

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

SV8104051

И Ф В Э 81-58

ОУНК

Л.С.Ширшов, Г.Эндерлейн

ТОКОВОДЫ ДО 1 КА ДЛЯ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ СОЛЕНОИДОВ,
РАБОТАЮЩИХ В ТРАНСПОРТНОМ СОСУДЕ ДЬЮАРА

Серпухов 1981

Л.С.Ширшов, Г.Эндерлейн^{*})

ТОКОВОДЫ ДО 1 кА ДЛЯ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ СОЛЕНОИДОВ,
РАБОТАЮЩИХ В ТРАНСПОРТНОМ СОСУДЕ ДЬЮАРА

Направлено в ПТЭ

^{*})Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Аннотация

Ширшов Л.С., Эндерлейн Г.

Токовводы до 1 кА для сверхпроводящих соленоидов, работающих в транспортном сосуде Дьюара. Серпухов, 1981.

8 стр. с рис. (ИФВЭ ОУНК 81-58).

Библиогр. 5.

Описана простая конструкция штока для ввода токов до 1 кА в транспортный гелиевый дьюар с диаметром горловины 22 мм. Исследованы характеристики токовводов при различных режимах работы. Приведены примеры применения импульсных сверхпроводящих соленоидов; позволяющих получать в дьюаре магнитное поле до 3,3 Т с однородностью 1% на длине 90 мм.

Abstract

Shirshov L.S., Enderlein G.

Current Leads of Superconducting Solenoids Inserted in the Transportable Dewar for Currents up to 1 kA. Serpukhov, 1981.

p. 8. (ИНЕР 81-58).

Refs. 5.

A simple design of the device to charge a transportable helium dewar with 22 mm neck diameter up to 1 kA is described. The lead characteristics have been studied at various conditions. Examples of pulse superconducting solenoid usage, permitting to achieve the magnetic field up to 3,3 T are given. The 1% field homogeneity has been obtained within 90 mm.

Многие исследования при температуре 4,2 К можно проводить в транспортном гелиевом дьюаре, что позволяет существенно снизить потери жидкого гелия и сократить время на подготовку эксперимента по сравнению с работой в криостате. Ограничение на работу в дьюаре определяется габаритами устройства и мощностью, выделяемой в жидком гелии. В литературе описаны примеры работы в дьюаре ^{/1/}, в частности, применение сверхпроводящего соленоида с критическим током 33 А ^{/2/}.

В настоящей работе описывается штوك с токовводами, позволяющими ввести в транспортный сосуд токи до 1 кА и сверхпроводящие соленоиды, создающие магнитное поле до 3,3 Т, что существенно расширяет область возможных исследований в дьюаре. Данное устройство позволило с минимальными затратами подготовить аппаратуру для измерения динамических потерь в сверхпроводящем диполе ^{/3/}, а также изучить характеристики многожильного сверхпроводника и измерить магнитную проницаемость образцов нержавеющей стали.

Внешний вид устройства показан на рис. 1. Исходя из размеров стандартного узкогорлового дьюара СД-12, емкостью 100 л, длина токоввода до спая выбрана равной $l = 94,5$ см (спай составляет 7 см). Полезное пространство, отведенное под токовводы, ограничено стальными трубами штока, в зазоре между которыми размещено восемь фторопластовых трубок $\varnothing 4 \times 0,5$ мм. Для токовводов применен многожильный кабель марки ПЦ, состоящий из 39 медных жил $\varnothing 0,13$ мм. В каждой фторопластовой трубке рас-

положено по три кабеля, полное сечение одного токовода $S = 6,2 \cdot 10^{-2} \text{ см}^2$. Пространство между стальными трубами штока и фторопластовыми трубками залито эпоксидной смолой, поэтому испаряющийся гелий охлаждает тоководы.

Расчет тоководов проведен для минимально допустимого уровня гелия, когда спай проводника соленоида с тоководом еще находится в жидком гелии. Измеренное значение удельного сопротивления медной проволоки токовода при температуре 4,2 К составляет $\rho = 7,7 \cdot 10^{-9} \text{ Ом}\cdot\text{см}$.

На основе приведенных в статье^{/4/} графиков зависимости оптимального соотношения параметров $\left(\frac{IS}{l}\right)$ и величины удельного тепловыделения в жидком гелии от значения ρ определено, что оптимальный ток тоководов равен 330 А.

При изменении уровня гелия, меняется длина участка тоководов, находящихся в жидком гелии, что изменяет величину оптимального тока. Измерено сопротивление тоководов и испаряемость гелия при разных положениях штока относительно уровня жидкого гелия. К выводам тоководов припаивалась сверхпроводящая перемычка. Барабанным газосчетчиком ГСБ-400 измерялась испаряемость гелия, уровень которого определялся при помощи резистора Аллен-Брэдли, закрепленного на штоке.

