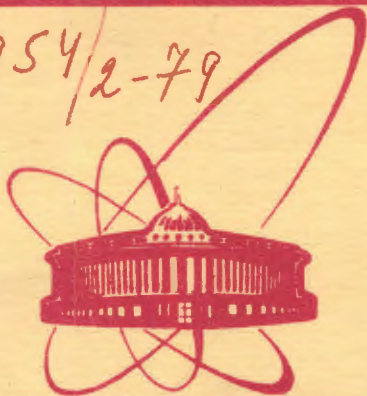


4954/2-79



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

Ц8408

B-676

3/12-79

10 - 12498

В.И.Волков, И.И.Куликов

ИЗМЕРЕНИЕ

ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПУЧКА,

ВЫВЕДЕННОГО ИЗ СИНХРОФАЗОТРОНА,

НА ЛИНИИ С ЭВМ ЕС1010

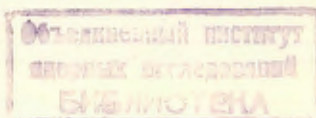
(программное обеспечение)

1979

10 - 12498

В.И.Волков, И.И.Куликов

ИЗМЕРЕНИЕ  
ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПУЧКА,  
ВЫВЕДЕННОГО ИЗ СИНХРОФАЗОТРОНА,  
НА ЛИНИИ С ЭВМ ЕС1010  
(программное обеспечение)



Измерение пространственных характеристик пучка, выведенного из синхрофазотрона, на линии с ЭВМ ЕС-1010 /программное обеспечение/

Описывается программное обеспечение измерений пространственных характеристик выведенного пучка в комплексе устройств контроля и управления параметрами системы медленного вывода пучка из синхрофазотрона ОИЯИ на базе ЭВМ ЕС-1010 и ВТ-1010Б.

Измерение пространственных характеристик пучка /профилей, положения, размеров/ производится с помощью проволочных двухкоординатных ионизационных камер. Измерительная аппаратура состоит из регистрирующей электроники камер и электроники, являющейся частью ветви КАМАК, подключенной к ЭВМ через универсальный драйвер ветви.

Рассматриваемое программное обеспечение позволяет контролировать измерительную аппаратуру, реализовать заданный оператором режим измерений в реальном масштабе времени, производить обработку результатов измерений и представлять полученную информацию в удобной для оператора форме. В качестве устройств отображения информации используются АЦПУ, графический дисплей, цветной телевизионный монитор.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

The Software for Measurement of Space Characteristics of the Beam Extracted from the JINR Proton Synchrotron On-Line with the ES-1010 Computer

The software for measurement of space characteristics of the beam, slowly extracted from the JINR proton synchrotron, on-line with the ES-1010 computer, is described. For measuring beam space parameters (profiles, positions, sizes) two-coordinate wire ionization chambers are used. The measuring apparatus consists of the chamber detecting electronics and CAMAC electronics connected with the computer via an universal branch driver. The considered software permits to control the measuring apparatus, to realize the real time measurement on the algorithm given by the operator, to perform the treatment of measurement results and to represent the obtained information to an operator. A line-printer, graphic display and colour raster display are used for the information representation.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubno 1979

