ленты (отсутствие пыли, магнитных полей; оптимальная влажность и др.).

Перфокарты, перфо- и магнитные ленты являются носителями внешних ЗУ и с процессорами непосредственно не взаимодействуют. Поэтому данные, подлежащие обработке, переписываются в ЗУ на основе других технологий памяти. Характеристики таких ЗУ по прогнозу на 1980 г. (за исключением сравнительно дорогих и энергоемких биполярных ЗУ) приведены в табл. 2 [28].

Таблица 2

Характеристика	Тип ЗУ				
	МОП ЗУ с произвольной выборкой	Диски с фиксированными головками	ЭА МОП	ПЗС	ПМД
Среднее время доступа к первому биту блока, мс	—	33	0,03	0,1	0,8
Скорость передачи информации в канале, Мбит/с	2	12	10	5	0,3
Количество параллельных каналов	64	1	8	16	32
Скорость передачи данных, Мбит/с	128	12	80	80	10
Время выборки 2 К-байтного блока, мс	0,128	30	0,23	0,3	2,3
Предполагаемая емкость (минимум), бит	10 <sup>6</sup> (16 К на кристалл)	10 <sup>10</sup> (на привод)	10 <sup>9</sup>	10 <sup>6</sup> (128 К на кристалл)	4·10 <sup>6</sup> (128 К на кристалл)
Стоимость хранения единицы информации (в комплексе), × 10 <sup>-3</sup> цент/бит	150	0,3	15	40	40
Цена минимальной системы, тыс. дол.	1,5	30	150	0,4	1,6

Можно видеть, что они перекрывают довольно широкие диапазоны емкостей памяти ( $10^6$ — $10^{10}$  бит и более), скоростей выдачи ( $10$ — $128$  Мбит/с) и времени доступа (мс—мкс). Наиболее высокую удельную стоимость имеют МОП ЗУ (0,15 цент/бит), наиболее низкую — дисковые магнитные ЗУ ( $3 \cdot 10^{-4}$  цент/бит). Изготовлены лабораторные образцы ЗУ на ЦМД с информационной плотностью  $\sim 10^6$  бит/см<sup>2</sup> и на ЭА МОП  $\sim 5 \cdot 10^5$  бит/см<sup>2</sup> [29]. К 1980 г. будут, по-видимому, созданы магнитные диски с плотностью записи  $\sim (1-4) \cdot 10^6$  бит/см<sup>2</sup>. Большинство рассматриваемых ЗУ позволяет хранить данные при отключенном питании.

Из семейства МОП ЗУ для долговременного хранения данных наиболее подходят ЗУ с последовательной выборкой (ЗУ на ПЗС) и ЗУ с преимущественным считыванием (постоянные, перепрограммируемые) [30]. Они просты в организации. Созданы ЗУ с информационной емкостью 16—64 Кбит/кристалл и потребляемой мощностью (при обращении) 200—500 мВт. Существенный недостаток МОП ЗУ — деградация их характеристик под действием ионизирующего излучения, что обусловлено в основном накоплением положительного заряда в подзатворном окисле. Правда, путем совершенствования технологии зарубежные фирмы повысили радиационную стойкость МОП-приборов до  $10^6$ — $10^7$  рад [31]. Дополнительный недостаток ЗУ на ПЗС — большое число управляющих импульсов (4—6) и источников питания (2—3), что усложняет внешнее электронное обрамление [32].

ЗУ на ЦМД характеризуют в настоящее время как «почти идеальный тип ЗУ для использования в системах по сбору и накоплению информации» [33]. Они позволяют создавать накопители данных с емкостью до  $10^9$ — $10^{10}$  бит, имеют малые размеры, потребляемую мощность и стоимость, работают в широком диапазоне температур (от  $-10$  до  $+50^\circ\text{C}$ ) и обладают высокой стойкостью к жесткому излучению. Однако на пути практического использования ЗУ на ЦМД лежат значительные технологические трудности (получение бездефектных подложек (гранат) и магнитных пленок (феррит-гранат); изготовление прецизионного литографического оборудования; увеличение процента выхода годных изделий и т. п.).

Общим для рассмотренных видов памяти является то, что каждый бит информации записывается на отдельном участке регистрирующей среды, причем с увеличением плотности записи размеры этого участка уменьшаются настолько, что становятся соизмеримыми с мельчайшими дефектами среды. Поэтому к качеству регистрирующих сред предъявляются чрезвычайно высокие требования.

**4. Голографическая память.** Возможности голографической памяти, использующей принципиально иной способ записи, отмечены в табл. 3. Данные в этом случае записываются, хранятся и воспроизводятся в виде страниц. Элементарной ячейкой памяти является голограмма, которая при емкости страницы  $10^4$  бит и реальной плотности записи  $10^6$  бит/см<sup>2</sup> занимает  $1 \times 1$  мм<sup>2</sup> площади регистрирующей среды. При записи страницы каждый бит информации не локализуется на отдельных чрезвычайно малых участках среды, а записывается в виде решетки на всей площади голограммы. Это обеспечивает голографической памяти высокую устойчивость к технологическим и эксплуатационным дефектам среды.

Простыми также являются замена, тиражирование и пересылка модулей памяти (малоразмерных фотографических пластин или микрофип) с массивами голограмм. Голографическая память обладает скоростью выдачи информации до  $10^9$ — $10^{10}$  бит/с, недоступной пока другим видам памяти, и дает возможность ее параллельной обработки. При страничном хранении имеются хорошие предпосылки для снижения требований к системам адресации ЗУ.

