

5671

Экз. чит. зала

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

11-5671



А.В. Гусев, Ю.С. Дерендяев, Г.И. Забиякин,  
А.А. Карлов, А.В. Кавченко, Ф.В. Левчановский,  
В.И. Приходько, Н.Б. Рубин

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСПЛЕЯ  
СО СВЕТОВЫМ КАРАНДАШОМ  
ПРИ РЕШЕНИИ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ  
МЕТОДОМ СЕТОК

(проблема потенциала)

1971

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ  
И АВТОМАТИЗАЦИИ

ОТДЕЛ НОВЫХ МЕТОДОВ УСКОРЕНИЯ

11-5671

А.В. Гусев, Ю.С. Дерендяев, Г.И. Забиякин,  
А.А. Карлов, А.В. Кавченко, Ф.В. Левчановский,  
В.И. Приходько, Н.Б. Рубин

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСПЛЕЯ  
СО СВЕТОВЫМ КАРАНДАШОМ  
ПРИ РЕШЕНИИ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ  
МЕТОДОМ СЕТОК

(проблема потенциала)

Направлено в ПТЭ

**Научно-техническая  
библиотека  
ОИЯИ**

Бурное развитие вычислительной техники, повышение быстродействия и надежности ЭВМ, снижение их стоимости ведет к широкому внедрению ЭВМ на всех стадиях планирования и проведения физического эксперимента [ 1 ]. Потребность в совершенствовании средств общения человека с ЭВМ привела в последние годы к появлению устройств визуального представления графической и буквенно-цифровой информации на базе электронно-лучевых трубок (дисплеев). Естественно, что экспериментальная физика не замедлила взять себе на вооружение этот мощный инструмент оперативного взаимодействия человека с машиной [ 2,3 ].

Одной из областей, где использование дисплеев уже дает весьма обнадеживающие результаты, являются задачи проектирования физических установок, в частности, задачи, связанные с расчетами магнитных и электростатических полей [ 4 ]. Собственно расчет полей при заданных граничных условиях не представляет принципиальных трудностей и сводится в большинстве случаев к численному решению дифференциальных уравнений. Однако задача проектирования как раз и состоит в нахождении такого набора исходных параметров, который бы удовлетворял требованиям проекта с заданной степенью точности. Это заставляет в поисках удовлетворительного варианта проводить многократные расчеты, варьируя исходные данные. Поэтому, несмотря на значительные успехи в разработке численных методов, в создании алгоритмов и написании программ для ЭВМ, обычно применяемая методика поиска решения в подобного рода задачах остается довольно громоздкой, требует больших затрат машинного времени для перебора многочисленных вариантов и ручного труда для анализа получаемых на каждом этапе результатов.

В данной работе рассматриваются возможности дисплейной методики, разработанной и используемой в настоящее время для решения краевых задач методом сеток на ЭВМ СДС-1604А. Работа была выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации совместно с Отделом новых методов ускорения ОИЯИ и ее высокая эффективность проверена на решении таких задач, как расчет полей резонаторов, расчет конструкции и распределения потенциалов в установке для напыления сверхпроводников и т. п.

В основу положена известная программа *ELLIPT* [5], которая к моменту разработки была уже адаптирована для ЭВМ СДС-1604А в соответствии с возможностями оперативной памяти этой машины (32К). Не останавливаясь на деталях математического метода, который используется в программе *ELLIPT*, так как он весьма подробно изложен в [5], рассмотрим лишь основные моменты с целью сохранить непрерывность изложения.

Широкий класс задач во многих областях науки и техники описывается дифференциальными уравнениями в частных производных эллиптического типа. Частным случаем этих уравнений являются уравнения Лапласа и Гельмгольца. Для решения последних и предназначена программа *ELLIPT*. В ней используется конечно-разностный метод, который особенно удобен для реализации его на ЭВМ. В данном случае этот метод заключается в построении прямоугольной сетки (шаг которой по обоим осям задается в качестве исходных данных) и замене дифференциальных уравнений в частных производных приближенным разностным уравнением для каждой узловой точки сетки. Решение ищется внутри области, ограниченной простыми замкнутыми кривыми, которые задаются координатами совокупности точек для каждой кривой. Соседние точки соединяются прямыми линиями, образуя сегменты. На отдель-

ных сегментах кривых известно либо значение функции, либо выполняется условие Неймана. Поиск решения носит итеративный характер и прекращается при достижении заданной точности.