В работе описывается программное обеспечение измерений пространственных характеристик выведенного пучка в комплексе устройств контроля и управления параметрами системы медленного вывода /МВ/ пучка из синхрофазотрона ОИЯИ на базе ЭВМ ЕС-1010 и ВТ-1010Б<sup>1,2/</sup>. Измерение пространственных характеристик пучка /профилей, положения, размеров/ производится с помощью проволочных двухкоординатных /30x30 нитей/ ионизационных камер /ПИК/<sup>3,4/</sup> в шести точках канала вывода: на входе в выводной магнит /ПИК-В, расстояние между сигнальными нитями камеры  $h=5$  мм/, на входе и выходе первого дублета квадрупольных линз внешней транспортировки пучка /ПИК-2,  $h=6$  мм; ПИК-3,  $h=4$  мм/, на входе во второй дублет линз /ПИК-4,  $h=6$  мм/ и в районе мишенной станции /ПИК-5,  $h=2$  мм/. Измерительная аппаратура включает регистрирующую электронику /усилители и коммутаторы сигналов/, подключенную к камерам<sup>6/</sup>, и электронику КАМАК: автономный программно-управляющий модуль /АПУ/<sup>8/</sup>; шесть, по числу камер, быстрых 8-разрядных аналого-цифровых преобразователей /АЦП/; блок буферной памяти емкостью 256 24-разрядных слов /тип CS 0015, фирма "Nuclear Enterprises", Англия/<sup>7/</sup>; программируемый преобразователь цифра-время /ЦВП САМ 5.02, ЦИФИ, ВНР/; параллельный входной регистр /ПВР/<sup>8/</sup>. Синхронизация измерений с циклом работы синхрофазотрона производится импульсами начала инжекции /НИ/, начала и конца стола главного магнитного поля /НСТ, КСТ/, вырабатываемыми таймерными устройствами ускорителя и фиксируемыми ПВР.

Рассматриваемое ниже программное обеспечение, представляющее совокупность подпрограмм на языке АССЕМБЛЕР, работающих под управлением программы диспетчера, позволяет выполнять следующие функции:

- 1/ контролировать измерительную аппаратуру;
- 2/ реализовать заданный алгоритм измерений;
- 3/ производить обработку результатов измерений с целью получения всех необходимых данных о выведенном пучке;
- 4/ представлять информацию в удобной для оператора форме.

Контроль аппаратуры, осуществляемый тестовыми программами, заключается в проверке работоспособности и измерении характеристик преобразования измерительных каналов. Для оперативной оценки состояния измерительных каналов на входы регистрирующих усилителей выбранной камеры подается эталонное напряжение, после чего тестовая программа производит опрос выходов усилителей и сравнивает полученные значения сигналов с контрольной величиной. Если измеренные напряжения находятся в зоне заданного допуска, на световое табло пульта управления МВ выдается сообщение "Все каналы датчика исправны", в противном случае - "Есть неисправные каналы". Оператор может запросить вывод результатов теста на графический дисплей /ГД-71/<sup>9</sup>. На экране дисплея /рис. 1/ появляются изображения гистограммы измеренных значений сигналов, области их допустимых отклонений, а также перечисляются номера неисправных каналов. Снятие характеристик преобразования производится с помощью интерактивной тестовой программы, которая работает следующим образом. После запуска программы и задания в диалоговом режиме номера камеры, электроника которой подлежит контролю, на вход соответствующего АЦП ступенями в 1 мВ начинает подаваться контрольное напряжение, генерируемое 12-разрядным цифро-аналоговым преобразователем /САМ 4.10, ЦИФИ, ВНР/. Каждое очередное изменение напряжения сопровождается его измерением АЦП и выдачей полученного результата на графический дисплей. Таким образом проходит весь диапазон значений входных сигналов, и на экране дисплея формируется график функции преобразования АЦП. Далее задаются номера каналов, для которых описанным выше образом строятся графики функций преобразования /рис. 2/.

Алгоритм измерений профилей пучка в течение вывода /~400 мс/ на столе главного магнитного поля ускорителя и данные, необходимые для работы программ /момент начала измерений, период опроса датчиков и т.д./, задаются оператором с пульта управления МВ. На основании команд /измерение характеристик пучка, совместное измерение характеристик пучка и параметров ускорителя и т.д./, поданных с кнопочной панели пульта управления, состояние которой считывается в ЭВМ по синхроимпульсу НИ, программа-диспетчер передает управление соответствующим подпрограммам обслуживания. На рис. 3 представлена блок-схема подпрограммы приема информации о профиле пучка. Ее выполнение начинается с ожидания синхроимпульса ЗНСТ, определяющего момент начала измерений на столе главного поля. По поступлении ЗНСТ производится подготовка и пуск ЦВП, задающего период опроса

