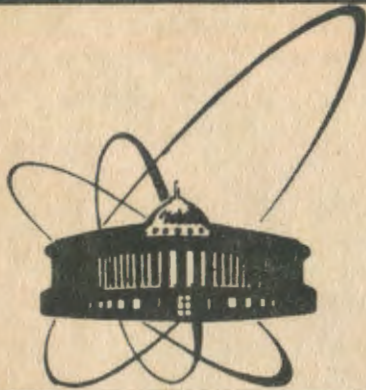


90-107



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

Б 399

9-90-107

Ю.Д.Безногих, Б.В.Василишин, А.И.Говоров,  
И.И.Куликов, В.А.Михайлов, В.А.Мончинский,  
В.В.Селезнев

РАСЧЕТ КАНАЛА ИНЖЕКЦИИ  
ОТ ЛУ-20 В НУКЛОТРОН

1990

Канал инжекции пучка от ЛУ-20 в нуклотрон /1/ должен быть совместим с ныне существующим каналом инжекции в синхрофазотрон. Так как медианная плоскость нуклотрона опущена по отношению к оси ЛУ-20 на 3760 мм, а ввод пучка в нуклотрон осуществляется по вертикали, то система инжекции должна обеспечивать по вертикали ахроматический перевод пучка в медианную плоскость нуклотрона и посадку на орбиту, а по горизонтали - совмещение оси пучка с продольной осью соответствующего прямолинейного промежутка нуклотрона и согласование пучка по дисперсии. Кроме того, оптическая система канала инжекции осуществляет согласование фазовых характеристик пучка и нуклотрона в обеих плоскостях.

Расчет канала производился по интерактивной программе TRANSP на ЭВМ СМ-4 /2/. Начальные условия на входе в канал /выход ЛУ-20/ принимались следующими: горизонтальный и вертикальный эмиттансы составляют  $\epsilon_x = \epsilon_z = 45 \pi$  мм·мрад, импульсный разброс  $\Delta p/p_0 = \pm 0,0016$ , горизонтальный и вертикальный размеры пучка  $\Delta X = \Delta Z = 10$  мм,  $(B\rho) = 0,649$  Тл·м. Предполагалось, что в обеих плоскостях фазовый эллипс имеет канонический вид. На входе в нуклотрон /вход в линзу Д, расположенную в середине прямолинейного промежутка/ условия согласования следующие: дисперсия и ее производная  $D_x = -1,746$  м,  $D'_x = -0,259$ ,  $D_z = 0$ ,  $D'_z = 0$ ; параметры фазового эллипса  $\beta_x = 3,245$  м,  $\alpha_x = 0,586$ ,  $\beta_z = 12,08$  м,  $\alpha_z = -1,959$ .

Начальный участок канала является общим как при инжекции в СФТ, так и в нуклотрон. В состав этого участка входит ныне существующий триплет квадрупольных линз, одна дополнительная линза и дипольный магнит /M1/, осуществляющий поворот по вертикали на  $15,6^\circ$ . При инжекции в синхрофазотрон этот магнит отключается. Дисперсия пучка на начальном участке равна нулю. Расчет канала выполнен так, чтобы градиент в дополнительной линзе равнялся нулю, однако эта линза должна быть предусмотрена, так как для согласования фазовых характеристик пучка /без дисперсии/ с ускорителем в обеих плоскостях требуется четыре независимых параметра, роль которых играют градиенты четырех квадрупольных линз этого участка.

Второй участок состоит из двух дублетов квадрупольных линз и дипольного магнита M2. Этот участок характеризуется наличием вертикальной дисперсии в результате поворота пучка в M1.

Ось пучка на этом участке составляет угол  $15,6^\circ$  к медианной плоскости нуклотрона. В результате отклонения в магните M2 вертикальная плоскость, содержащая ось пучка, совмещается с вертикальной плоскостью, проходящей через продольную ось прямолинейного промежутка нуклотрона. Так как магнит M2 осуществляет поворот в наклонной плоскости, то имеет место не только горизонтальное, но и вертикальное отклонение пучка, в результате чего угол оси пучка с медианной плоскостью нуклотрона уменьшается на  $6,5^\circ$  и составляет  $9,1^\circ$  на выходе магнита M2. Угол поворота в медианной плоскости этого магнита составляет  $54,1^\circ$ , а его проекция на горизонтальную плоскость равна  $55,1^\circ$ .

