

М. А. ГОФМАН, С. Ф. КИБИРЕВ, Б. Е. КРИВЕНКОВ,
П. Е. ТВЕРДОХЛЕБ, Ю. В. ЧУГУИ
(Новосибирск)

МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ПОИСК ИНФОРМАЦИИ В НЕКОГЕРЕНТНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПАМЯТИ

Системы поиска адресов ячеек памяти, содержащих требуемую информацию, основаны, как известно, на применении запоминающих устройств, которые, помимо функций хранения информации, осуществляют вычисление функционала «близости» между содержимым памяти и запросом. Указанным требованиям хорошо удовлетворяют оптические (в том числе голографические) системы памяти [1, 2].

С развитием методов выборки информации из памяти все большее внимание привлекают возможности организации поиска по нескольким параллельным запросам (одновременная работа системы с N пользователями) [3, 4]. Однако несмотря на то, что оптические системы памяти являются наиболее адекватными таким задачам, вопросы построения многоканальных систем поиска на их основе в литературе освещены крайне мало. Можно упомянуть лишь работы [4, 5], в которых рассматриваются возможности организации многоканального доступа в голографических системах памяти.

В настоящей работе для целей многоканального поиска предложено использовать некогерентную оптическую систему матричного типа [6]. Выбор такой системы обусловлен тем, что в ней естественным образом сочетаются функции хранения ключевых слов и их параллельного сравнения с несколькими словами запроса путем вычисления соответствующего числа функционалов «близости» в виде скалярных произведений. Кроме того, при одинаковых требованиях к элементам оптики в некогерентных системах в сравнении с их возможными когерентными аналогами [7] значения этих функционалов можно вычислять более точно.

Ниже описана структура и принцип действия некогерентной оптической системы памяти, обеспечивающей многоканальный параллельный поиск адресов по нескольким словам запроса. Система может быть использована в качестве быстродействующего каталога оптического ЗУ с выборкой по содержанию [2]. Произведена оценка информационной емкости такой системы и приведены результаты ее экспериментального исследования на примерах простого и сложного поисков.

Многоканальный поиск информации по L каналам в N адресах памяти с формальной точки зрения состоит в вычислении L векторов — функционалов близости f_1, f_2, \dots, f_L между векторами k_1, k_2, k_N , образующими матрицу признаков $[K]_{N \times m}$, и векторами запросов z_1, z_2, \dots, z_L размерности m . Если близость векторов в m -мерном пространстве признаков оценивать с помощью скалярного произведения, то в процессе поиска осуществляется вычисление матричного выражения

$$\begin{vmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1L} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2L} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{N1} & f_{N2} & \dots & f_{NL} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1m} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{N1} & k_{N2} & \dots & k_{Nm} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} z_{11} & z_{12} & \dots & z_{1L} \\ z_{21} & z_{22} & \dots & z_{2L} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ z_{m1} & z_{m2} & \dots & z_{mL} \end{vmatrix}. \quad (1)$$

Далее будем предполагать, что элементы матриц $[Z]_{m \times L}$ и $[K]_{N \times m}$ принимают значения 1 или 0. Таким образом, в процессе

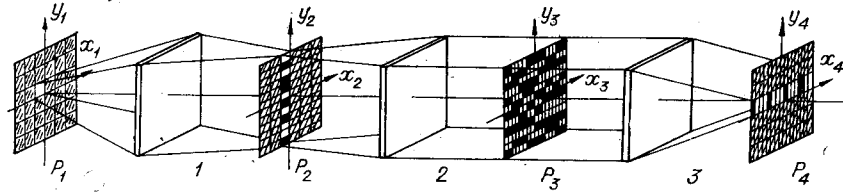


Рис. 1.

многоканального поиска обращение к информационной матрице признаков производится параллельно по L каналам в соответствии с алгоритмом матричного умножения.

