

✓ 117

К-238

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
И АВТОМАТИЗАЦИИ

11 - 6670

А.А.Карлов

ВОПРОСЫ
МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДИСПЛЕЯ
СО СВЕТОВЫМ КАРАНДАШОМ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
В ЗАДАЧАХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ

Специальность 01 010 - математическое программирование

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1972

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

доктор технических наук профессор Г.И.Забиякин

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук профессор Л.Н.Королев,
кандидат физико-математических наук В.С.Штаркман.

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения
АН СССР (г. Новосибирск)

Автореферат разослан "___" _____ 1972 г.

Защита диссертации состоится "___" _____ 1972 г.
на заседании Ученого совета Лаборатории вычислительной техники
и автоматизации ОИЯИ в г. Дубне Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета

Е.А.ЛОГИНОВА

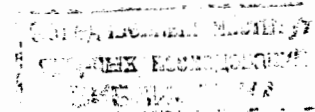
11 - 6670

А.А.Карлов

ВОПРОСЫ
МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДИСПЛЕЯ
СО СВЕТОВЫМ КАРАНДАШОМ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
В ЗАДАЧАХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ
Специальность 01 010 - математическое программирование

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)



Эффективность использования ЭВМ в задачах экспериментальной физики, как и в других областях науки и техники, во многом определялась и определяется эффективностью средств общения человека с машиной. В последние годы в связи с постановкой новых сложных задач, которые невозможно или нецелесообразно решать традиционными методами и которые требуют активного участия человека с его опытом и научной интуицией непосредственно в самом процессе решения задачи на ЭВМ, а также благодаря успехам в развитии ЭВМ (особенно в системном программировании) все более широкое распространение получают устройства визуального представления информации из ЭВМ на базе электроннолучевых трубок (дисплеи).

Появление дисплеев позволяет более правильно разделить функции между человеком и ЭВМ. Благодаря дисплею, человек, работая на ЭВМ, может оперировать с естественными для него понятиями рисунков, схем, символов и выполнять действия, которые требуют творческого воображения и опыта, т.е. то, что человек делает лучше машины. С другой стороны, на ЭВМ возлагаются функции, которые поддаются формализации и могут быть эффективно выполнены за счет вычислительных мощностей машины. Такое разделение функций привело к существенному расширению круга пользователей вычислительными системами и особенно пользователей, не являющихся специалистами в области ЭВМ.

В настоящее время более 60 зарубежных фирм предлагают разнообразный набор графических и буквенно-цифровых дисплеев с различными характеристиками и стоимостью^{1,2/}. В рамках создания единой серии ЭВМ (ЕС ЭВМ) готовится к серийному выпуску дисплеев отечественная промышленность, оснащаются графическими и буквенно-цифровыми дисплеями отечественные мини-ЭВМ^{3/}. Наряду с этим многие научно-исследовательские организации в течение последних лет занимаются самостоятельными разработками в этой области. Существенный вклад здесь внесли институты Сибирского отделения АН СССР^{4,5,6/}, Киевский политехнический институт^{7/} и другие организации.

Некоторые из разработанных при этом дисплеев приняты промышленностью для серийного производства.

Однако, несмотря на значительные успехи в создании разного рода дисплейной аппаратуры и очевидные преимущества, которые дает ее использование, существует ряд причин, тормозящих внедрение дисплейных систем. Основная из них — сложность математического обеспечения графических дисплеев, которая в первую очередь обусловлена трудностями в описании взаимодействия пользователя с ЭВМ, сложностью обработки больших массивов графической информации и ее зависимостью от аппаратной реализации системы, а также необходимостью обеспечить возможность работы с графической системой на языках достаточно высокого уровня, так как в противном случае только опытные системные программисты смогут писать дисплейные программы для конкретных применений. Даже в условиях широкого рынка графических дисплеев, который существует на Западе, организации, использующие дисплейные системы, вынуждены затрачивать значительные усилия на развитие и совершенствование того математического обеспечения, которое поставляется фирмами вместе с дисплейной аппаратурой.

