

КАНАЛЫ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПУЧКА В ПРОЕКТЕ NICA

*А. Ангелов^а, В. Ангелов^а, А. В. Елисеев^б, И. Н. Мешков^б, В. А. Михайлов^б,
А. О. Сидорин^б, Н. Д. Топилин^б, Г. В. Трубников^б, А. В. Тузиков^б*

^а Институт ядерных исследований и ядерной энергии Болгарской академии наук, София

^б Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

В ОИЯИ в последние годы ведется разработка проекта тяжелоионного коллайдера NICA. Целью проекта является создание нового ускорительного комплекса для проведения экспериментов на встречных ионных пучках (на первой стадии проекта) и пучках поляризованных протонов и дейтронов (на второй стадии). Ускорительный комплекс NICA будет содержать два линейных ускорителя, два синхротрона, два кольца коллайдера и каналы транспортировки пучка. В работе представлены магнитные структуры и системы диагностики и коррекции каналов транспортировки комплекса NICA.

In the last years Nuclotron-based Ion Collider Facility (NICA) project is developed by the Joint Institute for Nuclear Research (JINR), Dubna. The goal of the project is to construct a new accelerator complex that will be used for 1) colliding ion beams in the first stage and 2) colliding polarized proton/deuteron beams in the second stage of the project. NICA accelerator complex will consist of two linear accelerators, two synchrotrons, two storage rings of the collider and transport beam lines. Magnetic lattice, diagnostics and correction systems of NICA beamlines are presented in this report.

PACS: 29.20.db; 07.05.Dz

ВВЕДЕНИЕ

Проект NICA [1] предполагает создание и развитие нового ускорительного комплекса, основанного на существующем сверхпроводящем синхротроне нуклотрон [2]. В рамках проекта существующие ускорители ЛУ-20 и нуклотрон должны быть модернизированы. Комплекс также будет включать новые установки: тяжелоионный источник КРИОН электронно-струнного типа, источник поляризованных протонов и дейтронов, тяжелоионный линейный ускоритель с высокочастотной квадрупольной фокусировкой, сверхпроводящий бустерный синхротрон [3], коллайдер и каналы транспортировки ионных пучков.

В данной работе представлены физические проекты двух каналов транспортировки пучка: канала инжектор–бустер и канала бустер–нуклотрон [4].

1. КАНАЛ ИНЖЕКТОР–БУСТЕР

Канал инжектор–бустер служит для транспортировки пучка с энергией ионов 6,2 МэВ/нукл. от тяжелоионного линейного ускорителя (инжектора) до бустера.

Таблица 1. Параметры дипольного магнита и квадруполей канала инжектор–бустер

Параметры	Тип магнита	
	Диполь	Квадруполь
Максимальное магнитное поле (градиент), Тл (Тл/м)	1,21	13
Угол поворота, °	8,6	0
Апертура, мм	81	76
Ширина полюса, мм	190	104
Длина ярма, мм	590	250
Эффективная длина, мм	647	290

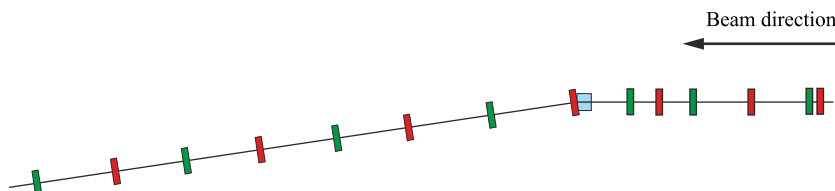


Рис. 1. Схема канала инжектор–бустер

Канал обеспечивает инжекцию пучка в бустер и согласование пучка с его структурными функциями.

Канал располагается в одной плоскости с бустером. Ось инжектора и начального участка канала параллельна прямолинейному инжекционному промежутку бустера. Для входа в прямолинейный промежуток бустера пучок поворачивается по горизонтали на $8,6^\circ$ и сажается на замкнутую орбиту бустера с помощью септума с таким же углом поворота. Полная длина канала, включая фокусирующую линзу инжекционного промежутка бустера, составляет 42 м.

Магнитная структура канала состоит из поворотного магнита M1, 14 квадрупольных линз и четырех корректоров. Параметры дипольного магнита и квадрупольных линз представлены в табл. 1. Схема канала показана на рис. 1.

Оптическая структура канала функционально может быть разбита на два участка: до и после поворотного магнита M1. Первый участок рассматривается как бездисперсионный и служит для согласования альфа- и бета-функций пучка. Второй участок служит

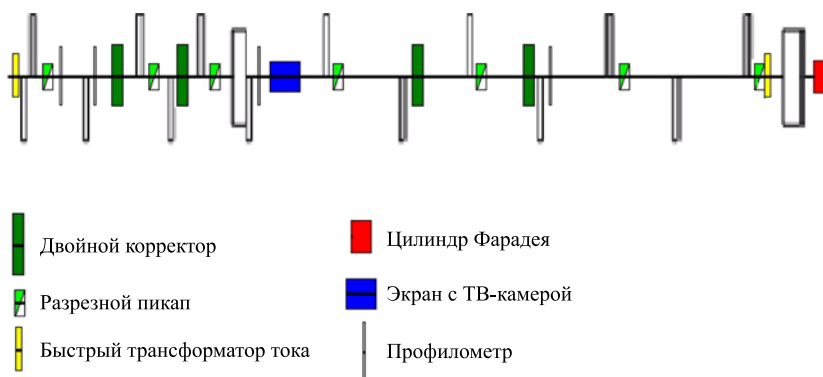


Рис. 2. Размещение диагностического оборудования в канале инжектор–бустер

для согласования дисперсии и ее производной. Оптическая структура канала позволяет согласовать любой возможный пучок со структурными функциями бустера.