Естественно, что адаптация программы *ELLIPT* в соответствии с возможностями СДС-1604А привела к появлению по сравнению с исходным вариантом программы ряда ограничений, наиболее существенными из которых являются:

- число узловых точек не может превышать 1450;
- число граничных кривых должно быть не более 10, а общее число граничных точек не должно превышать 100;
- нельзя записывать промежуточные результаты расчета на магнитную ленту.

Дисплейный вариант программы *ELLIPT*, названный *DISELLPT*, не добавляет никаких новых ограничений к уже существующим. Более того, порядок подготовки исходных данных на перфокартах практически сохранен прежним (добавляется одна перфокарта). Это позволяет легко перейти к новой методике. В качестве графического дисплея используется разработанный в Лаборатории осциллограф со световым карандашом [6], который благодаря наличию развитого дисплейного матобеспечения обладает всеми логическими возможностями универсального графического дисплея.

При обычной методике (рис.1) процесс нахождения удовлетворительного решения сводился к многократному повторению расчетов, которые были разделены между собой во времени днями и неделями, так как представление выдаваемых на печать результатов отдельного расчета в наглядной форме и их анализ требовал на каждом этапе большого ручного труда (например, для построения графиков и т.п.). Взаимо-

действие пользователя с ЭВМ в этом случае было пассивным и ограничивалось фактически лишь подготовкой исходных данных для каждого нового варианта.

При использовании дисплея (рис.2) исходные данные и результаты расчета выдаются на экран сразу в наглядной форме и могут быть проанализированы с помощью ЭВМ. Последнее исключительно важно с точки зрения взаимодействия человека с ЭВМ, так как процесс анализа результатов является творческим и, как правило, не поддается алгоритмизации, за исключением простейших случаев. Как он будет проходить - во многом зависит от опыта и научной интуиции исследователя, не говоря об очевидной зависимости от самих результатов. При необходимости, используя световой карандаш (СК) и клавиатуру пишущей машинки (ПМ), можно быстро изменять начальные данные и повторять расчет. В этом случае взаимодействие человека с машиной носит активный характер.

На рис. 3а,б изображена общая блок-схема программы *DTSELLPT*.

Выполнение программы начинается вводом исходных данных с перфокарт, после чего на экран дисплея выдаются (рис.4):

- 1) номер работы;
- 2) шаг сетки по оси  $X$  ( $\Delta X$ );
- 3) шаг сетки по оси  $Y$  ( $\Delta Y$ );
- 4) кодовое базовое число (KB), определяющее тип решаемого дифференциального уравнения;
- 5) волновое число (AK); при  $AK=0$  волновое уравнение превращается в уравнение Лапласа;
- 6) перечень граничных кривых с указанием числа точек в каждой из них;
- 7) световые клавиши `REST` и `RETURN`.

В этот момент, если нет необходимости в изменении исходных данных, можно сразу же перейти к расчету, указав световым карандашом на клавишу RETURN. С другой стороны, над исходными данными можно осуществить следующие операции просмотра и редактирования.

С помощью клавиши REST на экран может быть выдан вид подлежащей расчету области (рис.6). Пользуясь клавишей PL, можно убрать контуры области и, указывая на ту или иную граничную точку, посмотреть значение параметров в этой точке. Контур восстанавливается повторным использованием клавиши PL. Возврат к исходной картине осуществляется через клавишу DATA.

Выбор световым карандашом любого из параметров I+5 вызывает выдачу через пишущую машинку запроса на ввод нового значения выбранного параметра. Здесь, как и во всех других случаях ввода с ПМ, предусмотрена проверка вводимой информации на корректность; при неправильном вводе запрос повторяется.

