

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

3005/82

28/11-82

8-82-169

Е.И.Дьячков, А.Г.Зельдович, А.А.Смирнов,
Г.Г.Ходжибагиян

КРИОСТАТИРОВАНИЕ
ИМПУЛЬСНЫХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ МАГНИТОВ
С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ПИТАНИЕМ ОБМОТОК
ДВУХФАЗНЫМ ГЕЛИЕМ

1982

ВВЕДЕНИЕ

Одним из перспективных вариантов криостатирования магнитов сверхпроводящих синхротронов является принудительная циркуляция парожидкостного потока гелия по каналам между слоями обмотки или внутри трубчатого сверхпроводника. Преимущества двухфазного /парожидкостного/ криоагента перед однофазным /жидким/ проявляются в следующем:

а/ при одинаковой максимальной температуре обмотки энтальпия и соответственно температура криоагента на входе в объект в случае однофазного гелия должна быть ниже, чем в случае двухфазного;

б/ массовый расход криоагента, прокачиваемого через объект с фиксированным тепловыделением, в случае однофазного гелия больше, чем в случае двухфазного; причем эта разница тем больше, чем больше допустимое паросодержание в двухфазном потоке, и при допустимом паросодержании $x=1$ массовые расходы могут отличаться более чем в 10 раз;

в/ в случае криостатирования потоком двухфазного гелия существенно выше устойчивость обмоток к сохранению сверхпроводимости при воздействии на них импульсных тепловых нагрузок большой мощности^{1/}, например, из-за радиационного разогрева обмоток.

Однако использование в качестве криоагента потока двухфазного гелия сдерживается тем, что существующий экспериментальный материал по изучению гидродинамики парожидкостного потока гелия еще недостаточен для того, чтобы указать область допустимых значений параметров потока /паросодержание, удельный расход, недогрев на входе, импульсная тепловая нагрузка и т.д./, обеспечивающих надежное криостатирование.

Поэтому в настоящее время имеется лишь небольшое число сверхпроводящих магнитов, охлаждаемых принудительной циркуляцией двухфазного гелия^{2,3,4/}.

Исследования двухфазных течений, проведенные на кипящей воде и водовоздушных смесях, указывают на следующие опасные явления, возможные в случае охлаждения парожидкостным потоком^{5/}:

а/ наличие кризисов кипения I и II рода, связанных с переходом от пузырькового режима кипения к пленочному и "высыханием" струек жидкости на стенках греющего канала;

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ЦЕНТР
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

БИБЛИОТЕКА

б/ переход от одного режима течения смеси к другому, например, появление расслоенного режима, при котором нижняя часть канала омывается жидкостью, а верхняя - паром. Условия охлаждения верхней части канала резко ухудшаются;

в/ неустойчивость двухфазного течения.

Некоторые из перечисленных явлений наблюдались в парожидкостном потоке гелия. Так, авторы работы^{/6/} наблюдали расслоенный режим течения двухфазного гелия, а в^{/7/} упоминается об эффекте, проявляющемся в вертикальной трубе с чередующимися восходящими и нисходящими течениями парожидкостной смеси гелия, который заключается в прерывистом течении жидкости и газа и сопровождается колебаниями перепада давления.

Однако для гелия отношение плотностей жидкой и газообразной фаз ρ'/ρ'' имеет значение всего около 7, кроме того /и это главное/, плотность теплового потока в охлаждающих каналах магнитов для синхротронов не превышает величины 0,01-0,02 Вт/см².

Поэтому опасения, указанные в пунктах а/ и б/, для парожидкостного потока гелия, видимо, несущественны, а неустойчивость двухфазного течения должна быть выражена слабее, чем для пароводяных смесей.

Возможным типом неустойчивости двухфазного течения в случае криостатирования сверхпроводящих магнитов является неустойчивость потока в параллельных каналах.

Из опытов на кипящей воде и водовоздушных смесях различают аperiodическую и периодическую неустойчивость в параллельных каналах^{/5/}. В случае аperiodической неустойчивости происходит быстрое необратимое изменение расхода в одном или нескольких параллельных каналах, обусловленное неоднозначностью гидродинамической характеристики канала /наличием в зависимости потеря давления от массового расхода участка с отрицательным наклоном^{/5/}/.

В^{/8/} утверждается, что для двухфазного гелия такая неоднозначность не реализуется. Однако этот вывод сделан для случая гомогенной модели двухфазного течения и равномерного по длине канала теплового потока и требует экспериментальной проверки.