Рассмотрим структурную схему оптической системы, выполняющей преобразование вида (1). Для этого обратимся к рис. 1, где символами 1—3 обозначены ее аноморфные интегропроектирующие звенья. В плоскостях P_1 и P_2 системы размещаются транспаранты T_1 и T_2 , используемые соответственно для формирования L независимых источников света и параллельного ввода запросов, а в плоскости P_3 — транспарант с изображением матрицы признаков $[K]$.

Пусть рабочие поля системы в плоскостях P_1 , P_2 и P_3 имеют вид квадратных апертур с размерами $D \times D$. Разобьем поле в плоскости P_1 на $L \times L$ элементов и каждому из каналов поставим в соответствие один из диагональных элементов, который может находиться в состоянии 1 («прозрачен») или 0 («непрозрачен»). Равномерный световой поток, проходя через транспарант T_1 , модулируется функцией пропускания, имеющей в общем случае вид

$$T_1(x_1, y_1) = \sum_{i=1}^L \omega_i \operatorname{rect} \left[\frac{x_1 - \left(i - \frac{1}{2}\right) \delta + D/2}{\delta} \right] \operatorname{rect} \left[\frac{y_1 - \left(i - \frac{1}{2}\right) \delta + D/2}{\delta} \right], \quad (2)$$

где $\delta = D/L$, а $\omega_i = 1$, если i -й канал включен, и $\omega_i = 0$ в противном случае.

Транспарант T_2 , служащий для задания L запросов в виде двоичных кодовых комбинаций, содержит L независимых линеек, каждая из которых состоит из m элементов разрешения (или $2m$ в случае парафазного кодирования). Ввод запроса осуществляется путем задания вдоль линейки требуемой двоичной комбинации. В общем случае этот транспарант имеет функцию пропускания

$$T_2(x_2, y_2) = \sum_{p=1}^L \sum_{q=1}^{2m} b_q^p \operatorname{rect} \left[\frac{x_2 - \left(p - \frac{1}{2}\right) \delta + D/2}{\delta} \right] \operatorname{rect} \left[\frac{y_2 - \left(q - \frac{1}{2}\right) \varepsilon + D/2}{\varepsilon} \right], \quad (3)$$

где $\varepsilon = D/2m$, а коэффициенты b_q^p либо совпадают с компонентами вектора запроса z_p , записанными в прямом парафазном коде $z_p = \begin{bmatrix} z_{ip} \\ z_{ip} \end{bmatrix}$, либо имеют произвольные значения (в частности, нулевые)

для p , соответствующих номерам невключенных каналов. Пропускание транспаранта T_3 , соответствующее информационному массиву признаков, представляется в виде

$$T_3(x_3, y_3) = \sum_{r=1}^{2m} \sum_{s=1}^L k_{rs} \operatorname{rect} \left[\frac{x_3 - \left(s - \frac{1}{2}\right) \alpha + D/2}{\alpha} \right] \operatorname{rect} \left[\frac{y_3 - \left(r - \frac{1}{2}\right) \varepsilon + D/2}{\varepsilon} \right]. \quad (4)$$

В этом выражении $\alpha = D/N$, а k_{rs} — коэффициенты, эквивалентные элементам матрицы признаков $[K]$, имеющей размерность $2m \times N$.

С помощью звена 1 световые пучки, формируемые L элементами (каналами) транспаранта T_1 , проектируются в плоскость P_2 по координате X и расфокусируются по координате Y . В результате такого преобразования получается L наклонных пучков, освещающих независимо друг от друга L линеек с изображениями запросов, причем углы наклонов этих пучков определяются ординатами включенных элементов в плоскости P_1 . Световое распределение модулируется далее транспарантом T_2 , звеном 2 проектируется в плоскость P_3 по координате Y и расфокусируется по другой координате. Расфокусировка по X в этом случае приводит к одновременному наложению (под разными углами) всех изображений запросов на транспаранте T_3 . Таким образом, суммарное распределение интенсивности света в плоскости P_3 пропорционально выражению

$$\sum_{q=1}^{2m} \left(\sum_{p=1}^L b_q^p \omega_p \operatorname{rect} \left[\frac{y_3 - \left(q - \frac{1}{2} \right) \varepsilon + D/2}{\varepsilon} \right] \right). \quad (5)$$