На рис. 2 показана зависимость мощности тепловыделений в дьюаре от тока через тоководы при разных положениях штока относительно уровня жидкого гелия. Из сравнения полученных результатов с данными работы^{/4/} определено, что при минимально допустимом уровне жидкого гелия, оптимальный ток тоководов составляет $\approx 300 \text{ А}$, что хорошо совпадает с предварительными расчетами.

При максимальном уровне жидкого гелия оптимальный ток тоководов $\approx 1000 \text{ А}$. При вводе постоянного тока происходит разогрев части тоководов, расположенных вне дьюара, что не позволяет пропустить ток выше 300 А при выдвинутом штоке. При полном погружении штока в дьюар, можно ввести постоянный ток более 500 А, но при этом повышается испаряемость гелия из-за того, что основная часть тоководов находится в жидком гелии.

При всех положениях штока и уровне жидкого гелия вплоть до минимально допустимого через токовводы можно вводить ток до 1 кА в импульсном режиме работы (треугольный цикл тока длительностью до 20 с). Максимальный ток при работе токовводов в импульсном режиме составлял 1,2 кА.

Описанное устройство применялось для измерения динамических потерь в импульсных сверхпроводящих соленоидах. Каркасы соленоидов изготовлены из нержавеющей стали и изолированы стеклотекстолитом, пропитанным эпоксидной смолой. Длина обмотки соленоидов 150 мм, внешний \varnothing 20 мм, внутренний \varnothing 10 мм, межслоевая изоляция - 10-мкм лавсановая пленка. Расход проводника для проволок \varnothing 0,5 - 1 мм составляет 24 - 112 м, что позволяет использовать соленоиды в качестве образцов при исследовании характеристик сверхпроводящего материала. При этом индуктивность обмотки меньше 6 мГ, запасенная в соленоидах энергия меньше 81 Дж и выделение такой энергии при переходе соленоидов в нормальное состояние не приводит к существенному повышению давления в дьюаре. Критический ток десяти испытанных соленоидов (150 - 720 А) соответствовал току короткого образца при напряженности электрического поля в образце $E = 10^{-6}$ В/см. Тренировка соленоидов не наблюдалась.

Измерение динамических потерь в соленоидах проведено при скорости изменения магнитного поля в апертуре до 1 - 2 Т/с. Исследовано влияние параметров многожильного сверхпроводника на величину потерь. На рис. 3 показана зависимость гистерезисных потерь в единице объема сверхпроводника, нормализованных по критической плотности тока, от диаметра жилы. На основе результатов измерения динамических потерь в соленоиде, обмотка которого изготовлена из проволоки \varnothing 1 мм, содержащей 1045 жил НТ-50 \varnothing 20 мкм в медной матрице, был проведен расчет потерь в импульсном диполе^{13/}.

В апертуре соленоидов \varnothing 9 мм можно проводить исследование магнитных характеристик материала до 3,3 Т. В частности, соленоиды использовались для измерения магнитной проницаемости μ образцов из нержавеющей стали. Величина μ определяет применимость материала для криостата, бандажа и других элементов сверхпроводящего диполя.

При исследовании магнитной проницаемости образцов из нержавеющей стали применялась электрическая схема для измерения динамических потерь^{/3/}. Двухкоординатным самописцем регистрировалась гистерезисная петля, сдвиг которой при наличии образца в апертуре соленоида определял изменение магнитного потока. При таком методе измерения сверхпроводящий соленоид используется и как источник магнитного поля и как измерительная катушка, регистрирующая магнитный поток. Это ограничивает точность измерений. Данная методика применима для оценок магнитной проницаемости образцов из нержавеющей стали со значительно отличающимся значением μ . Более высокой точности можно достигнуть традиционным методом измерения μ при помощи измерительной катушки, расположенной вокруг образца^{/5/}. Это не потребует существенных переделок устройства.

На рис. 4 показана зависимость магнитной восприимчивости $\chi = \mu - 1$ образцов стали 12X18H10T разных партий от величины магнитного поля. Исследуемые образцы имели длину 150 мм. Образец 1 изготовлен из трех полосок листовой стали толщиной 1,5 мм, которая применялась для бандажирования сверхпроводящих диполей. Образец 2 - сплошной цилиндр \varnothing 8 мм. Сравнение полученных результатов с данными, приведенными в работе^{/5/}, показало, что магнитная проницаемость у образцов стали 12X18H10T близка к значению μ образцов из нержавеющей стали.

Данное устройство использовалось при подготовке аппаратуры для измерений на крупных сверхпроводящих магнитах, в частности, при исследовании влияния параметров электрической схемы на ошибку измерения динамических потерь и при отладке методики измерения потерь с помощью ЭВМ ЕС-1010. Соленоиды, обмотка которых изготавливалась из проволоки, содержащей от 54 до 1045 жил НТ-50 \varnothing 10-70 мкм, применялись для изучения характеристик сверхпроводящего материала.

