

Д-16



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

5590/2-79

4/1-80

11 - 12682

Я.М.Даматов, Р.И.Кукушкина, Р.С.Раджабов,  
А.Д.Рогаль, Т.Ф.Сапожникова

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
СИСТЕМЫ НАСТРОЙКИ И КОНТРОЛЯ КАНАЛОВ  
ТРАНСПОРТИРОВКИ ЧАСТИЦ

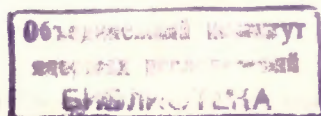
1979

11 - 12682

Я.М.Даматов, Р.И.Кукушкина, Р.С.Раджабов,  
А.Д.Рогаль, Т.Ф.Сапожникова

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
СИСТЕМЫ НАСТРОЙКИ И КОНТРОЛЯ КАНАЛОВ  
ТРАНСПОРТИРОВКИ ЧАСТИЦ

Направлено в журнал "Автоматика  
и вычислительная техника"



Даматов Я.М. и др.

11 - 12682

Программное обеспечение системы настройки  
и контроля каналов транспортировки частиц

Рассматривается программное обеспечение системы настройки каналов транспортировки частиц. Программное обеспечение дает возможность получать профили пучка в вертикальной и горизонтальной плоскостях, двумерное распределение частиц в сечении пучка, угловое распределение и распределение частиц в фазовом пространстве. Кроме того, в математическое обеспечение входят программы, позволяющие определить область по оси канала, в которой сечение пучка минимально, с вычислением координат частиц в этом месте и построением описанных выше распределений. Объем системы программ - 8 К слов. Программа написана на языке АССЕМБЛЕР для ЭВМ ЕС-1010.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований, Дубна 1979

Damatov Ya.M. et al.

11 - 12682

Program Guarantee for Channel Tuning and Control  
System, Particle Transporting

The program guarantee for beam tuning system is examined. The program guarantee gives a possibility to receive beam profiles in horizontal and vertical planes, the bevariate particle distribution in beam cross section, the angular beam distribution and particle distribution in phase area. Besides, there are programs which allow one to determine place of beam cross-over with calculating particle coordinates and construction of beam cross section. The program system volume is eight "K" words. The program is written in "ASSEMBLER" language for ES-1010 computer.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energy Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

Важным этапом создания канала транспортировки частиц является настройка и изучение основных характеристик формируемого пучка. Настройка канала начинается с измерения параметров пучка после установки расчетных режимов в магнитооптических элементах канала. На основании полученных данных о пучке после сравнения их с требуемыми вносятся изменения в расчетные режимы магнитов и линз. Этот процесс повторяется до получения требуемых характеристик пучка. Использование многопроволочных пропорциональных камер /МПК/ на линии с ЭВМ позволяет быстро и качественно проводить измерения параметров пучка <sup>1,2/</sup>. Созданная в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ система для настройки и контроля каналов транспортировки пучков работает на линии с ЭВМ ЕС-1010 и обеспечивает измерение интенсивности и координат частиц пучка с помощью трех пар МПК, контроль токов магнитооптических элементов канала, ввод и обработку данных в ЭВМ <sup>3,4/</sup>.

Программное обеспечение системы дает возможность получить следующую информацию о пучке: профили пучка в вертикальной и горизонтальной плоскостях /X и Y/ по любой камере, двумерное распределение частиц в сечении пучка, угловое распределение, распределение частиц в фазовом пространстве. Кроме того, в математическое обеспечение входят программы, позволяющие определить положение по оси канала (Z), в котором сечение пучка минимально /кроссовер/, с вычислением координат частиц в этой области и построением описанных выше распределений.

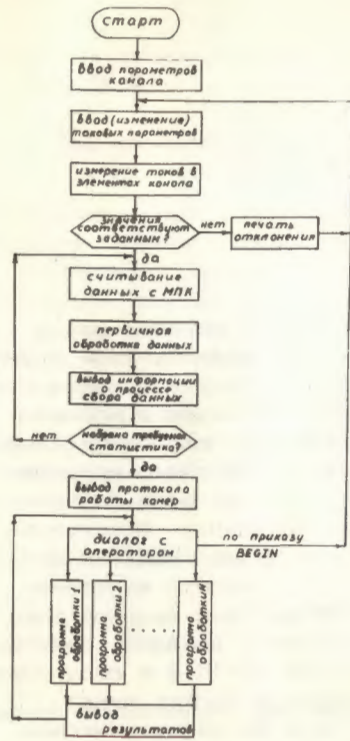
В настоящей работе рассматривается программное обеспечение системы настройки каналов транспортировки частиц.