На основе голографической памяти могут быть созданы все основные типы долговременных ЗУ для ИМ. Так, в качестве памяти I типа могут

Таблица 3

Наименование характеристик	Количественные характеристики	Способ достижения указанных характеристик
Плотность записи данных	$10^6$ — $40^8$ бит/см <sup>2</sup>	Использование высокоразрешающих фоточувствительных сред
Устойчивость к дефектам носителя; снижение требований к допускам элементов и точности юстировки	—	Голографическая запись и хранение данных в виде страниц
Долговременное хранение данных	Десятки лет	—
Запись и хранение на едином носителе цифровых и документальных данных	—	—
Скорость выдачи данных	$10^9$ — $40^{10}$ и более бит/с	Считывание данных страницами
Параллельная обработка содержимого памяти	Модуль памяти из $10^3$ — $10^4$ страниц	Параллельная адресация световыми пучками к произвольной комбинации голограмм (страниц)
Простота замены, получения копий и пересылки блоков памяти	—	Модульная (микрофишная) организация памяти
Стоимость	$10^{-1}$ — $10^{-6}$ цент/бит	—

быть использованы одномодульные голограммные ЗУ с произвольным доступом к страницам, а в качестве памяти II и III типов — многомодульные или ленточные голограммные ЗУ на основе вращающихся (диски, барабаны) и перемещающихся (кассеты, картотеки) электромеханических конструкций. При этом обновление данных, хранимых в таких устройствах, может проводиться путем записи и смены отдельных модулей памяти.

Выясним преимущества, которые могут быть получены в ИМ при применении голографической памяти.

**5. Сравнительный анализ.** 5.1. Из п. 3 следует, что для организации цифровых ЗУ I типа хорошие возможности имеет постоянная (или перепрограммируемая) МОП-память в многоканальном исполнении.

Время выборки страницы данных в МОП ЗУ определяется временем параллельно-последовательного заполнения внешнего буфера (накопителя), емкость которого равна размерности страницы. Например, при исполнении МОП ЗУ со скоростью выдачи 128 Мбит/с время формирования страницы в буфере емкостью  $10^4$  бит составит  $\sim 80$ — $120$  мкс. Голографическая память с электрооптическим или акустооптическим дефлектором способна восстановить и зарегистрировать страницу в  $10^4$  бит и более в течение 1—10 мкс.

Потребляемая мощность МОП ЗУ с объемом памяти  $10^6$  бит, созданного, к примеру, на 64 кристаллах «Intel 2716-I» емкостью 16 Кбит каждый, составит величину порядка 38,4 Вт. С увеличением объема памяти ЗУ и сохранением максимально возможной скорости выдачи данных потребляемая мощность растет пропорционально количеству исполь-

зуемых кристаллов. В голограммных ЗУ с дефлекторами света потребляемая мощность не зависит от количества голограмм в памяти и определяется в основном мощностью, затрачиваемой на считывание данных с одной голограммы. Это отличие сравниваемых ЗУ приводит к тому, что при одинаковой емкости и равной стоимости памяти голограммные ЗУ имеют более высокую добротность, т. е. обеспечивают выдачу большего объема данных на единицу затрачиваемой энергии. Более высокая добротность голограммных ЗУ, измеряемая в Мбит/Дж, проявляется, например, при емкостях памяти  $10^7$ — $10^8$  бит и при использовании полупроводниковых лазеров.

Голограммные ЗУ позволяют эффективно решить проблему ввода данных в однородные БИС — параллельные специализированные устройства обработки данных. Примером такой БИС может служить полупроводниковый накопитель данных с возможностями параллельной логической обработки страниц данных [34]. Если в каждую ячейку такого устройства, помимо запоминающего элемента и элементов логики, ввести фотодетектор, то ввод данных в накопитель можно осуществить параллельно за один цикл обращения к голограммному ЗУ. Реально каждый значащий разряд изображения страницы, восстанавливаемой из памяти и имеющей емкость порядка  $10^3$ — $10^4$  бит, может содержать  $10^{-6}$ — $10^{-7}$  Вт световой мощности. Это означает, что при использовании существующих фотодетекторов время записи страницы будет составлять 1—10 мкс. В настоящее время для целей ассоциативного поиска в голограммных ЗУ созданы экспериментальные образцы однокристалльных фоточувствительных МОП-накопителей, содержащих  $12 \times 12$  ячеек с фотодетекторами [35]. В случае многоканальных полупроводниковых ЗУ микросекундное время заполнения накопителя может быть обеспечено только при применении быстродействующих и дорогих МОП-структур (время цикла — 30—50 нс).

Возможность выдачи из голограммных ЗУ оптических изображений страниц позволяет также принципиально по-иному подойти к решению проблемы программируемой перестройки данных, поступающих на входы однородных фоточувствительных БИС. Перестройка состоит, например, в управляемом одно- или двухкоординатном сдвиге оптического изображения страницы по отношению к матрице (линейке) фоточувствительных элементов БИС или в изменении на входах этих элементов порядка следования столбцов (строк) страницы, восстанавливаемой из памяти. Для этих целей могут быть эффективно использованы параллельные манипуляторы (коммутаторы) данных на элементах классической, световолоконной или интегральной оптики.

5.2. С учетом емкости, стоимости и скорости выдачи данных для построения ЗУ II типа без механических подвижных конструкций наиболее подходят ЭА МОП-память, память на ПЗС и память на ЦМД. Приведенные в табл. 2 характеристики таких ЗУ достигнуты при чрезвычайно высоких требованиях к качеству кристаллов и технологическому оборудованию. Однако, несмотря на то, что эти ЗУ заняли прочное положение в иерархии устройств памяти с перезаписью данных, они не адекватны задаче долговременного и надежного хранения данных. Этому, в частности, препятствует зависимость эффектов их памяти от воздействия электромагнитных (память на ЦМД) и радиационных (память на ПЗС) помех. ЭА МОП-память после нескольких считываний требует перезаписи хранимых данных. К тому же отношение к такой памяти в последнее время изменилось. Из нескольких организаций, занимавшихся разработками в этой области, продолжает работать лишь фирма «Micro-Bit» [29].