Когда дисплейная система предназначена для решения только узкого класса задач, то оправдывает себя подход, при котором разрабатывается в основном специализированное дисплейное матобеспечение, максимально учитывающее требования конкретного применения и используемую аппаратуру. Это позволяет уменьшить затраты труда и времени на реализацию математического обеспечения, сделать его более компактным и эффективным, но затрудняет перенос полученного опыта на другие дисплейные системы. Именно такой подход использовался и в Объединенном институте ядерных исследований (ОИЯИ), когда здесь начинались работы по дисплейной тематике /8-12/. Однако с расширением парка ЭВМ и круга физических задач, где использование графических дисплеев могло существенно повысить эффективность их решения, проблема создания математического обеспечения дисплеев потребовала более общего подхода.

Автор счел целесообразным разработать достаточно гибкое общее математическое обеспечение графического дисплея, имеющее широкий набор возможностей и не зависящее от конкретных применений с тем, чтобы на его основе можно было создавать методики и соответствующие

дисплейные программы для отдельных физических задач. Необходимость использования дисплеев в будущем на разнотипных ЭВМ требовала при этом, чтобы принципы, положенные в основу общего дисплейного матобеспечения, допускали возможность его адаптации для разных ЭВМ и дисплеев.

Работы /13-17/ по созданию общего математического обеспечения графических дисплеев и конкретной реализации его на ЭВМ СДС-1604А для разработанного в ОИЯИ и подключенного к этой машине дисплея со световым карандашом, выполненные под руководством и при непосредственном участии автора, и составили основу данной диссертации. В диссертацию вошли также работы /19-21/, выполненные автором самостоятельно и совместно с другими специалистами ОИЯИ, по созданию методик и дисплейных программ для решения ряда задач расчета физических установок и обработки снимков с пузырьковых камер.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения.

В первой главе диссертации дается обзор основных направлений использования графических дисплеев в задачах физики высоких энергий в крупнейших ядерных центрах за последние пять лет. Показано, что дисплейные системы успешно внедряются на всех этапах подготовки и проведения физических экспериментов, при обработке экспериментальных данных и математическом анализе. Автор счел полезным рассмотреть этот опыт в виде отдельной главы, так как характер решаемых при этом задач весьма разнообразен (сложные расчеты, просмотр и редактирование данных, наблюдение и управление в реальном масштабе времени и др.). Подобного рода задачи встречаются не только в экспериментальной физике, и учет их особенностей позволяет создать более универсальное дисплейное обеспечение.

Во второй главе рассматриваются некоторые вопросы создания общего математического обеспечения графических систем на базе дисплеев, обосновывается подход к созданию такого обеспечения для случая физических задач в виде дисплейной библиотеки, обращение к которой возможно на языках высокого уровня, и предлагается классификация дисплейных подпрограмм.

С функциональной точки зрения дисплейные подпрограммы разделены на три класса:

I. Административные подпрограммы, обеспечивающие выделение и

использование массивов памяти под графическую информацию, а также выполняющие всякого рода действия над элементами изображения (добавление, удаление, замещение и т.п.); к этому же классу отнесены и вспомогательные подпрограммы, позволяющие оценить распределение памяти под графическую информацию, выполнить всякого рода контрольные распечатки графической информации, внутренних дисплейных переменных и управляющих таблиц, что весьма полезно при отладке новых дисплейных подпрограмм.

2. Подпрограммы - генераторы графической информации, с помощью которых формируется изображение как простейших графических элементов, таких как точки, вектора, текст и др. (подпрограммы - генераторы низшего уровня), так и более сложные изображения, получаемые, например, при построении координатных осей, эквипотенциальных линий, при масштабировании и т.п. (подпрограммы-генераторы более высокого уровня).

3. Управляющие подпрограммы, обеспечивающие независимо от выполнения программы пользователя регенерацию изображения на экране дисплея и работу устройств оперативного взаимодействия человека с ЭВМ (светового карандаша, клавиатуры и др.).

Во второй главе также сформулированы общие требования к математическому обеспечению светового карандаша, как основному средству взаимодействия человека с изображением в дисплейных системах.