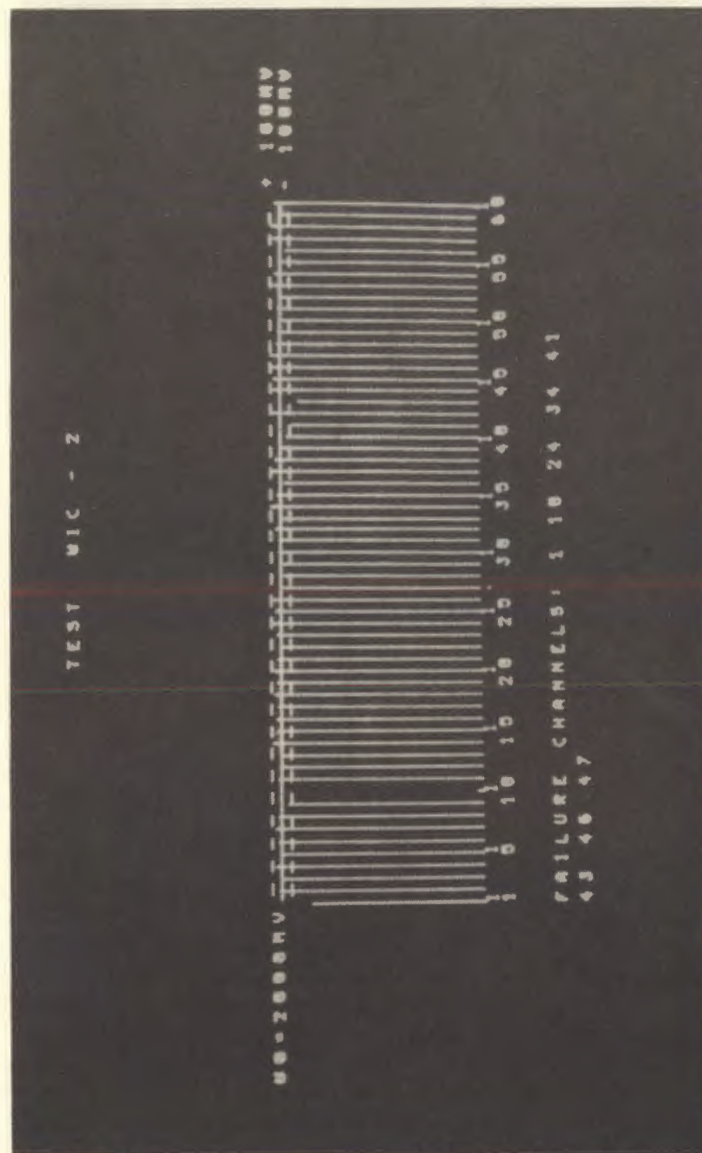


Рис. 1. Форма представления результатов теста измерительных каналов ПИК.