Дисковые магнитные ЗУ являются в настоящее время эффективными средствами накопления данных. Значительное повышение плотности магнитной записи достигнуто благодаря снижению толщины магнитного покрытия до 1—1,5 мкм, уменьшению зазора между головками и покры-



тием до 0,5 мкм и интегральному исполнению головок [36]. Естественно, что нормальная работа дисковых накопителей может быть обеспечена при чрезвычайно высоких требованиях к качеству поверхности диска, качеству магнитного покрытия, юстировке и перемещению головок, очистке воздуха и стабилизации температуры окружающей среды. Поэтому современные диски сверхбольшой емкости (300—1000 Мбайт) — сложные электромеханические устройства с высокой степенью прецизионности. Представляется, что требования к прецизионности ЗУ, основанных на использовании вращающихся конструкций, можно снизить путем записи и восстановления не отдельных слов (бит) информации, как это реализуется в магнитных дисках, а целых страниц. Голографическая страничная запись не уступает магнитным дискам в плотности записи и позволяет снизить требования к качеству регистрирующей среды и точности устройств адресации. Кроме того, считывание информации страницами в ЗУ на основе вращающихся конструкций позволяет примерно на два порядка увеличить скорость выдачи данных. Страничный принцип записи со считыванием данных световым пучком реализован, например, в дисковом голографическом видеопроекторе цветных короткометражных телевизионных передач [20].

5.3. Голографическую память в виде микрофиш целесообразно применять при построении ЗУ III типа. В этом случае имеются хорошие возможности для увеличения емкости, обеспечения малых габаритов и достижения низкой стоимости ЗУ. Магнитные ленты, чувствительные к воздействию внешних электрических и магнитных полей, подвержены воздействию температуры и влажности и не гарантируют безопасности хранения (т. е. данные могут быть легко преднамеренно изменены).

Микрофиша хорошо приспособлена для смешанного хранения данных. С помощью микрофиш можно легко переслать большие массивы данных на практически неограниченное расстояние. Голографический принцип записи позволяет снизить требования к точности настройки оптических систем записи и восстановления документов более чем в 100 раз и получить кратность их уменьшения порядка  $100^*—200^*$  [17—23], что практически трудно достижимо при использовании обычных систем микрофильмирования.

5.4. Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы.

Постоянная голографическая память по совокупности принципиальных возможностей, свойственных только такой памяти, наиболее адекватна задаче накопления, долговременного хранения и специализированной обработки больших массивов человеко- и машиночитаемых данных. Действительно, из-за устойчивости голограмм к дефектам носителя, пыли, царапинам и независимости их характеристик от действия внешних электромагнитных и радиационных воздействий голографическая память по длительности и надежности хранения данных превышает возможности большинства существующих видов памяти. По этим показателям с ней могут конкурировать только перфокарты и перфоленты, однако из-за низких плотностей записи и скорости ввода — вывода данных они применяются только в качестве долговременной внешней памяти. Возможности использования перфокарт и перфолент на более высокой ступени иерархии ЗУ исключены. В то же время на основе голографической памяти может быть создано иерархическое семейство долговременных ЗУ для ИМ (ЗУ I, II и III типов). Такая память своей «универсальностью» выгодно отличается от существующих технологий памяти ЭВМ, каждая из которых имеет свою специализированную область применения: МОН ЗУ — основная память; ЗУ на ПЗС, ЗУ на ЦМД, ЭА МОН ЗУ и магнитные диски — буферная память; магнитные ленты — массовая память.

Голографический страничный принцип записи и хранения информации способен качественно улучшить характеристики ЗУ по скорости вво-

да (см. п. 6.5) — вывода данных; снизить требования к прецизионности систем адресации ЗУ и оптических систем микрофильмирования.

Голографические ЗУ I и II типов целесообразно применять в качестве «основной» (главной) памяти специализированных информационных устройств обработки данных, т. е. памяти, генерирующей с высокой скоростью оптические изображения страниц данных и взаимодействующей непосредственно с матрицей обрабатываемых элементов — параллельным процессором (например, фоточувствительной БИС). Возможность сопряжения основной памяти и процессора посредством оптического параллельного канала имеет принципиальные преимущества: на оптическом уровне могут быть эффективно решены проблемы параллельного ввода данных в БИС и параллельной перестройки этих данных как минимум по  $10^3$ — $10^4$  независимым направлениям.

В заключение, однако, отметим, что ранее постулируемая возможность длительного хранения данных в виде голограмм основана на известном свойстве необратимых носителей долговременно хранить фотографические изображения и требует, строго говоря, серьезного научного обоснования. Систематические исследования в этом направлении практически не велись. Исключение составляет работа [37], где приведены результаты старения в течение 60 дней отбеленных голограмм под действием оптического излучения различных длин волн.

**6. Голографические информационные устройства.** Рассмотрим теперь основные типы информационных устройств, которые могут быть созданы в ближайшее время с использованием преимуществ голографической памяти. Оценки характеристикам таких устройств даны с учетом возможностей существующей элементной базы. Сохраняется перспектива улучшения этих характеристик за счет применения более совершенных технологий (в частности, интегрально-оптической) и новых элементов (полупроводниковые лазеры, объемные среды, фотоприемники).

6.1. Автоматические каталоги с емкостью памяти  $10^6$ — $10^8$  бит и скоростью обработки данных  $10^9$ — $10^{10}$  бит/с. Назначение — поиск документов по их описаниям (системе признаков), распознавание образов.

