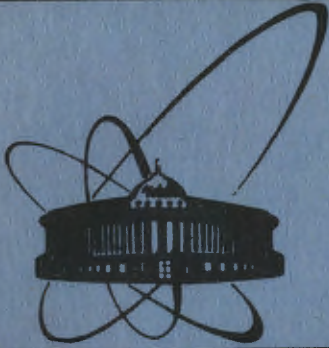


2/IV-84



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

1674/84

8-83-878

В.И.Дацков, Е.Д.Клещенко, С.В.Мунтян

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕПЛОЕМКОСТИ
РЕЗИСТИВНЫХ ТЕРМОДАТЧИКОВ
ПРИ КРИОГЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Направлено в журнал "Приборы и техника
эксперимента"

1983

Использование калориметрического метода для определения поглощенной дозы в сверхпроводящих обмотках магнитных структур проектируемых сверхпроводящих ускорителей ^{/1/} требует знания теплоемкости термодатчиков-дозиметров, используемых для этой цели. Для получения большей точности измерений в динамических тепловых процессах необходимо учитывать зависимость теплоемкости термодатчика от температуры. Существующие методы измерения теплоемкости при криогенных температурах по термической релаксации ^{/2/}, разработанные для малых образцов, достаточно сложны и трудоемки.

В настоящей работе предложена методика, предназначенная для измерения удельной теплоемкости резистивных термодатчиков. При прохождении короткого прямоугольного импульса нагревающего тока через датчик легко контролируются условия адиабатичности при малом его перегреве, которые приводят к линейно-нарастающему импульсу напряжения с термодатчика. В этом случае теплоемкость датчика обратно пропорциональна изменению напряжения в интервале времени.

Измерения теплоемкости проводились для резистивных термодатчиков ТВ0-0,125, Аллен-Бредли 0,125 Вт и датчика, изготовленного на основе проволоки из медно-никелевого сплава /мнд/ диаметром 35 мкм ^{/1,3,4/}. Их номинальные сопротивления при комнатной температуре соответственно равны 910; 100; 708 Ом. При укорачивании выводов до ~3 мм массы термодатчиков оказались равными 75,0; 29,6; 186,4 мг.

Измерения проводились в специальном вакуумном штоке в стандартном дьюаре с жидким гелием. Измерительная часть штока изображена на рис.1. В качестве термостата использовался массивный медный блок массой 100 г, температура T_0 которого стабилизировалась с точностью, лучше 0,01 К, и контролировалась образцовым термометром. Испытываемые термодатчики предварительно градуировались на специальной установке по образцовому германиевому термометру типа ТСГ-1 с точностью не хуже 0,01 К. Два медных провода, припаянных к выводам измерительного датчика, имели диаметр 0,1 мм, длину 60 мм и находились в хорошем тепловом контакте с медным блоком. Их масса составляла <4% от массы термодатчика. Температура блока изменялась с помощью нагревателя. До и после цикла измерений проводилось контрольное измерение температуры медного блока и исследуемого датчика. Затем датчик включался в плечо моста постоянного тока, на который подавался одиночный прямоугольный импульс напряжения. Исследуемый датчик нагревался проходящим через него импульсом тока, что вызывало разбаланс уравновешенного моста. Сигнал разбаланса усиливался дифференциальным

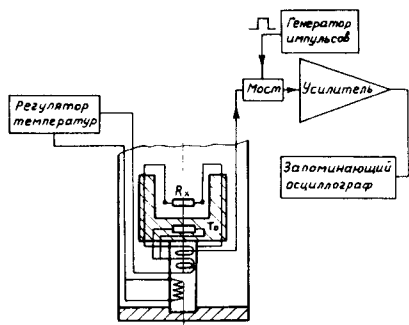


Рис.1. Схема измерительного стенда.

усилителем постоянного тока с уровнем собственных шумов ~ 10 мкВ и регистрировался запоминающим осциллографом С8-94 /рис.1/. Вследствие конечной теплоемкости датчика происходит затягивание во времени переднего фронта импульса с термодатчика относительно прямоугольного импульса /рис.2/.

На начальном участке этот процесс имеет линейный характер из-за того, что изменение теплоемкости $\Delta C(T)$ и сопротивления $R(T)$ датчика мало, и тепло от него не успевает отводиться по проводам и в окружающее пространство. Исходя из этих обстоятельств выбирались характеристики прямоугольного нагревающего импульса. Для уменьшения погрешности определения теплоемкости датчика при фиксированной начальной температуре T_0 амплитуда нагревающего импульса выбрана такой, чтобы перегрев датчика не превышал $0,1$ К, а для обеспечения условий адиабатичности длительность импульса τ принята равной $1-2$ мс.

Тепло, выделившееся в термодатчике с сопротивлением R_T , включенным в мостовую схему, при подаче на нее прямоугольного нагревающего импульса амплитудой E и длительностью τ может быть найдено из выражения:

$$Q = \frac{E^2}{4R_T} \cdot \tau. \quad /1/$$

При этом амплитуда импульса ΔU на выходе дифференциального усилителя будет определяться формулой:

$$\Delta U = K \cdot \frac{E \Delta T}{4R_T} \cdot \left(\frac{dR}{dT} \right)_T, \quad /2/$$

где k - коэффициент усиления дифференциального усилителя; ΔT - температура, на которую нагрелся датчик при прохождении через него импульса нагревающего тока; $(dR/dT)_T$ - производная при начальной температуре T , определяемая из градуировочного графика термодатчика.

