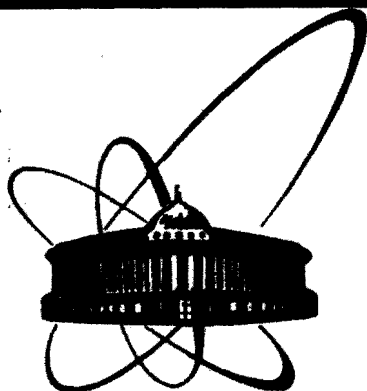


86-753



**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

*СЗ45е2 + СЗ45е3
843/87*

9-86-753

Г.А.Брунерс, Б.В.Василишин, И.Б.Иссинский,
С.В.Костюченко, В.А.Михайлов, А.Е.Сеннер,
Н.А.Шутова

**РАСЧЕТ КАНАЛОВ
ТРАНСПОРТИРОВКИ ПУЧКОВ НУКЛОТРОНА**

1986

1. ВВЕДЕНИЕ

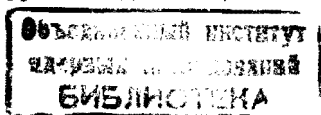
В ускорителе релятивистских ядер – нуклотроне^{/1/} предусмотрены однооборотная инжекция ионов с энергией 5 МэВ/нуклон из линейного ускорителя ЛУ-20 и два направления медленного вывода в экспериментальные корпуса № 205 (МВ-1) и № 1Б (МВ-2). Вывод частиц предполагается осуществлять в широком диапазоне энергий с длительностью от 1 до 10 с.

Размещение кольца нуклотрона на отметке -3,9 м по высоте относительно существующих установок потребовало разработки сравнительно сложных систем транспортировки с поворотом пучка в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

В работе кратко описана программа и представлены проведенные с ее помощью расчеты каналов на участках от линейного ускорителя до нуклотрона и от нуклотрона до элементов транспортировки в экспериментальных корпусах.

2. ИНТЕРАКТИВНАЯ ПРОГРАММА РАСЧЕТОВ

Расчеты каналов транспортировки проводились с помощью интерактивной программы, поставленной на ЭВМ ЕС-1055М ЛВЭ. Эта программа позволяет при помощи матричного метода рассчитывать в линейном приближении характеристики пучка заряженных частиц. Формализованный диалоговый режим и оперативное представление результатов вычислений в графическом (на графическом дисплее) и числовом (на алфавитно-цифровом дисплее) видах позволяют эффективно и наглядно изучать физические свойства различных вариантов структуры того или иного канала. Это дает возможность достаточно быстро выбрать и рассчитать вариант, наиболее полно удовлетворяющий поставленным требованиям. Предусмотрено два режима работы программы: 1) получение характеристики пучка в канале с заданными параметрами (режим пересчета), 2) подбор таких значений указанных параметров, при которых требуемые характеристики пучка принимают заданные значения (режим оптимизации). С помощью первого режима определяются степень влияния того или иного элемента структуры канала и набор начальных условий для окончательного расчета, который производится в режиме оптимизации. Первоначальный ввод параметров структуры рассчитываемого канала и характеристик пучка на входе в канал производится с алфавитно-цифрового дисплея, а затем, после записи их на



файл прямого доступа, эти данные непосредственно считываются с магнитного носителя. В соответствии с этим возможна запись на диск до 50 различных вариантов структуры каналов.

Вывод информации на экран графического дисплея GD-71, который входит в состав дисплейной графической станции^{3/}, подключенной к ЭВМ ЕС-1055М, обеспечивается подпрограммой графического представления результатов расчета. Входными параметрами подпрограммы являются элементы, описывающие структуру канала и массивы значений бетатронных функций пучка^{3/}. Построение в нужном масштабе схемы канала и затребованных функций осуществляется с помощью подпрограммы базового пакета графических программ^{5,6/}, являющегося частью программного обеспечения графической дисплейной станции на ЭВМ ЕС-1055М. При этом вывод информации на экран осуществляется либо в режиме, когда отдельные изображения сменяют друг друга в момент завершения построения предыдущего изображения, либо в режиме, когда отдельное изображение фиксируется на экране, а момент его замены другим определяется нажатием клавиши на функциональной клавиатуре графического дисплея. Существует также возможность фиксировать на экране неизменяющуюся часть выводимой картины. На любой стадии расчета можно затребовать с алфавитно-цифрового дисплея выдачу необходимых результатов на АЦПУ.