Выбор световым карандашом любой строки из списка граничных кривых приводит к формированию на экране дисплея таблицы параметров для всех точек выбранной кривой, а также некоторого набора световых клавиш (рис.5). Каждой точке кривой на экране соответствует строка данных, состоящая из порядкового номера точки, ее координат, значения функции в данной точке границы и кодового числа, характеризующего тип границы. Используя СК и ПМ, можно изменять значения отдельных параметров в строке (клавиша CHANGE), вводить новые точки (клавиша INSERT) или удалять имеющиеся (клавиша DEL), другими словами, изменять как конфигурацию области и граничные условия, так и тип решаемого уравнения. Возврат к исходной картинке происходит через клавишу REST, а указание на клавишу RETURN позволяет перейти к расчету.

Расчетная часть программы DIS<sup>E</sup>LLIPT - это собственно адаптированная программа ELLIPT , которая модифицирована с тем, чтобы:

1) не допустить аварийного прекращения задачи в случае ошибок в задании исходных данных; при обнаружении ошибок на печать выдается соответствующая диагностика и обеспечивается возврат на начальный этап высвечивания исходных данных;

2) результаты расчета не выдавать на печать, а перейти к дисплейным подпрограммам анализа результатов.

После нормального завершения расчета, который занимает несколько минут, на экране появляется вид области с узловыми точками и соответствующий набор световых клавиш (рис.6). На этом этапе пользователю предоставляются следующие возможности для анализа результатов расчета.

Значение функции в узловых точках. Выбирая клавишу VALUE и указывая на любую из узловых точек области, можно практически мгновенно получить на экране значение функции в этой точке.

Значения функции в сечениях параллельных осей координат. С помощью клавиш XC и YC можно запросить построение графика функции в требуемом сечении соответственно по оси X или Y. Номер сечения определяется тем, какая узловая точка будет указана световым карандашом после выбора одной из упомянутых клавиш. График функции и таблицу ее значений во всех узлах данного сечения можно выдать на печать (клавиша PRINT). Многократно используя клавишу DERIVE, можно брать производные 1-го (рис.7), 2-го и т.д. порядка. Графики могут быть представлены либо в виде отдельных точек, соответствующих узлам, либо тогда, когда соседние точки соединены отрезками прямых линий (клавиша CONT). Последнее весьма полезно при наблюдении сложных зави-



симостей. Клавиша  $VALUE$  позволяет определять значения функции или ее производных в различных точках сечения. При построении графиков производных масштаб по вертикальной оси устанавливается автоматически с целью максимального использования полезного пространства экрана. Возврат к исходной картине осуществляется через клавишу  $REST$ .

Трехмерное представление. Через клавишу  $SP$  происходит переход к пространственной картинке. Вертикальная ось - это ось значений функции, ось  $X$  расположена горизонтально, а ось  $Y$  располагается под углом к оси  $X$ . Этот угол может изменяться с шагом  $15^{\circ}$ . Используя здесь клавиши  $XС$  и  $YС$ , можно строить пространственные сечения по обеим осям (Рис.8). Возврат к исходной картинке осуществляется через клавишу  $REST$ .

Эквипотенциальные линии. Переход к построению эквипотенциальных линий производится с помощью клавиши  $EQ$ . Число линий и значение функции на каждой линии вводятся с пишущей машинки и высвечиваются на экране (рис.9). Список линий можно редактировать, изменяя, добавляя и удаляя его строки (клавиши  $CHANGE, ADD, DEL$ ). При желании можно заново построить список линий, воспользовавшись клавишей  $NEW$ . Когда список готов, выбирается клавиша  $DRAW$ . В результате на экране появляется вид расчетной области, и в ней строятся заданные эквипотенциальные линии (рис.10). После завершения построения, указывая световым карандашом на любую линию, можно получить на экране порядковый номер линии и значение функции на ней. Выбирая клавишу  $SCL$ , указывая световым карандашом точку области, относительно которой нужно произвести масштабирования, и вводя с пишущей машинки значение масштабного коэффициента, можно получить увеличенное изображение отдельного участка области

(рис. II). Возврат к исходной картинке выполняется через клавишу `RESET`.