Третья глава посвящена описанию математического обеспечения, созданного автором для дисплея со световым карандашом, разработанного в ОИИ и подключенного к ЭВМ СДС-1604А. Основные особенности созданного матобеспечения состоят в следующем.

Для программиста нет необходимости иметь подробные сведения о работе аппаратуры дисплея, каналов ЭВМ и схем связи. Все средства для построения и модификации изображения, а также для работы со световым карандашом и пишущей машинкой доступны на уровне языка ФОРТРАН и на автокоде.

Функциональная избыточность дисплейной библиотеки (т.е. возможность реализации одних и тех же функций разными средствами) и независимость в подавляющем большинстве дисплейных подпрограмм друг от друга позволяют в каждом конкретном случае выбрать оптимальный с точки зрения пользователя набор дисплейных подпрограмм. Дисплейная библиотека на ЭВМ СДС-1604А включает в настоящее время более 50 под-

программ (таблица I) и состоит из основного ядра (группа I), которое используется всегда, и большого набора дополнительных подпрограмм, которые могут использоваться выборочно в зависимости от требований исходной задачи и квалификации программиста.

Имеется возможность идентификации отдельных частей изображения (графических объектов) путем присвоения им персональных буквенно-цифровых названий. Наличие названия позволяет программисту производить с отдельным объектом различные действия, такие как перемещение, удаление, изменение масштаба и др., указывая при этом лишь название интересующего его объекта и параметры преобразования и не заботясь о физическом расположении объекта в памяти.

При работе со световым карандашом в режиме указания пользователю доступны не только координаты указанной световым карандашом точки, но и название объекта, которому эта точка принадлежит. Это в значительной мере упрощает программирование процедур взаимодействия человека с изображением и особенно полезно при идентификации объектов, положение которых на экране заранее неизвестно (например, если объект движется).

При работе в режиме слежения процесс слежения за световым карандашом с помощью специального маркера осуществляется одновременно с выполнением программы пользователя и независимо от нее. В любой момент времени программе пользователя доступны координаты текущего положения маркера на экране через переменные, выделенные пользователем при вызове режима слежения. Для задания типа слежения (без рисования или с рисованием) от программиста требуется минимум усилий. В случае слежения с рисованием необходимо указать лишь минимальный шаг, с которым должны фиксироваться координаты промежуточных положений маркера и вид аппроксимации (линейными отрезками, пунктирными линиями и т.п.). Собственно процесс фиксации координат и высвечивание траектории движения светового карандаша возложен на служебные дисплейные подпрограммы. Предусмотрена также возможность перемещения по экрану с помощью маркера слежения уже существующих на экране объектов.

Основные административные функции дисплейного обеспечения (выделение памяти под графическую информацию, учет графических объектов и разнообразные действия над ними и др.), а также большинство подпрограмм по формированию сложных изображений не зависят или зависят в минимальной степени от используемой ЭВМ и аппаратуры дисплея.

Таблица I

Дисплейные подпрограммы, доступные пользователям

Группа 1		Объем памяти (кбайт)
OUTCLBA	Начальная установка внутренних дисплеиных переменных	159
OUTCLBP	Выделение текущего буфера под графическую информацию	46
OUTDOT	Формирование изображения точки	186
OUTDOTI	Формирование изображения вектора, заданного в относительной форме	118
OUTDOTF	Формирование изображения вектора, заданного в абсолютной форме	
OUTADD	Объявление содержимого текущего буфера объектом без выдвиг на экран	75
OUTADDD	Объявление содержимого текущего буфера объектом с выдвиг на экран	15
OUTON	Выдвиг на экран ранее сформированного объекта	147
OUTOFF	Прекращение выдвигания объекта на экран с сохранением его в памяти	23
OUTDEL	Уничтожение объекта	35
Группа 2		
OUTKID	Формирование изображения символической информации	236
OUTKIM	Формирование изображения чисел в заданном формате	234
Группа 3		
OUTARC	Формирование изображения дуги	204
OUTCIRC	Формирование изображения окружности	71
Группа 4		
OUTLLEN	Задание параметров для работы СК в режиме указания	105*
OUTSCROSS	Выбор режима сглаживания на СК и формирования маркера	100
OUTDRAW	Задание способа рисования и вала фиксации прямоугольных положений маркера	20
OUTSTRIP	Выбор режима перемещения объектов по экрану с помощью маркера	40
Группа 5		
OUTKWIN	Ввод с ПМ произвольной символической информации	182
OUTKINT	Ввод с ПМ целых чисел с контролем	398
OUTKINTF	Ввод с ПМ действительных чисел с контролем	