3. КАНАЛ ИНЖЕКЦИИ

Канал инжекции предназначен для транспортировки пучка из линейного ускорителя в нуклотрон. Бездисперсионный параллельный пучок переводится на горизонтальную отметку проектируемого ускорителя и одновременно создаются необходимые величины вертикальной и горизонтальной дисперсии. В самом синхротроне с помощью внутренней системы ввода вертикальная дисперсия сводится на ноль, а горизонтальная становится равной дисперсии магнитной структуры нуклотрона.

Параметры пучка на выходе из линейного ускорителя следующие:
 магнитная жесткость $V\rho = 0,64653 \text{ Тл} \cdot \text{м}$;
 импульсный разброс $\Delta p/p_0 = \pm 1 \cdot 10^{-3}$;
 эмиттанс $\epsilon_x = \epsilon_z = 30\pi \text{ мм} \cdot \text{мрад}$.

Динамические характеристики пучка на входе и выходе канала представлены в табл.1.

На рис.1 приведен общий вид канала инжекции в нуклотрон.

Огибающие пучка и дисперсионные функции показаны на рис.2. С целью удобства ведения расчетов канал считался в обратном направлении, т.е. против движения заряженных частиц. За начальные условия брались необходимые параметры пучка в нуклотроне (на срезе линзы Ф со стороны прямолинейного промежутка). В соответствии с этим функциональное описание участков канала производится так, как если бы пучок двигался в обратном направлении. Канал разбит на три участ-

Таблица 1

	$\beta_x, \text{ м}$	$\beta_z, \text{ м}$	α_x	α_z	$\psi_x, \text{ м}$	$\psi_z, \text{ м}$	$\psi'_x, \text{ рад}$	$\psi'_z, \text{ рад}$
Вход	3,33	1,88	0	0	0	0	0	0
Выход	12,48	3,31	-2,021	0,552	2,60	0,35	0,250	0,199

$\beta_{x,z}$ - бета-функция, $\alpha_{x,z}$ - альфа-функция, $\psi_{x,z}$ - дисперсия, $\psi'_{x,z}$ - производная дисперсии.

ка. На третьем участке линзами Л10Ф и Л8Ф осуществляется сведение горизонтальной дисперсии на ноль в магните М2Г с одновременной фокусировкой пучка в горизонтальной плоскости. Необходимая фокусировка пучка в вертикальной плоскости осуществляется линзой Л9Д, которая расположена в области перехода горизонтальной дисперсии через ноль и поэтому практически на нее не влияет. На втором участке