ОПИСАНИЕ  
РАБОТЫ ПРОГРАММЫ

На рис. 1 представлена блок-схема программы. После запуска программы в ЭВМ вводится информация о типе и импульсе первичных и вторичных частиц, количестве магнитных элементов, а также расчетные значения токов магнитооп-



Рис. 1. Блок-схема программы.



тических элементов канала. В процессе настройки канала в ЭВМ вводятся данные о новых значениях токовых параметров. После этого ЭВМ по сигналу с блока синхронизации /БС/ /5/ считывает измеренные значения токов и сравнивает их с заданными. При соответствии измеренных токовых параметров заданным ЭВМ переходит к набору координатной информации с МПК, в противном случае информация об отклонениях выводится на пульт оператора. Во время сброса частиц происходит считывание координатной информации, а в промежутках производится первичная обработка полученных данных. Синхронизация с циклом ускорителя осуществляется с помощью БС.

Программное обеспечение системы позволяет использовать три различных вида регистрирующей аппаратуры. В первом случае данные с МПК поступают в ЭВМ через усилители-формирователи и годоскопы в позиционном коде. При этом номер сработавшей проволоочки есть номер разряда, содержащего единицу. Во втором случае данные с МПК передаются в ЭВМ через авто-

номную систему диагностики пучка /В/ и параллельный входной регистр /П/ в двоичном коде, где шесть младших разрядов есть номер сработавшей проволоочки, три следующих - номер камеры и один разряд в слове - признак начала события. В третьем случае данные с МПК поступают в ЭВМ через усилители-формирователи, шифраторы и годоскопы в двоичном коде, где младшие шесть разрядов есть номер проволоочки, следующие - разряд, указывающий на наличие кластера, и контрольный разряд, дополняющий число единиц в байте до четного.

Первичная обработка заключается в определении номера сработавшей проволоочки, отборе событий по заданным критериям, подсчете количества случаев несрабатываний, кластеров, срабатываний двух /несоседних/ и более проволоочек по одной камере, построении профилей пучка. Выводом информации о работе камер ЭВМ заканчивает процесс сбора и первичной обработки данных и посылает запрос на ввод приказов, управляющих дальнейшей работой программы. Список основных приказов приведен в таблице. По приказу можно вызвать требуемые программы обработки и после вывода требуемой информации перейти на ввод новых значений токов.

#### ПРОГРАММЫ ОБРАБОТКИ

Восстановить траекторию частицы в свободном от полей пространстве в плоскости  $XZ(YZ)$  можно по двум координатам. Третья координата частицы в этой плоскости используется для того, чтобы установить, является ли трек частицы прямой. Зная траекторию, можно вычислить углы треков частиц относительно геометрической оси магнитооптического канала с точностью, зависящей от расстояния между МПК и погрешности определения координаты частицы.

Полученные данные о пучке по приказам оператора выводятся в виде гистограммы, таблицы профилей или угловых распределений, двумерных распределений пучка в плоскости  $XY$ . Вычисляются и выводятся следующие параметры профиля: ширина на полувысоте, положение центра тяжести и максимума профиля пучка частиц по каждой камере.

Полученная координатная и угловая информация используется в качестве исходной для программ ELLIPS, CROSS и FOCUS.

**ELLIPS.** Программа ELLIPS предназначена для построения распределений частиц пучка на фазовой плоскости. Положение частицы на фазовой плоскости отображается точкой с координатами  $XX^I(YY^I)$ , где  $X, Y$  - координаты, а  $X^I, Y^I$  - углы в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно /В/. Отображение пучка на фазовой плоскости имеет форму эллипса /В/.