Третий участок состоит из четырех квадрупольных линз и вертикального септум-магнита, в котором угол пучка с медианной плоскостью нуклотрона уменьшается до нуля. Окончательная посадка пучка в медианную плоскость нуклотрона происходит в инфлекторных пластинах, расположенных во второй половине промежутка инжекции. Режим квадрупольных линз этого участка рассчитан так, чтобы горизонтальная дисперсия пучка и ее производная, возникшие в результате поворота в магните M2, приняты на входе в структурную линзу D промежутка инжекции нуклотрона требуемые из условий согласования значения. В результате посадки пучка в медианную плоскость нуклотрона вертикальная дисперсия и ее производная становятся равными нулю, что обеспечивается соответствующей настройкой режима квадрупольных линз второго участка, что, в свою очередь, не влияет на горизонтальную дисперсию, которая равна нулю на втором участке. Аналогично, операция согласования фазовых характеристик инжектируемого пучка с нуклотроном производится квадрупольными линзами первого участка, и это не влияет на дисперсионные характеристики пучка в канале.

Длительность импульса тока пучка от ЛУ-20 превышает длительность инжекции в нуклотрон. Режимы эксплуатации элементов сверхпроводящего кольца ускорителя требуют сведения к минимуму потерь пучка на этих элементах. С этой целью в канале инжекции устанавливаются дефлекторные электростатические пластины, отклоняющие неиспользованную часть пучка на поглотитель, установленный также в канале инжекции за пределамигибающей пучка. Длина дефлекторных пластин составляет 1000 мм, ширина - 100 мм, расстояние между пластинами - 80 мм. Номинальная напряженность создаваемого поля равна 3 кВ/см.

Основные параметры элементов канала приведены в табл.1. Для квадрупольных линз приведены значения градиентов в Тл/м, а для дипольных магнитов величина поля в теслах. Расстояние от центра вертикального септум-магнита до входа в структурную линзу D промежутка инжекции нуклотрона составляет 2495,5 мм.

Таблица 1

Номер элемента	Тип элемента	Градиент, Тл/м /поле, Тл/	Эффект. длина, мм
1	Своб. пром.		1131
2	Линза Д	2,7763	244
3	Своб. пром.		360
4	Линза Ф	2,3215	444
5	своб. пром.		360
6	Линза Д	3,214	244
7	Своб. пром.		519
8	Линза Ф	0	244
9	Своб. пром.		380
10	Вертикальный магнит /M1/	0,17865	1000
11	Своб. пром.		1158
12	Линза Ф	0,6975	400
13	Своб. пром.	-	100
14	Дефлек. пластт.	3 кв/см*	1000
15	Своб. пром.		100
16	Линза Д	1,3444	400
17	Своб. пром.		1900
18	Линза Ф	1,6132	400
19	Своб. пром.		400
20	Линза Д	1,5612	400
21	Своб. пром.		450
22	"Наклонный" магнит /M2/	0,25533	2400
23	Своб. пром.		300
24	Линза Д	0,9087	400
25	Своб. пром.		1100
26	Линза Ф	2,5125	400
27	Своб. пром.		650
28	Линза Д	2,1989	400
29	Своб. пром.		450
30	Линза Ф	2,1577	400
31	Своб. пром.		3513,5
32	Вертикальный септум-магнит	0,24526	425

\* Напряженность электростатического поля.

Таблица 2

Номер элемента	Тип элемента	Горизонт. смещение, мм	Горизонт. огibaющая, $\Delta X/2$ , мм	Вертикальное смещение, мм	Вертикальная огibaющая, $\Delta Z/2$ , мм
16	Линза Д	4,5	15,8	4,5	34,1
17	Своб. пром.	8,5	15,5	6,7	34,3
18	Линза Ф	32,8	26,5	11,9	7,6
19	Своб. пром.	31,3	23,7	15,6	4,6*
20	Линза Д	23,2	15,8	22,0	5,9*
21	Своб. пром.	19,2	10,6	23,9	8,0*
22	Наклон. магнит	19,1	7,7*	20,9	9,6*
23	Своб. пром.	9,0	15,7	4,1	23,3
24	Линза Д	6,9	17,8	1,9	25,1
25	Своб. пром.	4,7	22,8	-1,1	24,7
26	Линза Ф	0,4	43,0	-9,3	16,1
27	Своб. пром.	-1,1	37,0	-15,6	18,0
28	Линза Д	-3,3	6,6	-32,3	29,6
29	Своб. пром.	-5,7	12,3	-33,4	28,4
30	Линза Ф	-9,8	35,0	-24,0	18,0
31	Своб. пром.	-10,7	44,6	-21,5	12,9
32	Верт. селтум-магнит	7,2	28,0	-49,9	13,4*

\* Возможные точки для установки поглотителей.