Периодическая неустойчивость возникает при определенных комбинациях геометрии канала, давления, тепловой нагрузки, расхода двухфазной смеси, энтальпии на входе в канал и проявляется в виде устойчивых колебаний расхода пароводяной смеси^{/9,10/}. Наличие подобных колебаний в потоке двухфазного гелия может привести к механической вибрации элементов схемы /в том числе и к крайне нежелательной вибрации магнитов/, потребовать регулирования системы, оказать влияние на местные характеристики теплообмена.

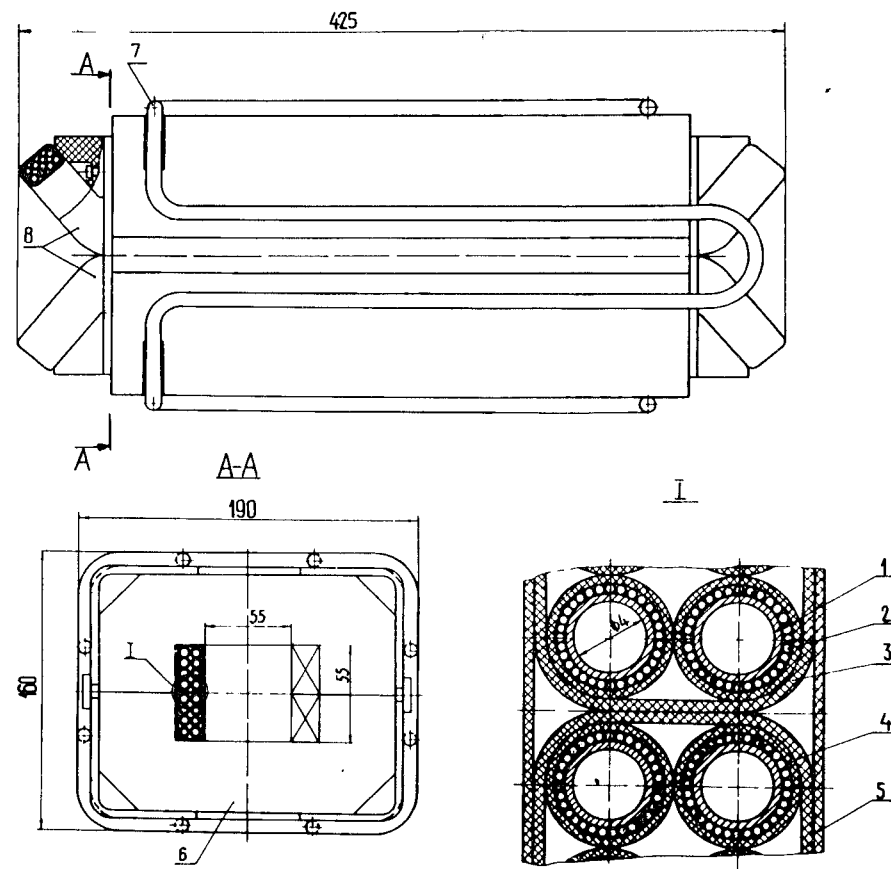


Рис. 1. Магнит: 1 - трубка кабеля; 2 - сверхпроводящий провод; 3 - бандаж из стеклоленты; 4 - витковая изоляция; 5 - проставка из текстолита; 6 - полуядро; 7 - змеевик для охлаждения ярма; 8 - полуобмотки.

Целью настоящей работы является экспериментальная проверка возможности надежного криостатирования двухфазным гелием магнитов сверхпроводящего синхротрона, выполненных по типу "оконная рама" с обмоткой из трубчатого сверхпроводника^{/4/}. Выбор двухфазного криоагента потребует параллельного питания гелием магнитов ускорителя. При этом необходимо определить максимально допустимое паросодержание на выходе из параллельных каналов и допустимый разброс в гидравлических сопротивлениях параллельных ветвей. Кроме того, необходимо выяснить, проявля-

ется ли и как влияет на работу магнитов неустойчивость двухфазного течения. С этой целью обмотка магнита ^{/4/} /рис.1/ была разделена на две симметричные части с параллельным питанием двухфазным гелием.