При движении пучка по свободному от полей пространству в разных сечениях по оси канала ( $Z$ ) точки на фазовой плоскости сдвигаются параллельно оси  $X(Y)$ , а их проекция на ось  $X^1(Y^1)$  не меняется. Если координаты  $X(Y)$  на фазовой плоскости в разных сечениях пучка растут по модулю, такое положение эллипса описывает расходящийся пучок. В месте изображения оси эллипса совпадают с координатными осями. На рис. 2а и 2в приведен эллипс соответственно сходящегося и расходящегося пучков. На рис. 2б показан эллипс, охватывающий пучок в месте изображения.

Таблица

Приказ	Назначение приказа
CURRENT	Вывод текущих токовых параметров
VPARAM	Вывод параметров канала
PHIST	Вывод гистограммы профиля
PTABLE	Вывод профиля в виде таблицы
PROGRAM	Расчет и вывод параметров профиля /центра тяжести, ширины на полувысоте и положения максимума/
ATABLE	Вывод таблицы углового распределения
XANDY	Построение и вывод двумерного распределения
ELLIPS	Построение и вывод фазового эллипса
CROSS	Определение положения наиболее узкого места в пучке
FOCUS	Расчет и вывод координат точки пересечения тонких лучей
BEGIN	Вывод новых токовых параметров и набор статистики в этом режиме
AHIST	Вывод гистограммы углового распределения

**CROSS.** Задачей программы CROSS является определение положения кроссовера. Для описания поведения частицы в свободном от полей пространстве достаточно знать ее координату и угол между направлением движения частицы и геометрической осью канала. По этим параметрам можно восстановить траекторию каждой частицы, построить профиль пучка в любом заданном месте по оси канала /что соответствует установке "фиктивной" камеры в этом месте/ и определить его параметры. На этом основана работа программы, блок-схема которой приведена на рис. 3. Работа программы начинается с анализа параметров профилей в местах расположения МПК. Если размеры пучка по горизонтали /вертикали/ на средней камере меньше, чем на крайних, восстанавливаются координаты частиц в середине между камерами, расположенными в местах с меньшими размерами пучка. По восстановленным координатам строится профиль пучка и определяются его размеры. Процесс повторяется до тех пор, пока размеры пучка в двух последних сечениях не будут равны. За положение кроссовера принимается точка в середине между этими фиктивными камерами. Если размеры пучка в местах расположения камер увеличиваются /уменьшаются/, восстанавливаются координаты частиц на заданном расстоянии до первой /после третьей/ камеры. По восстановленным координатам строится профиль пучка на этом месте и определяются его размеры. Этот процесс повторяется до тех пор, пока размеры пучка не станут увеличиваться. Дальнейшие действия программы аналогичны описанному выше случаю, когда размер пучка на средней камере меньше, чем на крайних. Этот метод поиска в отличие от описанного в работе /10/ позволяет более точно определить положение наиболее узкого места в пучке по оси канала. В случае необходимости имеется возможность вывода фазового эллипса, профиля и его параметров в месте кроссовера. На рис. 2б приведен фазовый эллипс, построенный по координатам, полученным с помощью этой программы.

**FOCUS.** Одним из способов настройки объектива магнитных линз, формирующего изображение, является метод тонких лучей<sup>8/</sup>. Выделив из всего пучка частиц тонкие лучи по разные стороны от оси канала, этим методом можно определить правильность настройки объектива. Для формирования тонких лучей обычно используют дистанционно управляемые апертурные коллиматоры<sup>8/</sup>, что не всегда возможно. В описываемой программе выделение тонких лучей осуществляется отбором данных о частицах, координаты которых лежат в заданных зонах определенной камеры.

После набора необходимой статистики вычисляются координаты центров тяжести тонких лучей в местах расположения