Если анализ результатов показал необходимость нового расчета при других исходных данных, то в этом случае используется описанный ранее аппарат просмотра и редактирования исходных данных, переход к которому осуществляется через клавишу `DATA`.

Когда полученные результаты отвечают поставленным требованиям, обращением к клавише `END` производят выдачу на печать результатов последнего расчета, после чего происходит нормальное окончание программы. Отметим, что на протяжении всего периода работы пользователя с дисплеем на печать выдается протокол работы, позволяющий позднее, если нужно, восстановить последовательность действий и результаты анализа на каждом этапе.

\* \* \*

Имеющийся опыт использования дисплейной методики показал ее гибкость, простоту в обращении и высокую эффективность: время решения рассматриваемого класса задач сокращается по меньшей мере на порядок. Следует отметить также, что новый подход позволяет существенно расширить круг пользователей, заинтересованных в решении подобных задач, но не являющихся специалистами в области программирования. Это происходит благодаря тому, что при работе с дисплеем пользователь мыслит в естественных для него образах графиков, рисунков, таблиц и т.п., не заботясь о технических и программных вопросах реализации системы. Программа `DISPELLPT` записана на магнитной ленте, и единственно, что требуется от пользователя - это подготовить начальный вариант исходных данных.

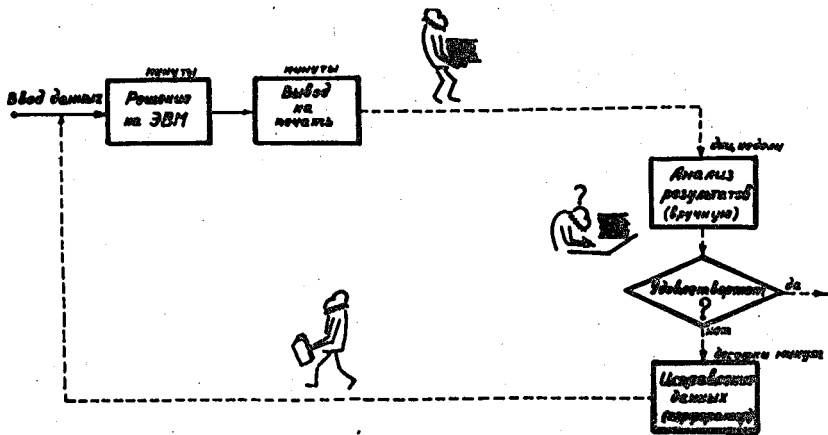
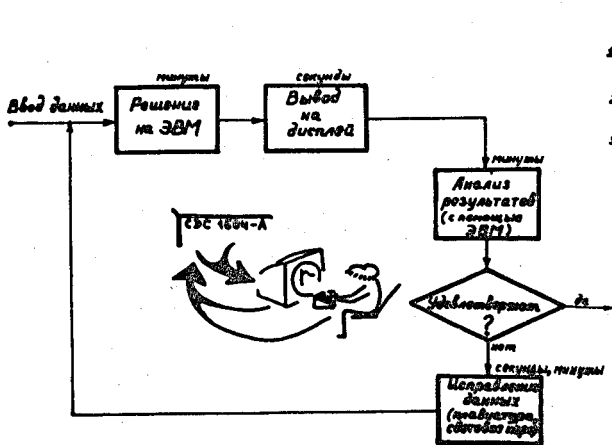


Рис. 1. Решение краевых задач методом сеток при обычной методике.



*Особенности:*

1. Быстрый вывод в наглядной форме результатов расчета.
2. Использование ЭВМ для анализа результатов.
3. Оперативное исправление исходных данных в ЭВМ.

Рис. 2. Решение краевых задач методом сеток при использовании дисплея.