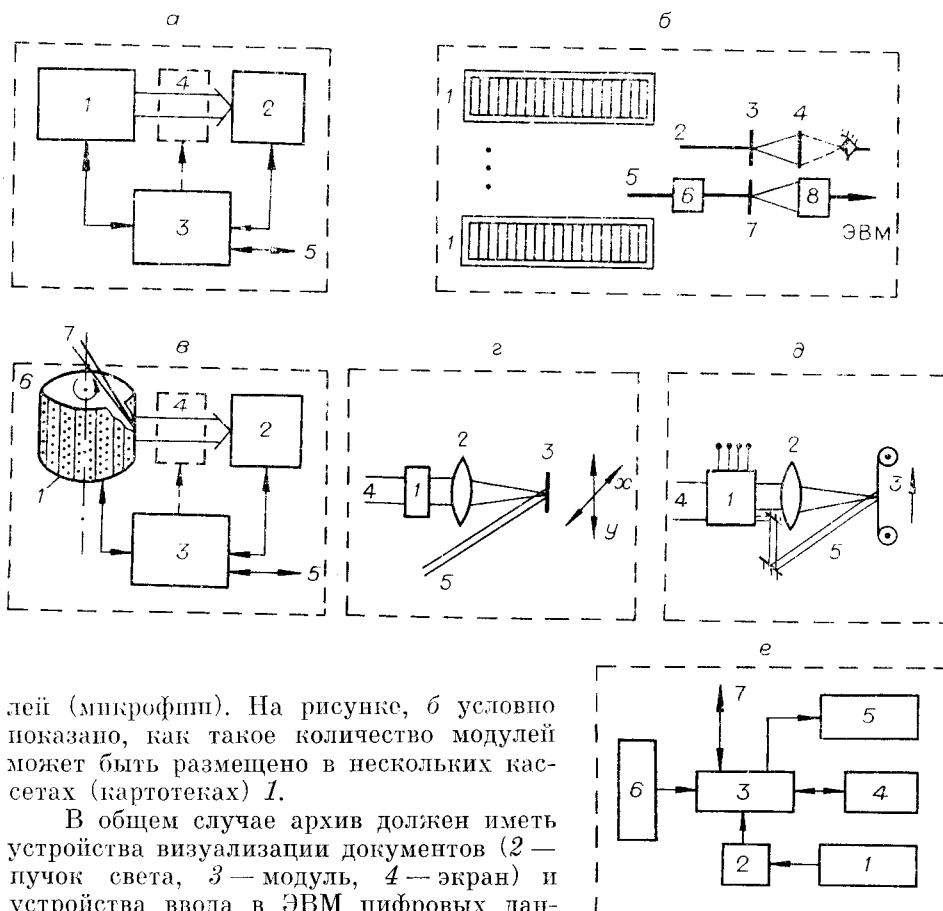
Основная память таких устройств — одномодульные голограммные ЗУ с временем произвольного доступа 1—10 мкс; параллельный процессор — фоточувствительные однородные БИС (цифровые или аналоговые). Голографическая память каталога позволяет повысить надежность хранения данных и существенно увеличить скорость их обработки.

Блок-схема каталога показана на рисунке, *a*, где 1 — голограммное ЗУ, 2 — параллельный процессор с оптическим входом, 3 — блок местного управления [38, 39]. Возможности каталога расширяются, если в нем используется коммутатор данных 4. В этом случае удается довольно эффективно решать задачи поиска координат фрагмента на изображении табличным методом [40]. Ввод — вывод данных (запрос, результат поиска) в каталоге осуществляется по каналу 5.

Возможность создания быстродействующего каталога подтверждена, в частности, результатами работ [41, 42]. В первой из них получены положительные результаты по считыванию страниц данных с массива голограмм, во второй — по созданию специализированного параллельного процессора на основе интегральной фотоматрицы с  $32 \times 32$  фотодетекторами.

6.2. Архив с емкостью  $10^{11}$ — $10^{12}$  бит (и более) и временем доступа 1—100 с. Назначение — долговременное хранение документов и программ. По сравнению с массовой памятью на магнитных носителях архивная голографическая память имеет преимущества по длительности хранения данных без перезаписи, стоимости и возможности смешанного хранения данных.

Архив имеет, как правило, многомодульную (чаще) или ленточную (реже) организацию. При емкости отдельного модуля  $10^7$ — $10^8$  бит в архиве с объемом памяти  $10^{12}$  бит необходимо иметь  $10^4$ — $10^5$  таких моду-



лей (микрофиш). На рисунке, б условно показано, как такое количество модулей может быть размещено в нескольких кассетах (картотеках) 1.

В общем случае архив должен иметь устройства визуализации документов (2 — пучок света, 3 — модуль, 4 — экран) и устройства ввода в ЭВМ цифровых данных (5 — пучок света, 6 — дефлектор, 7 — модуль, 8 — фотоматрица). Выборка и установка модулей на позиции визуализации или фотосчитывания должны проводиться автоматически. Доступ к данным многоступенчатый (кассета — модуль — массив голограмм — голограмма).

Примером памяти на микрофишах может служить система HRMR фирмы «Harris Corp.» [17, 18]. Она разработана для хранения и поиска смешанной информации. Запись цифровых данных проводится в виде линейных голограмм. Поиск любого блока емкостью 500 Кбит осуществляется менее чем за 15 с. Стоимость хранения информации  $\sim 2,5 \cdot 10^{-6}$  цент/бит. Достигнутая плотность записи  $\sim 1,5 \cdot 10^5$  бит/см<sup>2</sup>. Общая емкость памяти системы  $\sim 2 \cdot 10^{11}$  бит.