а/

б/

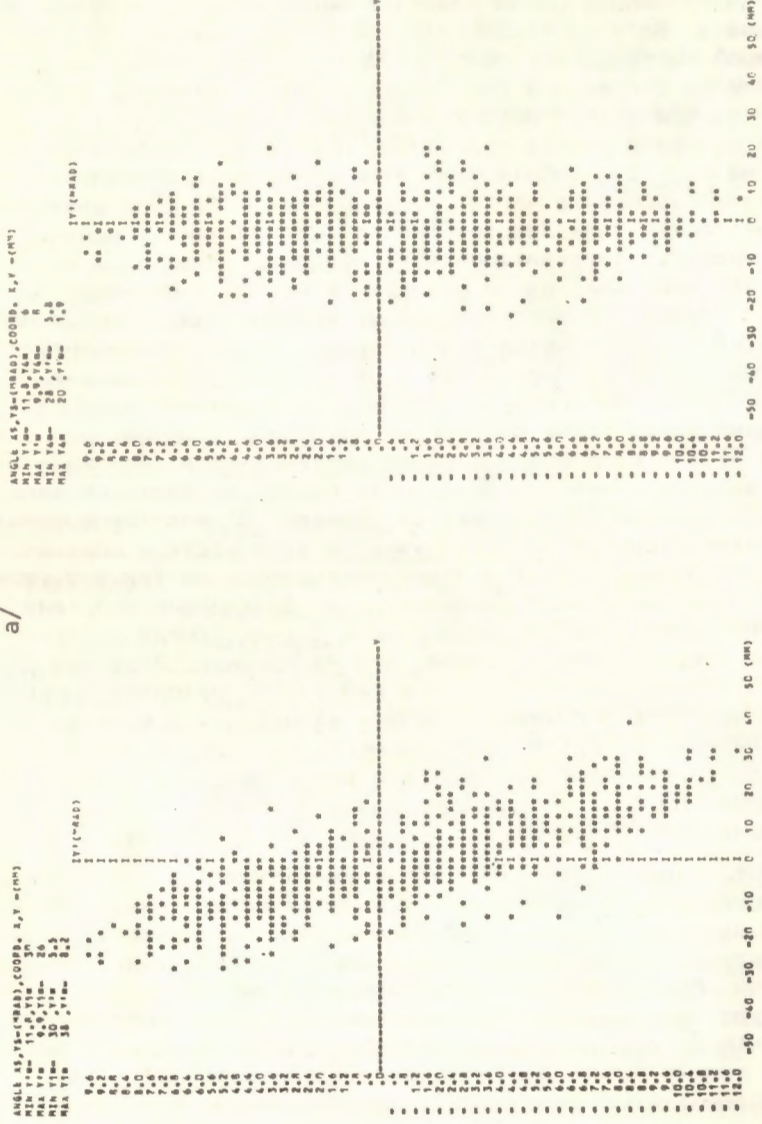


Рис. 2. Фазовый эллипс: а/ сходящегося пучка, б/ места изображения, в/ расходящегося пучка.