* Объем с учетом подпрограммы обработки прерывания от светового карандаша

Таблица I
(продолжение)

Группа 6		
OUTAREA	Объявление текущего буфера с графической информацией произвольной области	23
OUTCLAM	Объявление текущего буфера памяти, занимаемой заданным объектом	32
OUTEDOE	Установка границ рабочей области экрана и режима обработки координат вне этой области	27
OUTFIELD	Определение физического расположения в памяти и длины заданного объекта	53
OUTFIELDP	Определение в заданном объекте номера точки с заданными координатами	46
OUTRICK	Выделение параметров заданной точки	54
OUTIIE	Замещение заданной точки точкой с новыми параметрами	54
OUTPLACE	перемещение объекта в заданное место экрана.	123
OUTCUT	Укорочение объекта на заданную величину	100
OUTWIDE	Удлинение объекта на заданную величину	
OUTREN	Изменение названия объекта	35
OUTREP	Замещение объекта вновь сформированным	46
OUTSCR	Задание области на экране при работе с координатами в произвольном диапазоне величин	74
OUTRANGE	Задание диапазонов изменения и типа величин, преобразуемых в координаты экрана	110
OUTXUC	Преобразование пары величин в координаты точки на экране	98
Группа 7		
OUTPOLY	Формирование изображения последовательности векторов и (или) точек, заданных в относительной форме	43
OUTGAIN	Формирование изображения последовательности векторов и (или) точек, заданных в абсолютной форме	
OUTCOPY	Копирование объекта в текущий буфер	25
OUTZCL	Преобразование масштаба объекта	180
OUTCURVE	Построение изображения функции одной переменной	41
OUTAXII	Построение изображения координатных осей	657
OUTEOL	Построение изображения эквипотенциальной линии	1193
OUTPLOP	построение трехмерного представления функции двух переменных, заданной на прямоугольной области, с возможностью вывода "невидимых" линий	2672
OUTROT3	Построение трехмерного изображения по топологии, определяемой пользователем, с возможностью вращения сформированного объекта	1030
OUTCHAIN	Формирование изображения совокупности векторов, последовательно соединяющих независимые точки заданного объекта	58
Группа 8		
OUTDELAY	Задержка выполнения вызывающей программы на заданный интервал времени	13
OUTFILL	Определение степени заполнения текущего буфера графической информацией	12
OUTMAP	Распечатка массива графической информации	140
OUTPRINT	Распечатка заданного объекта	70
OUTTABPR	Распечатка внутренних управляющих таблиц	62
OUTXY	определение координат последней сформированной точки	15

В главе приведены примеры программ, написанных на языке ФОРТРАН, которые позволяют оценить возможности, предоставляемые пользователю для формирования, изменения изображения и взаимодействия с ним, а также для работы со световым карандашом и пишущей машинкой.

В четвертой главе рассматриваются разработанные автором самостоятельно и совместно с другими специалистами ОИЯИ методики и дисплейные программы для задач проектирования физических установок и обработки снимков с пузырьковых камер.