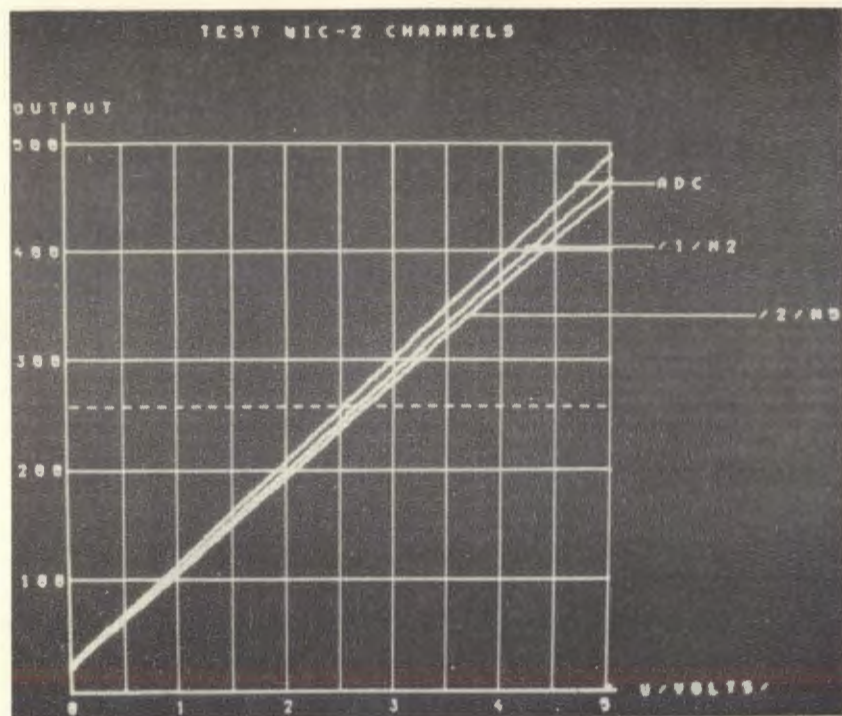


Рис. 2. Графики функций преобразования АЦП и двух каналов ПИК.

камер. Затем подпрограмма передает управление аппаратурой ПИК и магистралью драйвера ветви КАМАК модулю АПУ путем установки триггера запроса в последнем. Модуль управления считывает информацию с камер и записывает ее в буферную память. По завершении полного цикла работы /  $\approx 2$  мс / АПУ передает управление интерфейсу ЭВМ, о чем сигнализирует ей выработкой импульса "конец". После поступления этого импульса на ПВР подпрограмма переписывает информацию /360 байтов/ из буферной памяти в ОЗУ ЕС-1010, время переписки составляет 15 мс. Следующая серия измерений начинается после выработки ЦВП временного интервала, соответствующего заданному периоду опроса ПИК. Процесс опроса камер заканчивается либо по поступлении импульса КСТ, либо по

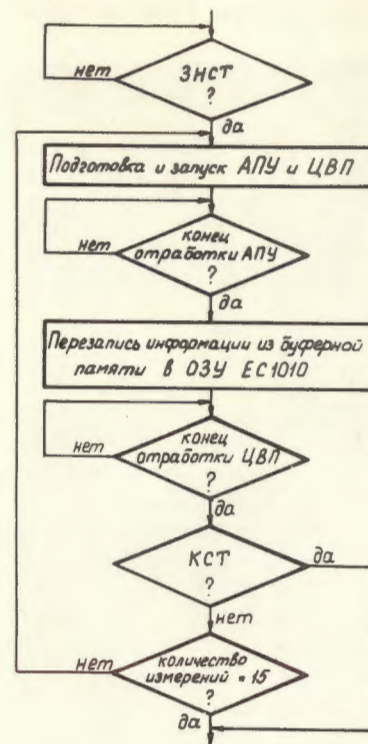


Рис. 3. Блок-схема подпрограммы приема информации о профилях пучка.

выполнении установленного максимального количества серий измерений ( $N=15$ ), выбранного, с одной стороны, из соображения получения достаточно полной информации об эволюции пространственных характеристик пучка за время вывода, а с другой стороны, определяемого ресурсами памяти ЭВМ ЕС-1010 и ВТ-1010Б. Объем принимаемой за цикл ускорения информации о пучке, соответствующий 15 сериям измерений, составляет 5400 байтов. Возможен режим совместного измерения профилей пучка и ряда параметров ускорителя: индукции главного магнитного поля, частоты ускоряющего напряжения, интенсивности циркулирующего пучка. Минимальное значение периода измерений при этом составляет  $T_{\min} = 20$  мс /в случае измерения только параметров пучка  $T_{\min} = 17$  мс/.

