

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



19/III-79

Д-75

P13 - 12052

964/2-79

В.М.Дробин, Е.И.Дьячков, В.А.Малюк,  
П.И.Никитаев, Р.Херцог, Ф.Хованец,  
И.С.Хухарева, Л.Яншак

АППАРАТУРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ  
В КОМБИНИРОВАННЫХ СВЕРХПРОВОДНИКАХ

**1978**

P13 - 12052

В.М.Дробин, Е.И.Дьячков, В.А.Малюк,  
П.И.Никитаев, Р.Херцог, Ф.Хованец,  
И.С.Хухарева, Л.Яншак

## АППАРАТУРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В КОМБИНИРОВАННЫХ СВЕРХПРОВОДНИКАХ

*Направлено в ПТЭ*

Дробин В.М. и др.

P13 - 12052

Аппаратура для измерения потерь в комбинированных сверхпроводниках

Описывается аппаратура для измерения тепловыделений в коротких образцах комбинированных сверхпроводников, помещенных в переменное магнитное поле. Максимальная амплитуда поля составляла 1,5 Т, скорость изменения поля менялась от 0,05 до 3 Т/с. Потери в образце в пределах  $10 \cdot 10^3$  мВт измерялись с помощью калиброванных газгольдеров и электрических преобразователей. Приводятся результаты измерения анизотропии потерь в плоском транспонированном кабеле сечением  $3,8 \times 0,92$  мм<sup>2</sup> при изменении направления магнитного поля относительно плоскости образца.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований, Дубна 1978

Drobin V.M. et al.

P13 - 12052

Setup for Measuring Losses in Multifilament Superconductors

The setup for measuring AC-losses in short samples of multifilament superconductors placed in a pulsed magnetic field is described. A calorimetric method is used. The external AC-magnetic field with the amplitude up to 1,5 T and the change velocity up to 3 T/s is due to the dipole placed in a vertical cryostat. The range of measuring AC-losses is from  $10$  to  $10^3$  mW. The results of measurements of losses in a transposition cable of  $3,8 \times 0,92$  mm<sup>2</sup> cross-section at changing the direction of a magnetic field with respect to sample plane are given.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research.

Dubna 1978

## ВВЕДЕНИЕ

При выборе токонесущего элемента для импульсных сверхпроводящих магнитов циклических ускорителей существенным является вопрос о потерях на переменном токе. Настоящая работа дает описание аппаратуры, применяемой в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ для исследования потерь в коротких образцах высококачественных сверхпроводящих кабелей.

## МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ

Для измерения потерь использовался калориметрический метод<sup>1/</sup>. Схема измерения представлена на рис. 1. Образец 5, помещенный в калориметр 4, находится во внешнем пульсирующем поле, создаваемом диполем 2 типа СКД-55-К1<sup>2/</sup> длиной 0,4 м, размещенным в вертикальном гелиевом криостате 1. Питание диполя осуществляется тиристорным источником тока 3 на 1,5 кА, управляемым программатором<sup>3/</sup>. Амплитуду поля можно изменять от нуля до 1,5 Т, скорость изменения поля - от 0,05 до 3 Т/с. Импульсы поля треугольной формы, с одинаковой скоростью изменения при нарастании и спаде, разделяются паузой, время которой существенно меньше длительности импульса. Величина и направление поля контролируются датчиком Холла, жестко связанным с образцом внутри калориметра. Аксиальная однородность магнитного поля диполя определила длину образца - 33 см. На этой длине величина поля меняется меньше чем на 1%. Калориметр вставляется внутрь сверхпроводящего диполя через вакуумное уплотнение 10 в верхнем фланце криостата.