Для расчетов электрических и магнитных полей, связанных с решением дифференциальных уравнений в частных производных эллиптического типа, которыми охватывается широкий круг задач из различных областей науки и техники, была создана программа /19/, обеспечивающая возможность оперативного редактирования исходных данных, графическое представление результатов расчета и их анализ с помощью дисплея. В основу была положена программа /23/, предназначенная для решения уравнений Лапласа и Гельмгольца конечно-разностным методом. Решение ищется внутри области, ограниченной простыми замкнутыми кривыми, которые задаются для каждой кривой набором координат точек, соединенных прямыми линиями. Используя дисплей со световым карандашом и пульттовую пишущую машинку, пользователь может выполнять операции по изменению конфигурации расчетной области, граничных условий и даже типа решаемого уравнения. На этапе анализа результатов расчета он имеет возможность определить значение функции в любой узловой точке внутри области, получить график функции и ее производных в сечениях, параллельных осям координат, сформировать трехмерное представление функции, построить эквипотенциальные линии и получить увеличенное изображение любого участка области и др. Изучив результаты отдельного расчета, пользователь в поисках оптимального решения может перейти к новому расчету при других начальных данных, которые он вводит, используя световой карандаш и клавиатуру. Предусмотрено ведение протокола работы с выдачей различного рода диагностики при неправильных действиях пользователя. Расчеты ряда физических установок (полоскового резонатора, установки для напыления сверхпроводников в вакууме и др.), выполненные с использованием дисплея, показали, по оценкам специалистов, ускорение поиска оптимального варианта в 3 - 4 раза по сравнению с обычной методикой.

Расчет адгезатора - установки для формирования электронно-ионного сгустка при коллективном ускорении ионов /18/ - другая задача расчетного характера, где использование дисплея позволило ускорить нахождение окончательного решения в несколько раз. Задача состояла в подборе электрических и геометрических параметров системы катушек с целью создания поля требуемой конфигурации. Исходные данные (расположение катушек, их геометрические размеры, величины протекающих токов и др.) оперативно изменялись на основании промежуточных результатов. Соответствующий подбор масштабов при изображении кривой суммарного поля и геометрии системы катушек позволял визуально коррелировать положение отдельных катушек с поведением кривой. Существенное сокращение поиска оптимального решения в данном случае было достигнуто благодаря тому, что наличие дисплея позволило привлечь к работе на ЭВМ специалистов-физиков, которые несмотря на то, что были совершенно незнакомы с ЭВМ и программированием, освоили работу с дисплеем в течение одного сеанса.

Реализация возможности работы с дисплеем в программе расчета систем транспортировки пучка заряженных частиц /21/ также позволила существенно повысить эффективность программы. Большое число исходных параметров не позволяет высвечивать их на экране все одновременно. Однако наличие соответствующих световых клавиш позволяет с помощью светового карандаша легко перейти к изображению требуемой группы параметров и изменить любой из них в случае необходимости. Результаты расчета представляются на экране в виде огибающих пучка во взаимно перпендикулярных плоскостях. Кроме того, на экране можно наблюдать распределение плотности частиц на конце системы, а также ряд наиболее важных переменных, характеризующих фокусировку.

Создание программы для просмотра и редактирования результатов измерений снимков с пузырьковых камер с помощью дисплея /20/ позволяет повысить эффективность систем обработки снимков за счет уменьшения числа повторных измерений тех событий, которые из-за ошибок оператора, сбоев аппаратуры и других причин не смогли пройти стандартную цепочку программ обработки /22/ и были отбракованы. Отработка дисплейной методики и оценка ее эффективности была проведена на событиях, полученных с однометровой пузырьковой камеры Лаборатории высоких энергий ОИЯИ. Число событий, направляемых на повторное измерение, составляет обычно 10-20%. Оказывается, что в

60-80% случаев отбракованные события можно "спасти" без их повторного измерения, корректируя записанные на магнитной ленте результаты измерений с помощью дисплея. Операции за дисплейным пультом: обрезать кривых треков, изменение идентификаторов треков и вершин, уничтожение остановок, удаление вторичных звезд и др., - выполняются на основании протоколов работы программ геометрической реконструкции и кинематического анализа. Эти протоколы содержат перечень событий, типы ошибок и другую информацию, необходимую для выяснения целесообразности той или иной операции редактирования. Исправленные события записываются на выходную магнитную ленту, формат которой совпадает с принятым для обычной входной ленты программы геометрической реконструкции. Достоверность процедур редактирования на дисплее была подтверждена сравнением результатов обработки контрольной группы отбракованных двухлучевых и четырехлучевых событий (всего более 200 событий), которые, с одной стороны, прошли цикл повторных измерений, а с другой - были исправлены на дисплее. Скорость редактирования событий с использованием дисплея составила в среднем около 50 событий/час.