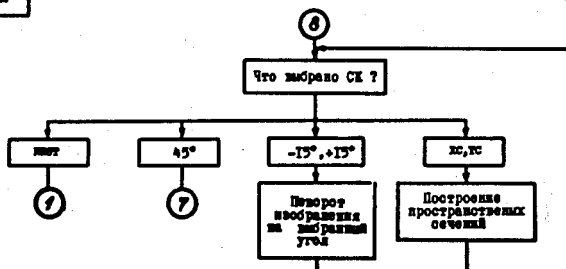
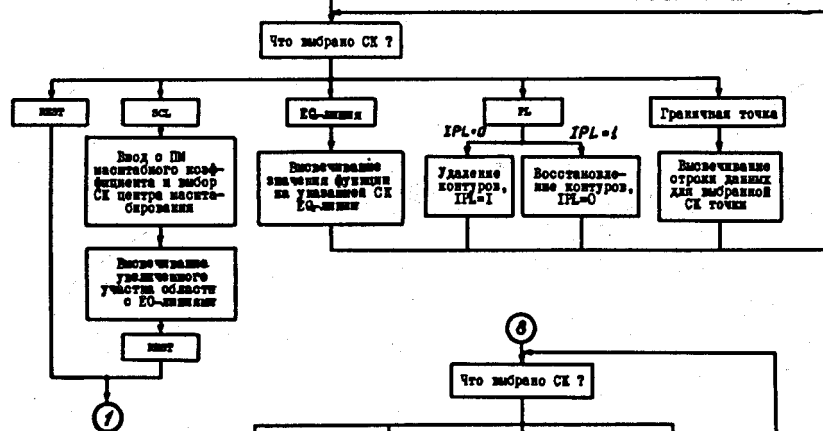
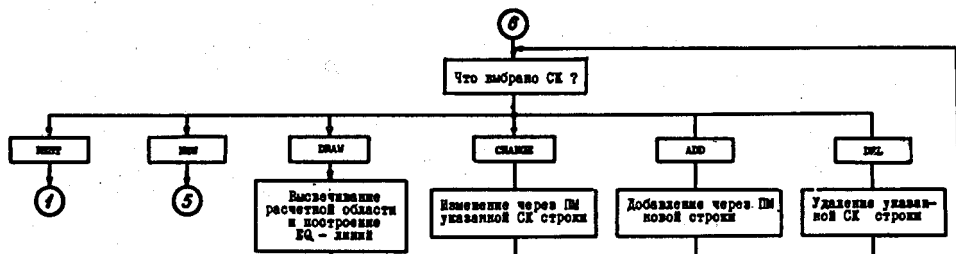
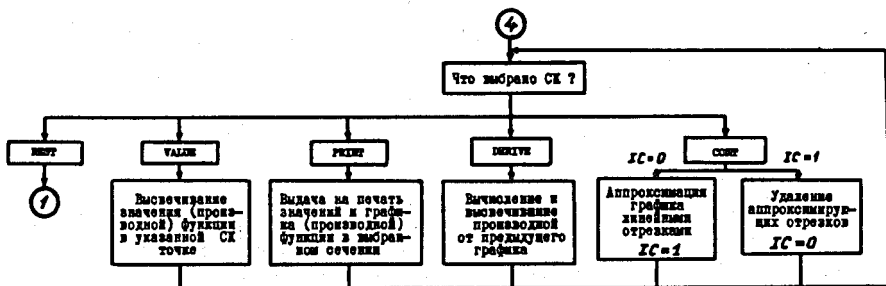


Рис. 36. Блок-схема программы *DISELLPT* (продолжение)

```

JOB NUMBER      9

DX=1.000E-02
DY=1.000E-02
KB= 100
AK=           0

BOUNDARY CURVES
  1      14
  2       5

PEST                                PERUN

```

Рис. 4. Начальные данные  $JN$ ,  $DX$ ,  $DY$ ,  $KB$  и  $AK$  и список граничных кривых.

