

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ СССР
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЕ - ОУНК - 89-184

И Ф В Э

ОУНК 89-184

А.И.Агеев, Ю.Г.Божко, А.А.Золотов,
Е.М.Каштанов, С.С.Козуб, К.П.Мызников,
В.В.Сытник, А.В.Тарасов, Я.В.Шпакович

СТАТИЧЕСКИЙ ТЕПЛОПРИБЛИЖЕНИЕ В СП-ДИПОЛЕ УНК

Серпухов 1989

Аннотация

Агеев А.И. и др. Статический теплоприток в СП-диполе УНК: Препринт ИФВЭ 89-184. - Серпухов, 1989. - 8 с., 4 рис., 1 табл., библиогр.: 8.

Проведено исследование статического теплопритока и теплопритока по опорам к гелиевому сосуду СП-диполя УНК. Представлено описание методик, использованных для исследования этих теплопритоков. Измеренная величина статического теплопритока составила 5-6 Вт, из них по опорам - 1 Вт. Проведено сравнение полученных экспериментальных результатов с расчетными оценками, а также обсуждаются возможности дальнейшего снижения статического теплопритока к гелиевому сосуду магнита.

Abstract

Ageev et. al. Static Heat Load of the UNK SC Dipole: IHEP Preprint 89-184. - Serpukhov, 1989. - p. 8, figs. 4, table 1, refs.: 8.

The total heat load and the heat leak through the support to the helium vessel of the UNK SC dipole have been studied. The techniques applied to study these heat loads are presented. The measured value of the heat load is 5-6 W, 1 W falls at the supports. The experimental results obtained are compared with calculational estimates and feasibilities for a further reduction of a heat load to the helium vessel of the magnet are discussed.

Существенный вклад в тепловую нагрузку на криогенную систему ускорительно-накопительного комплекса (УНК) ИФВЭ/1/ вносит статический теплоприток в сверхпроводящих (СП) магнитах. Статический теплоприток к жидкому гелию обусловлен теплопритоками к гелиевому сосуду магнита через остаточный газ, тепловое излучение и по тепловым мостам. Предполагается, что остаточное давление в изоляционном пространстве магнита не будет превышать 10^{-4} Па, в этом случае теплоприток через остаточный газ пренебрежимо мал. Тепловой поток излучением к гелиевому сосуду определяется размером его поверхности и ее отражательной способностью, а также температурой поверхностей, излучающих на него энергию. В теплоприток по тепловым мостам основной вклад вносит система опор гелиевого сосуда. В данной работе приведено описание системы опор СП-диполя УНК и представлены результаты измерения статического теплопритока и теплопритока по опорам в этом магните. Проведено сравнение с результатами, полученными в конструкции с телым железом^{2/}.

КОНСТРУКЦИЯ МАГНИТА

Поперечное сечение СП-диполя УНК показано на рис.1. СП-обмотка, забандажированная воротниками из нержавеющей стали, расположена в железном яре, которое находится в гелиевом сосуде. Охлаждение магнита производится потоком однофазного жидкого гелия, часть которого проходит через обмотку, а другая через обводные каналы в железном яре, где охлаждается встречным потоком двухфазного гелия. Гелиевый сосуд диаметром 0,38 м, длиной 6 м, весом 4,7 Т с помощью системы опор крепится к вакуумному кожуху.