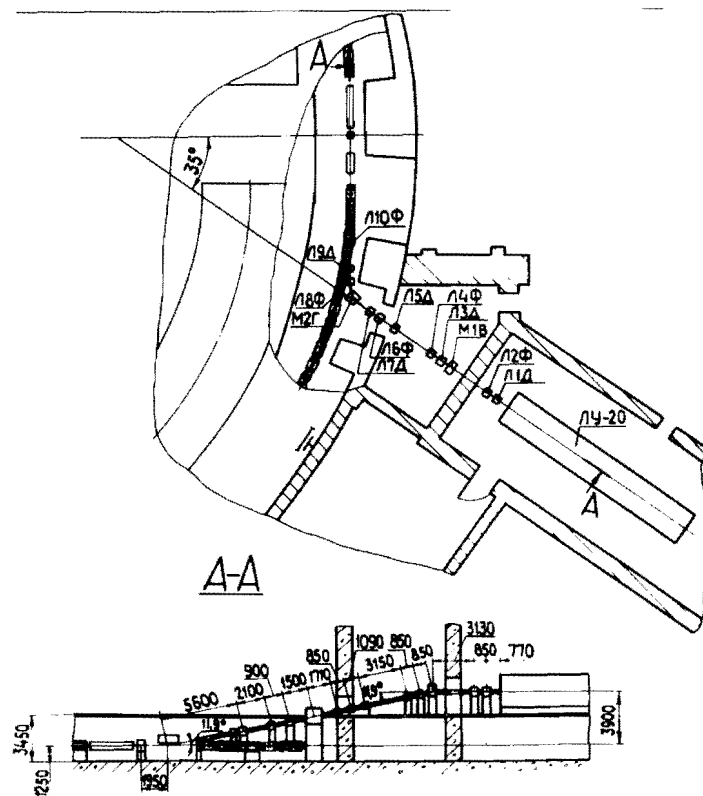


Рис.1. Общий вид канала инжекции в нуклотрон.

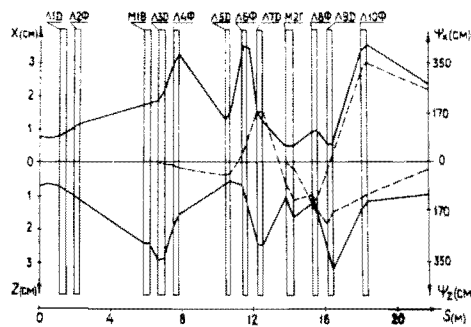


Рис.2. Огибающие пучка и дисперсионные функции в горизонтальной и вертикальной плоскостях в канале инжекции.

производится зануление дисперсии в вертикальной плоскости в магните М1В с помощью триплета линз Л7Д, Л6Ф, Л5Д. На первом - согласуется пучок на выходе из линейного ускорителя при помощи линз Л4Ф, Л3Д (хотя эти линзы расположены в пределах второго участка, по своему функциональному назначению они включены в первый, так как из-за малости вертикальной дисперсии они влияют на нее несущественно) и Л2Д, Л1Д.

Параметры элементов этого канала и величины огибающей пучка приведены в табл.2.

Таблица 2

Наименование	Обозначение	G, Тл/м B, Тл	Эффективная длина, м	Размер пучка XxZ, мм ²
Магнитная квадрупольная линза	Л1Д	-0,30	0,35	18x14
	Л2Ф	0,25	0,35	24x22
	Л3Д	-1,517	0,35	44x60
	Л4Ф	1,412	0,35	66x38
	Л5Д	-4,58	0,35	32x12
	Л6Ф	3,0	0,35	72x25
	Л7Д	-3,649	0,35	31x51
	Л8Ф	3,701	0,35	20x27
	Л9Д	-2,0	0,35	10x68
	Л10Ф	1,046	0,35	72x26
Поворотный дипольный магнит	М1В	0,2238	0,30	36x50
	М2Г	-1,4267	0,47	10x35

4. КАНАЛ ВЫВОДА МВ-1

Канал вывода МВ-1 осуществляет транспортировку ускоренного пучка от нуклотрона до существующего канала медленного вывода из синхрофазотрона, транспортирующего пучок к экспериментальным