Обработка принятой информации начинается с формирования "интегральных" профилей, характеризующих результирующую форму пучка за время вывода, которые определяются путем

усреднения "мгновенных" профилей, полученных в процессе вывода. Далее вычисляются координаты центра тяжести пучка

$$X_c = \frac{\sum_{i=1}^{30} x_i A_i}{\sum_{i=1}^{30} A_i} \quad /1/$$

и средние квадратичные отклонения

$$\sigma = \left( \frac{\sum_{i=1}^{30} x_i^2 A_i}{\sum_{i=1}^{30} A_i} - X_c^2 \right)^{1/2}, \quad /2/$$

где  $x_i$  - координаты сигнальных нитей камер /в качестве точек отсчета выбраны середины расстояний между 15 и 16 нитями координатных плоскостей камер/,  $A_i$  - значения сигналов с проволочек /вычитание значений пьедесталов АЦП, измеренных во время проведения контроля электроники, производится при формировании "интегральных" профилей/. Погрешности при вычислении  $X_c$  и  $\sigma$  определяются, во-первых, методикой измерений и вызываются следующими факторами:

- 1/ дискретностью регистрации распределения плотности пучка в пространстве,
- 2/ дискретностью фиксации уровней сигналов с камер,
- 3/ ограниченным количеством измерительных каналов.

Нами был проведен анализ погрешностей определения  $\sigma$  для нормального распределения плотности пучка /10/ по следующей схеме, учитывающей влияние всех указанных выше факторов. Непрерывные распределения, характеризующие профили пучка, заменялись дискретными. Далее для распределений

с различными  $\frac{h}{\sigma_0}$  /  $\sigma_0$  - параметр непрерывного распределения/

с помощью специально созданной программы по формулам /1/ и /2/ производились расчеты  $\sigma$  в зависимости от величин максимумов ( $A_{max}$ ) функций распределения во всем диапазоне значений  $A_{max} / A_{max} = 1, 2, \dots, 255/$ . Результаты вычислений выводились на дисплей в виде графиков функций  $\sigma = f(A_{max})$

для различных значений  $\frac{h}{\sigma_0}$ . На рис. 4 показаны результаты расчетов для  $\frac{h}{\sigma_0}$ , равных 0,4 /  $\sigma_0 = 15$  мм/, 0,3 /  $\sigma_0 = 20$  мм/, 0,2 /  $\sigma_0 = 30$  мм/, и 0,15 /  $\sigma_0 = 40$  мм/ - кривые 1-4 /пунктирные линии соответствуют указанным значениям  $\sigma_0/$ . Из представленных данных видно, что для случаев 1,2,3 по-