СХЕМА УСТАНОВКИ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Принципиальная схема криостатирования магнита приведена на рис.2. Жидкий гелий из рефрижератора ^{/11/} поступает в коллектор К. Из коллектора поток подается в полуобмотки А и Б магнита. Проходя каналы полуобмоток, гелий из недогретого состояния переходит в двухфазное. После полуобмотки А поток поступает на охлаждение тоководов Т, затем - в блок для измерения объемного расхода Р и далее направляется в компрессор. Поток после полуобмотки Б идет на охлаждение "холодных" концов тоководов и возвращается в рефрижератор. Вентили В1 и В2 служат для имитации местных сопротивлений в полуобмотках. Вентили В3 и В4 предназначены для поддержания постоянным давления в точке 3 на выходе потока из ветви А параллельного канала /канал А включает в себя вентиль В1/ и равным давлением на выходе из ветви Б /точка 4/. При этом точки 3 и 4 имитируют коллектор на выходе из полуобмоток. Из точек 1,2,3,4,5 выведены импульсные трубки для измерения давления в потоке. В точках 1,5,6 установлены угольные термометры сопротивления. Нагреватель Н1 позволяет

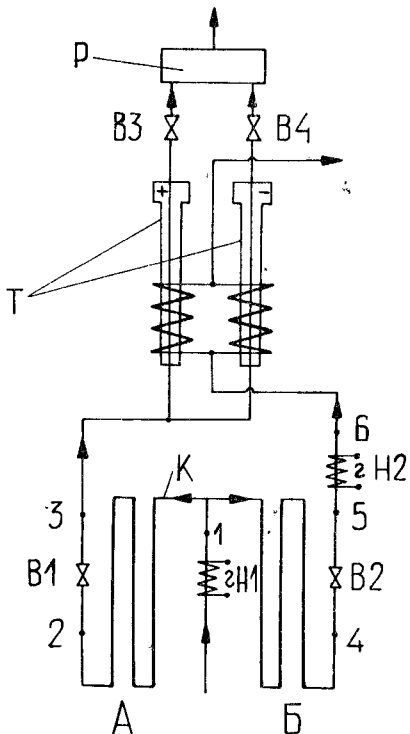


Рис.2. Схема криостатирования магнита: А,Б - полуобмотки; К - коллектор; Т - тоководы; Р - блок для измерения объемного расхода гелия; В1, В2, В3, В4 - вентили; Н1, Н2 - электронагреватели; 1,2,3,4,5 - точки вывода импульсных трубок для измерения давления; 1,5,6 - места установки угольных термометров сопротивления.

изменять энтальпию недогретой жидкости на входе в магнит, а нагреватель Н2 необходим для определения тепловыделения в полуобмотке. Суммарный расход жидкого гелия, подаваемого в полуобмотки, измеряется с помощью мерного бака ^{/12/}. Расход гелия в полуобмотке А измеряется с помощью газового счетчика РГ-40, установленного в блоке Р, а расход гелия в полуобмотке Б определяется из уравнения материального баланса. Тепловыделение в полуобмотке А принимается равным тепловыделению в полуобмотке Б и определяется из уравнения баланса энергии между точками 1 и 6. Давления измеряются с помощью манометров точных измерений с классом точности 0,6 и ценой деления 0,005 кгс/см².

Магнит испытывался в вертикальном положении. Возбуждение обмотки осуществлялось непрерывными импульсами тока треугольной формы с амплитудой 6,5 кА, что составляет 90% от критического значения. Давление недогретой жидкости на входе в полуобмотки поддерживалось на уровне $0,052 \pm 0,053$ МПа, температура - на уровне 4,45 К. Перепад давления между точками 1, 3 и 1, 4 поддерживался равным 0,02 МПа. Положение вентиля В1 было установлено в начале эксперимента и в процессе испытаний не изменялось. При работе магнита в импульсном режиме с различной длительностью импульса, а, следовательно, и тепловыделением проводилось измерение расходов по полуобмоткам. Длительность импульса уменьшалась с 2 до 1,3 с. При этом тепловыделение в магните увеличивалось с 10 до 20 Вт. Перераспределения расходов в полуобмотках не произошло. Расход в полуобмотке А составлял 0,72 г/с, а в полуобмотке Б - 1,3 г/с. Перепад давления на вентиле В1 равнялся 0,01 МПа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создан магнит с параллельным питанием его полуобмоток двухфазным гелием. Получены результаты, показывающие принципиальную возможность криостатирования магнитов типа "оконная рама" с обмоткой из трубчатого сверхпроводника с параллельным питанием двухфазным гелием. Массовое паросодержание на выходе из параллельного канала в эксперименте было доведено до 0,7, а недогрев потока на входе - до 0,2 К. Гидравлические сопротивления каналов отличались в 2 раза.

