

ИСПЫТАНИЕ ПРОТОТИПОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ТОКОВОДОВ КРИОГЕННОГО СТЕНДА ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ МАГНИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА NICA

*Е. В. Кресь^{a,1}, И. Н. Каденко^a, О. А. Бешейко^a, Д. В. Белов^b,
Н. А. Блинов^b, А. Р. Галимов^b, А. Г. Зорин^b, В. Н. Карпинский^b,
Д. Н. Никифоров^b, Р. В. Пивин^b, А. В. Смирнов^b, Е. В. Смирнова^b
Е. В. Шевченко^b, С. А. Смирнов^b, Г. Г. Ходжибагиян^b, Ченглиан Лью^c*

^a Киевский национальный университет им. Т. Шевченко, Украина

^b Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

^c Институт физики плазмы, Хэфэй, Китай

В Объединенном институте ядерных исследований в Лаборатории физики высоких энергий в рамках проекта NICA-MPD [1] были проведены испытания двух прототипов ВТСП-токовводов [2, 3], изготовленных в институте ASIPP (Хэфэй, Китай), с целью измерения электрических и тепловых параметров и выявления конструктивных и физических недостатков. На основе полученных экспериментальных данных внесены необходимые изменения в конструкцию ВТСП-токовводов для стенда тестирования магнитных элементов ускорительного комплекса NICA и его базовых установок: нуклотрона, бустера, коллайдера.

In the frame of the NICA-MPD project [1] the test of two prototypes of high-temperature superconductive (HTSC) current leads (ASIPP, Hefei, China) was done in Laboratory of High Energy Physics (JINR, Dubna) [2, 3]. During experiments, the electrical and power parameters were measured which permit one to formulate the necessary modifications in the design of HTSC current leads for the new test bench and for superconducting accelerators of the NICA project: Nuclotron, Booster and Collider.

PACS: 84.71.Ba

1. КОНСТРУКЦИЯ ТОКОВОДОВ

Токовводы технологически поделены на три части: «теплый» терминал, азотный и гелиевый участки. «Теплый» терминал имеет канал для протока деионизированной воды, служащей для отбора тепла в случае перегрева терминала или для нагрева в случае чрезмерного охлаждения терминала. На холодном конце азотного участка в виде цилиндра

¹E-mail: Kres-casper@mail.ru

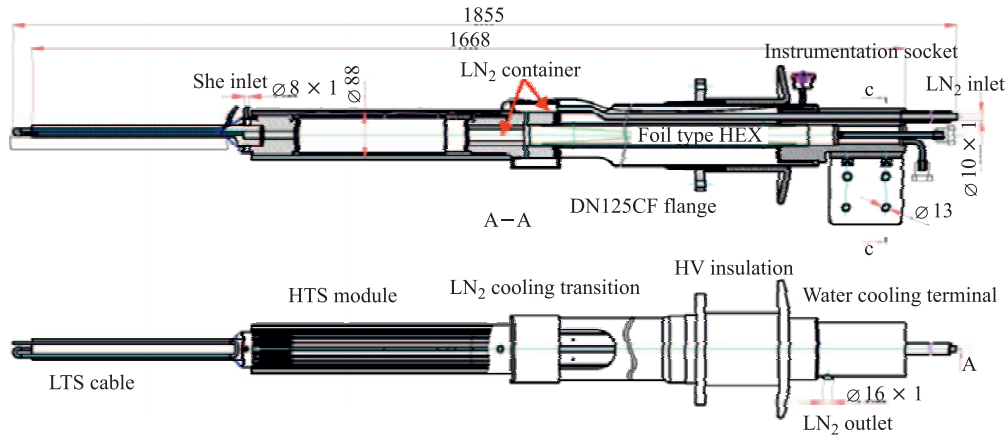


Рис. 1. Конструкция высокотемпературных сверхпроводящих токовводов

из меди жестко закреплен через стальную обечайку азотный бачок, на котором смонтирована ВТСП-вставка. Для охлаждения азотного участка между «теплым» терминалом и азотным бачком расположен пластинчатый теплообменник, который охлаждается потоком испаряющегося из бачка азота. Один конец ВТСП-вставки в рабочем состоянии охлажден до азотной температуры, другой охлажден до гелиевой температуры потоком двухфазного гелия, проходящего через НТСП. Поток гелия выводится из криостата и измеряется с помощью счетчика. Поток азота из токоввода измеряется с помощью ротаметра.