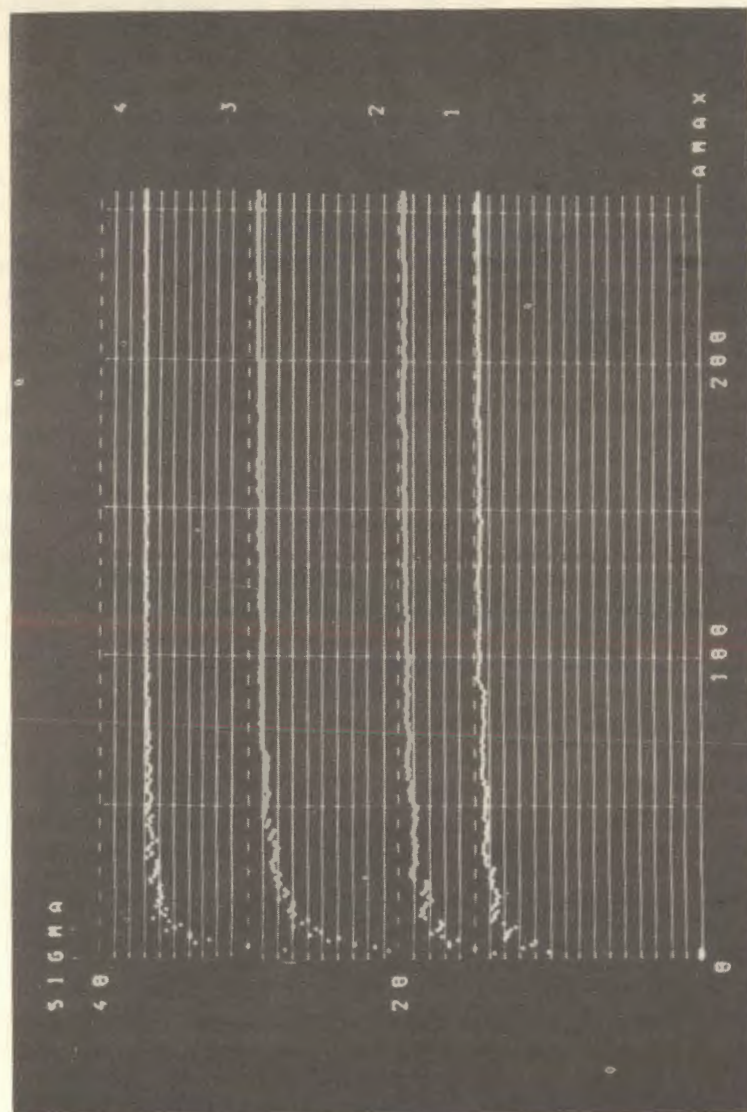


Рис. 4. Графики функций  $\sigma = f(A_{max})$ .

грешность определения  $\sigma$   $\epsilon = \frac{\sigma - \sigma_0}{\sigma_0} \cdot 100\%$  не превышает 3% для  $A_{\max} > 100$  /что соответствует уровню сигнала с камер  $> 1В/$ . В случае 4  $\epsilon \approx 8\%$ , что обусловлено усечением распределения при имеющемся количестве измерительных каналов. В реальных условиях измерения пучка значения  $h/\sigma$  находятся в диапазоне  $0,2 \div 0,3$  - шаг намотки сигнальных нитей камер выбран с учетом размеров пучка в контролируемых точках канала. Вторым источником погрешностей является разброс коэффициентов передачи измерительных каналов. Величины погрешностей этого типа могут быть оценены по данным тестов измерительной аппаратуры. Суммарная погрешность  $\sigma$  с учетом инструментальных погрешностей, определенных на основании анализа реальных технических характеристик используемой аппаратуры, не превосходит 5%. Определенная аналогично общая абсолютная погрешность измерения центра тяжести пучка составляет  $\pm 1$  мм. Следует отметить, что аппаратные погрешности могут быть существенно уменьшены за счет введения в формулы /1/ и /2/ поправок  $A_i$ , учитывающих отклонения коэффициентов передачи измерительных каналов от их номинальных значений. Полученные описанным выше способом значения  $X_c$  и  $\sigma$  используются для контроля параметров пучка и являются входными данными программ коррекции пространственных характеристик пучка, измерения эмиттанса и огибающих пучка, которые будут описаны в последующих работах.

Результаты измерения и контроля характеристик пучка могут выдаваться в виде гистограмм на АЦПУ, высвечиваться в графической форме на экране ГД-71 или выводиться вместе с другими параметрами системы МВ на цветной телевизионный дисплей. Запросы на выдачу информации подаются или с кнопочной панели пульта управления МВ, или с помощью светового пера графического дисплея. Гистограммы рис. 5, иллюстрирующие форму выдачи информации на АЦПУ, отображают "интегральные" профили пучка в месте расположения ПИК-5. Масштабные шкалы в мм, изображенные под гистограммами, выбираются для каждой камеры автоматически. На печать выводятся также положения центра тяжести пучка и его размеры  $w = 2\sigma$ . На рис. 6 показана форма изображений на экране ГД-71 "мгновенных" профилей, совокупность которых дает представление о характере изменения параметров пучка во время вывода. Слева от изображений профилей даны отклонения центра тяжести от оси канала, а справа - размеры пучка. В нижней части экрана приведены интегральные профили пучка. Такая форма вывода информации представляет оператору большие удобства для настройки режимов работы элементов транспортировки пучка. На рассматриваемом рисунке приведен случай, соответствующий



Рис. 5. Форма представления характеристик пучка на АЦПУ.