в/

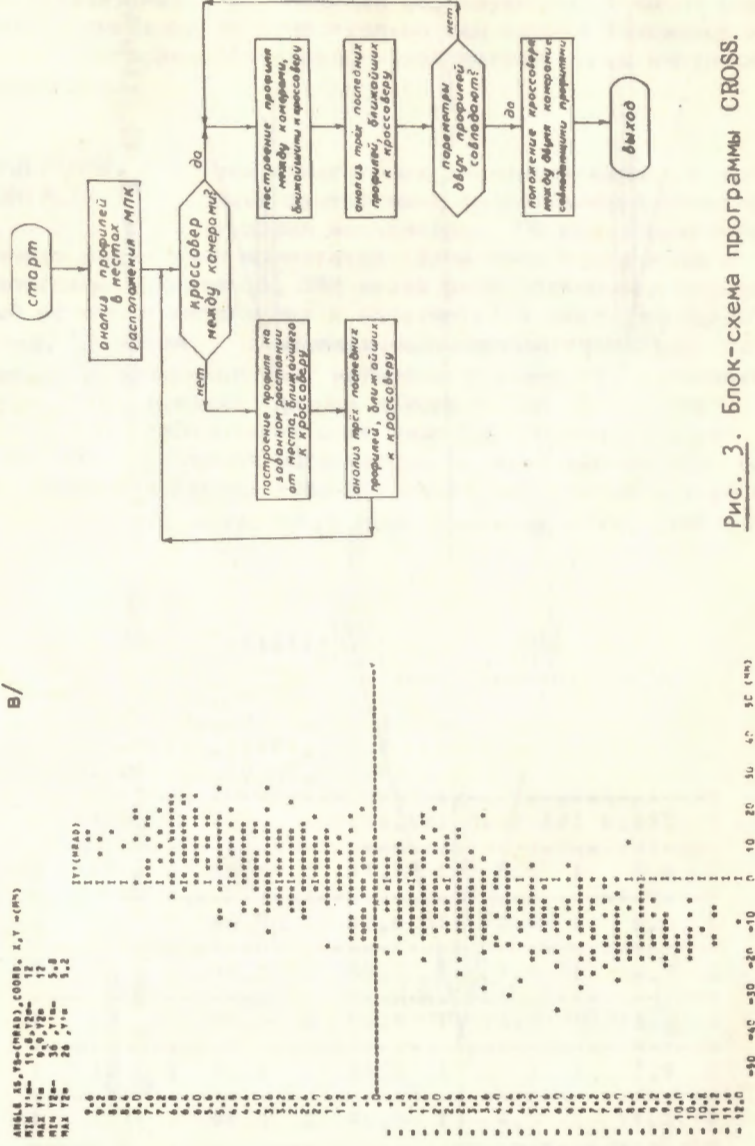


Рис. 3. Блок-схема программы CROSS.



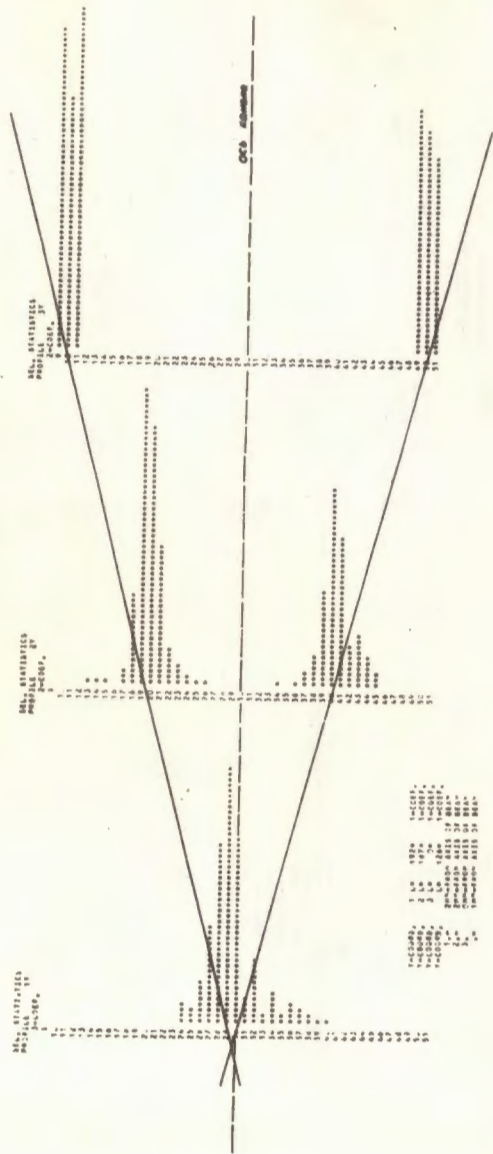


Рис. 4. Поиск места пересечения тонких лучей. По третьей камере заданы 9, 10, 11 и 49, 50, 51 проволоочки.

камер. Определяется положение точки пересечения тонких лучей в плоскости  $XZ(YZ)$  /рис. 4/, координата  $Z$  которой соответствует месту изображения формируемого пучка по оси канала, а смещение ее относительно оси канала указывает на неточную настройку объектива, находящегося перед импульсным коллиматором.

ПРОГРАММЫ  
КОНТРОЛЯ

Токи в магнитных элементах канала с помощью шунтирующих сопротивлений измеряются цифровым вольтметром TR-1652, подключаемым через аналоговый коммутатор. Записывая номер канала в аналоговый коммутатор, ЭВМ через реле подключает определенный источник напряжения к вольтметру и дает команду его запуска, а затем считывает измеренное значение напряжения и вычисляет ток магнитного элемента. С помощью программы считывания данных с вольтметра были определены время срабатывания реле аналогового коммутатора и время преобразования вольтметра. По этим данным были выбраны времена задержки команд запуска вольтметра и чтения информации с его интерфейса. Для повышения достоверности

```
2964 FULL STATISTIC
1000 USEFUL,CHAMB.      1
1000 USEFUL,CHAMB.      2
1000 USEFUL,CHAMB.      3
1000 USEFUL,COORD.     X
1000 USEFUL,COORD.     Y
```

I CHAMB.	I EFF.	I SING.EVI	MANY EVI	EVI KLAST.
I 1X	I 95.1	I 91.7	I 3.4	I 8.6
I 1Y	I 84.9	I 82.6	I 2.4	I 6.5
I 2X	I 98.3	I 90.5	I 7.8	I 14.3
I 2Y	I 99.8	I 85.1	I 14.7	I 13.6
I 3X	I 90.5	I 84.2	I 6.3	I 17.9
I 3Y	I 98.0	I 94.0	I 4.0	I 18.0

Рис. 5. Протокол работы камер.