	X	Y	U	V
1	.070	.000	12.300	101
2	.070	.010	12.300	-0
3	.030	.015	12.300	-0
4	.030	.015	12.300	-0
5	.030	.010	12.300	-0
6	.000	.010	12.300	-0
7	.000	.015	5.340	-0
8	.000	.080	10.000	-0
9	.140	.080	10.000	-0
10	.170	.130	10.000	-0
11	.290	.175	10.000	-0
12	.410	.130	10.000	-0
13	.450	.080	10.000	-0
14	.470	.000	10.000	101

PEST CHANGE INSRT DEL PERUN

Рис. 5. Таблица данных для граничной кривой.

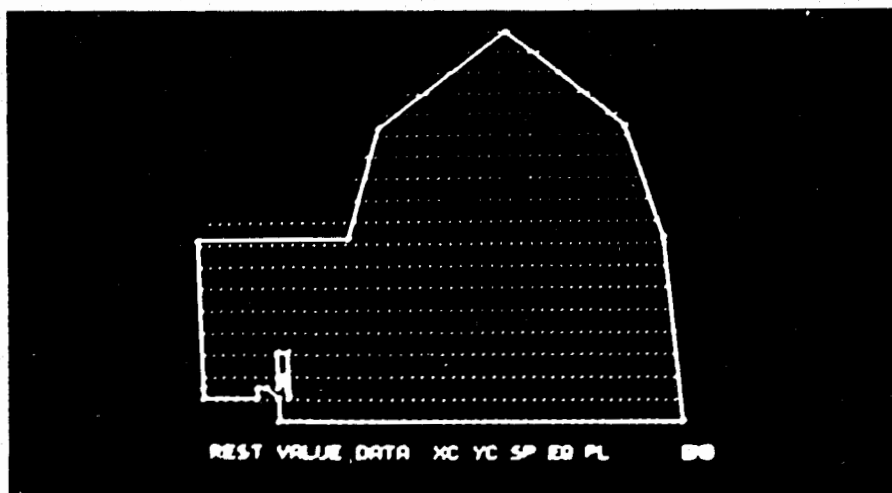


Рис. 6. Двухсвязная область, для которой задается распределение потенциала на внешнем контуре и потенциал внутреннего тела.

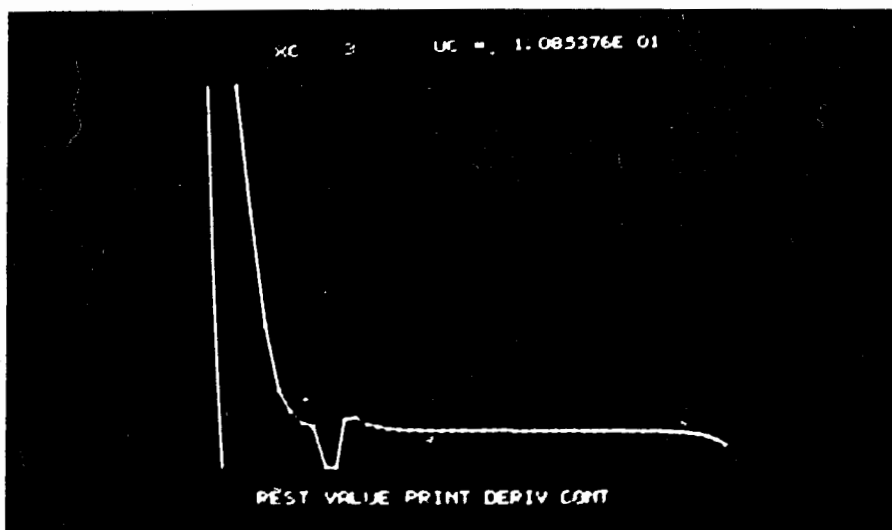


Рис. 7. График производной функции в сечении, параллельном оси X.