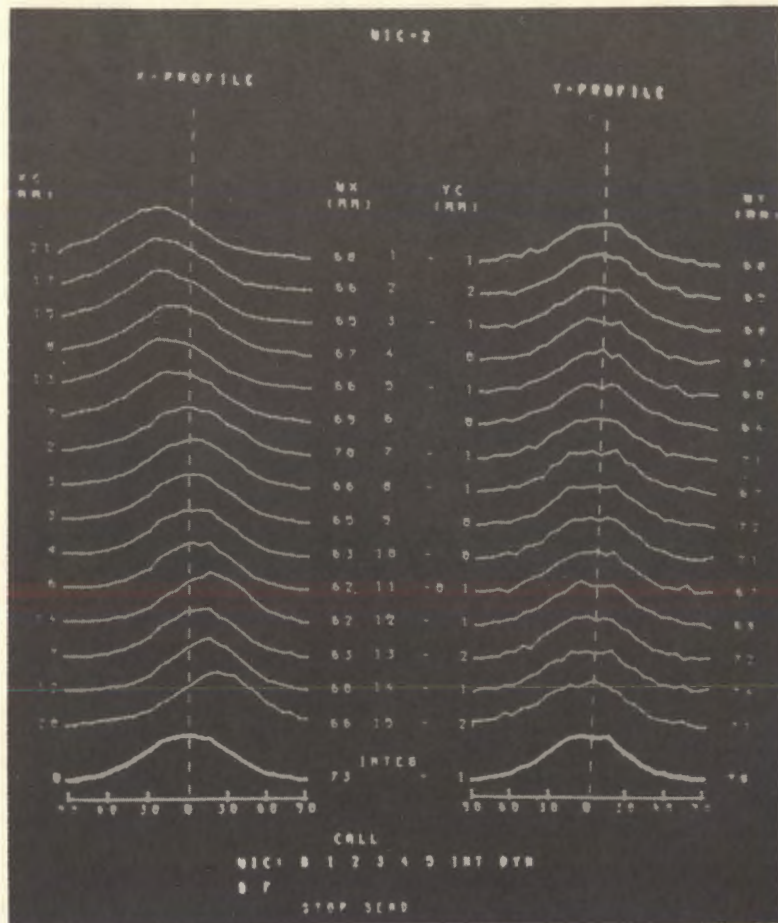


Рис. 6. Информация о параметрах пучка в процессе вывода на экране графического дисплея.

щий неоптимальному режиму работы одного из элементов магнитной оптики, результатом чего является смещение центра тяжести пучка в горизонтальном направлении во время вывода. Предусмотрена возможность одновременного представления "интегральных" профилей пучка во всех контролируемых точках канала /рис. 7/, что позволяет значительно сократить время настройки режимов МВ. На цветной дисплей <sup>11/</sup> выводится информация о размерах и положении пучка, их оптимальных значениях и допустимых отклонениях, а также результаты контроля параметров пучка.

Система измерения пространственных характеристик пучка с описанным выше программным обеспечением успешно эксплуатируется в течение ряда лет на синхрофазотроне.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность И.А.Елисеевой, Л.Г.Ефимову, Л.А.Леонову, В.Ф.Сиколенко, В.А.Смирнову, Е.В.Черных за разработку аппаратуры ПИК и помощь при совместной отладке режима измерений параметров пучка; В.Н.Булдаковскому, И.Б.Иссинскому и С.А.Новикову за поддержку и содействие данной работе. Авторы признательны Л.С.Русаковой за помощь в подготовке материалов к публикации.



