

МОДУЛЬ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИНЖЕКЦИИ ПУЧКА В БУСТЕР УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА NICA

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

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Представлен проект электростатического септума и электрических импульсных пластин для ввода пучка в бустер ускорительного комплекса NICA. Приведены результаты расчетов напряженностей электрических полей в устройствах.

This paper presents a project of an electrostatic septum and electric pulse plates for the beam injection into the Booster of the NICA accelerator complex. The results of calculations of electric field strength in devices are given.

PACS: 29.20.-c

ВВЕДЕНИЕ

В ОИЯИ ведутся работы по проекту NICA [1], который предполагает создание и развитие нового ускорительного комплекса. Ускорительный комплекс включает модернизированный ускоритель ЛУ-20, тяжелоионный линейный ускоритель NPLAC, сверхпроводящий синхротрон бустер, сверхпроводящий синхротрон нуклотрон, два накопительных кольца коллайдера.

Основными элементами системы инъекции пучка в сверхпроводящий синхротрон бустер являются электростатический септум (ЭС) и электрические импульсные пластины ИП1, ИП2, ИП3. Пластины служат для посадки пучка на замкнутую орбиту бустера при использовании схемы однооборотной инъекции пучка и создания локального бампа (искажения) замкнутой орбиты при использовании методов многооборотной и многократной инъекции.

ЭС и импульсные пластины ИП2 размещаются на прямолинейном промежутке бустера (рис. 1), устанавливаются непосредственно друг с другом и соединяются через вакуумный

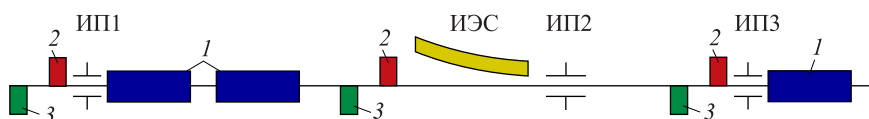


Рис. 1 (цветной в электронной версии). Размещение элементов системы инъекции пучка в бустере. Синим (1) цветом обозначены структурные дипольные магниты, красным (2) — фокусирующие квадрупольные линзы, зеленым (3) — дефокусирующие квадрупольные линзы

¹E-mail: asid@sunse.jinr.ru

сильфонный переходник. Септум и импульсные пластины ИП2 в рабочем режиме находятся при комнатной температуре.

ЭС работает в циклическом режиме. В течение ввода ионов в бустер поддерживается постоянное напряжение между электродами септума. В промежутках между стадиями многократной инжекции возможно изменение напряжения. Длительность активной фазы работы источника питания составляет порядка 1 с. Неоднородность напряжения на плато цикла не превышает $\pm 0,1\%$.

КОНСТРУКЦИЯ СЕПТУМА

ЭС представляет собой две пластины (анод и катод) с кривизной поверхностей, соответствующей вводной траектории пучка. Они устанавливаются внутри вакуумного бокса. Высокое напряжение подается на катод, анод заземляется. Длина электростатического септума — 1,9 м, толщина ножа септума составляет 1 мм. Максимальное напряжение на катоде септума не превышает 130 кВ.

Конструктивно септум (рис. 2) представляет собой вакуумный кожух цилиндрической формы длиной около 2 м и диаметром 450 мм. Вакуумный кожух состоит из трех секций различной длины. Секции скрепляются между собой фланцевыми соединениями с медными уплотнениями. На фланцах средней секции имеются выносные реперные площадки. Координаты площадки паспортизованы относительно геометрии секции и используются для точной установки анода и катода, а также для юстировки септума на кольце бустера. Секционный вакуумный кожух обеспечивает удобство монтажа элементов септума и упрощает установку на нем откачного и технологического оборудования. Катод и анод устанавливаются вертикально и представляют собой изогнутые плоскости с радиусами изгиба $R = 11,5$ и $11,85$ м и шириной 110 и 200 мм соответственно.

Анод изготавливается из листа нержавеющей стали марки 304L толщиной 3 мм и жестко крепится на кронштейнах к средней секции кожуха. Конструкция крепления предусматривает его регулировку в горизонтальной плоскости, в перпендикулярном направлении к траектории движения пучка, при помощи дистанционных шайб.