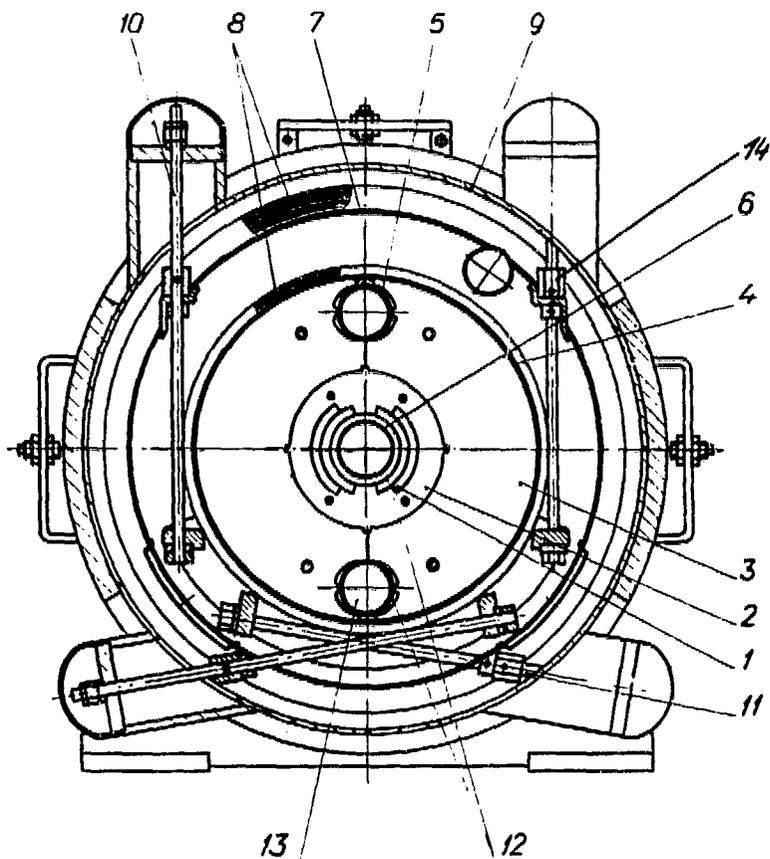


Рис. 1. Поперечное сечение СП-диполя УНК: 1 - обмотка; 2 - бандаж; 3 - железное ярмо; 4 - гелиевый сосуд; 5 - труба двухфазного гелия; 6 - ионопровод; 7 - азотный экран; 8 - многослойная экранно-вакуумная изоляция; 9 - вакуумный кожух; 10 - вертикальная подвеска; 11 - горизонтальная растяжка; 12 - однофазный гелий; 13 - двухфазный гелий; 14 - соединительная гайка.

Система опор гелиевого сосуда представлена на рис.2. Она состоит из четырех вертикальных подвесок и четырех горизонтальных растяжек, расположенных в двух сечениях по длине магнита, а также двух анкерных растяжек, фиксирующих середину гелиевого сосуда относительно вакуумного кожуха.

Подвеска изготовлена из двух шпилек диаметром 12 мм, длиной 190 и 312 мм, а горизонтальная растяжка - из двух шпилек диаметром 10 мм, длиной 175 и 322 мм. Между собой шпильки соединяются с помощью гайки 14 (рис.1), закрепленной на азотном экране.

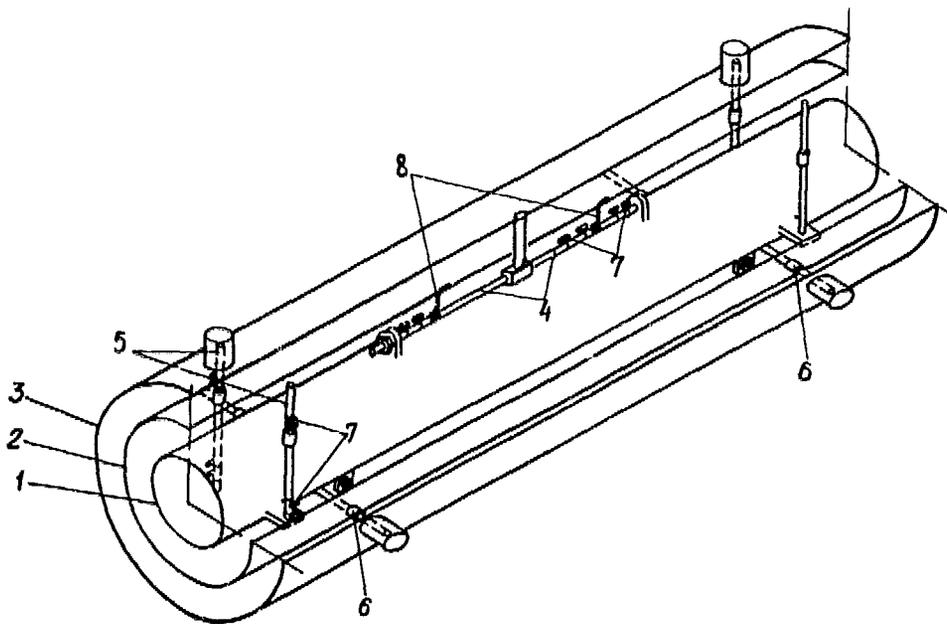


Рис. 2. Схема системы опор СП-диполя УНЧ: 1 - гелиевый сосуд; 2 - азотный экран; 3 - вакуумный кожух; 4 - анкерные растяжки; 5 - вертикальные подвески; 6 - горизонтальные растяжки; 7 - термометры для измерения теплопритока; 8 - гибкие тепловые связи с азотным экраном.