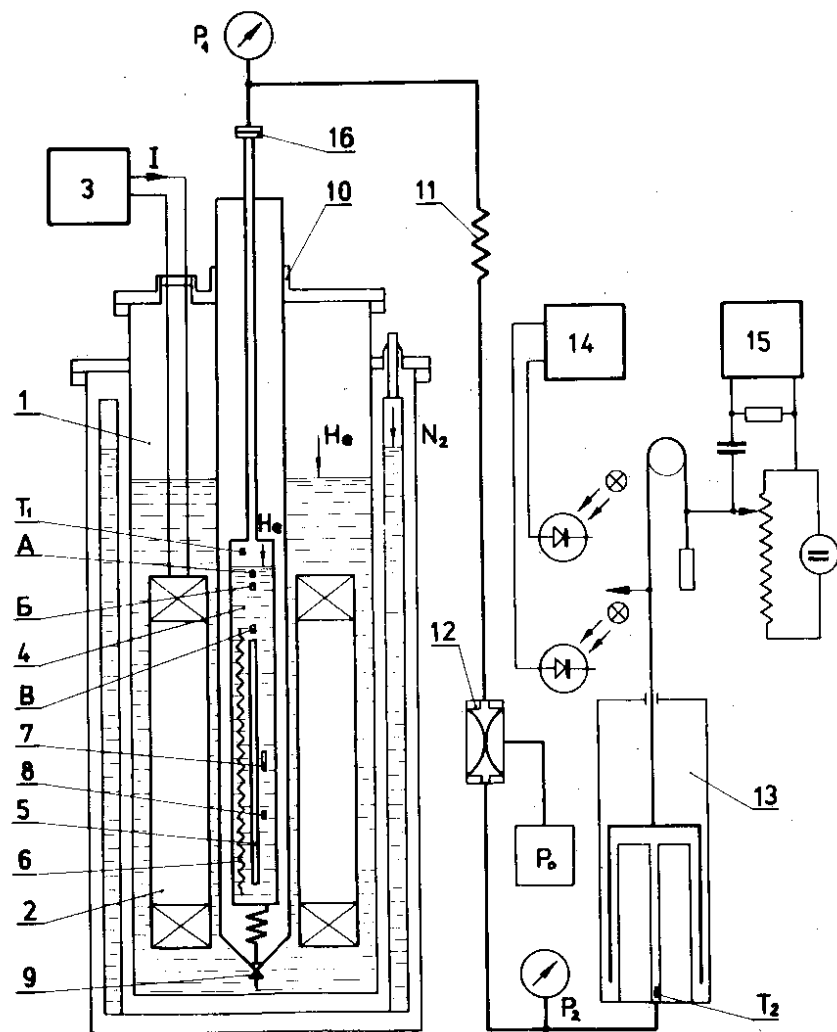


Рис. 1. Схема аппаратуры. 1 - криостат; 2 - сверхпроводящий диполь; 3 - источник тока; 4 - калориметр; 5 - образец; 6 - нагреватель; 7 - датчик Холла; 8 - термометр; 9 - клапан; 10 - фланец; 11 - теплообменник; 12 - регулятор давления; 13 - газгольдер; 14 - цифровой хронометр; 15 - цифровой вольтметр; А, Б, В - датчики уровня;  $T_1$ ,  $T_2$  - датчики температуры;  $P_1, P_2$  - манометры.

Калориметр представляет собой гелиевый дьюар с двойными стенками, наружный диаметр которого 26 мм. Внутренняя трубка калориметра изготовлена из нержавеющей стали, имеет диаметр 18 мм и толщину стенки 0,15 мм. Во внутренней части калориметра на держателе из текстолита крепятся образец 5, нагреватель 6, датчик Холла 7, термометр 8 и три датчика уровня. Верхняя часть калориметра, выступающая над криостатом, с помощью разборного уплотнения 16 соединяется с газовой коммуникацией. Калориметр заполняется жидким гелием через клапан 9, открытие которого производится путем нажатия запорным клапаном на дно криостата. Уровень жидкости в калориметре контролируется тремя точечными датчиками сопротивления А, Б, В, расположенными на разной высоте. Изменение ориентации образца относительно направления магнитного поля осуществляется вращением калориметра вокруг его оси. Испаряющийся гелий из рабочего объема калориметра выходит через тонкостенную трубку диаметром 8 мм, изготовленную из нержавеющей стали, через вакуумное уплотнение 16 попадает в теплообменник 11, где нагревается до комнатной температуры, проходит через регулятор давления 12 и поступает в газгольдер 13. Давление в калориметре поддерживается постоянным с помощью регулятора давления с точностью до 1 мм рт.ст., что контролируется манометром  $P_1$ . Температура гелия над уровнем жидкости в калориметре измеряется термометром  $T_1$ ; температура и давление газа на входе в расходомеры контролируются соответственно датчиками  $T_2$  и  $P_2$ . Для регистрации потока газа в диапазоне  $1 \div 500$  л/ч применяются калиброванные газгольдеры емкостью 1 и 10 л. С помощью фотодиодов и цифрового хронометра 14 /Ф5080/ регистрируется время  $\tau$  прохождения колокола газгольдера через метки, определяющие объем 1 л. Для наблюдения установления теплового режима колокол газгольдера связан гибкой тягой с реохордом, подключенным к источнику постоянного тока 15. При пропускании измеряемого потока газа напряжение на реохорде пропорционально показанию газгольдера. Сигнал с реохорда подается через дифференцирующую RC-цепь на цифровой вольтметр. Постоянная времени цепи подбирается таким образом, что показание прибора /непосредственно в мВ/ соответствует

выделяемой в калориметре мощности. Расход свыше 500 л/ч регистрируется барабанным газосчетчиком ГСБ-400.