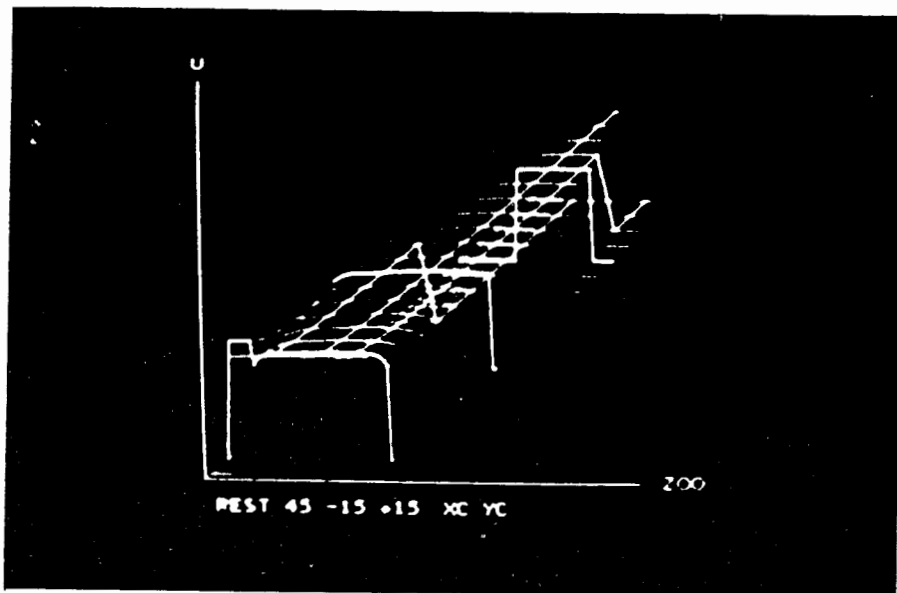


Рис. 8. Трехмерное представление распределения функции с пространственными сечениями.

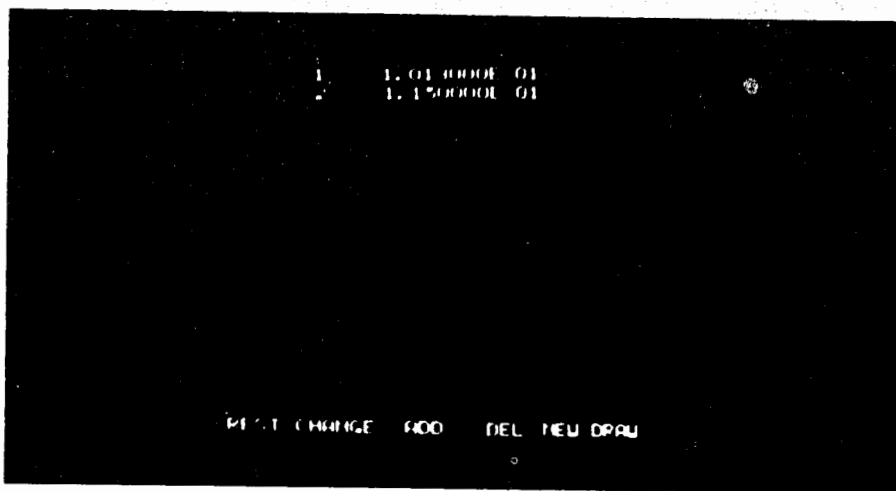


Рис. 9. Список эквипотенциальных линий.