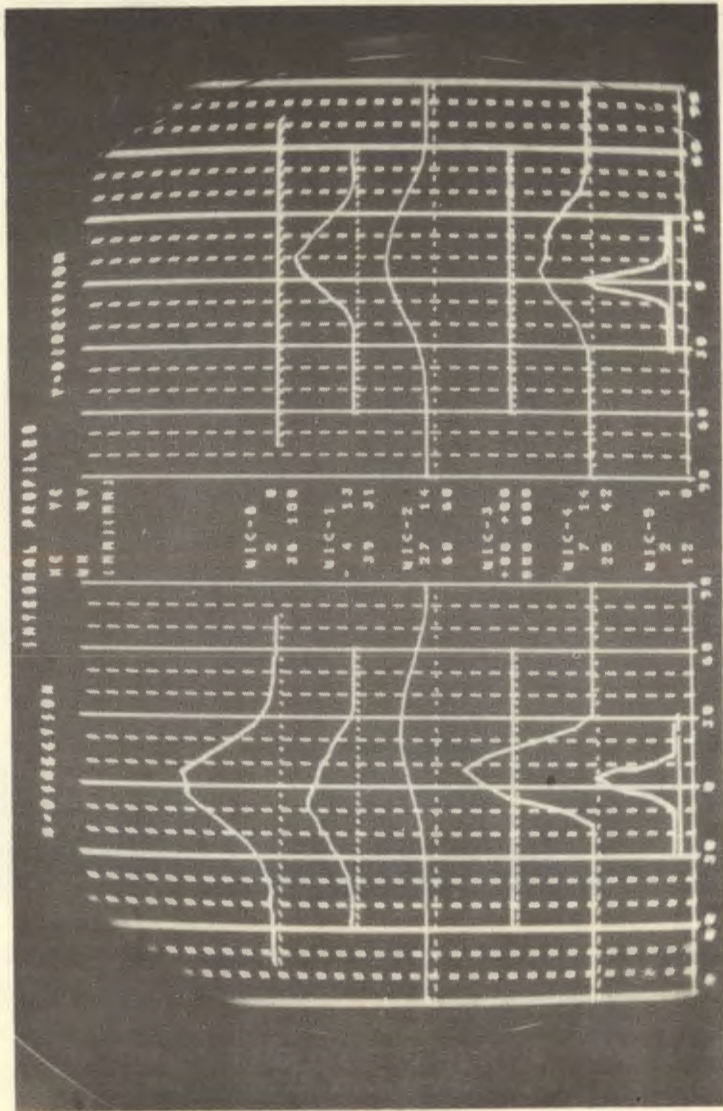


Рис. 7. Информация о параметрах пучка в пяти точках канала транспортировки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Issinsky I.B. et al. Particle Accelerators, 1973, v.5, p.215.
2. Chernykh E.V. et al. IEEE Transactions on Nuclear Science, 1977, v.NS-24, No.6, p.2561.
3. Волков В.И. и др. ОИЯИ, 9-8910, Дубна, 1975.
4. Волков В.И. и др. ОИЯИ, БЗ-9-11456, Дубна, 1978.
5. Волков В.И. и др. ОИЯИ, 9-10104, Дубна, 1976.
6. Ефимов Л.Г., Черных Е.В. ОИЯИ, 10-11108, Дубна, 1977.
7. Information Manual 256 Wordstore Type CS0015, Nuclear Enterprises Ltd., Edinburgh, 1974.
8. Черных Е.В. ОИЯИ, 10-7913, Дубна, 1974.
9. Волков В.И. и др. ОИЯИ, 11-10024, Дубна, 1976.
10. Волков В.И. и др. ОИЯИ, 16-10812, Дубна, 1977.
11. Блинников Н.Н. и др. ОИЯИ, 9-12409, Дубна, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел  
29 мая 1979 года.