Основные результаты данной работы заключаются в следующем:

1. Дан обзор основных направлений использования графических дисплеев в задачах физики высоких энергий. Показано, что графические дисплеи используются практически на всех этапах подготовки и проведения физического эксперимента, при обработке получаемых экспериментальных данных и математическом анализе.

2. Рассмотрены особенности программирования физических задач, которые в общем случае предъявляют самые разнообразные требования к математическому обеспечению дисплейных систем. Показано, что наиболее эффективным подходом, способным в значительной степени удовлетворить этим требованиям и принятым автором, является создание развитого общего математического обеспечения графического дисплея в виде библиотеки дисплейных подпрограмм, не зависящей от конкретных применений и допускающей выбор оптимального набора возможностей из числа имеющихся, и построение на его основе дисплейных методик и программ для отдельных физических задач.

3. Рассмотрены основные проблемы, возникающие при создании об-

щего математического обеспечения графических дисплеев как устройств ввода-вывода нового типа. Предложена классификация подпрограмм дисплейной библиотеки и дан анализ их зависимости от конкретной реализации графической системы.

4. Создано математическое обеспечение для графического дисплея со световым карандашом на ЭВМ СДС-1604А, позволяющее использовать это устройство в режиме диалога "человек-ЭВМ" на языке ФОРТРАН (или на автокоде). Правильность принятых принципов и достаточная полнота средств, предоставляемых пользователю, подтверждается тем, что перенос созданного дисплейного обеспечения на другие ЭВМ (БЭСМ-6 и малые ЭВМ), который проводится в ОИЯИ в настоящее время, осуществляется с сохранением основной идеологии и структуры дисплейной библиотеки, несмотря на разнообразие каналов связи и аппаратуры дисплеев (простейшие дисплеи, способные аппаратными средствами высвечивать только точки, универсальные дисплеи с функциональными генераторами, дисплеи на запоминающих трубках).

5. Разработаны вопросы матобеспечения светового карандаша, как основного средства взаимодействия человека с изображением в дисплейных системах. На основании сформулированных требований предложен набор и описаны алгоритмы дисплейных подпрограмм, обеспечивающих эффективную работу светового карандаша как в режиме указания для идентификации уже существующих элементов изображения, так и в режиме слежения для построения на экране дисплея новых графических объектов непосредственно с помощью светового карандаша.

6. Приведены примеры, иллюстрирующие основные возможности созданного комплекса дисплейных подпрограмм при программировании на языке ФОРТРАН.

7. На основании созданного общего дисплейного матобеспечения впервые в отечественной практике разработаны методики и созданы соответствующие дисплейные программы, которые успешно использовались и используются в настоящее время в Объединенном институте ядерных исследований при решении следующих задач экспериментальной физики:

- расчеты электрических и магнитных полей путем решения дифференциальных уравнений в частных производных эллиптического типа конечно-разностным методом;

- расчет установки для формирования электронно-ионного сгустка при коллективном ускорении ионов (адгезатора);

- расчет по теории второго порядка ионно-оптической системы, предназначенной для транспортировки пучка заряженных частиц.

По сравнению с традиционным способом решения таких задач (методом проб и ошибок в условиях пакетной обработки программ на ЭВМ) возможность оперативного диалога человека с ЭВМ в процессе поиска оптимального решения позволяет ускорить получение окончательного результата в несколько раз.

8. Впервые в отечественной практике разработана методика и созданы дисплейные программы, предназначенные для оперативного просмотра и редактирования с помощью графического дисплея записанных на магнитной ленте результатов измерений снимков с пузырьковых камер, которые были отбракованы на этапах геометрической реконструкции и кинематического анализа. Использование дисплея позволяет повысить эффективность систем обработки, так как исключает необходимость трудоемкого процесса повторного измерения для значительной части таких событий.