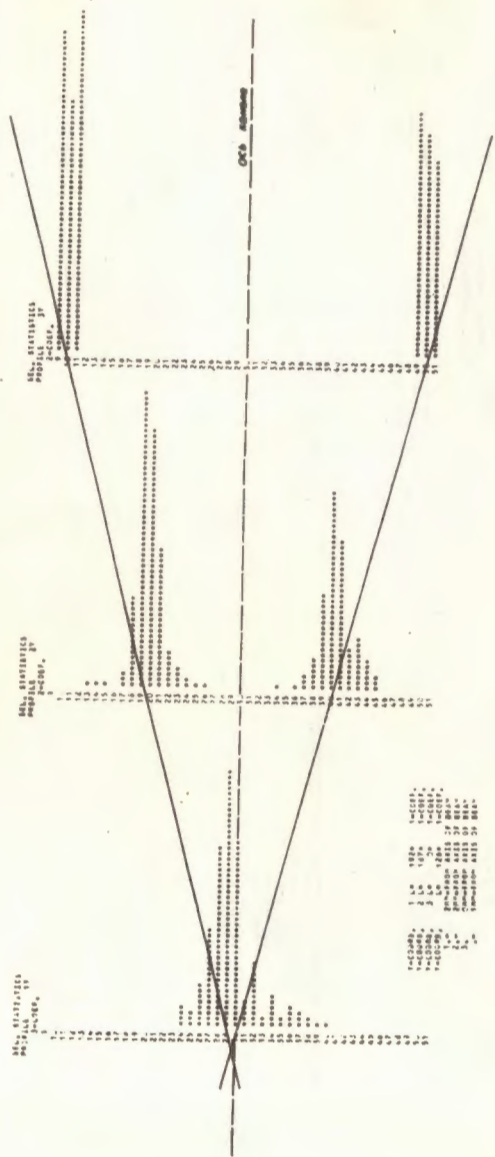


Рис. 4. Поиск места пересечения тонких лучей. По третьей камере заданы 9, 10, 11 и 49, 50, 51 проволоочки.

камер. Определяется положение точки пересечения тонких лучей в плоскости  $XZ(YZ)$  /рис. 4/, координата  $Z$  которой соответствует месту изображения формируемого пучка по оси канала, а смещение ее относительно оси канала указывает на неточную настройку объектива, находящегося перед импульсным коллиматором.

**ПРОГРАММЫ  
КОНТРОЛЯ**

Токи в магнитных элементах канала с помощью шунтирующих сопротивлений измеряются цифровым вольтметром TR-1652, подключаемым через аналоговый коммутатор. Записывая номер канала в аналоговый коммутатор, ЭВМ через реле подключает определенный источник напряжения к вольтметру и дает команду его запуска, а затем считывает измеренное значение напряжения и вычисляет ток магнитного элемента. С помощью программы считывания данных с вольтметра были определены время срабатывания реле аналогового коммутатора и время преобразования вольтметра. По этим данным были выбраны времена задержки команд запуска вольтметра и чтения информации с его интерфейса. Для повышения достоверности

```
2964 FULL STATISTIC
1000 USEFUL,CHAMB.      1
1000 USEFUL,CHAMB.      2
1000 USEFUL,CHAMB.      3
1000 USEFUL,COORD.     X
1000 USEFUL,COORD.     Y
```

I CHAMB.	I EFF.	I SING.EVI	MANY EVI	KLAST.	I
I 1X	I 95.1	I 91.7	I 3.4	I 8.6	I
I 1Y	I 84.9	I 82.6	I 2.4	I 6.5	I
I 2X	I 98.3	I 90.5	I 7.8	I 14.3	I
I 2Y	I 99.3	I 85.1	I 14.7	I 13.6	I
I 3X	I 90.5	I 84.2	I 6.3	I 17.9	I
I 3Y	I 98.0	I 94.0	I 4.0	I 18.0	I

Рис. 5. Протокол работы камер.