### КАЛИБРОВКА КАЛОРИМЕТРА

Калибровка калориметра осуществлялась с помощью нагревателя, расположенного вдоль образца. В нагревателе выделялась мощность известной величины, и с помощью расходомеров измерялся поток газа при разных значениях этой мощности. Уровень гелия в калориметре во время измерений контролировался. Температура газа в рабочем объеме калориметра не отличалась от температуры кипящего в нем гелия больше чем на 0,1 К при выделении на нагревателе мощности в пределах 1-1000 мВт. На рис. 2 приведена экспериментальная калибровочная кривая калориметра:  $P_H$  - мощность, выделяемая в нагревателе;  $P_p$  - мощность, определенная по количеству газа, проходящего через расходомер при заданной мощности нагревателя.

$$P_p = \rho_0 \frac{273}{760} \cdot r (T_1, p_1) \frac{P_2}{T_2} \cdot \frac{1}{r},$$

где  $\rho_0 = 0,17846$  г/л<sup>1/4</sup> - плотность газообразного гелия при нормальных условиях;  $r$  [дж/г] - скрытая теплота испарения гелия при рабочих условиях в калориметре;  $r = 20,3$  Дж/г при  $p_1 = 773$  мм рт.ст.<sup>1/4</sup>;  $p_2, T_2$  - соответственно давление и температура поступающего в расходомеры газа;  $1/r$  [л/с] - поток газа, регистрируемый расходомером.

Из рис. 2 видно, что в области малых мощностей нагревателя проявляется внешний теплоприток к рабочему объему калориметра /тепловой фон/, влияние которого уменьшается с увеличением  $P$ . При выключенном нагревателе в отсутствие поля газовый поток из калориметра соответствует  $P_p \approx 4$  мВт. Когда мощность нагревателя превышает примерно 80 мВт, разница между  $P_H$  и  $P_p$  составляет около 16%. Это соответствует мощности, необходимой для испарения такого количества жидкого гелия, которое в виде холодного газа остается в калориметре и не попадает в расходомеры. Тепловыделение за счет вихревых потерь в корпусе калориметра составляет примерно 3 мВт при  $V = 2$  Т/с.

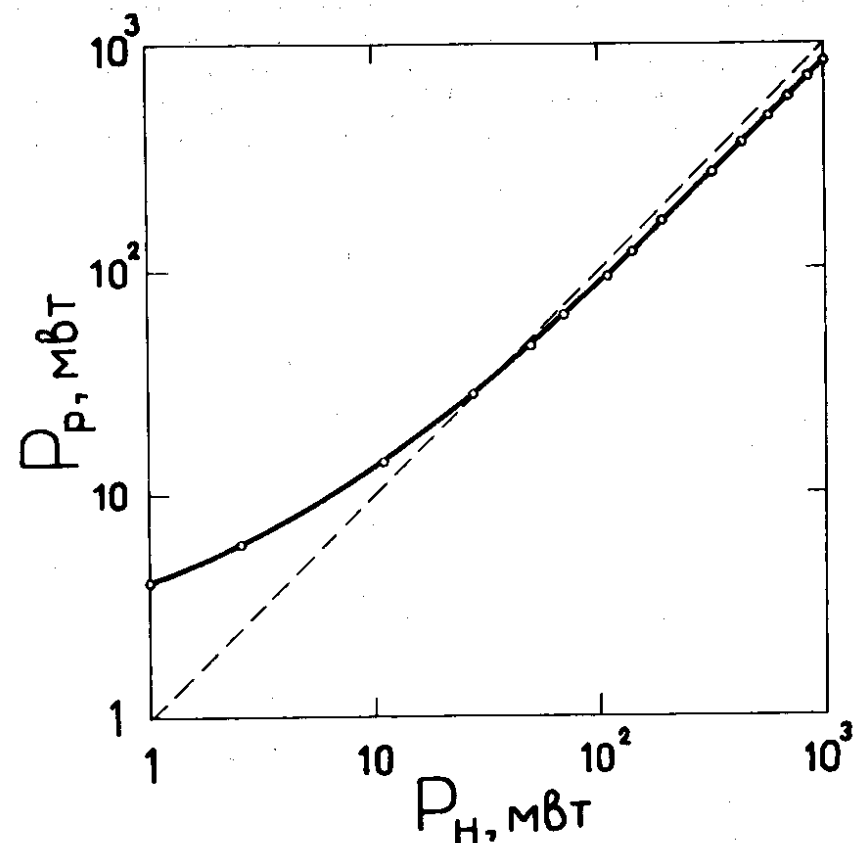


Рис. 2. Калибровочная кривая калориметра.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

С помощью описанной выше методики исследуются сверхпроводящие кабели, отличающиеся по составу, геометрии и технологии изготовления. В качестве примера приведены результаты испытания плоского транспонированного кабеля сечением 3,8х0,92 мм<sup>2</sup>/образец №2/. Кабель состоит из 13 проволок диаметром 0,5 мм, каждая из которых содержит 1045 сверхпроводящих нитей HT-50 диаметром 10 мкм в медной матрице с шагом твиста 2÷3 мм. Проволоки в кабеле транспонированы с шагом 27 мм и пропаяны припоем ПОС-40.

