

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



7018

Эль. чит. зала

8 - 7018

А.Г.Зельдович, Ю.А.Шишов

ТЕРМОСТАТИРОВАНИЕ  
СВЕРХПРОВОДЯЩИХ МАГНИТОВ  
С ВНУТРЕННЕЙ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ  
БЕЗ ПОДВОДА ГЕЛИЯ К ОБМОТКЕ

**1973**

**ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ**

8 - 7018

А.Г.Зельдович, Ю.А.Шишов

ТЕРМОСТАТИРОВАНИЕ  
СВЕРХПРОВОДЯЩИХ МАГНИТОВ  
С ВНУТРЕННЕЙ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ  
БЕЗ ПОДВОДА ГЕЛИЯ К ОБМОТКЕ

Научно-техническая  
библиотека  
ОИЯИ

1. Термостатирование сверхпроводящей обмотки необходимо для защиты ее от внешних теплопритоков и с целью удаления тепла, выделяющегося в самой обмотке. Внутреннее тепловыделение может быть вызвано наличием в обмотке несверхпроводящих участков, например, контактных соединений и гистерезисными потерями, возникающими при изменении магнитного поля /намагничивание сверхпроводника/.

Наиболее распространенный способ термостатирования сверхпроводящих обмоток связан с их погружением в жидкий гелий. Иногда обмотки термостатируются холодным газообразным гелием. Обмотка может быть пористой или монолитной. В последнем случае теплосъем осуществляется только с поверхности обмотки. Таким образом, в существующих системах обмотка соприкасается с хладагентом непосредственно.

Появление сверхпроводников с внутренней стабилизацией создает новые возможности для конструирования систем термостатирования. Это обусловлено двумя причинами. Во-первых, в проводниках с внутренней стабилизацией отсутствуют скачки магнитного потока, вызывающие значительный местный нагрев обмотки. Во-вторых, благодаря уменьшению диаметра сверхпроводящих нитей до нескольких мкм, свиванию нитей и выбору соответствующей матрицы гистерезисные тепловыделения резко снижаются.

Таким образом, через обмотку магнита постоянного тока, обладающего внутренней стабилизацией, не проходят большие тепловые потоки, и поэтому нет нужды в коротких путях от источника тепла к хладагенту. Такие обмотки можно располагать вне ванны с жидким гелием, если обеспечить между обмоткой и ванной тепловую связь.

Рассмотрим вариант системы термостатирования, состоящей из соленоида и небольшой гелиевой ванны, которые находятся рядом в изоляционном вакууме криостата. Внешние теплопритоки, в том числе по подвескам и токовым вводам, снимаются с помощью ванны. Обмотка соединена с ванной тепловым мостом, конструктивное исполнение которого может быть различным - механическое /например, болтовое/ соединение, пайка или склеивание.

Обсудим достоинства предлагаемой системы термостатирования.

1. Объем ванны определяется не размерами обмотки, а величиной необходимого запаса гелия, который может быть сделан минимальным.

2. Конструктивные особенности ванны не зависят от конфигурации обмотки, которая в некоторых случаях весьма сложна. Иногда, например, осуществляют трубчатые проходы через обмотку и, соответственно, ванну.

3. Ванна герметизируется только при изготовлении. Доступ к обмотке для ее ремонта, наладки или замены максимально облегчен. В случае же размещения обмотки в ванне необходимо либо снабжать ванну разборным уплотнением, к которому предъявляются высокие требования, либо при разработке срезать сварные швы.

4. Можно подобрать такое термическое сопротивление тепловых мостов, при котором переход обмотки в нормальное состояние приводит к сравнительно медленному испарению гелия, что позволяет закачать его в ресивер с помощью компрессоров. Проходные сечения трубопроводов и предохранительных клапанов уменьшаются, и система в целом становится более безопасной. Кроме того, ванну небольшого размера и простой формы легко сделать достаточно прочной. Уменьшение аварий-

ного давления и произведения этого давления на объем сосуда позволяют снизить требования к его изготовлению.

5. Гелий, особенно при комнатной температуре, является плохим электрическим изолятором. Поэтому обмотка, расположенная в вакууме, и ее электрические вводы обладают значительно большей электрической прочностью.