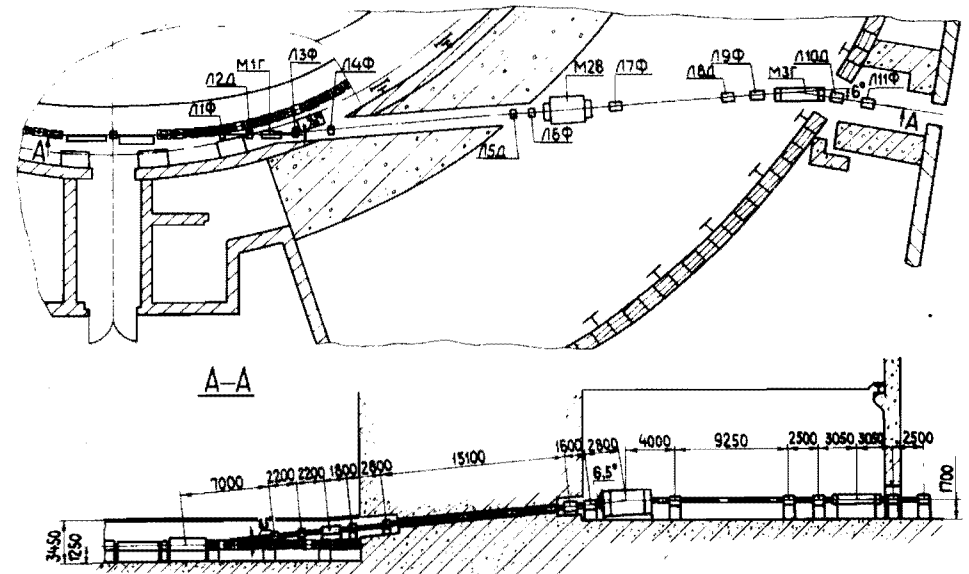


Рис.3. Общий вид канала вывода МВ-1.

установкам корп.205. На рис.3 приведен общий вид канала вывода МВ-1. Параметры выводимого пучка на входе в канал следующие:

- магнитная жесткость $B\rho = 46,14$ Тл . м;
- импульсный разброс $\Delta p/p_0 = \pm 1,28 \cdot 10^{-3}$;
- эмиттанс $\epsilon_x = 4\pi$ мм . рад;
- $\epsilon_z = 2,67\pi$ мм . мрад.

Динамические характеристики на входе и выходе канала представлены в табл.3.

Таблица 3

	$\beta_x, м$	$\beta_z, м$	α_x	α_z	$\psi_x, м$	$\psi_z, м$	$\psi_x', рад$	$\psi_z', рад$
Вход	19,46	3,61	-1452	0,618	3,93	0,18	0,732	0,115
Выход	52,20	27,59	21	1	0	0	0	0

Огибающие пучка и дисперсионные функции показаны на рис.4. Функционально канал разбит на три участка. На первом, представленном линзами Л1Ф, Л2Д, Л3Ф, Л4Ф, магнитом М1Г, линзами Л5Д

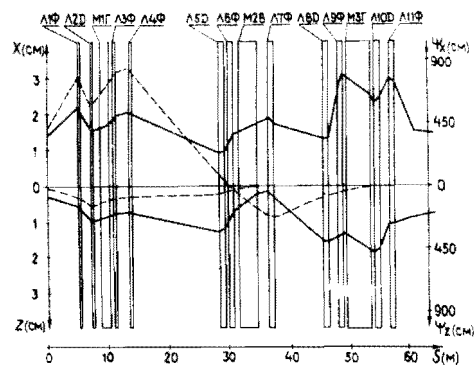


Рис.4. Огибающие пучка и дисперсионные функции в горизонтальной и вертикальной плоскостях в канале MB-1.

и L6Ф, осуществляется уменьшение вертикальной дисперсии в магните M2В до нуля, создание определенных величин горизонтальной дисперсии и ее производной, подбор минимально возможного горизонтального размера пучка. На втором - триплет линз L7Ф, L8Д, L9Ф - зануление горизонтальной дисперсии в магните M3Г. На третьем участке линзы L10Д и L11Ф согласуют пучок для его дальнейшей транспортировки в корп. 205.

Параметры элементов канала и величины огибающей пучка представлены в табл.4.

Таблица 4

Наименование	Обозначение	G, Тл/м B, Тл	Эффективная длина, м	Размер пучка XxZ, мм ²
Магнитная квадрупольная сверхпроводящая линза	L1Ф	26,50	0,40	44x11
	L2Д	-33,813	0,40	31x20
	L3Д	7,114	0,40	38x16
	L4Ф	7,144	0,40	40x16
Магнитная квадрупольная линза	L5Д	-14,0	1,0	19x25
	L6Ф	11,0	1,0	29x20
	L7Ф	10,561	1,0	38x6
	L8Д	-11,141	1,0	26x31
	L9Ф	13,0	1,0	62x28
	L10Д	-12,0	1,0	48x38
	L11Ф	15,0	1,0	60x22
Дипольный сверхпроводящий магнит	M1Г	2,2547	1,5	34x17
	M2В	1,7447	3,0	34x12
Дипольный магнит	M3Г	2,0	4,1	60x35