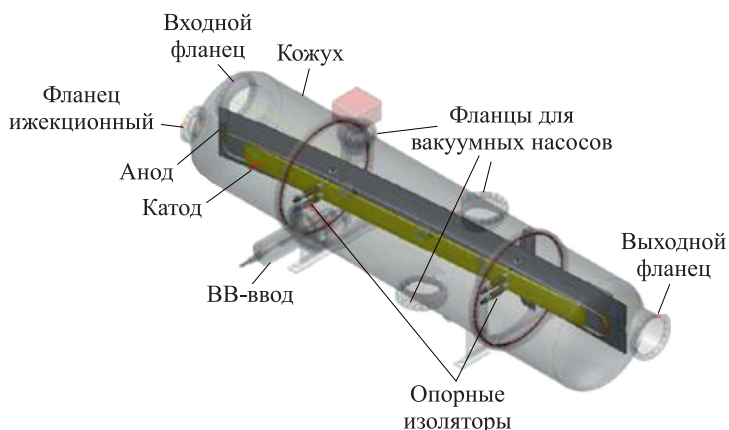


Рис. 2. Конструкция септума

Для уменьшения веса катод изготавливается из листа нержавеющей стали марки 304L толщиной 1,5 мм, ширина плоской части катода составляет 80 мм. Для предотвращения пробоя с катода на заземленные элементы септума боковая поверхность катода по периметру имеет двойной радиус изгиба (радиус 15 мм плавно переходит в радиус 7 мм). Двойной радиус изгиба боковой поверхности обусловлен конструктивными особенностями.

Согласно расчетам максимальная напряженность на краях катода не превышает 52 кВ/см при напряжении на катоде 130 кВ. Однородность электрического поля в септуме в области прохождения пучка не превышает 1 %. Катод прикрепляется к вакуумному кожуху двумя парами опорных высоковольтных изоляторов. Изоляторы изготовлены из высоковакуумной керамики ($D = 20$ мм, $L = 130$ мм) с резьбовыми наконечниками. Одна пара изоляторов одними концами присоединяется через сферические шайбы к катоду, другими концами крепится к кожуху через оси вращения. Другая пара изоляторов закрепляется и на кожухе, и на катоде жестко. Такая конструкция крепления изоляторов к катоду и цилиндрическому кожуху позволяет не напрягать механически изоляторы при изменении длины кожуха из-за изменения температуры окружающей среды септума. Форма и габариты изоляторов обеспечивают работу септума без пробоев при напряжении на катоде до 130 кВ.

В рабочем режиме расстояние между анодом и катодом составляет 35 мм. Регулировка расстояния между катодом и анодом осуществляется с помощью устройства крепления катода: сначала закрепляется анод на заданном расстоянии от оси кожуха септума, а затем выставляется катод с помощью регулировочных сферических шайб, предусмотренных в креплении катода. Точность установки расстояния между электродами составляет $\pm 0,5$ мм.

Для согласования положения электродов септума с вводной траекторией пучка предусмотрена возможность горизонтального и вертикального перемещения вакуумного кожуха септума на ± 8 мм от номинального положения с точностью до 0,3 мм. Перемещение осуществляется за счет регулировочных винтов подставки, на которой устанавливается вакуумный кожух септума.

Для подачи высокого напряжения на катод разработан высоковольтный высоковакуумный ввод (рис. 3). Ввод рассчитан на постоянное напряжение 130 кВ и выполнен на фланце ДУ-150 типа conflate. Керамическая часть ввода изготовлена из керамики FRIALIT F99.7. Ввод выдерживает температуру прогрева до 450 °С и позволяет осуществлять технологический процесс прогрева камеры для достижения сверхвысокого вакуума в рабочем режиме септума.



Рис. 3. Высоковольтный высоковакуумный ввод

На поверхности вакуумного кожуха септума предусмотрены несколько патрубков различного диаметра: два из них расположены за анодом и соединены с камерой циркулирующего пучка, остальные предназначены для откачного и технологического оборудования. В рабочем режиме в камере септума поддерживается вакуум на уровне 10^{-11} Торр.

КОНСТРУКЦИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ПЛАСТИН ИП2

Импульсные пластины ИП2 (рис. 4) представляют собой пару профилированных пластин, которые устанавливаются вертикально внутри отдельного вакуумного бокса параллельно оси движения пучка. Максимальное напряжение между пластинами ИП2 не превышает 50 кВ. Пластины работают в импульсном режиме. При многократной инжекции частота повторения импульсов составляет 10 Гц, максимальное число импульсов подряд — 3. Источники питания пластин осуществляют независимую однополярную зарядку и разрядку пластин. Различаются два режима работы пластин. При одноступенчатом режиме потенциал подается только на одну пластину.

При двухступенчатом режиме к моменту начала ввода ионов потенциал подается на обе пластины, затем одна из пластин разряжается, что ведет к скачкообразному изменению потенциала между пластинами.



Рис. 4. Конструкция ИП2

Конструктивно ИП2 (см. рис. 4) представляет собой вакуумный кожух цилиндрической формы длиной 1 м и диаметром 320 мм. Кожух изготавливается из нержавеющей стали 304L. Внутри кожуха расположены импульсные пластины, на одну из которых в рабочем режиме подается импульсное напряжение 50 кВ, а на другую — 15 кВ. Импульсные пластины — это пластины длиной 1 м с загнутыми по всей длине краями. Пластины изготавливаются из нержавеющей стали 304L. Расстояние между серединами пластин составляет 93 мм. Пластина, на которую подается импульсное напряжение 50 кВ, имеет ширину плоской части, равную 100 мм. Края шириной 50 мм загнуты по отношению к плоской части под углом 20° . Пластина, на которую подается напряжение 15 кВ, отличается от первой лишь тем, что ее края загнуты под углом 10° по отношению к плоской части. Такой профиль импульсных пластин выбран по результатам расчета электрического поля с целью увеличения области поля с однородностью 1% в области проводки пучка. Каждая из пластин прикрепляется к вакуумному кожуху ИП2 двумя парами высоковольтных изоляторов, изготовленных из высоковакуумной керамики и рассчитанных на постоянное напряжение 50 кВ. Импульсное напряжение на пластины ИП2 подается через высоковольтные проходные изоляторы фирмы CeramTec (рис. 5).

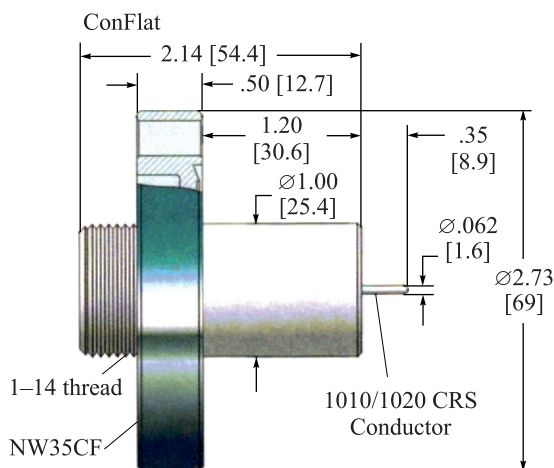


Рис. 5. Высоковольтный ввод на 50 кВ

Конструкция крепления пластин в ИП2 аналогична конструкции крепления катода в септуме и выполняет те же функции. На поверхности кожуха ИП2, так же как и в септуме, предусмотрены несколько патрубков различного диаметра для откачного оборудования. В рабочем режиме в камере ИП2 поддерживается вакуум на уровне 10^{-11} Торр.

Вакуумные камеры септума и ИП2 по отношению к откачному оборудованию представляют собой единый вакуумный объем и соединяются проходным сильфонным патрубком. Для того чтобы обеспечить циркуляцию инжектированного пучка в бустере, сильфонный патрубок соединяет часть камеры септума, расположенную за его анодом (см. рис. 2, выходной патрубок), с серединой камеры ИП2 (см. рис. 4, входной патрубок).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны конструкции электростатического септума и электрических импульсных пластин для ввода пучка в бустер ускорительного комплекса NICA. Проведены расчеты критических напряженностей электрических полей в устройствах, и определены параметры высоковольтных вводов. Выбрана технология изготовления самой сложной детали септума — катода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Tuzikov A. et al.* Booster Synchrotron at NICA Accelerator Complex // Proc. of the 25th Russ. Part. Accel. Conf. (RuPAC-2016), St. Petersburg, Russia, Nov. 2016. FRCAMH05. P.160–162; doi:10.18429/JACoW-RuPAC2016-FRCAMH05; <http://jacow.org/rupac2016/papers/frcamh05.pdf>.2017.