Исследуются также возможности архивного хранения цветных фильмов на ленточных фоточувствительных носителях [43]. Здесь используются методы радужной голографии. Запись голограмм проводится в красном, синем и зеленом свете; восстановление — в белом.

6.3. ЗУ с «дисковыми» временами доступа, совмещающие функции автоматического каталога и памяти большой емкости. Достижимая емкость  $\sim 10^9$ – $10^{10}$  бит, скорость обработки  $10^8$ – $10^9$  бит/с.

По сравнению с ЗУ на магнитных дисках, ЦМД и ПЭС такие устройства, помимо более высокой помехоустойчивости, имеют преимущества по скорости выдачи данных и по возможности параллельного ввода данных в фоточувствительные однородные БИС, параллельной передачи и перестройки данных. Системы адресации голографических ЗУ на основе вращающихся конструкций являются менее прецизионными, чем аналогичные системы магнитных дисков.

Блок-схема устройства, показанная на рисунке, *в*, подобна схеме автоматического каталога. Отличие состоит в том, что в рассматриваемом случае голограммное ЗУ с целью повышения емкости памяти реализуется на основе вращающегося носителя *б* (барабан, диск) и имеет модульную (или ленточную) организацию памяти. Здесь можно использовать однокоординатную систему адресации световым пучком *7* к линейке голограмм. Смена линеек будет осуществляться за счет вращения носителя. Ведутся исследования и разработки голограммных ЗУ на дисковом [20, 44] и барабанном [35, 45] носителях.

6.4. Автономные терминалы ввода данных. Назначение — запись цифровых и документальных данных на съемных модулях, микрофишах, лентах и дисках. Эти «блоки» постоянной памяти необходимы для работы информационно-вычислительных устройств согласно пп. 6.1—6.3. При изменении содержания хранимых данных на месте «устаревшего» блока может быть легко установлен новый. Таким путем можно решить проблему обновления (перезаписи) данных.

Запись цифровых данных можно осуществлять с помощью имеющихся жидкокристаллических и фотохромных модуляторов света и микрофильмов, т. е. «управляемых транспарантов» умеренного или низкого быстродействия ( $10^4$ — $10^5$  бит/с). Интересны также возможности формирования страниц цифровых данных на модуляторах типа PROM [46].

Ввод документов с «листа» может быть произведен с помощью микрофильмов и пространственно-временных модуляторов типа PROM и «Фототитус».

Регистрирующие среды — серебряные фотоэмульсионные слои, слои хромированной желатины, фототермопластики, халькогенидные пленки и некоторые другие.

Терминал ввода данных схематически показан на рисунке, *г*, где 1 — управляемый транспарант (модулятор, микрофильм), совмещенный со случайной фазовой маской; 2 — объектив записи Фурье-голограмм; 3 — регистрирующая среда; 4, 5 — сигнальный и опорный пучки света. Запись массива голограмм может проводиться путем отклонения сигнального пучка или перемещения регистрирующей среды. Управляемый от ЭВМ терминал ввода данных описан в (47). Данные записываются на стандартный модуль ( $51 \times 51$  мм) со стеклянной подложкой. Количество голограмм —  $128 \times 128$ . Скорость записи — 100 гол./мин.

6.5. Регистраторы данных с емкостью памяти  $10^{11}$ — $10^{12}$  бит и скоростью записи 100—1000 Мбит/с. Назначение — запись и хранение больших объемов данных, поступающих со скоростью  $\sim 100$ —1000 Мбит/с. Подобные задачи возникают, например, при натурных испытаниях авиационной и космической техники, где имеется телеметрический канал связи, и в цифровом телевидении.

В настоящее время для решения задачи быстрой записи данных используются магнитные накопители, которые, согласно [18], на ленте шириной 25,4 мм способны вести запись со скоростью 80—90 Мбит/с и линейной плотностью  $\sim 2,4 \cdot 10^5$  бит/см. При применении страничного голографического метода записи скорость поступления данных может быть повышена до 400—1000 Мбит/с при более высокой плотности записи. Это подтверждается, в частности, работами фирмы «Harris Corp.» (США), создавшей в 1974 г. лабораторный образец регистратора со скоростью поступления данных 400 Мбит/с [17, 18]. Регистратор создан на основе 35-миллиметрового ленточного фотографического носителя длиной 1500 м. Данные записываются в виде одномерных голограмм, каждая из которых содержит 128 бит. Общая емкость носителя —  $3 \cdot 10^{11}$  бит. Подобное устройство разработано также фирмой «Plessey» [19]. При скорости голографической записи 100 Мбит/с оно обеспечивает плотность упаковки данных на уровне  $5 \cdot 10^7$  бит/см<sup>2</sup>. Достигнутая плотность оптической записи

приближается к предельно возможной. Исследования в этом направлении проводятся и в СССР [48, 49].

По сравнению с устройствами магнитной видеозаписи голографические регистраторы имеют преимущества по скорости записи данных, возможности снижения требований к точности адресации, длительности хранения данных без перезаписи и стоимости.

В голографическом регистраторе, схема которого показана на рисунке, *д*, предъявляются высокие требования к быстродействию управляемого транспаранта *Л*. Так, при скорости записи 1000 Мбит/с формирование страницы емкостью  $10^3$ — $10^4$  бит должно проводиться за время  $\sim 1$ —5 мкс. Требуемое быстродействие может быть достигнуто, например, за счет применения многоканальных акустооптических модуляторов света и их параллельно-последовательного заполнения данными, подлежащими регистрации. Довольно жесткие требования предъявляются также к скорости смены участка регистрирующей среды (несколько микросекунд); к мощности, частоте следования и длительности световых импульсов лазерного источника (соответственно несколько киловатт,  $\sim 10^5$  Гц, 20—40 нс); к скорости протяжки ленточного носителя *З*. Однако результаты работ [17—19] показывают, что эти требования не выходят за пределы возможных.