5. КАНАЛ ВЫВОДА MB-2

Канал вывода MB-2 осуществляет транспортировку ускоренного пучка от нуклотрона до раздаточного магнита, который направляет пучок к экспериментальным установкам корп.1Б. На рис.5 представлен общий вид канала MB-2. Параметры пучка на входе в канал MB-2 идентичны параметрам на входе в канал MB-1 (см. табл.3).

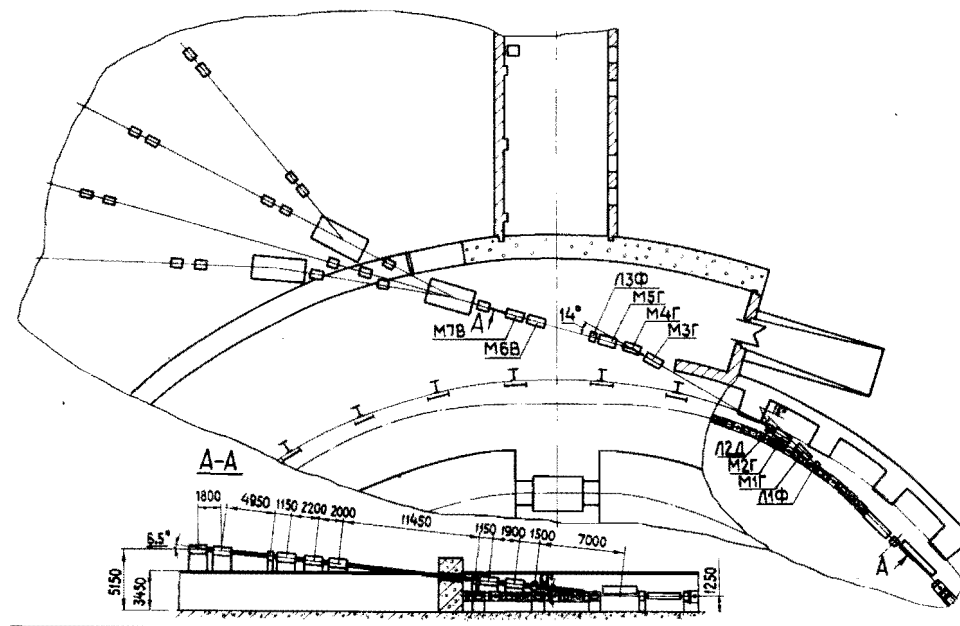


Рис.5. Общий вид канала вывода MB-2.

Огибающие пучка и дисперсионные функции показаны на рис.6. Функционально этот канал разбит на два участка. На первом, представленном линзами L1Ф и L2Д, магнитами M1Г, M2Г, M3Г, M4Г, M5Г осуществляется сведение горизонтальной дисперсии на выходе из магнита M5Г на ноль. На втором - линза фокусирует пучок в горизонтальной плоскости, а магниты M6В и M7В зануляют вертикальную дисперсию.

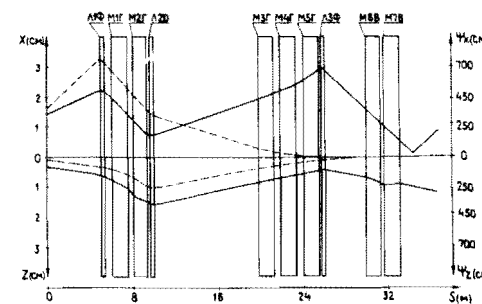


Рис.6. Огибающие пучка и дисперсионные функции в горизонтальной и вертикальной плоскостях в канале MB-2.

Параметры элементов канала и величины огибающей пучка представлены в табл.5. Характеристика пучка на расстоянии 4 мм от выхода из магнита М7В представлены в табл.6.