Более короткая шпилька находится между вакуумным кожухом и азотным экраном, длинная - между азотным экраном и гелиевым сосудом. Конструкция подвесок и растяжек, состоящих из двух частей, позволяет значительно упростить сборку криостата. Анкерная растяжка изготовлена в виде шпильки диаметром 12 мм и длиной 500 мм, которая крепится одним концом к вакуумному кожуху, другим - к гелиевому сосуду. На расстоянии 160 мм от места крепления к вакуумному кожуху анкерные растяжки имеют тепловую связь с азотным экраном.

Подвески и растяжки изготовлены из титанового сплава ВТ5-1. Выбор этого сплава для силовых элементов системы опор объясняется его значительной прочностью^{3/} и сравнительно невысокой теплопроводностью при низких температурах.

Для снижения теплопритока излучением используется азотный экран, закрепленный на вертикальных подвесках, и многослойная

экранный-вакуумная изоляция, накладываемая на азотный экран и гелиевый сосуд. Исследование СП-диполя проводилось на циркуляционном стенде^{4/} и включало в себя измерения статического теплопритока к гелиевому сосуду и теплопритока по системе опор.

СТАТИЧЕСКИЙ ТЕПЛОПРИТОК К ГЕЛИЕВОМУ СОСУДУ

Схема измерения статического теплопритока показана на рис.3. Величину статического теплопритока при известных параметрах потока переохлажденного гелия на входе и выходе измерительного участка можно определить с помощью выражения

$$Q_c = G(H' - H''), \quad (1)$$

где G - расход гелия, H' и H'' - энтальпии потока соответственно на входе и выходе измерительного участка. Параметры прямого потока на входе и выходе (точки 1,2) и обратного потока на выходе (точка 3) из гелиевого сосуда определялись с помощью датчиков температуры и давления. В качестве датчиков температуры использовались резисторы ТВО-0,125^{5/}. Перед установкой в магнит была проведена проверка градуировки резисторов, по которой были отобраны пары датчиков, имеющие минимальное расхождение показаний между собой. В качестве датчиков давления использовались преобразователи типа "Сапфир", определение расхода жидкого гелия осуществлялось с помощью сопла Вентури.

В процессе эксперимента вентиль В1 был открыт, В2 - закрыт (см. рис.3), при этом определялась разность энтальпий в точках 1 и 2. Измеренная величина статического теплопритока составила 10 Вт. Чтобы выделить из этой величины теплоприток излучением с азотных экранов боксов стенда, перед торцами гелиевого сосуда были установлены экраны, имеющие гелиевую температуру. Это соответствует условиям теплопередачи в цепочке магнитов УНК, где СП-диполи образуют регулярную структуру и их гелиевые сосуды обращены друг к другу торцами. После установки этих экранов статический теплоприток снизился до 5 Вт. Для анализа измеренной величины статического теплопритока необходимо выделить из него теплоприток по системе опор.

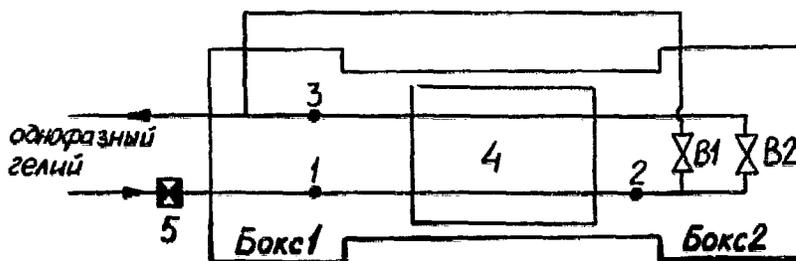


Рис. 3. Схема измерения статического теплопритока: 1,2,3 - точки измерения параметров потока гелия; 4 - гелиевый сосуд СП-диполя; 5 - сопло Вентури.