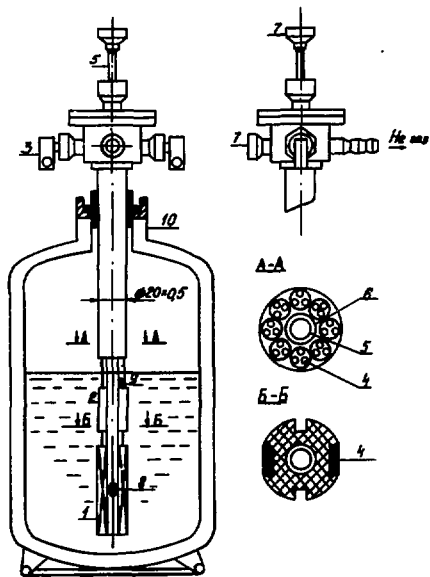


Рис. 1. Внешний вид устройства: 1 - сверхпроводящий соленоид; 2 - держатель токовода, 3 - токовод; 4 - кабель токовода; 5 - нержавеющая трубка 8 x 0,5; 6 - нержавеющая трубка 10 x 0,5 для крепления соленоида; 7 - разъем РСГ-32; 8 - датчик Холла; 9 - точечный уровнемер (резистор Аллен-Бредли); 10 - дьюар СД-12.

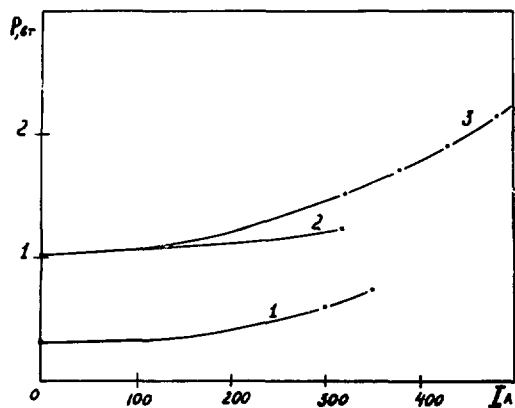


Рис. 2. Зависимость мощности тепловыделений в дьюаре от тока через тоководы. Спай тоководов находится в жидком гелии. 1 - минимально допустимый уровень жидкого гелия в дьюаре; 2 - максимальный уровень жидкого гелия в дьюаре; шток выдвинут из дьюара; 3 - максимальный уровень жидкого гелия в дьюаре, шток полностью вставлен в дьюар.

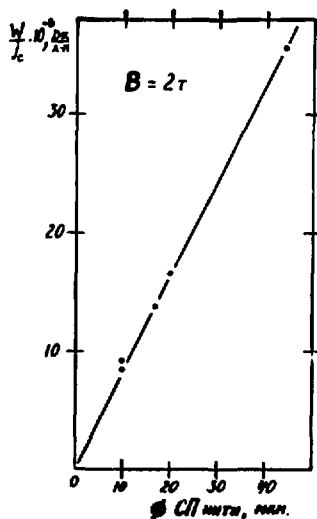


Рис. 3. Зависимость удельных гистерезисных потерь, нормализованных по критической плотности тока в сверхпроводнике, от диаметра сверхпроводящей жилы.

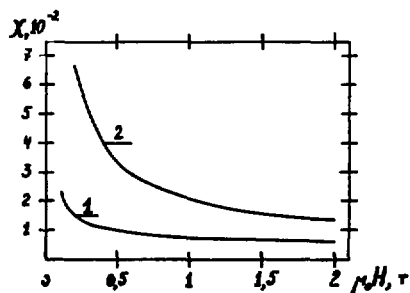


Рис. 4. Зависимость магнитной восприимчивости образцов стали 12Х18Н10Т от напряженности магнитного поля.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Роуз-Инс. Техника низкотемпературного эксперимента (перевод с английского под ред. Б.Н.Самойлова). М., "Мир", 1966, стр. 41.
2. John R Merrill. Rev. Sci Instr., 41, 24 (1970).
3. В.А.Васильев и др. Препринт ИФВЭ 79-161, Серпухов, 1979.
4. J.M.Lock. "Cryogenics"., 9, 438 (1969).
5. W.Ansorge et al. Sixth international conference on magnet technology (MT-6), Bratislava, Czechoslovakia, 1977, p. 1066.

Рукопись поступила в издательскую группу
5 марта 1981 года.

Цена 4 коп.

© - Институт физики высоких энергий, 1981.

Издательская группа И Ф В Э

Заказ 457. Тираж 260. 0,3 уч.-изд.л. Т-06888.

Апрель 1981. Редактор М.Л. Фоломешкина.