Исследовалось влияние ориентации магнитного поля на потери энергии в образце. На рис. 3 представлены зависимости потерь от скорости изменения магнитного поля при амплитуде поля 0,9 Т для двух направлений поля: параллельного и перпендикулярного относительно плоскости

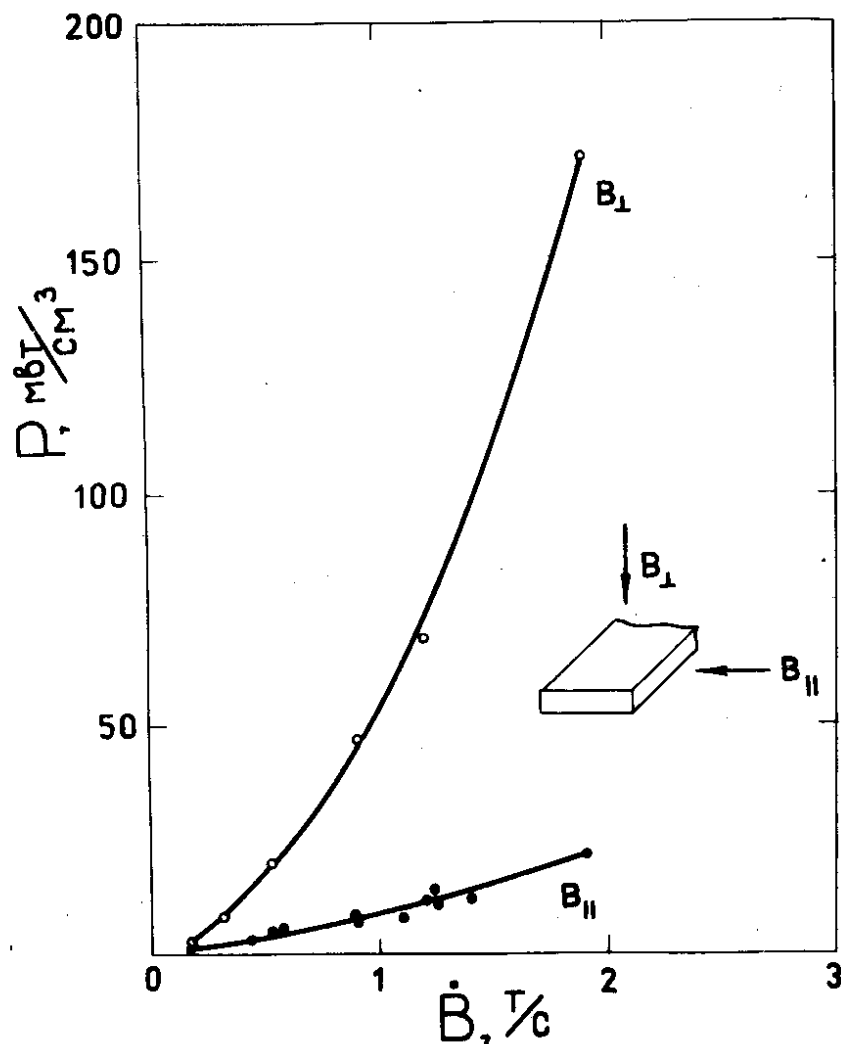


Рис. 3. Зависимость мощности потерь  $P$  в плоском сверхпроводящем кабеле /образец №2/ от скорости изменения поля  $\dot{B}$  для двух ориентаций магнитного поля относительно широкой стороны кабеля.

образца. Видно, что в случае перпендикулярной ориентации потери значительно выше и имеют более сильную зависимость от  $\dot{B}$ , так что отношение  $P_{\perp}/P_{\parallel}$  изменяется от  $\sim 3$  при  $\dot{B} \approx 0,2$  Т/с до  $\sim 8$  при  $\dot{B} \approx 2$  Т/с.

В заключение авторы выражают сердечную благодарность А.Г.Зельдовичу за постоянный интерес и поддержку данной работы, а также И.Н.Гончарову за полезные обсуждения и А.А.Смирнову за помощь при создании аппаратуры.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Брехна Г. Сверхпроводящие магнитные системы. "Мир", М., 1976.
2. Аверичев С.А. и др. ОИЯИ, Р8-11700, Дубна, 1978.
3. Яншак Л., Штофаник Ф., Хованец Ф. ОИЯИ, 13-11676, Дубна, 1978.
4. NBS Technical Note, 1972, No 631.

Рукопись поступила в издательский отдел  
1 декабря 1978 года.