ТЕПЛОПРИТОК ПО СИСТЕМЕ ОПОР

Для измерения этого теплопритока на двух вертикальных подвесках и анкерных растяжках были установлены резисторы ТВО-0,125, с помощью которых определялись температуры T_1 и T_2 в двух точках подвески и растяжки между гелиевым сосудом и азотным экраном и в двух точках между азотным экраном и вакуумным кожухом (см. рис.2). Теплоприток по подвеске (растяжке) определялся с помощью выражения

$$q_0 = \bar{\lambda}(T_2 - T_1)F/L, \quad (2)$$

где $\bar{\lambda}$ - среднеинтегральный коэффициент теплопроводности в температурном интервале $T_2 - T_1$, F - поперечное сечение подвески (растяжки), L - расстояние между термометрами. Термометры располагались возможно ближе к гелиевому сосуду и азотному экрану, чтобы полностью учесть влияние теплообмена излучением между подвеской (растяжкой) и окружающими поверхностями.

Вычисление $\bar{\lambda}$ проводилось на основе результатов измерения теплопроводности титанового сплава ВТ5-1, представленных на рис.4. Эти измерения были проведены на установке^{6/} методом продольного осевого потока. Для сравнения здесь же приведена теплопроводность некоторых других конструкционных материалов^{7/}.

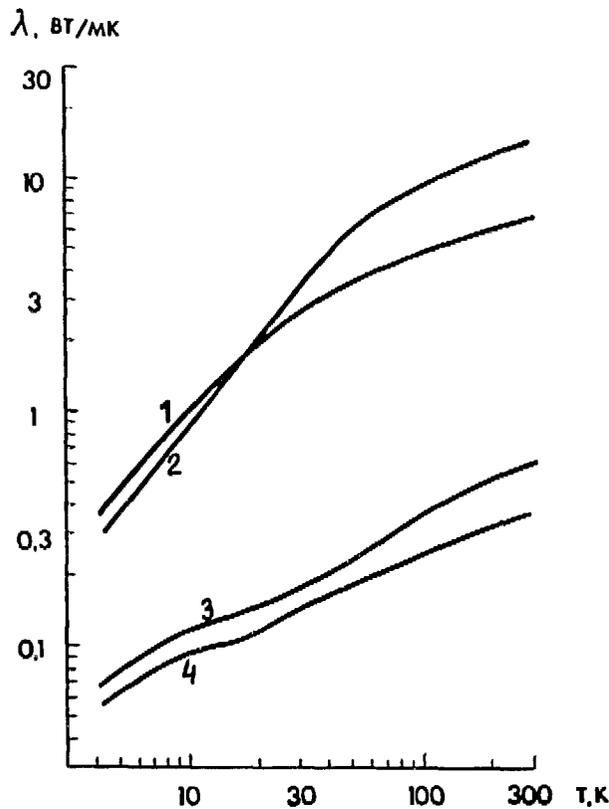


Рис. 4. Зависимость коэффициента теплопроводности конструкционных материалов от температуры: 1 - титановый сплав BT5-I; 2 - нержавеющая сталь X18Ni10T; 3 - однонаправленный стекловолокнит 27-63С вдоль волокон; 4 - стеклотекстолит СТЭФ-НТ в направлении, перпендикулярном слоям.

Результаты измерения и расчета теплопритока к гелиевому сосуду и азотному экрану по подвескам и растяжкам представлены в таблице. Для подвесок измеренные величины теплопритоков хорошо согласуются между собой и с расчетными значениями. Следует отметить, что после окончания захлаживания СП-обмотки температурное поле подвесок практически не изменялось во времени.

Температурное поле анкерных растяжек между азотным экраном и гелиевым сосудом устанавливалось очень медленно. Это было вызвано ухудшением контакта анкерных растяжек с гелиевым сосудом из-за большего сокращения сосуда, чем растяжек, в процессе захлаживания СП-обмотки. Вследствие этого измеренные величины теплопритока по анкерным растяжкам к гелиевому сосуду оказались ниже

расчетных и отличались между собой. Температурное поле анкерной растяжки между вакуумным кожухом и азотным экраном после окончания захлаживания обмотки практически не изменялось во времени. Измеренная величина теплопритока по растяжке к азотному экрану оказалась ниже расчетной вследствие теплообмена излучением этого участка анкерной растяжки с азотным экраном. Измерение теплопритока по горизонтальной растяжке не производилось, однако с учетом аналогичности конструкций этой растяжки и подвески следует ожидать для нее хорошего совпадения расчетных и экспериментальных результатов.