Система диагностики пучка включает в себя два токовых трансформатора, четыре профилометра по двум координатам, семь двоящих пикапов (по одному к каждой паре квадрупольей), люминесцентный экран и ТВ-камеру после магнита М1, а также цилиндр Фарадея в конце канала. Для коррекции траектории пучка в канале устанавливаются четыре двойных корректора. Размещение диагностического оборудования показано на рис. 2.

2. КАНАЛ БУСТЕР–НУКЛОТРОН

Канал бустер–нуклотрон соединяет две ключевые установки ускорительного комплекса NICA. Канал предназначен для перевода ионного пучка с приблизительным согласованием его параметров со структурными функциями нуклотрона, обдирки ионов до максимального зарядового состояния и сепарации паразитных зарядностей ионов, полученных после обдирки. Энергия ионов пучка в канале равна 600 МэВ/нукл.

Ввиду взаиморасположения бустера и нуклотрона транспортировка пучка в канале осуществляется по горизонтали и вертикали одновременно. Вывод пучка из бустера производится по горизонтали. Угол экстракции равняется 100 мрад. В нуклотрон пучок инжектируется по вертикали. Угол наклона линии инжекции к плоскости нуклотрона — 105 мрад. Расстояние между плоскостями бустера и нуклотрона составляет 3,76 м.

Проект канала предполагает поворот бустера на $7,5^\circ$ против направления циркуляции пучка в нем.

Полная длина канала равна 30,5 м. Его азимутальный размер составляет 45° , что соответствует инжекции пучка через один октант нуклотрона от точки экстракции из бустера.

Угловые характеристики канала: угол поворота пучка в поворотном магните VBM — 8° ; угол поворота пучка в секции TBS — 58° .

Магнитная система канала состоит из четырех дипольных магнитов, шести квадрупольей и трех корректоров. Магнитные элементы канала предполагается сделать сверхпроводящими. Параметры магнитной системы приведены в табл. 2.

Станция обдирки располагается внутри стойки ярма бустера. После обдирки ионный пучок имеет не менее двух зарядовых состояний. В нуклотрон инжектируются ионы целевой зарядности. Паразитные зарядности сепарируются по вертикали посредством дипольных магнитов и последующего магнита Ламбертсона.

Таблица 2. Параметры дипольных магнитов и квадрупольей канала бустер–нуклотрон

Магнит	Тип магнита	Эффективная длина, м	Максимальное магнитное поле (градиент), Тл (Тл/м)
VBM	Прямой	2,2	1,6
TBM1–TBM3	Секторный	2,06	1,8
LM	Магнит Ламбертсона	1	1,5
Q1–Q2	Квадруполь	0,4	25
Q3–Q6	Квадруполь	0,4	15

