

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ЦАНГОВЫЙ ВВОД УДАРНОГО МАГНИТНОГО КИКЕРА ДЛЯ ВЫВОДА ПУЧКА ИОНОВ ИЗ НУКЛОТРОНА УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА NICA

*И. И. Голубев, А. П. Козлов, М. П. Лепкин, И. Н. Репкин,
А. И. Сидоров¹, В. С. Швецов*

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Рассмотрена конструкция высоковольтного цангового ввода с подвижными внешним и внутренним проводниками. Подробно описаны конструкция цангового соединения, выбор материала для цанг и условия для обеспечения надежного электрического контакта в нем. Представлены результаты его ресурсных испытаний.

The design of a high-voltage grip feedthrough with movable external and internal conductors is considered. The design of the grip connection, the choice of material for the grips and the conditions for ensuring reliable electrical contact in it are described in detail. The results of life tests of a high-voltage grip feedthrough are presented.

PACS: 29.27.Ac

ВВЕДЕНИЕ

Система вывода ионных пучков из нуклотрона ускорительного комплекса NICA включает в себя ударный магнитный кикер. Он служит для выпуска ионного пучка в канал, соединяющий нуклотрон с коллайдером.

Магнитный кикер состоит из двух секций, соединенных последовательно [1]. Обе секции расположены во внутреннем вакуумном кожухе — ионопроводе, рис. 1. В каждой секции расположена двухпроводная линия и параллельно ей заземленный проводящий экран.

С одной стороны, двухпроводные линии соединены с высоковольтными вводами, а с другой, соединены с землей, роль которой выполняет ионопровод. Магнитное поле в секции, в области пролета отклоняемого пучка, создается при прохождении импульса тока через двухпроводную линию и наведенным током в параллельном ей проводящем экране.

Питание от импульсного генератора к кикеру подводится с помощью кабельной сборки через высоковольтные цанговые вводы [1]: на каждую секцию кикера по одному вводу. В рабочем режиме ионопровод охлаждается до температуры примерно

¹E-mail: asid@jinr.ru

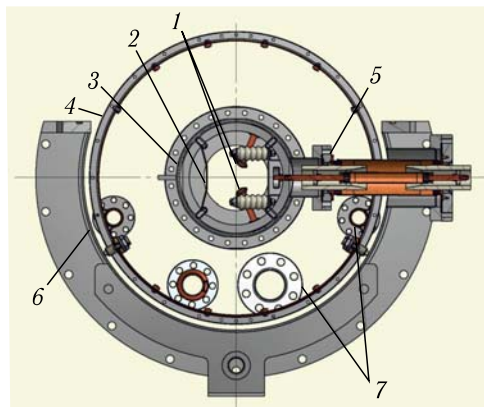


Рис. 1. Общий вид компоновки кикера: 1 — двухпроводная линия; 2 — заземленный проводящий экран; 3 — ионопровод; 4 — азотный экран; 5 — высоковольтный ввод; 6 — внешний вакуумный кожух; 7 — азотный и гелиевый трубопроводы

-160°C по отношению к внешнему вакуумному кожуху, поэтому из-за разности температур ионопровод смещается на $\sim 5-6$ мм относительно внешнего вакуумного кожуха. Смещения могут вызвать поломку изоляторов вводов и разгерметизацию кикера. По этой причине возникла необходимость разработать высоковольтный ввод, соединяющий внешний кожух и ионопровод, с возможностью демпфировать возникающие смещения как при охлаждении, так и при отеплении кикера.

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ЦАНГОВЫЙ ВВОД

Высоковольтный цанговый ввод был разработан для инжекционного кикера нуклофона, установлен в нем и успешно выполняет свои функции. Для того чтобы использовать уже существующую конструкцию цангового ввода в выводном кикере нуклофона, в нее необходимо внести функциональные изменения, связанные с повышением электрической прочности ввода. Суть в том, что в цанговом вводе инжекционного кикера электрическая прочность ограничивается пробоем из-за эмиссии электронов со сферического адаптера (поверхность 1), расположенного в полости внутренней трубчатой цанги ввода, через ее щели (поверхность 2) на внешний цанговый проводник, рис. 2.

Электрическая прочность цангового ввода инжекционного кикера проверялась на атмосфере при подаче на него постоянного напряжения. Пробои в нем наблюдались при напряжении 20–21 кВ.

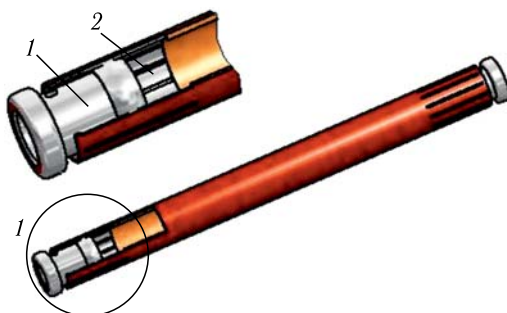


Рис. 2. Конструкция ввода инжекционного кикера: 1 — сферический адаптер; 2 — внутренняя трубчатая цанга

Результаты пробоя видны были в виде темных полос на серебряном покрытии адаптера, расположенных как раз напротив щелей внутренней цанги. Несмотря на то, что электрическая прочность в вакууме выше, чем при атмосфере, тем не менее, возникла необходимость модернизировать конструкцию цангового ввода. Связано это с тем, что в выводном кикере амплитуда тока в два раза больше, чем в инжекционном кикере, соответственно, и падение напряжения на вводе существенно выше.