Высокотемпературные сверхпроводящие токовводы показаны на рис. 1. Конструктивно токовводы состоят из следующих основных частей: 1) водоохлаждаемого «теплого» медного терминала, на котором путем болтового и паяного соединения закреплены коммутационные медные пластины; 2) пластинчатого теплообменника для охлаждения пара азота участка токоввода от ванны с жидким азотом до «теплого» терминала; 3) азотного бачка с подводными и отводящими трубками; 4) полого цилиндрического картриджа из нержавеющей стали с уложенными в канавки 40 полосками ВТСП марки Bi2223; 5) медной шины с уложенным в канал НТСП трубчатым кабелем для подключения токоввода к магниту; 6) изолятор с электрической прочностью 2 кВ.

2. ЗАЩИТА ОТ ПЕРЕХОДОВ В НОРМАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ

Особенность защиты используемых токовводов состоит в том, что в качестве приоритетной защиты от переходов из сверхпроводящего состояния используется падение напряжения вдоль всей ВТСП-вставки. Всего для защиты используется три контура: два на токовводах и одна мостовая схема защиты магнита. Логическая схема защиты приведена на рис. 2.

Мостовая схема магнита работает по классической схеме: плечами моста являются две обмотки магнита. Перед охлаждением магнита плечи моста уравниваются. При нарушении сверхпроводящего состояния мост выходит из равновесия, что запускает механизм практически мгновенного вывода энергии из магнита и остановки источника, все происходит до 200 мс.

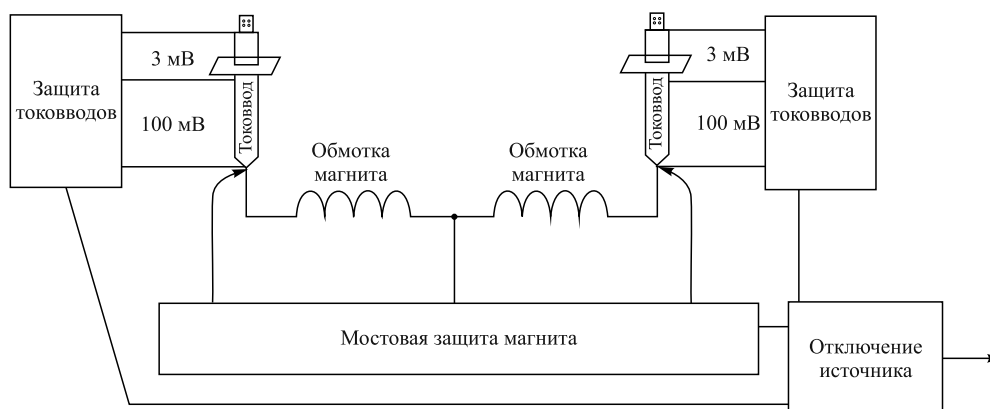


Рис. 2. Логическая схема защиты сверхпроводящего магнита

Особенность защиты ВТСП-вставки в том, что для защиты используется падение напряжения вдоль всей вставки: в верхней части допускается падение напряжения до 3 мВ в течение 2 с, в нижней до 100 мВ. Измерительные концы падения напряжения выведены в отдельные разъемы, которые подключены к двум отдельным блокам, на каждый токоввод по одному. Падение напряжения выбрано из расчета, что соответствует 0,25 мкОм при токе 12 кА.

3. ИСПЫТАНИЯ ТОКОВВОНОВ

При проведении испытаний токовводов были проведены следующие технологические операции:

- 1) проверка герметичности корпуса токовводов, изолятора с фланцем, гелиевых и азотных коммуникаций;
- 2) работа с током в импульсном режиме треугольного цикла (рис. 3) при амплитуде тока 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11 и 12 кА;
- 3) измерение статического теплопритока;
- 4) измерение минимального расхода азота и гелия при работе в циклическом и постоянном режимах с током амплитудой 12 кА.



Рис. 3. Параметры цикла подачи напряжения

В ходе испытаний на герметичность был выявлен конструктивный недостаток изолятора между токовводом и крышкой криостата. Поэтапно, согласно программе испытаний, был заведен ток амплитудой 12 кА в циклическом и статическом режимах. Минимальный расход гелия в этих режимах на оба токоввода составил 12 м³/ч, или 0,6 г/с. Минимальный расход азота на каждый токоввод составил 3–3,5 м³/ч, или 1–1,2 г/с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Design and Construction of Nuclotron-Based Ion Collider Facility (NICA). Conceptual Design Report / Ed.: I. Meshkov, A. Sidorin. Dubna: JINR, 2008.
2. Design and Operation Instruction for RUSSIAL 12kA HTSCL-2012.9.16.
3. KD_technical Response of 12 kA HTS CL for JINR_v2.0.