6.6. Терминалы вывода данных. Назначение — отображение алфавитно-цифровых и графических изображений документов (инструкции, справочные данные, таблицы, учебные материалы, диапозитивы и т. п.).

Наиболее простые терминалы (читальные аппараты) могут быть созданы на основе сменных голографических блоков памяти. Доступ к отдельным голограммам можно обеспечить путем программируемого перемещения блока памяти или отклонения пучка света. Такая возможность используется, например, при создании тематических справочников, наглядных пособий, инструкций и т. п. Удобство состоит в том, что восстанавливаемые из памяти оптические изображения документов могут отображаться непосредственно на диффузных или телевизионных экранах. Выдача документов может проводиться в порядке, определяемом программой. Известны примеры таких устройств [22, 50].

Возможности голографических терминалов отображения данных можно повысить за счет введения в их состав электронных блоков для аналоговой или цифровой обработки данных, считываемых с голографических модулей памяти, и обеспечения связи таких устройств с внешними ЭВМ. Для ясности на рисунке, *е* показана примерная структурная схема терминала, работающего совместно с ЭВМ. Здесь *1* — блок голографической памяти, *2* — блок фотосчитывания (видикон, фотоматрица), *3* — блок управления, *4* — блок обработки, *5* — блок визуализации (телевизор, световозлучающая панель), *6* — клавиатура, *7* — оперативный канал ввода — вывода данных. Картины, отображаемые пользователем на экране блока *5*, поступают в него через блоки фотосчитывания *2*, управления *3* и обработки *4*. В блок управления *3* через канал *7* поступают также данные от ЭВМ. В результате пользователь может: а) отображать на экране блока *5* статические картины, считываемые с блока голографической памяти, или динамические картины, передаваемые ЭВМ; б) корректировать в режиме диалога данные, считываемые с блока голографической памяти, переписывать их в ЗУ ЭВМ, а затем передавать в автономные терминалы записи; в) совмещать статическую картину (сетка, карта, схема), считываемую с блока голографической памяти, с динамической картиной, генерируемой ЭВМ, и на статическом фоне рассматривать развитие динамической картины во времени. Доступ пользователя к блоку голографической памяти и к ЭВМ осуществляется через клавиатуру *6*.

Отмеченные возможности хорошо согласуются с тенденциями развития терминальных устройств ИМ [51].

6.7. Многофункциональные ИМ (банки данных). В отличие от информационных устройств, согласно пп. 6.4—6.5, специализированных на выполнение отдельных функций (накопление, хранение, поиск, отображение данных), ИМ, как следует из п. 1, являются многофункциональными и, следовательно, должны включать несколько различных типов таких устройств. Например, возможны следующие сочетания: архив + каталог + терминал ввода; каталог + терминал ввода + терминал вывода; ЗУ с «дисковыми» характеристиками (память и каталог) + терминал вывода. Совместную работу таких устройств и связь с пользователями можно обеспечить с помощью ЭВМ (класса мини или микро) и ее стандартного периферийного оборудования (диски, ленты, дисплей, графопостроители, печать), необходимого для управления, контроля, первичного накопления, перезаписи данных, диалога с пользователями и т. п. Количество и состав оборудования ИМ определяются требованиями конкретной прикладной задачи.

Таким образом, использование в составе ИМ голографических информационных устройств, ориентированных на хранение и обработку основных информационных массивов данных, и программируемых электронных средств, ориентированных на выполнение системных операций, позволяет оптимально организовать работу таких машин и как следствие существенно улучшить их характеристики. Специфика такого подхода, который уже обсуждался в [52], заметна скажется на конфигурации оптико-электронных ИМ. Это можно проследить на примере экспериментальной оптико-электронной системы памяти [41], включающей мини-ЭВМ (с периферией) и специализированные автономные оптико-электронные устройства для записи матриц голограмм, архивного хранения данных, параллельного (ассоциативного) поиска и отображения документов.

**7. Заключение.** По сравнению с существующими видами памяти постоянная голографическая память наиболее отвечает задаче долговременного хранения и специализированной обработки больших массивов смешанных данных, отличается высокой устойчивостью к технологическим и эксплуатационным помехам, является «универсальной» для иерархического семейства долговременных ЗУ и позволяет реализовать на их основе класс информационных машин (устройств) с уникальными характеристиками: емкостью памяти  $\sim 10^{11}$ — $10^{12}$  бит, скоростью записи 100—1000 Мбит/с, скоростью обработки  $\sim 10^9$ — $10^{10}$  бит/с, длительностью хранения при многократном считывании данных — десятки лет. Удельная стоимость хранения единицы информации при сравнительно малых емкостях голографической памяти ( $\sim 10^7$ — $10^8$  бит) находится сейчас на уровне полупроводниковых МОП ЗУ, а при больших емкостях памяти ( $10^{11}$ — $10^{12}$  бит) она меньше удельной стоимости хранения на магнитных дисках и лентах.

Имеются перспективы для снижения энергоемкости, габаритов, стоимости и повышения срока службы голографических устройств памяти, т. е. тех характеристик, которые в настоящее время тормозят их внедрение. Так, подтверждена возможность восстановления голограмм опорным пучком света, поступающим по планарному диэлектрическому волноводу [53, 54]. Осуществлена управляемая коммутация светового пучка в диэлектрических волноводах [55]. Развитие этих возможностей может привести к тому, что когерентные излучатели, коммутируемые диэлектрические волноводы и матрица голограмм будут воспроизводиться на единой подложке. Созданы полупроводниковые лазеры, работающие в непрерывном режиме при комнатной температуре и имеющие большой срок службы [55]. Можно ожидать появления малогабаритных матричных фотоприемников с чувствительностью  $10^{-13}$ — $10^{-14}$  Дж/эл. [56]. Разработке новых оптических элементов голографических устройств памяти способствуют интенсивно развивающиеся технологии интегральной и волоконной оптики.