Световое распределение (5), модулированное изображением массива признаков, обрабатывается интегропроектирующим звеном 3. При этом по координате X осуществляется проектирование светового распределения в плоскость P_4 , а по координате Y — суммирование его по всем строкам матрицы $[K]$ с одновременным пространственным разделением световых пучков, соответствующих разным каналам. Последнее достигается путем проектирования по координате Y плоскости P_1 в плоскость P_4 . С учетом (4) интенсивность света в выходной плоскости будет распределена по закону

$$I(x_4, y_4) = \sum_{p=1}^L \sum_{s=1}^N \operatorname{rect} \left[\frac{y_4 - \left(p - \frac{1}{2} \right) \delta + D/2}{\delta} \right] \times \\ \times \operatorname{rect} \left[\frac{x_4 - \left(s - \frac{1}{2} \right) \alpha + D/2}{\alpha} \right] \sum_{r=1}^{2m} k_{rs} b_r^p \omega_p. \quad (6)$$

Если теперь принять во внимание смысловое значение ранее введенных параметров k_{rs} , b_r^p , ω_p , то, как нетрудно убедиться, полученное распределение (6) соответствует компонентам искомым векторов f_p .

Принципиальная схема рассматриваемой оптической системы приведена на рис. 2. Важным элементом системы, показанной в двух проекциях, является протяженный источник света 1, характеристики которого (равномерность светимости, характер диаграммы рассеяния)

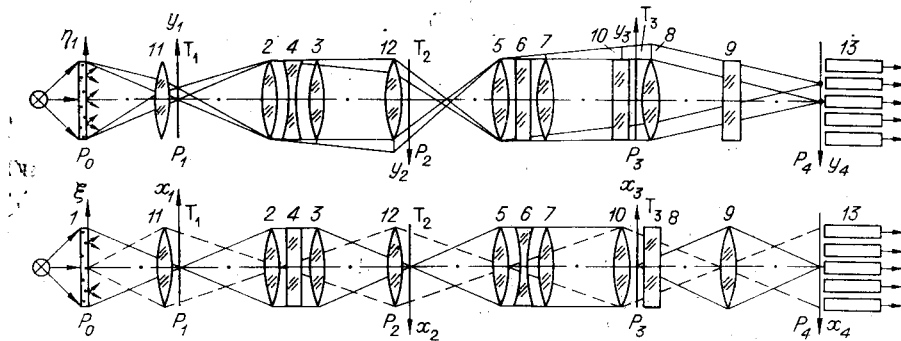


Рис. 2.

во многом определяют параметры системы поиска. Звенья, используемые для формирования освещающих световых пучков (элементы 2—4) и совмещения запросов (элементы 5—7), представляют собой проектирующие системы, расфокусированные в ортогональных направлениях, содержащие сферические (2, 3 и 5, 7) и цилиндрические объективы (4 и 6). Элементы выходного интегропроектирующего звена — цилиндрические объективы 8 и 9. На схеме также указаны конденсорные объективы (10—12), служащие для обеспечения пространственной инвариантности системы, и многоэлементный фотоприемник 13.

Число каналов, адресов и признаков, по которым происходит поиск в системе, ограничено дифракционными явлениями. Так, число адресов определяется разрешающей способностью проектирующего объектива 9. Если объектив имеет разрешающую способность n лин/мм, то предельное количество адресов ограничено величиной $N = knD$, где $k \leq 1$ — коэффициент использования. При $n = 40$ лин/мм; $k = 0,5$; $D = 100$ мм имеем, что $N = 2 \cdot 10^3$ адресов. Более жесткие требования накладываются на количество признаков m и число каналов L . Как следует из [6], максимальное число признаков связано с максимальным числом каналов соотношением

$$mL = D^2 / 8\lambda f_0, \quad (7)$$

где f_0 — расстояние между плоскостями P_3 и P_4 , а λ — средняя длина волны используемого источника света. Таким образом, для выбранной оптической системы произведение mL — постоянная величина. Если, например, $D = 100$ мм, $f_0 = 300$ мм, $\lambda = 0,5 \cdot 10^{-3}$ мм, то $mL = 2 \cdot 10^4$.