В табл.2 приведены величины смещения центра пучка протонов в различных точках канала инжекции, при условии, что между дефлекторными пластинами создается напряженность электростатического поля 3 кВ. Рассмотрены варианты, когда пластины отклоняются по горизонтали и по вертикали, и приводятся соответствующие величины смещений в обеих плоскостях на входе каждого элемента канала, а также значения огибающей /полуразмера/ пучка в этих точках. Поглотитель можно ставить в любой точке, где смещение центра пучка превышает его полный размер /в таблице эти точки помечены/. Из таблицы видно, что целесообразнее использовать вертикально отклоняющие дефлекторные пластины. При ускорении пучка ядер смещение пучка в электростатическом поле увеличивается по сравнению с протонным пучком из-за меньшей скорости частиц.

Схема канала инжекции приведена на рис.1.

Огибающие пучка в обеих плоскостях вдоль канала инжекции показаны на рис.2. Вход в фокусирующую линзу отмечен буквой F, дефокусирующую - D, вертикальный поворот показан буквой V, а горизонтальный - H. Магнит M2 длиной 2400 мм, осуществляющий поворот в наклонной плоскости, показан в виде эквивалентной последовательности горизонтальных и вертикального поворотов /H-V-H/.

Этот расчет лег в основу проектирования канала инжекции от ЛУ-20 в нуклотрон.

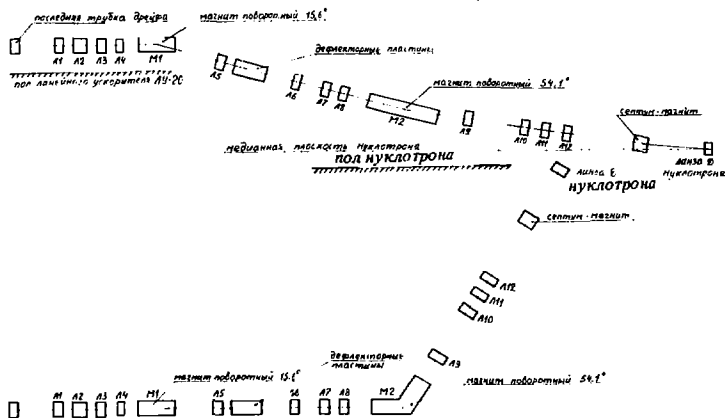


Рис.1. Схема канала инжекции из ЛУ-20 в нуклотрон. В верхней части показана фронтальная проекция канала, а в нижней - изображение канала в плане.

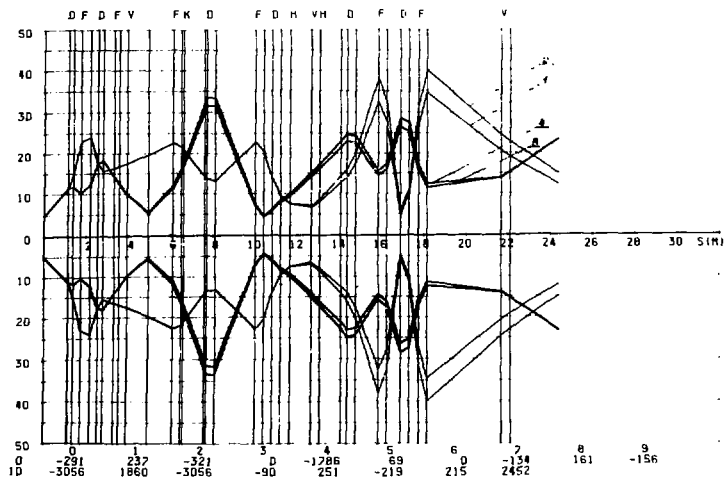


Рис.2. Огибающие пучки вдоль канала инжекции: 1 – горизонтальные огибающие без учета дисперсии; 2 – горизонтальная огибающая с учетом дисперсионного уширения; 3 и 4 – вертикальные огибающие пучки без учета и с учетом дисперсионного уширения, соответственно.

Авторы выражают благодарность Л.А.Ефимовой и Г.М.Сальниковой за подготовку материалов к публикации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Василишин Б.В. и др. - ОИЯИ, 9-86-512, Дубна, 1986.
2. Василишин Б.В., Волков В.И., Куликов И.И. - ОИЯИ, 9-87-768, Дубна, 1987.

Рукопись поступила в издательский отдел  
14 февраля 1990 года.