II. Для исследования работы соленоида в вакууме навита обмотка из кабеля марки НТ-50 /см. таблицу 1/.

Таблица 1

Параметры металлургического кабеля и соленоида

№№ п/п	Наименование параметра	Величина параметра
1.	Диаметр кабеля без изоляции	0,5 мм
2.	Материал сверхпроводника	ниобий-титан
3.	Материал матрицы	медь
4.	Количество нитей сверхпроводника	19
5.	Диаметр нити	≈ 65 мкм
6.	Шаг скрутки нитей	30 мм
7.	Внутренний диаметр обмотки	44 мм
8.	Наружный диаметр обмотки	96 мм
9.	Длина обмотки	74 мм
10.	Критическое поле в центре соленоида	30 кэ
11.	Критический ток соленоида в вакууме	85 а
12.	Критический ток соленоида в жидком гелии	85 а
13.	Обмотка не пропитана	

Для предотвращения движения внешних витков намотан бандаж из проволоки диаметром 1 мм. Кабель обмотан двумя слоями лавсанового волокна, межслоевая изоляция выполнена лавсановой пленкой толщиной 30 мкм. Теплопроводность такой обмотки в вакууме низка, что замедляет предварительное охлаждение соленоида. Однако в лабораторной практике выгодно применять соленоиды без пропитки, т.к. проводник может быть использован многократно в различных магнитах даже после частичного разрушения; поэтому была полезна проверка работоспособности такой обмотки.

Соленоид испытан на установке, изображенной на рис. 1. В криостат 1 с азотным экраном 2 помещена ванна 3, наполненная жидким гелием. К ванне припаяна медная обечайка 4, к днищу которой привинчен соленоид 5. Токовые вводы 6 выполнены из медных трубок. Нижняя часть трубок соединена пайкой с медным шнуром, шунтируемым по всей длине сверхпроводящим кабелем. Шнур пропущен через трубку 7 в ванне 3; для обеспечения тепловой связи шнура и ванны внутреннее пространство трубки 7 залито парафином. Гелий, испарившийся в ванне, поступает в трубки токовводов через разборные уплотнения 8, обеспечивающие одновременно электрическую изоляцию токовводов от ванны.

Перед охлаждением пространство по обе стороны обечайки 4 откачивается форвакуумным насосом /в обечайке имеются жалюзи/, после заливки гелия в ванну устанавливается высокий вакуум. Опасения, что непровитанная обмотка будет ухудшать вакуум, не оправдались, так как при гелиевой температуре все загрязнения имеют весьма низкое парциальное давление.

Величина критического тока соленоида /см. таблицу 1/ не отличалась от значения, полученного при испытании в жидком гелии. После перевода соленоида в нормальное состояние требовалось несколько минут для его полного охлаждения.

### Выводы

1. Рассмотрен способ термостатирования сверхпроводящих соленоидов, находящихся в вакууме, путем контактирования их на ванну с жидким гелием и показаны преимущества этого способа.

2. Создана установка для проверки способа и экспериментально доказана возможность работы соленоида из внутренне стабилизированного проводника в вакууме.

3. Величина критического тока соленоида не отличается от значения, полученного при испытании в жидком гелии.

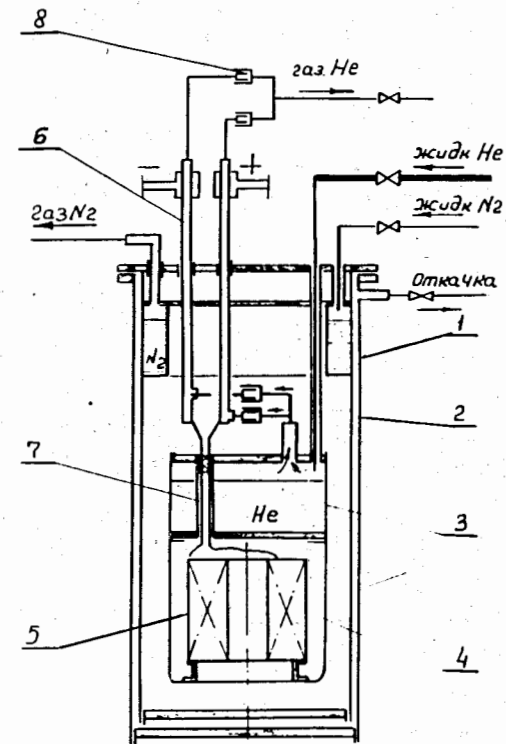


Схема установки для исследования работы соленоида в вакууме. 1 - кожух криостата; 2 - азотный бак и экран; 3 - ванна с жидким гелием; 4 - медная обечайка; 5 - соленоид; 6 - токовые вводы; 7 - трубка, в которой осуществлен тепловой контакт токовых вводов и ванны; 8 - уплотнение гелиевого потока при входе и выходе из токовых вводов.