Информационную емкость такой системы можно оценить по формуле

$$I = mNL = nD^3 / 8k\lambda f_0. \quad (8)$$

При указанных выше значениях m , N и L информационная емкость системы будет равной 10^7 .

Возможность выполнения в системе многоканального простого и сложного поисков подтверждена экспериментально. Для определенности рассматривалась задача поиска органических веществ по их молекулярному весу [8]. Признаками веществ являлись разряды двоично-десятичного представления их молекулярного веса. Например, веществу с молекулярным весом 342,3 соответствует двоично-десятичное слово 0011010000100011, каждый разряд которого рассматривается как отдельный признак (всего 16 признаков).

Результаты простого поиска показаны на рис. 3—1. Число каналов выбиралось равным 6, число признаков 16 (каждый признак представлен в парафазном коде), а число адресов 32. Изображение (а) соответствует ситуации одновременной работы всех каналов (в пятый и шестой канал вводятся один и тот же запрос); изображение (б) — шести запросам, каждый из которых задан в своем канале (за исключением шестого). Запросы вводились в прямом парафазном коде. Изображение (в) соответствует матрице признаков, в каждом столбце которой в обратном парафазном коде записаны признаки (номер столбца является адресом). Выходное световое распределение представлено на рис. 3—1 (г). В этом случае номер канала определяется номером строки, а адрес — номером столбца. Адреса веществ, признаки которых совпали с запросом, определяются положением неосвещенных элементов. Так, первому запросу удовлетворяет вещество с адресом 1, второму — вещество с адресом 31, четвертому — вещества с адресами 6, 16, 26 и пятому — вещества с адресами 22 и 32. Третьему запросу не удовлетворяет ни одно вещество.

Рассматривалась также задача сложного ассоциативного поиска адресов веществ с молекулярными весами μ , заключенными в преде-