Таблица. Теплоприток по системе опор СП-диполя УНК

Элемент системы опор	Элемент криостата, воспринимающий теплоприток	Расчетный теплоприток, Вт	Номер подвески, растяжки	Длина измерительного участка, мм	Перепад температур на измерительном участке, К	Измеренный теплоприток, Вт
Вертикальная подвеска	гелиевый сосуд	0,080	1	40	12,6	0,087
			2	50	15,9	0,092
	азотный экран	0,900	1	15	31,5	1,000
			2	15	31,0	1,010
Анкерная растяжка	гелиевый сосуд	0,100	1	121	8,2	0,083
			2	120	1,6	0,023
	азотный экран	1,300	1	40	10,6	0,530
Горизонтальная растяжка	гелиевый сосуд	0,065				
	азотный экран	0,700				

Суммарная величина теплопритока к гелиевому сосуду по системе опор составила 1 Вт, к азотному экрану - 12 Вт, что совпадает с расчетными значениями. Анализ полученных результатов показывает, что для дальнейшего снижения статического теплопритока в СП-диполе УНК необходимо уменьшать тепловой поток излучением путем повышения отражательной способности внешней поверхности многослойной изоляции гелиевого сосуда и за счет более эффективного охлаждения участков азотного экрана, расположенных между СП-диполями.

Полученные результаты позволяют уточнить величину статического теплопритока в СП-диполе с теплым железом. При исследовании этого магнита теплоприток $Q_c = 12 \text{ Вт}^{1/2}$ был получен без

экранов перед торцами гелиевого сосуда. Если исключить влияние теплового излучения боксов стенда, статический теплоприток снизится до 7 Вт. С другой стороны, теплоприток по опорам к гелиевому сосуду этого магнита составляет 4 Вт^{8/}. Тогда с учетом примерно одинаковой конфигурации гелиевых сосудов и, следовательно, равенства теплоприточков к ним излучением в диполях с холодным и теплым железом статический теплоприток в последнем не должен превышать 8 Вт.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что статический теплоприток к гелиевому сосуду в СП-диполе УНК составляет 5 Вт, из них 1 Вт по системе опор. Тепловая нагрузка к жидкому гелию, обусловленная статическими теплопритоками в СП-магнитах второй и третьей ступеней УНК, составит 26 кВт, что не превышает половины от общей мощности криогенной системы ускорителя. Таким образом, выбранная конструкция СП-диполя УНК обеспечивает приемлемую величину тепловой нагрузки на криогенную систему УНК.

Список литературы

1. Valbekov V.I. et al. // Proc. of XII Intern. Conf. on High Energy Accel. - Batavia. 1983. P. 40.
2. Агеев А.И. и др. // Труды XIII Международной конференции по ускорителям высоких энергий. - Новосибирск, 1987, Т. 2. С. 38; Proc. of 1986 ICFA Workshop on Superconducting Magnets and Cryogenics. - Brookhaven. 1986. P. 13.
3. Справочник по физико-техническим основам криогеники/ Под ред. М.П.Малкова. - М.: Энергоатомиздат, 1985, с. 236.
4. Ageev A.I. et al. // Proc. of the 10-th Intern. Cryogenic
5. Дацков В.И. - Препринт ОИЯИ 8-83-717, Дубна, 1983.
6. Козуб С.С., Эшер У. - Препринт ИФВЭ 80-43, Серпухов, 1980.
7. Козуб С.С., Шпакович Я.В. // ИФЖ. 1988. Т. 54. № 5. С. 852.
8. Козуб С.С., Шпакович Я.В. - Препринт ИФВЭ 89-24, Серпухов, 1989.

Рукопись поступила 1 июня 1989 г.

А.И.Агеев и др.

Статический теплоприток в СП-диполе УНК.

Редактор М.Л.Фоломешкина. Технический редактор Л.П.Тимкина.
Корректор Л.Ф.Васильева.

Подписано к печати 10.08.89. Т-11037. Формат 60x90/16.
Офсетная печать. Печ.л. 0,50. Уч.-изд.л. 0,69. Тираж 250.
Заказ 651. Индекс 3649. Цена 10 коп.

Институт физики высоких энергий, 142284, Серпухов
Московской обл.

10 коп.

Индекс 3649.

IFVE

П Р Е П Р И Н Т 89-184, И Ф В Э, 1989