Предполагаются дальнейшие испытания магнита с целью определения максимально допустимого паросодержания на выходе из параллельных каналов и границ устойчивого криостатирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов Д.П. и др. Вопросы атомной науки и техники, 1979, серия Термоядерный синтез, вып. 2/4/, с. 123.

2. Ivanov D.P. et al. IEEE, Trans. on Magn., 1978, vol. MAG-15, No. 1. p.550.
3. Morpurgo M. Cryogenics, 1979, vol. 19, No. 7, p. 411.
4. Agarov N.N. et al. Cryogenics, 1980, vol.20, No.6, p.345; Агапов Н.Н. и др. ПТЭ, 1981, №2, с. 196.
5. Тонг Л. Теплопередача при кипении и двухфазное течение. "Мир", М., 1969.
6. Мамедов И.С., Филиппов Ю.П. ОИЯИ, Р8-81-40, Дубна, 1981.
7. Claudet G. IEEE Trans. on Magn., 1981, vol. MAG-17, No.5, p. 1749.
8. Агеев А.И. и др. ОИЯИ, 8-81-254, Дубна, 1981.
9. Quandt E. Chem. Eng. Progr., Symp. Ser., 57, No.32, 1961, p.111.
10. Meyer J.E., Rose R.P. Trans. of ASME, 1963, Series C, J. Heat Transfer, vol. 85, No. 1, p. 3.
11. Агапов Н.Н. и др. В сб.: Химическое и нефтяное машиностроение. ЦИНТИхимнефтемаш, М., 1976, №2, с. 32.
12. Агапов Н.Н. и др. ОИЯИ, Р8-12444, Дубна, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел
3 марта 1982 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги,
если они не были заказаны ранее.

Д1,2-9224	IV Международный семинар по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1975.	3 р. 60 к.
Д-9920	Труды Международной конференции по избранным вопросам структуры ядра. Дубна, 1976.	3 р. 50 к.
Д9-10500	Труды II Симпозиума по коллективным методам ускорения. Дубна, 1976.	2 р. 50 к.
Д2-10533	Труды X Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Баку, 1976.	3 р. 50 к.
Д13-11182	Труды IX Международного симпозиума по ядерной электронике. Варна, 1977.	5 р. 00 к.
Д17-11490	Труды Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1977.	6 р. 00 к.
Д6-11574	Сборник аннотаций XV совещания по ядерной спектроскопии и теории ядра. Дубна, 1978.	2 р. 50 к.
Д3-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
Д13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
Д1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
Д1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
Д11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
Д4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
Д4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
Д2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
Д10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Дьячков Е.И. и др. Криостатирование импульсных сверхпроводящих магнитов с параллельным питанием обмоток двухфазным гелием 8-82-169

Обсуждается перспективный вариант криостатирования магнитов сверхпроводящих синхротронов - принудительная циркуляция парожидкостного потока гелия по каналам между слоями обмотки или внутри трубчатого сверхпроводника. С целью определения максимально допустимого паросодержания на выходе из параллельных каналов, допустимого разброса в гидравлических сопротивлениях параллельных ветвей, а также выяснения наличия и влияния на работу магнитов неустойчивости течения парожидкостного потока гелия создан магнит с параллельным питанием его полуобмоток двухфазным гелием. Получены результаты, показывающие принципиальную возможность криостатирования магнитов типа "оконная рама" с обмоткой из трубчатого сверхпроводника с параллельным питанием двухфазным гелием. Массовое паросодержание на выходе из параллельного канала в эксперименте было доведено до 0,7, а недогрев потока на входе - до 0,2 К. Гидравлические сопротивления каналов отличались в 2 раза.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Dyachkov E.I. et al. Refrigeration of Pulsed Superconducting Magnets with A Coil Parallel Feeding by Two-Phase Helium 8-82-169

A forced circulation of helium liquid flux in coil channels or inside a hollow composite superconductor - a promising way of refrigerating magnets for superconducting synchrotrons is discussed. In order to determine maximum permissible vapour quality at the outlet from parallel channels, a permissible difference of hydraulic impedances for parallel circuits and study of instabilities in the two-phase helium flow, a magnet with parallel feeding of its half-coils of two-phase helium has been created. It is shown that the refrigeration of "window frame" type magnets with a hollow composite superconductor and parallel feeding of two-phase helium is possible. Vapour quality at the outlet from parallel channel was reduced upto 0.7 and entry liquid subcooling-upto 0.2 K. Hydraulic impedances for channels differed by twice.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.