

МАГНИТНЫЙ КИКЕР ДЛЯ ИНЖЕКЦИИ ПУЧКА В НУКЛОТРОН УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА NICA

А. И. Сидоров¹, А. В. Тузиков, В. С. Швецов

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Представлены общая схема расположения, требования к основным элементам, конструкция основных элементов, общая конструкция и расчет магнитных полей инжекционного кикера нуклотрона.

The article presents the general layout, requirements for main elements, the design of main elements, the overall design and calculation of the magnetic fields of the Nuclotron injection kicker.

PACS: 29.27.Ac

ВВЕДЕНИЕ

Система инжекции тяжелоионных пучков в нуклотрон [1] включает в себя магнит Ламбертсона и ударный магнит (кикер). С помощью системы реализуется однооборотная инжекция при переводе пучка из бустера в нуклотрон. Магнит Ламбертсона служит для вертикального перевода пучка в медианную плоскость нуклотрона. Ударный магнит используется для посадки пучка на замкнутую орбиту.

Схема системы инжекции показана рис. 1.

В традиционной схеме ударного магнита используется ферромагнитный сердечник с возбуждающей обмоткой и внутренней керамической вакуумной камерой. Обычно

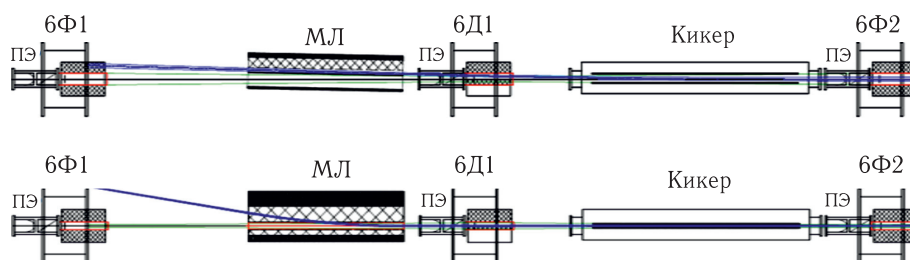


Рис. 1. Размещение элементов системы инжекции пучка из бустера в нуклотрон (*а* — вид сверху, *б* — вид сбоку). 6Ф1, 6Д1, 6Ф2 — квадрупольные линзы нуклотрона; МЛ — магнит Ламбертсона; ПЭ — пикап-электроды

¹ E-mail: asid@jinr.ru

керамическую камеру делают с металлическим напылением стенок для уменьшения импеданса камеры. Одна из основных проблем этой схемы — создание керамической камеры. В конструкции предлагаемого кикера заложена схема, в которой роль керамической камеры выполняет вакуумный кожух (ионопровод). Расположенная в нем пара параллельных двухпроводных линий создает магнитное поле в области пролета отклоняемого пучка.

КИКЕР

Кикер представляет собой систему сосредоточенного типа. Основные параметры кикера представлены в таблице. Конструктивно кикер состоит из двух одинаковых половин (рис. 2). Магнитное поле в каждой половине кикера, в области пролета отклоняемого пучка, создается двумя параллельными двухпроводными электрически независимыми линиями. Двухпроводные линии, каждая длиной 1 м, расположены на расстоянии 86 мм друг от друга. Каждая двухпроводная линия представляет собой два параллельных друг другу медных стержня (токопровода) диаметром 8 мм с расстоянием между их центрами 46 мм.

Двухпроводные линии обеих половин расположены в ионопроводе с внутренним диаметром 200 мм и толщиной 2 мм. С одной стороны двухпроводные линии каждой половины соединены с высоковольтными вводами, а с другой — с землей, роль которой выполняет ионопровод.

Направления токов в каждой паре двухпроводных линий противоположны друг другу для формирования дипольной компоненты магнитного поля с требуемой однородностью в области пучка. Однородность магнитного поля внутри кикера в эллипсоподобной области пучка $40(\Gamma) \times 20(\text{В})$ мм должна отвечать требованию по точности $\pm 1,0\%$, чтобы эммитанс пучка не увеличивался значительно [1]. Распределение магнитного поля в центре кикера показано на рис. 3. Расчеты сделаны для ионопровода с внутренним диаметром 200 мм. Подсадка магнитного поля из-за вихревых токов в центре кикера составляет 6% по отношению к трубе с бесконечным диаметром.

Основные технические характеристики инжекционного кикера

Параметр	Значение
Энергия инжекции (Au^{+79}), МэВ/нуклон	572
Длина магнита, мм	1000×2
Угол отклонения, мрад	15,6
Пиковое магнитное поле, Тл	0,10
Область поля с однородностью $\pm 1\%$, мм	$40(\Gamma) \times 20(\text{В})$
Физическая апертура, мм	$78(\Gamma) \times 36(\text{В})$
Время нарастания (спада) магнитного поля, нс	500
Плато импульса, нс	500–700
Частота повторения, Гц	0,25
Пиковый ток, кА	15
Собственная индуктивность двухпроводной линии, нГн	400
Однородность магнитного поля, %	$\pm 1,0$

