



объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна

P8-94-37

В.Д.Бартенев

КОМБИНИРОВАННЫЕ
ОХЛАЖДАЕМЫЕ ТОКОВОДЫ
С МАЛЫМ СТАТИЧЕСКИМ ТЕПЛОПРИТОКОМ
В КРИОСТАТ

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

1994

Бартенев В.Д.
Комбинированные охлаждаемые токовводы
с малым статическим теплопритоком в криостат

Созданы и исследованы комбинированные охлаждаемые токовводы с малым статическим теплопритоком в криостат. Токовводы рассчитаны на кратковременную работу до 8 кА. Верхняя часть токоввода, находящаяся в зоне 300—80 К, изготовлена из материала с малым электросопротивлением, а нижняя часть, находящаяся при температурах 80—4,2 К, изготовлена из материала с низкой теплопроводностью. Токовводы испытаны в двух режимах охлаждения. В режиме принудительного охлаждения статический теплоприток в криостат составил 0,8 Вт на ввод, в режиме охлаждения парами гелия — 0,55 Вт на ввод.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1994

Перевод автора

Bartenev V.D.
Combined Gas-Cooled Current Leads
with a Low Static Heat Leak into a Cryostat

P8-94-37

Combined gas-cooled current leads with a low static heat leak into a cryostat have been constructed and tested. The current leads were designed for a short-time operation of up to 8 kA. The upper part of the lead made of low electric resistance material is at 300—80 K, the lower part of the lead constructed from lower heat conductivity material is at 80—4,2 K. The current leads were tested for two types of cooling. The static heat leak into a cryostat was 0,8 W per lead in the force-cooled mode and 0,55 W per lead in the vapour-cooled mode.

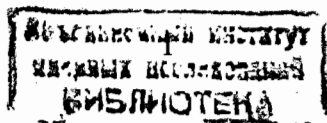
The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

ВВЕДЕНИЕ

Токовводы планировалось использовать в качестве токовводов безопасности нуклотрона. При переходе магнитной системы в нормальное состояние и при нарушении связи токовводов с магнитами рабочий ток из магнитной системы должен быть выведен через токовводы безопасности. Как и основные токовводы нуклотрона, токовводы безопасности должны отвечать следующим требованиям:

1. Номинальный ток 6,4 кА.
2. Малый статический теплоприток в холодную зону криостата.
3. Электрическая прочность изоляции — 2,5 кВ (в том числе в аварийных ситуациях с порчей гелием изоляционного вакуума ускорителя).
4. Гидравлическое сопротивление мене 10 кПа.
5. Допустимое внутреннее давление — 2,5 МПа.
6. Простота конструкции и технологии изготовления, надежность в эксплуатации.

Токоведущие элементы токовводов (рис.1) состоят из четырех-пяти сплюснутых медных оплеток (1), вставленных между двух комбинированных полос (2). Полосы изготовлены из двух металлов: на длине 300 мм из нержавеющей стали толщиной 1 мм, на остальной длине медь толщиной 1 мм. Пакет сварен по торцам на всей длине. В результате образуется короб-теплообменник с удельной поверхностью $55 \text{ см}^2/\text{см}^3$. Количество меди верхней части токоввода, которая должна находиться в зоне 300—80 К, составляет 160 мм^2 , а в нижней части, находящейся при температурах 80—4,2 К, составляет $45—50 \text{ мм}^2$. Ток в основном течет по стенкам, а гелий проходит внутри короба (эффективный теплообменник). Поскольку сварка торцов недостаточно герметична в условиях изоляционного вакуума нуклотрона, токоведущий элемент помещен в тонкостенную трубу (3) из нержавеющей стали. Небольшое отверстие в стенке короба приводит к выравниванию давления внутри и вне короба, что обеспечивает его целостность при аварийном повышении давления. Электрические изоляторы (4—7) выполнены из капролона. Как и сверхпроводящие магниты нуклотрона, токовводы испытаны в режиме принудительного охлаждения двухфазным гелием. Давление гелия на входе в токовводы 110 кПа. Для испытания токовводов в режиме охлаждения парами гелия с одного токоввода была снята нержавеющая труба (3) и установлены датчики температуры.



МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ

В режиме принудительного охлаждения токовводы испытаны согласно схеме охлаждения (рис.2). Токовводы в нижней части соединены вместе перемычкой, состоящей из медной трубки и сверхпроводника. Промежуточный сосуд емкостью 10 л сепарирует гелий и предотвращает колебания потока через токовводы. Изоляционный вакуум в криостате был 10^{-8} Па. Режим охлаждения парами гелия выполнен согласно схеме охлаждения (рис.3). Токовводы в нижней части соединены вместе перемычкой, состоящей из медной полосы и сверхпроводника, находящейся в жидком гелии. Уровень жидкого гелия измерялся уровнемером с точностью ± 1 мм. Погрешность измерения расхода через ротаметры 3%. Термометры T1—T8 закреплены вдоль токоввода внутри криостата, T — в воздухе. Термометры T1—T8 и их закрепление выполнены как в [1]. Статический теплоприток в холодную зону криостата измерен при стабильных температурах T—T8.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Некоторые результаты измерений представлены в таблице. Испытания проводились в более тяжелых условиях по сравнению с рабочими. Ток до 8 кА вводился за 4—5 с и выводился за 1—2 с, тогда как в рабочих условиях ток из магнитной системы должен только выводиться за короткое время. Наибольший скачок температуры наблюдался примерно в середине вставки из материала с низкой теплопроводностью между датчиками температуры