Изложенное позволяет сделать вывод о целесообразности освоения промышленной технологии постоянной голографической памяти с целью создания новых информационных устройств. Работы в этом направлении могут быть поставлены на основе элементной базы и результатов макетной реализации таких устройств, имеющихся в лабораториях.

ИМ (устройства) с постоянной голографической памятью целесообразно ориентировать на работу с большими сформировавшимися и редкообновляющимися массивами данных. Такая ситуация характерна для чрезвычайно большого числа проблемно-ориентированных библиотек (спектроскопия, медицина, космос, криминалистика, радиолокация, производство и т. п.).

Автор выражает благодарность А. Н. Касперовичу, Е. Ф. Песу, Т. Н. Мантушу, Ю. А. Щепеткину за полезные замечания, сделанные ими при чтении рукописи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Уилдманн. Терабитные системы памяти. История проектирования.— ТИИЭР (пер. с англ.), 1975, т. 63, № 8, с. 81—86.
2. Джонсон. IBM 3850. Система массовой памяти с дисковыми характеристиками.— Там же, с. 87—92.
3. Mc. Farland K., Hashiguchi M. Laser Recording Unit for High Density Permanent Digital Data Storage.— In: AFIPS Conf. Proc., 1968, p. 1369.
4. Ти Чжань, Зук. Оптические запоминающие устройства.— ТИИЭР (пер. с англ.), 1975, т. 63, № 8, с. 137—165.
5. Глазе А. М. Голографическая память.— В кн.: Фотоника. М., Мир, 1978, с. 174—205.
6. Косцов Э. Г., Малиновский В. К., Нестерихин Ю. Е., Потапов А. Н. Особенности физической реализации оперативной оптической памяти.— Автометрия, 1976, № 4, с. 3—6.
7. Кобаяси Дж., Уезу Ю. Оптическая память, принципы записи и используемые материалы.— Автометрия, 1978, № 1, с. 4—15.
8. Mikaelian A. L. Holographic Bulk Memories Using Lithium Niobate Crystals for Data Recording.— In: Opt. Inform. Processing, Vol. 2/Ed. by E. S. Barrekette, G. W. Stroke, Yu. E. Nesterikhin and W. E. Kock. N. Y., Plenum Press, 1978, p. 217—233.
9. Шварц К. К., Готлиб В. П., Кристансон Я. Ж. Оптические регистрирующие среды. Рига, Зинатне, 1976.
10. Политехнический словарь. М., Сов. энциклопедия, 1976, с. 187.
11. Сэлтон Г. Автоматическая обработка, хранение и поиск информации. М., Сов. радио, 1973.
12. Селетков С. Н., Волков Б. Г. Хранение и поиск данных в ЭВМ. М., Сов. радио, 1971.
13. Глушков В. М. О некоторых проблемах развития электронной вычислительной техники.— В кн.: Вопросы кибернетики. Сер. Вычислительные системы. Ч. I. М., 1976, с. 51—60.
14. Тамм Б. Г., Тыгу Э. Х. Введение в банки данных.— Техн. кибернетика, 1979, № 2, с. 53—64.
15. Baum R. L., Hsiao D. K. Database Computers. A Step Towards Data Utilities.— IEEE Trans. Comput., 1976, vol. 25, N 12, p. 1254—1259.
16. Козма А. Использование голограмм в архивной памяти.— Экспресс-информации. Сер. ВТ, 1973, № 44.
17. Lugt A. V. Holographic Memories.— In: Opt. Inform. Processing./Ed. by Yu. E. Nesterikhin, G. W. Stroke, W. E. Kock. N. Y., Plenum Press, 1975, p. 347—368.
18. Gillis A. K., Hoffmann G. E., Nelson R. H. Holographic Memories — Fantasy or Reality? — In: AFIPS Conf. Proc. Vol. 44, 1975, P. I, p. 535—539.
19. Waterworth R. Optics in Data Storage.— New Electronics, 1975, May 13, p. 69—73.
20. Tsunoda Y., Tatsuno K., Kataoka K., Takeda Y. Holographic Videodisk: an Alternative Approach to Optical Videodisks.— Appl. Opt., 1976, vol. 15, N 6, p. 1398.
21. Раймон Ф. Х. Перспектива развития информатики.— В кн.: Фотоника. М., Мир, 1978, с. 400—405.
22. Вагин Л. Н. Голографические информационные устройства.— Электрон. пром-сть, 1973, № 5.
23. Вагин Л. Н., Назарова Л. Г., Арсеньева Т. М., Ванин В. А. Голографическая микширование научно-технических документов.— Опт. и спектр., 1975, т. XXXVIII, вып. 5, с. 994—998.
24. Баррекетт Е. О перспективах оптических методов в обработке информации.— Автометрия, 1978, № 1, с. 54—60.
25. Крайзмер Л. Н. и др. Ассоциативные запоминающие устройства. М., Энергия, 1967.