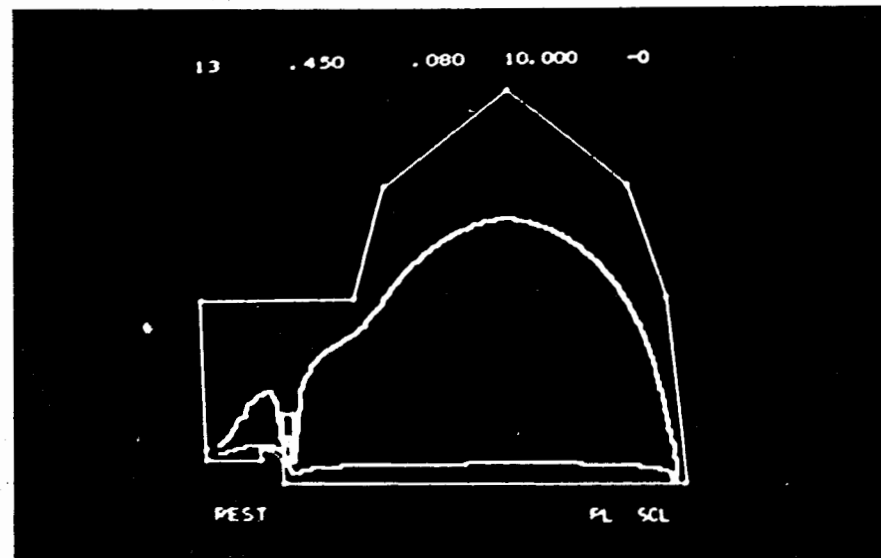


Рис. 10. Область с эквипотенциальными линиями.

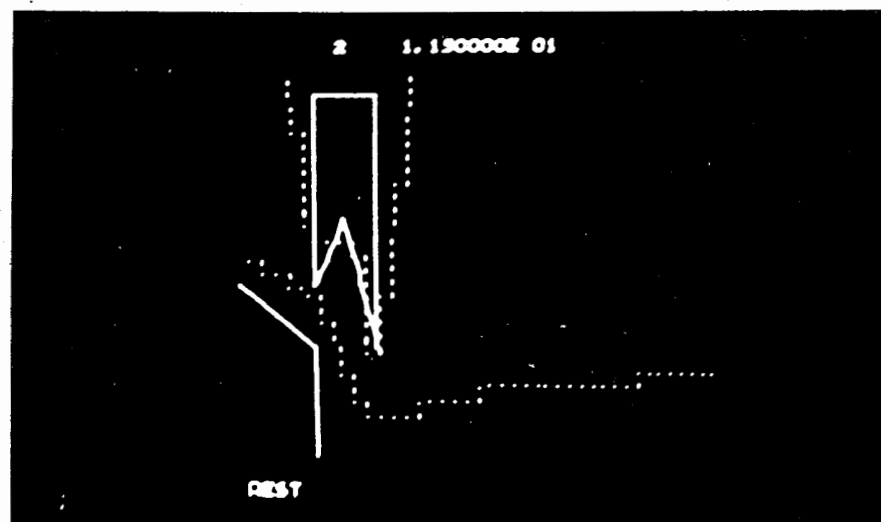


Рис. 11. Увеличенный участок области с эквипотенциальными линиями.



## Л И Т Е Р А Т У Р А:

1. Г.И.Забиякин. Вопросы автоматизации в задачах экспериментальной физики. Сб. "ЭВМ в экспериментальной физике". Вторая школа ОИЯИ (Алушта, май 1970 г.) Дубна, 1970.
2. В.Zacharov. Interactive data-processing systems in High-Energy Physics.  
Сб. "ЭВМ в экспериментальной физике". Вторая школа ОИЯИ (Алушта, май 1970 г.) Дубна, 1970.
3. P.M.Blackall, J.C.Lassale, C.Vandoni, A.Yule. Computer Graphics-High Energy Physics Applications, CERN, DD/CO/68/8, July, 1968.
4. John S.Colonias. Calculation of Two-Dimensional Magnetic Fields by Digital Display Technique. Preprint of the Lawrence Radiation Laboratory. To be submitted to the Second International Conference on Magnet Technology, April, 1967.
5. J.S.Hornsby. A Computer Programme for the Solution of Elliptic Partial Differential Equations. CERN 63-7, Geneva.
6. А.И.Ефимова, Г.И.Забиякин, А.А.Карлов, А.П.Кретов, И.Н.Кухтина, Ф.В.Левчановский, В.И.Приходько, В.Р.Трубников, Э.В.Шарапова. Точечный дисплей на ЭВМ БЭСМ-4 и СДС-1604А и его использование в задачах обработки камерных снимков. Препринт ОИЯИ, Р10-5387, Дубна, 1970.

Рукопись поступила в издательский отдел  
12 марта 1971 года.