Таблица 5

Наименование	Обозначение	G, Тл/м В, Тл	Эффективная длина, м	Размер пучка ХхZ, мм ²
Магнитная	Л1Ф	27,67	0,4	34x12
квадрупольная	Л2Д	-21,22	0,4	14x32
сверхпроводящая линза	Л3Ф	20,0	0,4	58x 9
Дипольный	М1Г	4,0265	1,5	40x21
сверхпроводящий магнит	М2Г	4,0265	1,5	25x30
	М3Г	2,5054	1,5	38x17
	М4Г	2,5054	1,5	48x14
	М5Г	2,5054	1,5	57x12
	М6В	1,7448	1,5	33x18
	М7В	1,7448	1,5	11x19

Таблица 6

β_x , м	β_z , м	α_x	α_z	ψ_x , м	ψ_z , м	ψ_x' , рад	ψ_z' , рад
15,31	51,34	-6	-3	0	0	0	0

ЛИТЕРАТУРА

1. Baldin A.M. et al. Proc. 1983 Particle Accelerator Conf., IEEE Trans.Nucl. Sci., NS-30, No.4, 1983, p.3247.
2. Василишин Б.В. и др. ОИЯИ, 10-80-497, Дубна, 1980.
3. Базылев С.Н. и др. ОИЯИ, 10-80-169, Дубна, 1980.
4. Василишин Б.В. и др. ОИЯИ, 10-80-169, Дубна, 1980.
5. Сеннер А.Е. ОИЯИ, 10-82-141, Дубна, 1982.
6. Сеннер А.Е. ОИЯИ, 10-82-142, Дубна, 1982.

Рукопись поступила в издательский отдел
20 ноября 1986 года.

Брунерс Г.А. и др.

9-86-753

Расчет каналов транспортировки пучков нуклотрона

Приведены общий вид и основные параметры каналов транспортировки пучков нуклотрона. Выбранная схема позволяет осуществлять инжекцию тяжелых ионов с энергией 5 МэВ/нуклон и медленный вывод в широком диапазоне энергий по существующим на синхрофазотроне направлениям. Размещение кольца нуклотрона на отметке - 3,9 м по высоте относительно имеющихся установок потребовало разработки систем транспортировки с поворотом пучка в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Описана интерактивная программа и проведенные с ее помощью расчеты каналов. Канал инжекции предназначен для транспортировки пучка из линейного ускорителя в нуклотрон и включает в себя 10 квадрупольных линз, градиенты в которых $G < 5$ Тл/м, и 2 дипольных магнита. Максимальный размер пучка в канале 72 мм. Каналы МВ-1 и МВ-2 осуществляют транспортировку пучка от нуклотрона до существующих каналов в экспериментальных корпусах. Они включают в себя соответственно 11 и 3 квадрупольные линзы ($G \approx 34$ Тл/м) и 3 и 7 дипольных магнитов. Размеры пучков в каналах не превышают 62 мм.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Виноградовой

Bruners G.A. et al.

9-86-753

Design of the Nuclotron Beam Transport Channels

A general view and main parameters of the nuclotron beam transport lines are presented. The chosen scheme makes it possible to realize the injection of heavy ions with 5 MeV/nucleon energy and slow extraction over a wide range in the existing directions of the synchrotron. Since the ring of the nuclotron is placed at -3.9 m level relatively to the equipment available, the beam transport lines must be with horizontal and vertical bends of the beam. The interactive computer program and calculations of the channels performed by means of it are presented. The injection line is intended for beam transport from the linac to nuclotron and includes 10 quadrupole lenses with $G < 5$ T/m gradients and 2 dipole magnets. The maximum size of the beam in channel is 72 mm. The SE1 and SE2 lines transport the beam from the nuclotron to existing channels, in the experimental halls. They include 11 and 3 quadrupole lenses ($G \approx 34$ T/m), respectively, 3 and 7 dipole magnets. The beam sizes in the channels are less than 62 mm.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986