в процессе работы результаты каждого последующего измерения тока одного элемента сравниваются с результатами предыдущего. При их соответствии измеренное значение тока сравнивается с заданным. В противном случае измерение повторяется до 10 раз, после чего все измеренные значения токов выводятся на печать.

Для определения точности измерения нами была написана программа построения и вывода гистограммы измеренных значений напряжений одного элемента при постоянном токовом режиме. За погрешность измерений принята ширина этого распределения на полувысоте.

Текущий контроль работы системы сбора координатной информации обеспечивается выводом данных о работе камер в виде, приведенном на рис. 5. Для изучения работы системы при считывании данных с МПК через шифраторы /11,12/ была написана программа построения и вывода распределений кластеров, нарушений четности и профиля пучка /с кластерами, с нарушением четности и без них/ с выводом на печать значений эффективности, количества кластеров и нарушений четности.

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМЫ

С помощью системы программ можно подбирать режимы работы пропорциональных камер, используя протокол их работы. Предварительный отбор

событий, используемый в программе FOCUS, позволяет проводить контроль юстировки камер и измерять несоосность их установки на канале. Для этого, задавая определенный номер проволоки на крайних камерах, нужно измерить координаты частицы на средней камере при условии прохождения данной частицы через заданные проволоки. По этой координате можно определить величину и направление смещения средней камеры относительно крайних. Одним из главных требований при построении программ настройки каналов транспортировки частиц является высокая оперативность получения данных о пучке и достаточная статистическая обеспеченность полученных результатов. Так как скорость набора статистики зависит, в частности, от объема памяти, отведенного под буфер координатной информации, для увеличения этого буфера система программ сегментирована. В ОЗУ находится только резидентная часть системы, состоящая из управляющей программы и буферов для сбора данных. Остальные программы загружаются в память по мере необходимости. Общий объем памяти ЭВМ ЕС-1010 - 16 К слов, из них под буфер координатной информации отведено 4000 слов, объем системы программ составляет 8 К слов. Программы написаны на языке АССЕМБЛЕР.

Система используется около года для настройки каналов транспортировки заряженных частиц синхрофазотрона Лаборатории высоких энергий ОИЯИ. На рис. 4,5 приведены фазовые эллипсы, профили тонких лучей и угловые распределения, полученные на канале для медико-биологических исследований.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность А.Д.Кириллову, С.А.Неждановой, Н.М.Никитюку, И.Н.Семенюшкину, М.Д.Шаfranову и В.П.Ширикову за полезные обсуждения и поддержку в работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Lindsay J.B., Mc Culloch L. e. a. In: Proc. VI Intern. Symp. on Nuclear Electronics, Warsaw, 1971, JINR, D13-6210, Dubna, 1972.
2. Lazeyras P. e.a. NIM, 1975, 123, p.11.
3. Кириллов А.Д. и др. ОИЯИ, P13-11586, Дубна, 1978.
4. Даматов Я.М. и др. ОИЯИ, 13-11852, Дубна, 1978.
5. Раджабов Р.С. ОИЯИ, 13-12033, Дубна, 1978.
6. Базиладзе С.Г., Комолов Л.Н., Юдин В.К. ОИЯИ, 13-11646, Дубна, 1978.
7. Черных Е.В. ОИЯИ, 10-7913, Дубна, 1974.
8. Котов В.И., Миллер В.В. Фокусировка и разделение по массам частиц высоких энергий. Атомиздат, М., 1969.
9. Bovet C. CERN, 66-25, Geneva, 1966.
10. Антипов Ю.М. и др. ИФВЭ, ПЭФ 76-147, Серпухов, 1976.
11. Никитюк Н.М., Раджабов Р.С. Авторское свидетельство СССР №628483 МКИ G06F3/04 от 08.07.76 г. Бюлл. ОИПОТЗ, 1978, №38, с.165.
12. Раджабов Р.С. ОИЯИ, 13-11647, Дубна, 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел  
3 сентября 1979 года.