Л и т е р а т у р а

1. The Computer Display Review. Keydata Corp., v.1,2,3,4, 1970.
2. Маргулис Д.С. Состояние и тенденции развития устройств представления и вывода информации с использованием электроннолучевых трубок. Изд. Центрального научно-исслед. института информации и технико-экономических исследований приборостроения, средств автоматизации и систем управления, Москва, 1971.
3. Маргулис Д.С. и др. Ряд видеотерминальных установок для ЭВМ третьего поколения. Механизация и автоматизация управления, №4, 1971, 50-53.
4. Долговесов Б.С. и др. Система "Экран" для графического взаимодействия человека с ЭВМ. Автометрия, №4, 1971.
5. Львов В.А., Сычев Н.Ф. Вывод графической информации на экран ЭЛТ. Вычислительные системы, вып.35, "Наука", Новосибирск, 1969, 133-140.
6. Казачук Н.М., Львов В.А. Устройство оперативного отображения информации на экране ЭЛТ. Вычислительные системы, вып.46, "Наука", Новосибирск, 1971, 188-191.
7. Петренко А.И. и др. Автоматизированная система проектирования электронных схем. Изд. "Техника", Киев, 1972.

8. Лысенко З.В., Томик И., Трубников В.Р. Препринт ОИЯИ 10-3331, Дубна, 1967.

9. Забиякин Г.И. и др. Изв. АН СССР, физ. серия, 1967, XXXI, 20, 1600-1602.

10. Дуда Ф. и др. Препринт ОИЯИ 10-4236, Дубна, 1968.

11. Дуда Ф. и др. Препринт ОИЯИ 10-3780, Дубна, 1968.

12. Рябов Ю.В., Томик И., Трубников В.Р., Янева Н. Препринт ОИЯИ П10-3761, Дубна, 1968.

13. Карлов А.А. СДС-1604А и организация ввода-вывода на этой машине. Сб. "ЭВМ в экспериментальной физике", 10-4226, Дубна, 1968.

14. Карлов А.А., Приходько В.И. Визуальные средства представления информации (аппаратура и математическое обеспечение). Сб. "ЭВМ в экспериментальной физике" 10-5255, Дубна, 1970, 63-75.

15. Кавченко А.В., Карлов А.А., Смолякова Т.Ф. Программное обеспечение дисплея со световым карандашом на ЭВМ СДС-1604А. Сообщение ОИЯИ П1-6176, Дубна, 1971.

16. Карлов А.А., Смолякова Т.Ф. О программном обеспечении светового карандаша. Сообщение ОИЯИ П1-6155, Дубна, 1971.

17. Карлов А.А., Кавченко А.В., Полинцев А.Д., Смолякова Т.Ф. Руководство по программированию для дисплея со световым карандашом на ЭВМ СДС-1604А. ОИЯИ Б1-П1-6439, Дубна, 1972.

18. Дерендяев Ю.С. и др. Препринт ОИЯИ Р9-6003, Дубна, 1971.

19. Гусев А.В., Дерендяев Ю.С., Забиякин Г.И., Карлов А.А., Кавченко А.В., Левчановский Ф.В., Приходько В.И., Рубин Н.Б. Использование дисплея со световым карандашом при решении краевых задач методом сеток. Препринт ОИЯИ П1-5671, Дубна, 1971.

20. Ефимова А.И., Забиякин Г.И., Карлов А.А., Кретов А.П., Кухтина И.Н., Левчановский Ф.В., Приходько В.И., Трубников В.Р., Шарапова Э.В. Графическое видеоустройство на БЭСМ-4 и СДС-1604А и его использование при обработке камерных снимков, ПТЭ, 4, 1971, 91-96.

21. Герш Х.У., Чеснова С.И., Карлов А.А., Кавченко А.В. Программа расчета ионно-оптической системы по теории второго порядка. Сообщение ОИЯИ 9-6253, Дубна, 1972.

22. Иванов В.Г., Лукьянцев А.Ф. ОИЯИ Б1-10-4310, Дубна, 1968.

23. Hornsby J.S. A Computer Programme for the Solution of Elliptic Partial Differential Equations, CERN 63-7, Geneva, 1963.

Рукопись поступила в издательский отдел
15 августа 1972 года.