Модернизированный высоковольтный ввод выводного кикера, так же как и ввод инжекционного кикера, выполнен в виде цанговой коаксиальной конструкции. Основные изменения в конструкции показаны на рис. 3.

Отличие от прежнего ввода, как видно из рисунка, состоит в том, что в модернизированном цанговом вводе адаптеры заменены на цанги, а трубчатая цанга — на проводник в виде сплошной трубки, в которую вставляются цанги. Такие же изменения сделаны и для внешнего проводника цангового ввода. Сплошные трубчатые проводники перекрывают щели цанг и, соответственно, устраняют полость, которая существует в цанговом вводе инжекционного кикера и является областью эмиссии электронов, инициирующих пробой.

Электрическая прочность модернизированного цангового ввода, так же как и ввода инжекционного кикера, проверялась на атмосфере при подаче на него постоянного напряжения. Пробои в нем наблюдались при напряжении 32–33 кВ, что существенно выше, чем в прежней конструкции цангового ввода.

Цанговый ввод механически закрепляется с одной стороны на внешнем вакуумном кожухе, а с другой — на ионопроводе, рис. 3. Как внутренний, так и внешний проводники высоковольтного ввода состоят из трех частей: из двух цанг и сплошного трубчатого проводника. Такая конструкция модернизированного ввода обеспечивает необходимую подвижность при юстировке ионопровода относительно внешнего кожуха и в процессе температурных смещений их друг относительно друга.

В рабочем режиме внутри высоковольтного ввода поддерживается вакуум на уровне 10^{-7} Торр. Разделение по вакууму внутренней области высоковольтного ввода и ионопровода осуществляется в зоне изолятора 6. Атмосфера со стороны внешнего

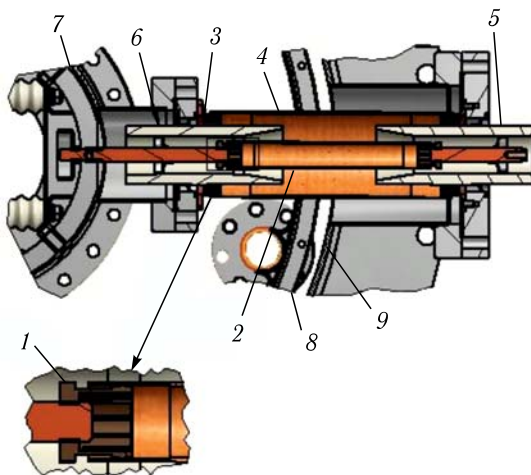


Рис. 3. Модернизированный высоковольтный цанговый ввод: 1 — внутренняя цанга; 2 — внутренний сплошной трубчатый проводник; 3 — внешняя цанга; 4 — внешний сплошной трубчатый проводник; 5, 6 — изоляторы; 7 — ионопровод; 8 — азотный экран; 9 — внешний вакуумный кожух

вакуумного кожуха отсекается в зоне изолятора 5. Изоляторы прикрывают зоны соединения внутренней цанги с внутренним сплошным трубчатым проводником и повышают электрическую прочность ввода.

Очень важно обеспечить надежность цанговых соединений, которые подвергаются тепловому воздействию. Надежность контакта зависит как от усилия, с которым ламели цанги давят на внутреннюю поверхность сплошного трубчатого проводника, так и от площади их соприкосновения. Усилие подбирается экспериментально и регулируется за счет разности внешнего диаметра ламелей цанг и внутреннего диаметра сплошного трубчатого проводника. Внутренний диаметр сплошного проводника выбирается меньше, чем внешний диаметр ламелей цанг. При разности диаметров 100 мкм расчетная величина — сила одной ламели, с которой она воздействует на сплошной проводник, составляет ~ 3 Н. Результаты длительных экспериментов по воздействию импульсов тока на цанговый ввод убедительно показали, что сила такой величины обеспечивает надежный электрический контакт.

Очень важно подобрать материал для изготовления цанг и трубчатых проводников. Материал цанг выбирается с тем расчетом, чтобы изменения их геометрических размеров находились в пределах линейных изменений в диапазоне рабочих температур. Мы провели исследование таких материалов, как нержавеющая сталь, латунь и бериллиевая бронза. Были проведены испытания полномасштабных образцов вводов, изготовленных из указанных выше материалов, при воздействии на них импульсов тока амплитудой 27 кА, длительностью 3 мкс. Состояние поверхности сплошных проводников и цанг оценивалось после воздействия 10^5 импульсов тока. По совокупности требуемых свойств наиболее оптимальным материалом оказалась бериллиевая бронза БрБ2. Для увеличения площади и качества контактов поверхности ламелей цанг покрываются серебром толщиной ~ 10 мкм.

Мы провели ресурсные испытания полномасштабного образца модернизированного высоковольтного ввода, изготовленного из бронзы БрБ2. При испытаниях через ввод пропустили 900 тыс. импульсов тока колоколообразной формы. Параметры импульса соответствовали рабочим параметрам кикера: длительность — 3 мкс, а амплитуда — 27 кА. Исследование поверхностей цанг и внутренних поверхностей сплошных трубчатых проводников в области их соприкосновения до и после испытаний показало, что поверхности практически не изменились.

Результаты испытаний дают основание считать, что разработанный цанговый высоковольтный ввод обладает большим ресурсом и сможет обеспечить надежный электрический контакт для запитки кикера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлов А. П. и др. Ударный магнитный кикер для вывода ионного пучка из нуклотрона ускорительного комплекса NICA // Письма в ЭЧАЯ. 2023. Т. 20, № 4. С. 1010.

Получено 18 ноября 2022 г.