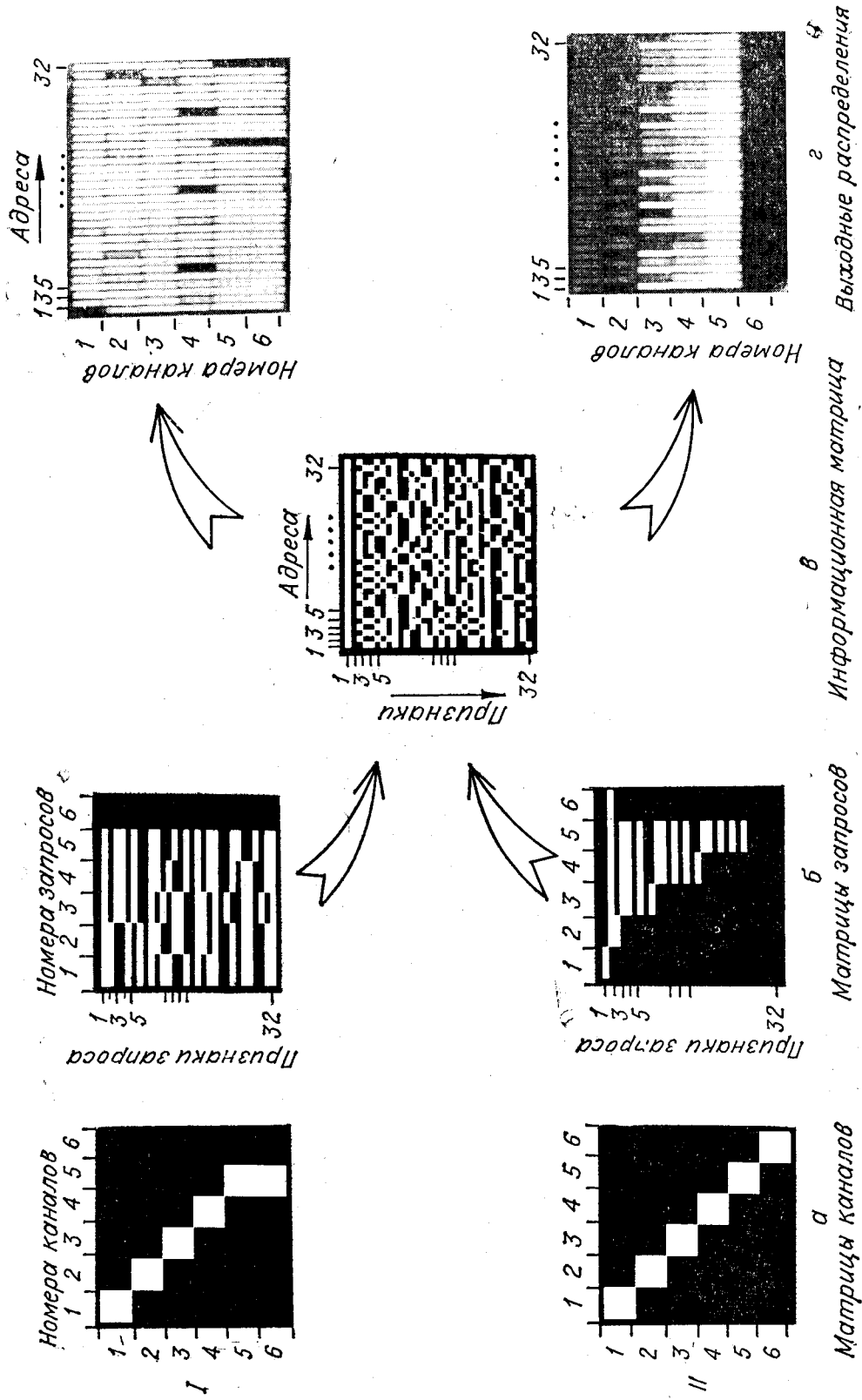


Рис. 3.

лах $m_1 < \mu < m_2$. Алгоритм решения задачи предусматривает формирование двух серий запросов для нахождения множества адресов A_1 и A_2 с молекулярными весами соответственно $\mu > m_1$ и $\mu < m_2$. Адреса, найденные в каждом запросе серии, объединяются посредством выполнения многоканальной операции ИЛИ:

$$A_1 = \bigcup_i A_{1i}; \quad A_2 = \bigcup_i A_{2i},$$

где A_{1i}, A_{2i} — массивы адресов, полученные по одному запросу из серии. Адреса, удовлетворяющие условию $m_1 < \mu < m_2$, находятся из выражения

$$A = A_1 \cap A_2,$$

где \cap — знак операции И.

Можно показать, что максимальное количество каналов, необходимое для параллельной реализации алгоритма поиска в любых заданных пределах, определяется разрядностью слова запроса и в нашем примере равно 16 на одну серию запросов [9].

На рис. 3—II представлены результаты сложного поиска веществ с молекулярными весами в пределах $377,7 < \mu < 800,0$. В этом случае специально сформированная серия запросов состоит для $\mu > m_1$ из пяти запросов, расположенных в первых пяти каналах, и для $\mu < m_2$ — из одного запроса, расположенного в шестом канале. Поиск по указанным запросам производится одновременно. Изображение (z) на рис. 3—II соответствует выходному распределению, полученному в результате многоканального поиска. Видно, что по первому, четвертому и пятому запросам не найдено ни одного адреса, по второму запросу найдена целая группа адресов, а по третьему запросу найден всего один адрес (10). Объединение серии ответов, полученных в первых пяти каналах, дает значения адресов, удовлетворяющих условию $\mu > 377,7$. Запросу по шестому каналу удовлетворяют все адреса, т. е. все адреса имеют значение молекулярного веса $\mu < 800,0$. Исходные данные, а также промежуточные и конечные результаты эксперимента подробно отражены в таблице.

| Номер канала | Запрос ($m_1=377,7; m_2=800,0$) | Пределы μ | Адреса найденных веществ |
|--------------|--|---------------|--|
| 1 | 10 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 | 800,0 ÷ 999,9 | $A_{11} = (-)$ |
| 2 | 01 10 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 | 400,0 ÷ 799,9 | $A_{12} = (1, 3, 5, 8, 11, 13, 15, 21, 23, 27, 31)$ |
| 3 | 01 01 10 10 10 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 | 380,0 ÷ 399,9 | $A_{13} = (10)$ |
| 4 | 01 01 10 10 01 10 10 10 10 00 00 00 00 00 00 00 | 378,0 ÷ 379,9 | $A_{14} = (-)$ |
| 5 | 01 01 10 10 01 10 10 10 01 10 10 10 10 00 00 00 | 377,7 ÷ 377,9 | $A_{15} = (-)$ |
| A_1 | $\bigcup_{i=1}^5 A_{1i}$ | 377,7 | $A_1 = (1, 3, 5, 8, 10, 11, 13, 15, 21, 23, 27, 31)$ |
| 6 | 01 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 | 000,0 ÷ 800,0 | Все адреса $A_{21} = A_2 = (1 \div 32)$ |
| Ответ A | $A_1 \cap A_2$ | 377,7 ÷ 800,0 | $A = (1, 3, 5, 8, 10, 11, 13, 15, 21, 23, 27, 31)$ |

Таким образом, теоретически и экспериментально подтверждена возможность многоканального поиска информации в некогерентной оптической системе памяти. Вопрос о технической реализации такой системы памяти требует отдельного обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. С. Гибин, М. А. Гофман, Е. Ф. Пен, П. Е. Твердохлеб. Ассоциативная выборка информации в голограммных запоминающих устройствах.— «Автометрия», 1973, № 5, с. 12—18.
Computing: International Optical Computing Conferens, 1975. Washington. (IEEE Catalog, № 75, CH0941.)
6. Б. Е. Кривенков, С. В. Михляев, П. Е. Твердохлеб, Ю. В. Чугуй. Некогерентная оптическая система для выполнения матричных преобразований.— «Автометрия», 1975, № 3, с. 90—98.
7. Е. С. Нежевенко, П. Е. Твердохлеб. Умножение матриц оптическим методом.— «Автометрия», 1972, № 6, с. 24—29.
8. Ю. П. Дробышев, Р. С. Нигматуллин, В. И. Лобанов, И. К. Коробейничева, В. С. Бочкарев, В. А. Коптюг. Использование ЭВМ для опознания химических соединений по спектральным характеристикам.— «Вестник АН СССР», 1970, № 8, с. 75—83.
9. И. С. Гибин, М. А. Гофман, С. Ф. Кибирев, П. Е. Твердохлеб. Исследование одного варианта голограммной признаковой памяти.— «Автометрия», 1976, № 6, с. 24—35.

Поступила в редакцию 28 апреля 1976 г.

УДК 681.32 : 621.378

Т. Н. МАНТУШ, А. В. ТАРАСОВ
(Новосибирск)

УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГЗУ

Эффективные исследования голограммных запоминающих устройств (ГЗУ) большой емкости практически невозможны без применения ЭВМ. Сопряжение с ЭВМ позволяет достигнуть высокого уровня автоматизации исследований, направленных на оценку и изучение основных технических характеристик и работоспособности ГЗУ.

По специфике совместной работы с ЭВМ создаваемые и исследуемые в настоящее время ГЗУ чаще всего относятся к постоянным или полупостоянным ЗУ [1], допускающим при решении задач только считывание информации; запись информации ведется заранее и требует длительного по сравнению со считыванием времени. Взаимодействующие с мини-ЭВМ ГЗУ такого типа описаны в [2—4], где рассматриваются главным образом структура и работа аппаратных средств систем и приводятся их параметры. Заслуживает, однако, отдельного рассмотрения и программное обеспечение (управляющая система) этих устройств.

В данной статье описывается управляющая система для мини-ЭВМ М-400, используемая при экспериментальных исследованиях ГЗУ в ИАиЭ СО АН СССР.