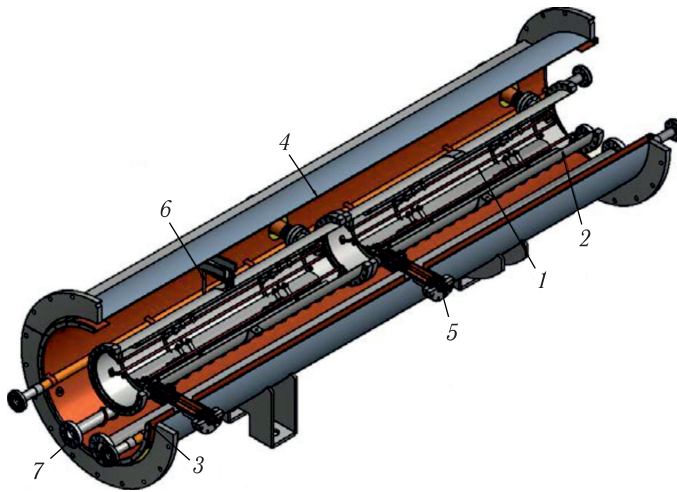


Рис. 2. Общий вид компоновки кикера: 1 — двухпроводная линия; 2 — ионопровод; 3 — азотный экран; 4 — внешний вакуумный кожух; 5 — высоковольтный ввод; 6 — подвеска; 7 — гелиевый трубопровод

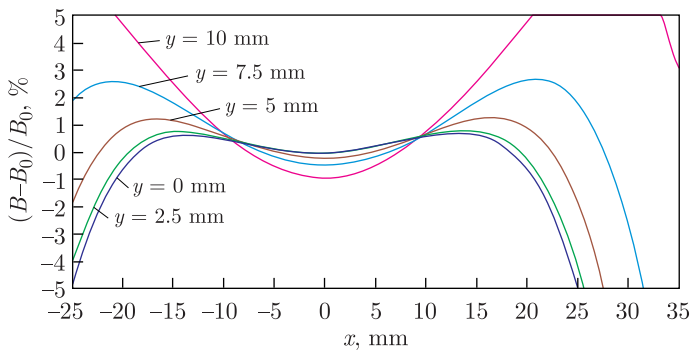


Рис. 3. Распределение относительного магнитного поля в апертуре кикера для различных величин y

Ионопровод на специальной подвеске крепится к внешнему вакуумному кожуху, который отделен от ионопровода азотным экраном (см. рис. 2). Азотный экран обеспечивает низкую температуру в ионопровode для достижения необходимого вакуума в нем и предохраняет гелиевые магистрали, которые проходят между экраном и ионопроводом, от нагрева. Тепловыделения в токопроводах двухпроводных линий кикера незначительны при частоте повторений импульсов 0,25 Гц в вакууме 10^{-9} Торр. Расчеты показали, что температура ионопровода не поднимается выше -170°C в рабочем режиме кикера (при температуре азотного экрана -195°C). Для кикера не предусмотрена локальная вакуумная система поддержания необходимого вакуума. Рабочий вакуум в ионопровode на уровне 10^{-9} Торр, а также в изоляционном вакуумном объеме, между ионопроводом и внешним кожухом, на уровне 10^{-7} Торр обеспечивается вакуумными системами примыкающих к кикеру устройств и низкой температурой в нем.

В рабочем режиме ионопровод охлаждается до температуры примерно -170°C по отношению к внешнему вакуумному кожуху. Из-за разности температур ионопровод смещается на $\sim \Delta 5$ мм относительно внешнего кожуха. В кикере применен специально разработанный высоковольтный ввод [2], в котором внутренний и внешний проводники выполнены в виде цанговых соединений. Они обеспечивают необходимые смещения проводников и их надежный электрический контакт в высоковольтном вводе в рабочем режиме кикера.

Каждая пара двухпроводных линий кикера запитывается отдельным генератором. Генераторы импульсов будут расположены непосредственно в стойке рядом с кикером для того, чтобы минимизировать длину передающих кабелей и индуктивность разрядного контура, а также упростить конструкцию. Трапецеидальный импульс тока будет формироваться разрядом импульсной формирующей линии через двухпроводные линии. Напряжение формирующей линии амплитудой ~ 50 кВ требуется, чтобы сформировать импульс тока с длительностью плато 500–700 нс и амплитудой 15 кА. В качестве коммутатора будет использоваться тиратрон типа ТПШ-10к/75. Тиратроны этого типа позволяют коммутировать пиковый ток в десятки килоампер и обладают большим ресурсом. Для того чтобы повысить предельную электрическую прочность элементов генератора, предусматривается импульсная зарядка формирующих линий.

ВЫВОДЫ

Обсуждены элементы инжекционного магнитного кикера, и определены его основные параметры. Проведены вычисления магнитного поля в кикере. Полученное распределение магнитного поля отвечает необходимым параметрам. Вторая стадия этой работы требует создание кикера и импульсного генератора для того, чтобы связать экспериментальные результаты с требуемыми параметрами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тузиков А. В. и др.* Системы перевода пучка из бустера в нуклотрон ускорительного комплекса NICA. Докл. на XIII Междунар. семинаре по проблемам ускорителей заряженных частиц памяти проф. В. П. Саранцева, Алушта, Крым, Россия, 3–8 сент. 2019 г.
2. *Сидоров А. И. и др.* Высоковольтный цанговый ввод инжекционного кикера нуклотрона // Тр. XIII Междунар. семинара по проблемам ускорителей заряженных частиц памяти проф. В. П. Саранцева, Алушта, Крым, Россия, 3–8 сент. 2019 г.; Письма в ЭЧАЯ. 2020. Т. 17, № 4(229). С. 543.