Тогда из известного соотношения $Q = C_T m \cdot T$, где m - масса датчика, применяя формулы 1-2, можно получить выражение для теплоемкости термодатчика при температуре T :

$$C_T = \frac{k}{16m} \cdot \left(\frac{dR}{dT} \right)_T \cdot \frac{E^3 \cdot \tau}{R_T^2 \cdot \Delta U}.$$

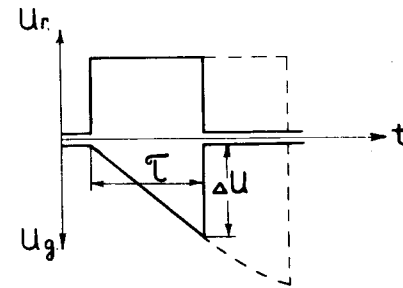


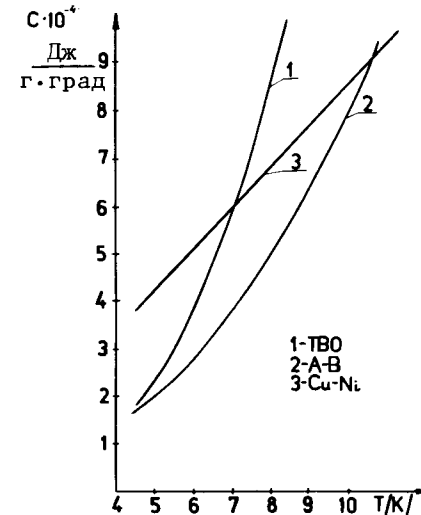
Рис.2. Характерный импульс с датчика относительно нагревающего импульса.

Измерив величину ΔU за время τ , получим искомую теплоемкость. Измерение теплоемкости термодатчиков проводилось в интервале температур от $4,2$ до 10 К. При каждой фиксированной температуре проводилось от 4 до 6 измерений при различных амплитудах и длительностях нагревающих импульсов.

Затем вычислялось среднее значение теплоемкости $C(T)$ и среднеквадратичное отклонение ΔC , которое во всех случаях не превышало 10% от измеряемой величины. Следует заметить, что существенное понижение приборной погрешности, по-видимому, не дает значительного увеличения точности измерения, так как во всех упомянутых методах измерения теплоемкости существует некоторый градиент температуры в самом чувствительном элементе датчика, как и между чувствительным элементом и оболочкой. Это приводит к принципиальному ограничению точности определения теплоемкости термодатчиков данными методами.

Полученные зависимости теплоемкости исследуемых термодатчиков от температуры представлены на рис.3. Для углеродных терморезисторов ТВО и Аллен-Бредли эту зависимость можно представить в аналитическом виде, аналогичном описанному в [5,6]: $C(T) = (AT + BT^3) \cdot 10^{-6}$ Дж/г·град.

Получены следующие коэффициенты A и B : для ТВО - $A = 0,99$; $B = 1,70$; для Аллен-Бредли $A = 27,24$; $B = 0,54$. Для МНД получена линейная зависимость: $C(T) = 84,8T \cdot 10^{-6}$ Дж/г·град.



Измеренные с помощью представленной методики значения теплоемкости для термодатчика Аллен-Бредли сравнивались с данными, опубликованными в [5,6]. Результаты сходятся по порядку величины. Различия, по-видимому, обусловлены разными номинальными сопротивлениями термодатчиков, а также различным составом термочувствительных элементов.

Рис.3. Теплоемкость резистивных термодатчиков.

Авторы выражают благодарность Л.Н.Зайцеву, Ю.А.Шишову и П.Г.Васильеву за полезные обсуждения и проявленный интерес к работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дацков В.И. и др. ОИЯИ, 8-83-45, Дубна, 1983.
2. Bachman R. et al. Rev.Sci. Instr., 1972, v. 43, No 2, p.205.
3. Черенков В.А., Бейлин В.М. ПТЭ, 1980, №5, с. 241.
4. Черенков В.А. ПТЭ, 1980, №6, с. 191.
5. Васильев П.Г., Владимирова Н.Н., Гончаров И.Н. ОИЯИ, Р8-83-159, Дубна, 1983.
6. Alterovitz S., Gershenson M. Cryogenics, 1974, v. 14, No 11, p. 618-619.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 декабря 1983 года.

Дацков В.И., Клещенко Е.Д., Мунтян С.В. 8-83-878
Измерение теплоемкости резистивных термодатчиков при
криогенных температурах

Представлены результаты измерения теплоемкости некоторых криогенных термодатчиков на основе резисторов ТВО, Аллен-Бредли, медно-никелевой проволочки в температурном интервале $4,2 \div 10$ К. Показано, что кубический закон $c = AT^3$ хорошо выполняется для термодатчиков ТВО. Описана импульсная методика измерений. Проведено сравнение с литературными данными, полученными для термодатчиков на основе резисторов Аллен-Бредли.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Datskov V.I., Kleshchenko E.D., Muntian S.V. 8-83-878
Specific Heat Measurements of Resistive Thermometers
at Cryogenic Temperatures

The results of specific heat measurements of some cryogenic thermometers the basis of TBO, Allen-Bredliß Cu-Ni wire in the 4.2-10K energy range are presented. It is shown that the cubic law $c = AT^3$ is fulfilled for TBO thermometers. The techniques of pulsed measurements is described. The comparison with the available data on thermometers on the base of Al-Br resistors is made.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой.