

ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА

Периферийные устройства ЭВМ и системы оперативного графического взаимодействия с ЭВМ

УДК 681.327

Б. С. ДОЛГОВЕСОВ, А. М. КОВАЛЕВ, В. Н. КОТОВ,
А. А. ЛУБКОВ, Ю. Е. НЕСТЕРИХИН, К. Ф. ОБЕРТЫШЕВ, А. С. ТОКАРЕВ
(НОВОСИБИРСК)

СИСТЕМА «ЭКРАН» ДЛЯ ГРАФИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕКА С ЭВМ

Понятие взаимодействия человека с электронной цифровой вычислительной машиной (ЭВМ), как известно, включает в себя вопросы связи, переработки и обмена информацией между двумя системами, которыми являются человек-оператор и машина. В процессе такой активной двухсторонней связи на базе предварительно проведенных вычислений человек получает определенные сведения, уменьшая неопределенность своих знаний о какой-либо проблеме, принимает решения и производит некоторые направленные управляющие воздействия [1].

Оперативное взаимодействие человека с машиной в настоящее время является одной из наиболее актуальных проблем, существование которой обусловлено различными пропускными способностями человека и машины, языковым барьером и наличием физической границы раздела между ними [2]. Скорость обмена информацией, язык, на котором происходит такой обмен, и особенности каналов связи в значительной мере определяют эффективность использования ЭВМ и круг лиц, который оказывается способным непосредственно общаться с машиной.

Если уравнивание временных масштабов, в которых работают человек и машина, решают с помощью систем с разделением времени, а языковой барьер преодолевают созданием подпрограмм, трансляторов и универсальных машинных языков (Fortran, Algol, Cobol и др.), то физическую «несовместимость» человека и машины удается в какой-то мере устранить с помощью устройств графического взаимодействия, в которых взаимный обмен информацией между человеком и машиной происходит оперативно, без заметных задержек во времени и в форме, привычной для восприятия и передачи информации человеком.

Появившись в 50-х годах нашего столетия для такого военного применения, как системы противовоздушной обороны SAGE [3], устройства графического взаимодействия в дальнейшем получили бурное развитие в самых различных областях человеческой деятельности. По словам президента Общества индикации информации США Джеймса Г. Редмана, в 1960 г. в США насчитывалось примерно 20 организаций, включая университеты, занимавшихся вопросами индикации информации. В настоящее время по самым скромным подсчетам имеется свыше 1000 таких организаций [4]. Актуальность подобных работ подчеркивают и некото-

рые прогнозы, по которым ожидается, что к 1975 г. половина всех затрат на аппаратуру ЭВМ в США будет приходиться на графические устройства.

В 1968—1970 годах в Институте автоматки и электрометрии СО АН СССР были проведены работы по созданию системы графического взаимодействия, которая получила условное название «Экран».

В отечественной литературе, на наш взгляд, уделяется недостаточно внимания освещению вопросов построения подобных систем, поэтому нам представляется целесообразной публикация достаточно подробных материалов, связанных с их разработкой. В первой части данной статьи охарактеризовано развитие систем графического взаимодействия, что позволит широкому кругу специалистов ознакомиться с основными тенденциями в этой области техники. Вторая часть статьи посвящена описанию блок-схемы системы «Экран» и ее дисплейного процессора. О средствах ввода — вывода информации, которыми снабжена система, рассказывается в статьях [5—7] настоящего номера журнала.

1. Графическое оконечное устройство ЭВМ (дисплей), или устройство графического взаимодействия (УГВ), включает в себя средства для оперативного вывода информации в графическом виде [в частности, на экран электроннолучевой трубки (ЭЛТ)] и средства для ввода буквенно-цифровой и графической информации (клавиатура, световое перо, координатный планшет и т. п.). Многообразие физических принципов работы, функциональных возможностей графических устройств, входных языков и структур данных [8] не позволяет детально останавливаться на рассмотрении всех способов построения УГВ. Мы исследуем лишь вопросы построения систем графического взаимодействия с индикатором на ЭЛТ, которые получили наибольшее распространение и в которых при создании изображения, согласно определенному массиву данных, электронный луч способен попадать в любую произвольную точку экрана ЭЛТ, или, иначе говоря, систем со случайным сканированием (random scan).

Первые системы подобного рода являются наиболее простыми и имеют минимальный объем аппаратуры (рис. 1, а) [9]. Центральный процессор выдает в приемный регистр устройства две координаты точки x и y , согласно которым происходит отклонение луча в соответствующую позицию экрана ЭЛТ, и информацию о ее подсветке. Средства вывода при этом состоят из приемного регистра, цифро-аналоговых преобразователей, усилителей, отклоняюще-фокусирующего комплекса и ЭЛТ. Если к тому же устройство снабжено клавиатурой для ввода данных, то есть все необходимое для оперативной связи с ЭВМ. Однако ввиду того, что все элементы точечного изображения (буквенно-цифровые символы, линии и т. д.) нужно строить и регенерировать (для устранения неприятного мерцания) программно, такая система имеет серьезные недостатки, а именно: 1) малую информационную способность; 2) малую эффективность работы центрального процессора; 3) загруженность линии связи; 4) трудности математического обеспечения.

Дальнейшее развитие устройств графического взаимодействия, направленной на устранение указанных недостатков, пошло по пути все большей автономизации устройств. В составе средств вывода информации появились специальные быстродействующие генераторы для построения наиболее часто повторяющихся элементов изображения, такие как генераторы буквенно-цифровых символов и отрезков прямых линий (векторов). Это позволило увеличить информационную емкость экрана, сделать более компактным массив данных, а значит, уменьшить загрузку канала связи, упростить программирование, но потребовало специально-

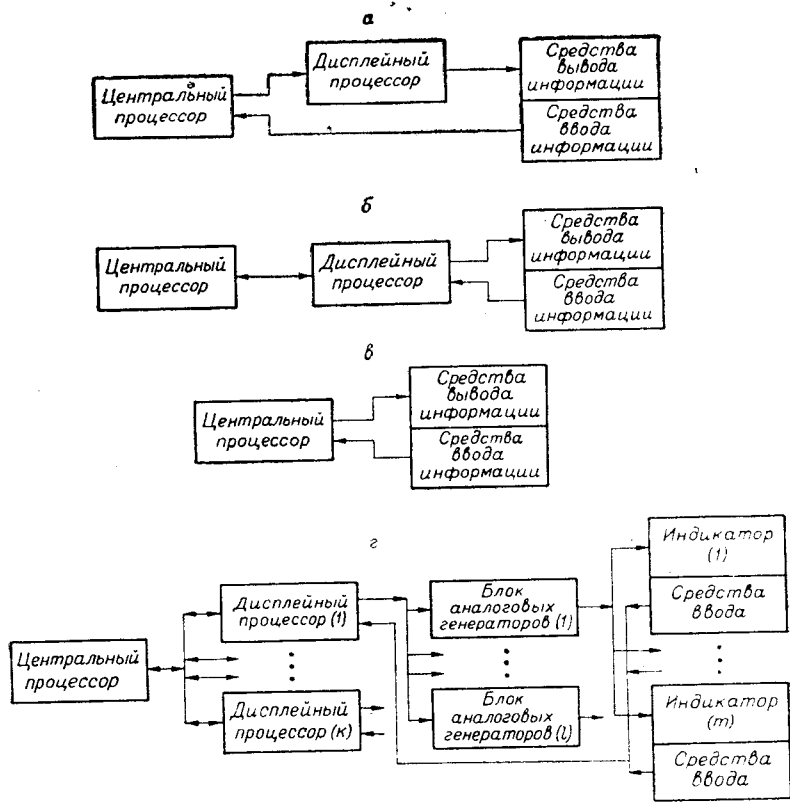


Рис. 1.

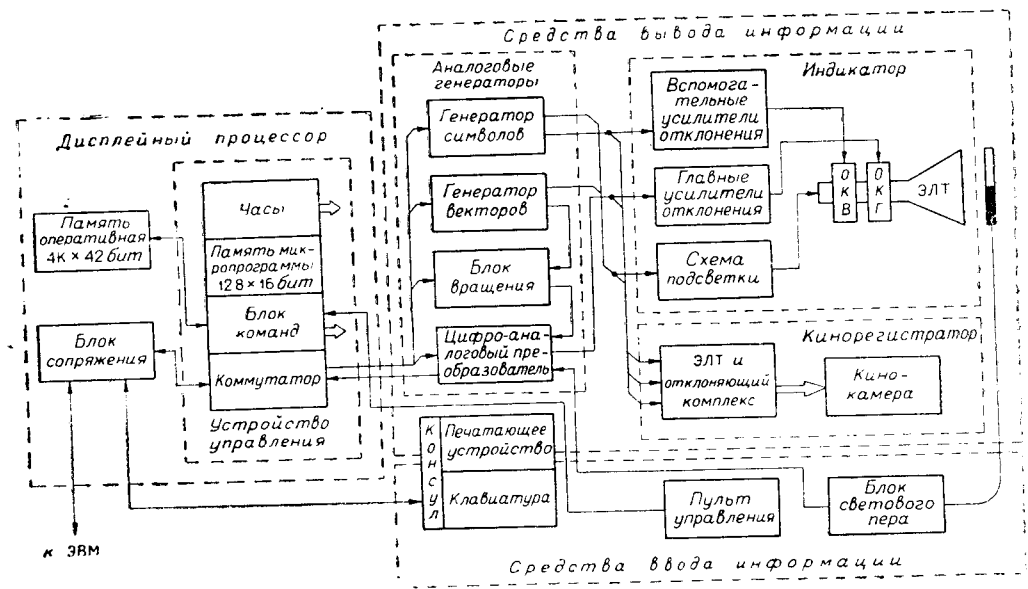


Рис. 2.

го управляющего устройства — дисплейного процессора — простейшей специализированной машины со своей системой команд и программой (см. рис. 1, б) [10]. Затем в состав дисплейного процессора ввели память для хранения и регенерации изображения, чем еще более разгрузили канал связи (стало даже возможным пользоваться телефонной связью) и уменьшили до минимума машинное время центрального процессора, расходуемое на обслуживание терминала. Устройство стало еще более автономным и потому, что сообщение, передаваемое в ЭВМ — центральный процессор, стало создаваться и редактироваться независимо от вычислительной машины. Естественно, что дисплейный процессор усложнился настолько, что по своей структуре начал напоминать структуру цифровой вычислительной машины (нет только арифметического блока). Поэтому в некоторых устройствах графического взаимодействия стали применять в качестве дисплейного процессора появившиеся к тому времени мини-компьютеры (см. рис. 1, в) [11, 12], для которых были созданы соответствующее графическое математическое обеспечение и системы графических подпрограмм. Устройство превратилось в систему.

В настоящее время иностранными фирмами выпускаются графические терминалы различной сложности и стоимости — от простых устройств (10 000 долл.), содержащих цифро-аналоговые преобразователи и ЭЛТ, до сложных систем (300 000 долл.) с аппаратурной реализацией слежения за световым пером при формировании графического изображения, с набором аналоговых генераторов для построения символов, векторов, кривых 2-го порядка, окружностей и проекций трехмерных изображений, с вращением их и удалением невидимых линий, с фото- и кино-регистрацией, с широким набором средств ввода и развитой логикой обмена с ЭВМ.

На рис. 1, г показана наиболее сложная система [13], в которой каждый дисплейный процессор способен управлять работой нескольких групп аналоговых генераторов, каждая из которых, в свою очередь, может работать на несколько оконечных индикаторов. Такая система считается разумной при одновременной работе нескольких десятков абонентов с одним центральным процессором.

II. Система «Экран» с самого начала ее создания была задумана как система графического взаимодействия широкого назначения и применения, предназначенная для решения задач, связанных с автоматизацией научных исследований, для ускорения решения крупных проблем институтов Сибирского отделения АН СССР, пользующихся такой мощной вычислительной машиной, как БЭСМ-6. В связи с этим к системе предъявлялось требование достаточной автономности, высокой информационной способности, оснащенной всеми современными средствами вывода информации на экран ЭЛТ с широким набором аналоговых генераторов и обязательным наличием светового пера. Необходимо было также рассмотреть возможность подключения устройства регистрации на киноплёнку (для создания машинных фильмов) и печатающего устройства. Этими требованиями и определилась структура системы «Экран», блок-схема которой представлена на рис. 2.

Система «Экран», внешний вид которой показан на рис. 3, содержит средства вывода и ввода информации и дисплейный процессор. К средствам вывода относится индикатор на ЭЛТ с магнитным отклонением. ЭЛТ снабжена двумя типами отклоняющих катушек — главными (ОКГ) и вспомогательными (ОКВ). В соответствии с этим в индикатор входят главные усилители отклонения для позиционирования электронного луча и вспомогательные усилители для вычерчивания символов. Индикатор имеет широкоразвитую логику подсветки, позволяющую получать изоб-

ражения различной градации яркости, мерцающие изображения и пунктирные линии.

Следует заметить, что индикатор на ЭЛТ является самым существенным элементом системы. От таких его параметров, как быстродействие, точность и разрешающая способность, в значительной степени зависят многие характеристики системы в целом, в частности ее информационная способность. Поэтому при создании системы особое внимание было уделено проблеме широкополосного магнитного отклонения электронного луча, о чем подробно рассказывается в статье [5] настоящего журнала.

Следующая группа устройств, объединенная под названием «аналоговые генераторы», состоит из генератора символов, генератора векторов, блока вращения и цифро-аналоговых преобразователей. Эти устройства позволяют строить изображения либо в виде семейства точек (точечный режим), либо отрезков прямых линий (векторный режим). В последнем случае возможно построение как плоских фигур, так и косоугольных проекций трехмерных изображений и их поворот на любой угол вокруг координатных осей. Генератор символов дает возможность выводить на любую позицию экрана одиночные символы, а также текст в одном из двух указываемых программно форматах. Подробное описание перечисленных устройств дано в [6].

К средствам вывода системы «Экран» также относятся кинорегистратор и печатающая машинка «Консул 254». Вывод информации на экран специализированной ЭЛТ кинорегистратора осуществляется параллельно

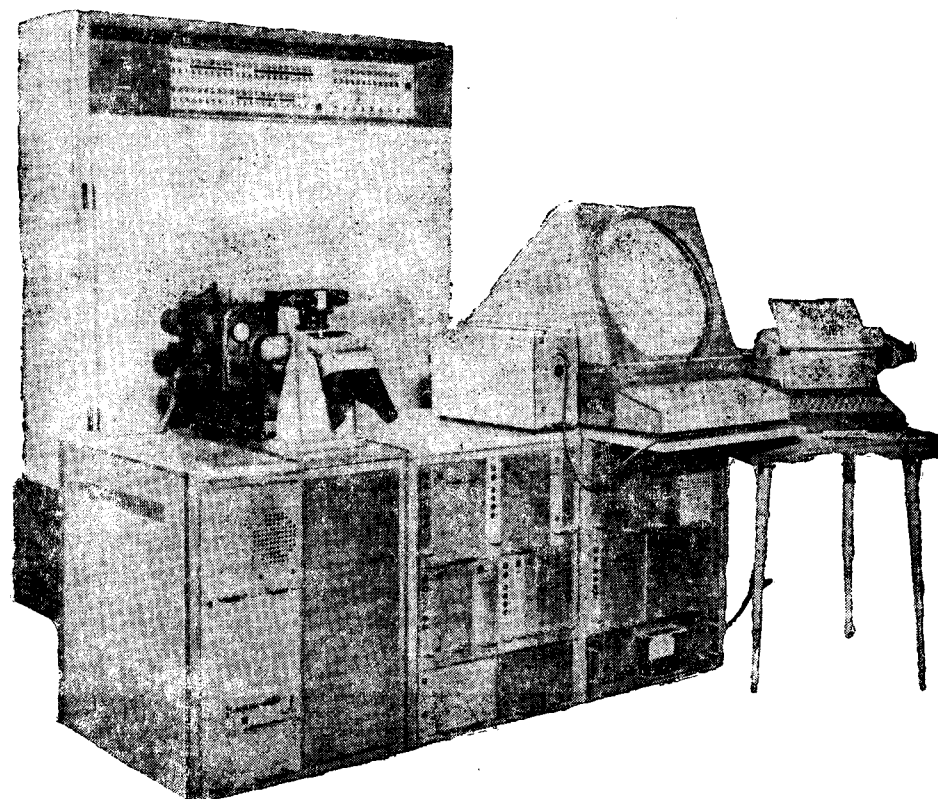


Рис. 3.

с выводом на индикатор, однако сам процесс регистрации задается программно или вручную.

Средства ввода, используемые в системе «Экран», включают световое перо и клавиатуру устройства «Консул». Световое перо позволяет аппаратно реализовать три функции: стирание и выделение элементов изображения, а также так называемую трассировку, с помощью которой можно вводить новую графическую информацию, «рисую» пером по экрану. Описание блока светового пера дано в [7].

Остановимся более подробно на дисплейном процессоре системы. Фактически это специализированная машина, содержащая оперативную память (МОЗУ БЭСМ-4) с соответствующими регистрами, постоянную память для хранения микропрограмм управления, блок команд для выработки управляющих сигналов, коммутатор и интерфейс (блок сопряжения) для связи с ЭВМ и печатающей машинкой «Консул».

Дисплейный процессор, выбирая последовательно команды из оперативной памяти, с помощью аналоговых генераторов управляет отклоняющим комплексом индикатора, яркостью луча, осуществляет регенерацию изображения, обмен информацией с ЭВМ, а также такие операции, как формирование и редактирование массива данных при вводе с клавиатуры и с помощью светового пера. Процессор имеет шесть доступных для программиста команд для формирования массива изображения и 63 микрокоманды, с помощью которых составлена и «защита» в диодно-трансформаторную память микропрограмма управления.

Массив изображения, хранимый в оперативной памяти, должен содержать набор 42-разрядных слов двух типов: а) команды, посредством которых осуществляется переход от одного режима вывода информации к другому, и б) слова с данными для вывода текстов, пространственных векторов и окружностей, которые следуют непосредственно за соответствующей командой.

Команды отличаются от слов с данными тем, что в старших семи разрядах (36—42) записывается признак режима (120—125) в восьмеричном коде. Остановимся на структуре команд.

Команда 120 используется для общей организации работы системы и представляется в следующей форме:

7	111	1	1	12	11
120	КМУ		Н		И
				Адрес	
					МА

Здесь К — признак кинорегистрации; М — признак вывода на печать; У — указатель (для процессора означает, что команда 120 «пустая»); Н — новый кадр — признак, означающий конец массива; И — признак перехода к адресу, указываемому следующими 12 разрядами; м — признак мерцания изображения; А — признак активации светового пера.

Для вывода буквенно-цифровой информации используются две команды. Команда 121 задает режим одиночных символов:

7	7	1	5	10	10	2
121	С	Т		У _{нач}	х _{нач}	

Здесь $x_{нач}$, $у_{нач}$ — координаты левого нижнего угла символа; С — код символа; Т — размер символа.

Режим вывода группы символов (текст) задается командой 122 и следующими за ней словами, содержащими коды символов:

7	1	12	10	10	2
122	Ф		у _{нач}	х _{нач}	
7	7	7	7	7	5 2
C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	T ₁ T ₅

Ф — формат текста (при Ф=0 символы могут быть расположены на 32 строках по 64 символа в строке; при Ф=1 число символов в строке 32; $x_{нач}$, $y_{нач}$ — позиция первого символа в тексте.

Вывод графической информации возможен в трех следующих режимах: а) точки и непрерывные векторы; б) пространственные точечные векторы; в) окружности.

Режим точек и непрерывных векторов задается командой 123:

7	1	2	10	10	10	2
123	П	Я		у	х	

Признак П определяет отображение точки или непрерывной линии. При П=0 луч переводится в позицию с координатами x и y и подсвечивается на время 1 мкс. При П=1 соединяются непрерывной линией две точки, записанные в двух следующих друг за другом командах. Я — признаки яркости.

Режим пространственных векторов предназначен для построения косоугольных проекций трехмерных изображений и задается командой 124:

7	1	2	10	10	10	2
124		00		у _{нач}	х _{нач}	
1	7	2	10	10	10	2
0		Я	± Δz	± Δy	± Δx	

$x_{нач}$, $y_{нач}$ — начало построения; $±Δz$, $±Δy$, $±Δx$ — приращения по трем координатам, причем абсолютное значение приращения задается 9-разрядным кодом, а старший 10-й разряд отводится под знак приращения. И, наконец, последняя команда 125 задает режим окружности:

7	1	2	10	10	10	2
125		00		$y_c + R$	x_c	
1	3	1	1	1	1	2 10 10 10 2
0		I	II	III	IV	Я 0000000000 R 0000000000

Здесь u_c, x_c — координаты центра окружности; R — радиус; I, II, III, IV — номер выводимого квадранта окружности.

Как мы уже говорили, функционирование системы определяется микропрограммой, записанной в постоянной памяти. Упрощенная блок-схема микропрограммы, объем которой — 128 16-разрядных слов, показана на рис. 4.

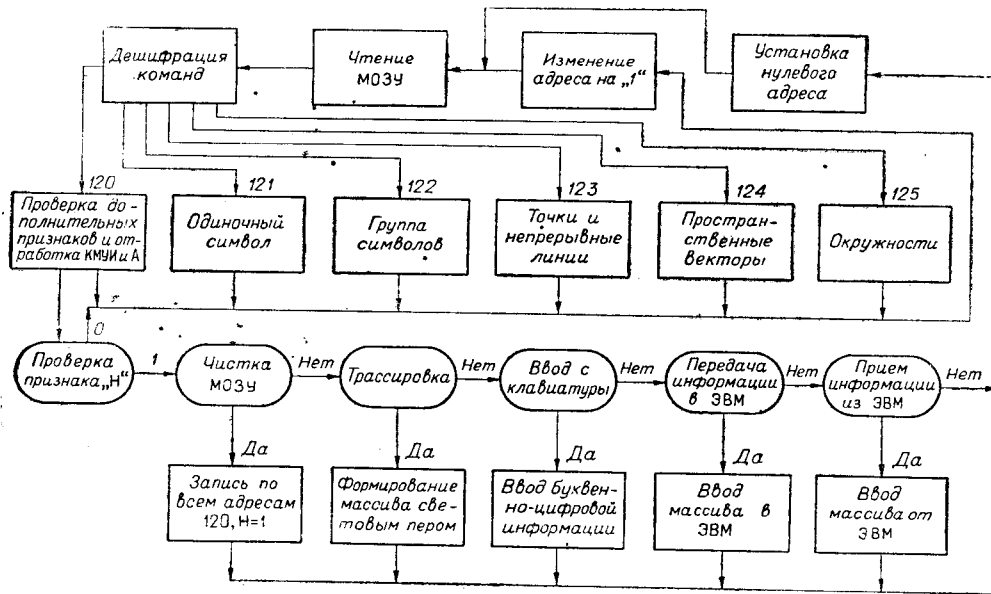


Рис. 4.

Характерной чертой микропрограммы является наличие так называемого «главного цикла», что связано с необходимостью регенерации изображения для устранения эффекта мерцания. Главный цикл начинается с установки нулевого адреса в оперативной памяти и ожидания импульса синхронизации с частотой питающей сети. Далее проходят микрокоманды «Чтение МОЗУ» и «Дешифрация команд». В зависимости от результата дешифрации происходит запуск одного из режимов отображения информации, после чего изменяется адрес на +1 и цикл замыкается. Когда процесс отображения информации закончен, появляется команда 120 с признаком $N=1$. В этом случае, т. е. в конце кадра, начинается проверка и отработка таких процессов, как «Чистка МОЗУ», «Трассировка» — ввод графической информации, «Ввод с клавиатуры» — ввод буквенно-цифровой информации, обмен информацией с ЭВМ.

Процесс «Чистка МОЗУ» эквивалентен стиранию всего изображения с экрана индикатора и состоит в том, что по всем адресам оперативной памяти записывается команда 120 с признаком $N=1$.

В режиме «Трассировка» с помощью светового пера по экрану индикатора может перемещаться специальный маркер «Квадрат в квадрате». В зависимости от того, какие при этом будут нажаты функциональные кнопки пульта управления, в память будут заноситься команды 123 с соответствующими признаками. Таким способом можно «нарисовать» на экране индикатора любое желаемое изображение.

При вводе буквенно-цифровой информации начало текста указывается либо световым пером, либо с помощью специальных кнопок, перемещающих маркер в нужную позицию. Над местом будущего символа

всегда появляется маркер в виде треугольника, указывающего точное местоположение вводимых символов. Ввод символов осуществляется с помощью клавиатуры печатающей машинки «Консул» через блок сопряжения, где символы накапливаются до заполнения слова и затем записываются в оперативную память.

Микропрограмма управления предусматривает отработку таких режимов, как стирание элементов изображения, редактирование текста, выделение и передача в ЭВМ координат элементов изображения и их адреса в оперативной памяти.

При стирании в первый разряд слова, содержащего элемент, который необходимо стереть, по сигналу от светового пера записывается единица. При последующем воспроизведении элемент изображения, записанный в этом слове, не подсвечивается. При желании стертый элемент можно восстановить.

Необходимо подчеркнуть важность режима выделения, с помощью которого оператор может указать на любой элемент картинку и сообщить машине, какие действия нужно над этим элементом выполнить, указав затем, например, на одну из так называемых «световых кнопок», каждая из которых соответствует одной из подпрограмм центрального процессора. Таким путем удастся организовать весьма эффективную работу с ЭВМ в диалоговом режиме.

В заключение необходимо отметить, что система «Экран» имеет достаточные возможности для графического взаимодействия человека с ЭВМ. Однако эффективное использование этих возможностей потребует соответствующей надстройки в виде графического математического обеспечения центрального процессора, создания графических языков и обслуживающих подпрограмм. К этой серьезной и весьма интересной проблеме мы хотели бы привлечь более пристальное внимание программистов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Jalme R. Carbonell. On Man-computer Interaction: a Model and Some Related Issues.—IEEE Trans. Syst. Sci and Cybernet., 1969, v, 5, № 1.
2. N. Lindgreen. Human Factors in Engineering, Part II. Advanced Man-machine Systems and Concepts.—IEEE Spectrum, 1966, v. 3, № 4.
3. A. Appel, T. P. Dankowski, R. L. Dougherty. Aspects of Display Technology.—IBM Systems Journal, 1968, v. 7, № 3—4.
4. Harry Poole. Fundamentals of Display Systems. Raytheon company, Washington, Spartan books, London, Macmillan and Co, Ltd.
5. А. М. Ковалев, А. С. Токарев. Широкополосное управление лучом ЭЛТ с электромагнитным отклонением.—Автометрия, 1971, № 4.
6. Б. С. Долговесов, А. М. Ковалев, А. А. Лубков, К. Ф. Обертышев. Отображение графической и буквенно-цифровой информации в системах графического взаимодействия человека с ЭВМ.—Автометрия, 1971, № 4.
7. А. М. Ковалев, В. Н. Котов, А. П. Якимович. Световое перо, аппаратурная реализация режима трассировки.—Автометрия, 1971, № 4.
8. The Computer Display Review. Adams Associates, 1968.
9. Льюин. О графических оконечных устройствах ЦВМ.—ТИИЭР, 1967, № 9.
10. R. Stotz. Man-machine console facilities for computer — aided design.—Proc. Spring Joint Computer Conf., 1963.
11. H. Robert. Graphics the Future in Design by Computer.—Electronic Design, 1969, № 6.
12. De Rippe, De Humphries. Magic — a machine for automatic graphics interphase to a computer — Proc. Fall Joint Computer Conf., 1965.
13. R. J. Houldin. IBM Graphic Display System.—Information Display, 1966, №5.

*Поступила в редакцию
26 октября 1970 г.*