Таблица. Результаты испытаний токовводов

Уровень He, см	Температура, К									Статический теплоприток по токовводу в криостат, Вт
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T	
20	Циркуляционный режим охлаждения									0,80
	4,54	4,54	4,72	4,52	4,53	4,72			292,00	
	Режим охлаждения парами гелия									
20	Перед вводом тока									0,55
	5,50	4,87	6,10	8,70	26,00	50,50	55,00	110,00	292,00	
18	После вывода тока									
	4,60	4,92	5,25	5,45	7,60	26,00	31,00	81,00	292,00	
18	4,60	5,23	16,00	41,50	42,70	40,50	40,00	95,00		

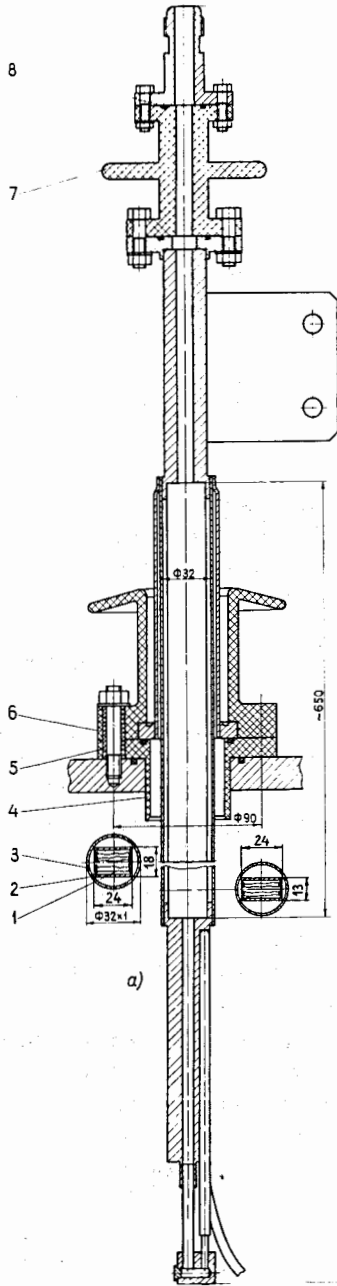


Рис.1. Токоввод: 1 — оплетка, 2 — комбинированная полоса, 3 — труба, 4—7 — изоляторы

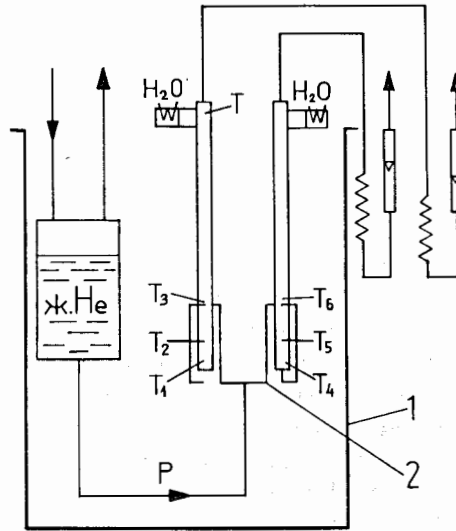


Рис.2. Схема экспериментальной установки в режиме принудительного охлаждения: 1 — криостат, 2 — сверхпроводящая перемычка, T—T8 — термометры, P — вакуум в криостате

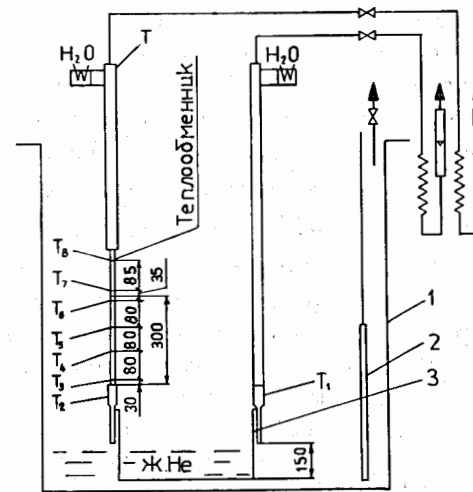


Рис.3. Схема экспериментальной установки в режиме охлаждения парами гелия: 1 — криостат, 2 — уровнемер жидкого гелия, 3 — сверхпроводящая перемычка, T—T8 — термометры

T4—T5. Перед введением тока на токовводе устанавливался расход гелия, соответствующий статическому теплопритоку (0,8 Вт). При введении тока сверхпроводник переключки сразу переходил в нормальное состояние, давление в криостате увеличивалось примерно вдвое, расход газа через токоввод увеличивался пропорционально. Токовводы стабильно работали в режиме охлаждения парами гелия с удельным теплопритоком 0,8 Вт/кА при токе 2,4 кА, что соответствует количеству меди (45—50 мм²) в нижней части токоввода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bartenev V.D., Shishov Yu.A. — Force-Cooled Current Leads for the Force-Cooled Superconducting Magnets of the Nuclotron. Cryogenics, 1991, 31, p.985.

Рукопись поступила в издательский отдел
9 февраля 1994 года.