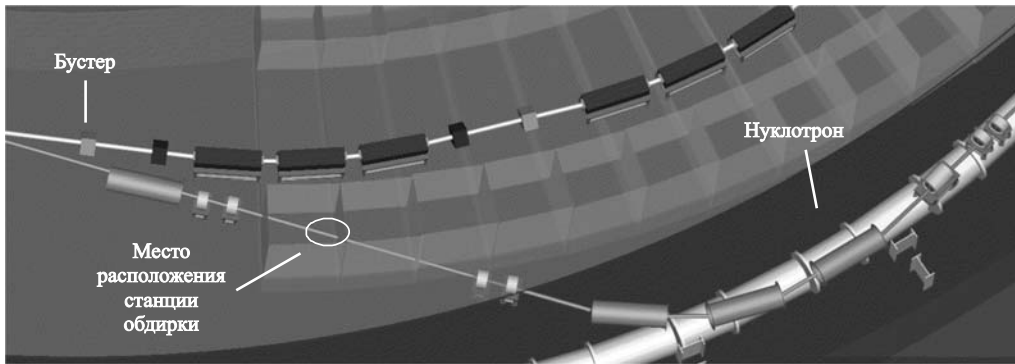


Рис. 3. Общий вид канала транспортировки бустер–нуклотрон

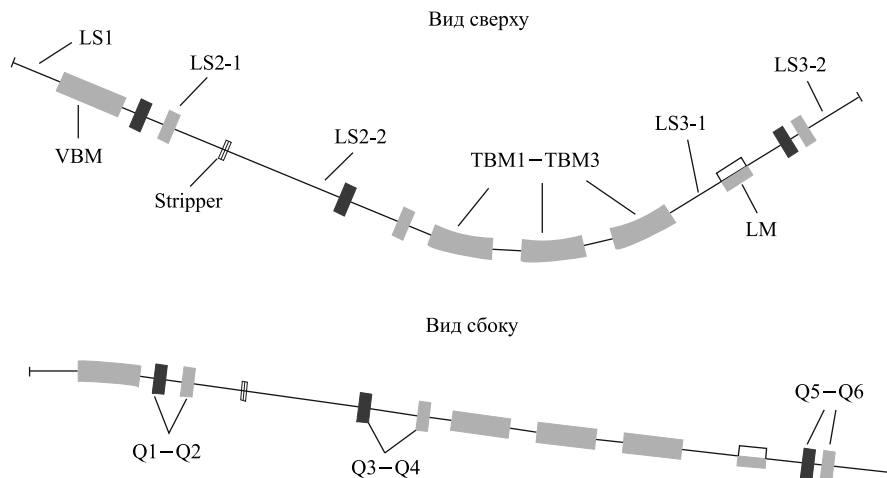


Рис. 4. Схема канала транспортировки бустер–нуклотрон. VBM — вертикальный поворотный магнит; TBM1–TBM3 — наклонные поворотные магниты; LM — магнит Ламбертсона; LS1, LS2-1, LS2-2, LS3-1, LS3-2 — линейные участки канала; Q1–Q6 — квадрупольные линзы; Stripper — станция обдирки

Магнитная система канала ограничивает магнитную жесткость ионов. Максимальная магнитная жесткость ионов, транспортируемых от бустера до станции обдирки, равна 25 Тл·м, что соответствует максимальной магнитной жесткости ионов в бустере. После станции обдирки максимальная магнитная жесткость ионов центральной зарядности равняется 11 Тл·м.

На рис. 3 и 4 представлены общий вид и схема канала бустер–нуклотрон.

Фокусировка пучка в канале осуществляется с помощью шести квадрупольных линз, а также градиентами полей в дипольных магнитах. В канале достигается 100%-й перевод ионов целевой зарядности, но полного согласования параметров пучка со структурными функциями нуклотрона получить не удастся, и некоторые дисперсионные функции остаются несогласованными.

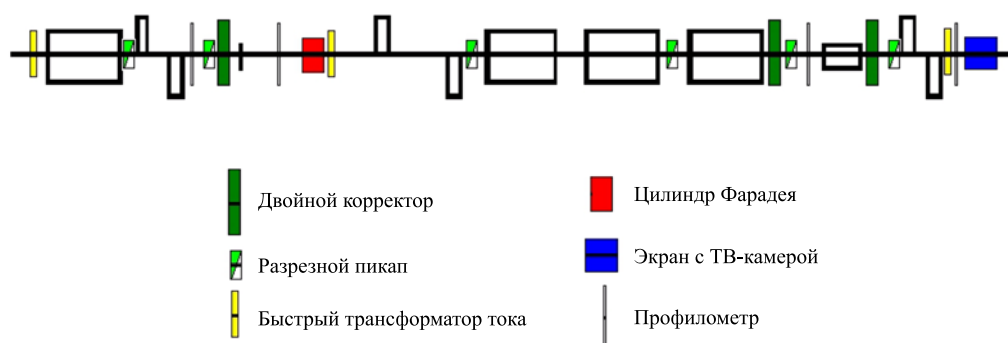


Рис. 5. Размещение диагностического оборудования в канале бустер–нуклотрон

Транспортировка пучка в канале производится с увеличением эмиттанса. Причинами роста эмиттанса являются: многократное рассеяние ионов на атомах обдирочной мишени, связь движений в наклонной секции поворота TBS и несогласование дисперсионных функций пучка, инжектируемого в нуклотрон. Оценки суммарного роста эмиттанса пучка при переводе в канале: горизонтальный эмиттанс — порядка 45 %, вертикальный эмиттанс — менее 40 %.

Система диагностики пучка включает в себя три токовых трансформатора, четыре профилометра по двум координатам, шесть пикап-электродов, люминесцентный экран с камерой и цилиндр Фарадея после обдирочной фольги. Для коррекции траектории пучка в канале устанавливаются три двойных корректора. Размещение диагностического оборудования показано на рис. 5.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Физические проекты двух представленных каналов ускорительного комплекса NICA находятся на стадии завершения. Все представленные каналы удовлетворяют требованиям, налагаемым на них. В ближайшее время начнется разработка технических проектов каналов и их магнитных элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sidorin A. *et al.* Project of the Nuclotron-Based Ion Collider Facility (NICA) at JINR // Proc. of IPAC'10, Kyoto, Japan, 2010. P. 693–695.
2. Sidorin A. *et al.* Status of the Nuclotron. «Nuclotron-M» Project // Ibid. P. 684–686.
3. Sidorin A. *et al.* Design of the Nuclotron Booster in the NICA Project // Ibid. P. 681–683.
4. Tuzikov A., Mikhaylov V. Booster–Nuclotron Beam Line for NICA Project // Part. Nucl., Lett. 2010. V. 7, No. 7. P. 478–482.