26. Feng Tse-Yun. Data Manipulating Functions in Parallal Processors and Their Implementations.—IEEE Trans. on Computers, 1974, vol. C-23, N 3, p. 309—318.
27. Самойленко С. И. Системы обработки информации. М., Наука, 1975, с. 83—90.
28. Запоминающие устройства ЭВМ. Достижения и перспективы.—Экспресс-информация. Сер. ВТ, 1977, № 24, с. 10—16.
29. Электронные цифровые вычислительные машины.—Радиоэлектроника в 1977 г., № 1. Обзор по материалам иностранной печати, М., 1978, с. 1.1—1.70.
30. Солин М. С. Достижения в области полупроводниковых запоминающих устройств.—Измерения, контроль, автоматизация, 1979, № 2, с. 37—44.
31. Гуртов В. А. Влияние позизирующего излучения на свойства МДП-приборов.—Обзоры по электронной технике. Сер. 2, вып. 14 (595). М., ЦНИИЭлектроника, 1978.
32. Шилин В. А. Основные схемотехнические проблемы и перспективы приборов с зарядовой связью.—Микроэлектроника, 1978, т. 8, вып. 1, с. 29—33.
33. Щукин Г. С., Лебедев Ю. Б., Киреев А. Н. Состояние и перспективы развития и использования ЗУ на цилиндрических магнитных доменах.—Электрон. техника, 1978, сер. 10, вып. 6 (12), с. 3—19.
34. Лементуев В. А. Вопросы аппаратной реализации ассоциативных устройств обработки информации.—Вопросы кибернетики. Сер. Вычислительные машины и системы с перестраиваемой структурой, М., 1978, вып. 43, с. 136—143.
35. Гибин И. С., Кибирев С. Ф., Наймарк С. И. и др. Голограммные ЗУ с ассоциативной обработкой страниц информации.—В кн.: III Всесоюз. конф. по голографии. (Тез. докладов.) Л., изд. ЛИЯФ, 1978, с. 249—250.
36. Достижения в области разработки ЗУ на магнитных дисках.—Радиоэлектроника за рубежом, 1977, вып. 17, с. 7—10.
37. Бенце Д., Варга П., Ву дую Пху и др. Исследования в области оптической памяти.—Ежегодник Центрального института физических исследований Венгерской Академии наук, Будапешт, 1978, с. 68—71.
38. Гибин И. С., Гофман М. А., Кибирев С. Ф., Твердохлеб П. Е. Информационно-поисковая система. (Авт. свид-во № 643892).—БИ, 1979, № 3.
39. Гибин И. С., Гофман М. А., Кибирев С. Ф., Твердохлеб П. Е. Исследование одного варианта голограммной признаковой памяти.—Автометрия, 1976, № 6, с. 24—35.
40. Твердохлеб П. Е. Табличный метод поиска координат фрагмента на изображении.—Автометрия, 1979, № 1, с. 19—24.
41. Выдрин Л. В., Вьюхина Н. Н., Гибин И. С. и др. Экспериментальная оптико-электронная (голографическая) система памяти.—Автометрия, 1980, № 2.
42. Вьюхина Н. Н., Кибирев С. Ф., Панков Б. Н. Фотоматричное ассоциативное ЗУ.—В кн.: Автоматизация научных исследований на основе применения ЭВМ. Новосибирск, изд. ИАиЭ СО АН СССР, 1979, с. 149—150.
43. Yu F. T. S., Tai A., Chen H. Archival Storage of Color Films by Rainbow Holographic Technique.—Opt. Com., 1978, vol. 27, N 3, p. 307—310.
44. Толчин Г. В., Турухано Б. Г. Дисковая система голографической памяти.—В кн.: Материалы VI Всесоюз. школы по голографии. Л., изд. ЛИЯФ, 1974, с. 303—324.
45. Гибин И. С., Домбровский В. А., Кибирев С. Ф. и др. Особенности считывания фурье-голограмм в голограммных ЗУ с подвижным носителем.—В кн.: Автоматизация научных исследований на основе применения ЭВМ. Новосибирск, изд. ИАиЭ СО АН СССР, 1979, с. 147—149.
46. Петров М. П., Твердохлеб П. Е., Трубецкой А. В. и др. Формирование изображений страниц двоичных данных с помощью пространственно-временного модулятора света ПРОМ.—Там же, с. 146—147.
47. Выдрин Л. В., Мангуш Т. Н., Панков Б. Н. и др. Устройство автоматической записи матриц голограмм.—Автометрия, 1980, № 2.
48. Вовк Ю. В., Сапожников В. К., Шелопут Д. В., Щепеткин Ю. А. Голографическая запись двоичной информации с помощью многоканальных акустооптических модуляторов света.—Автометрия, 1979, № 1, с. 53—60.
49. Вовк Ю. В., Щепеткин Ю. А. Синтез голограмм двоичной информации акустооптическими модуляторами.—Автометрия, 1980, № 2.
50. Ивамато Акахито. Голографическое ЗУ для отображения графической информации.—Ind. Sci. and Technol., 1978, vol. 19, N 4, p. 34—35 (япон.).
51. Liebmann W. K. The Impact of Technology on Information System.—Lect. Notes Comput. Sci., 1978, vol. 65, p. 584—617.
52. Твердохлеб П. Е. Оптические системы памяти с выборкой по содержанию.—Автометрия, 1976, № 6.
53. Suhara T., Nishihara H., Kojama J. Waveguide Holograms: A New Approach to Hologram Integration.—Opt. Com., 1976, vol. 19, N 3, p. 353—357.
54. Андренко С. Д., Шестопалов В. П. Об одном методе формирования голограмм.—Докл. АН СССР, 1979, т. 246, № 1, с. 69—79.
55. Интегральная оптика/Под ред. Т. Тамира. М., Мир, 1978, с. 18.
56. Краснов В. Ф., Нестерихин Ю. Е., Цукерман В. Г. Матричные вакуумно-полупроводниковые фоторегистраторы.—Автометрия, 1979, № 3, с. 3—13.

*Поступила в редакцию 14 ноября 1979 г.*