

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА

3236 / 2-80

14/2-80

8-80-213

В.И. Дяцков

УГОЛЬНЫЕ РЕЗИСТОРЫ ТИПА "ТВО"
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР
В ИНТЕРВАЛЕ 4,2-450 К

Направлено в ПТЭ

1980

1. ВВЕДЕНИЕ

Угольные резисторы длительное время используются для измерения низких температур ^{/1,2/}. Обычно в качестве термометров применяются резисторы фирмы Аллен-Бредли ^{/1/}, реже - фирмы Спир ^{/2/}, в отличие от других обладающие хорошей стабильностью и повторяемостью показаний. По сравнению с другими типами термометров угольные резисторы обладают следующими преимуществами: большой чувствительностью, малой теплоемкостью, незначительным изменением сопротивления в магнитном поле, низкой стоимостью.

Нам удалось подобрать угольные резисторы типа ТВО ^{/3/}, имеющие параметры не хуже, чем у резисторов фирмы Аллен-Бредли, а в отношении интервала температур даже лучше.

В данной статье рассматриваются возможности применения резисторов ТВО, их стабильность и повторяемость показаний, влияние магнитного поля, определена градуировочная формула.

2. ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЗИСТОРОВ ТИПА "ТВО"

Резисторы типа "ТВО" применяются в радиоэлектронике в цепях постоянного, переменного, пульсирующего и импульсного токов. Конструктивно они представляют собой стержни прямоугольной формы с аксиально-запрессованными выводами. Объемный токопроводящий слой угля защищен стеклокерамической оболочкой. Внешний вид резисторов с номинальными мощностями 0,125 Вт и 0,25 Вт показан на рис.1.

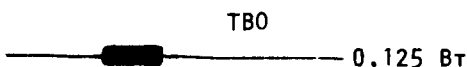


Рис.1. Внешний вид резисторов типа "ТВО".

Для удобства работы имеет смысл применять резисторы с наименьшими размерами, т.е. с номинальной мощностью 0,125 Вт и реже - 0,25 Вт.

Исследовались в основном резисторы с номинальными сопротивлениями от 100 Ом до 100 кОм. Измерения производились по 4-проводной схеме с питанием, стабилизированным постоянным током 10 мкА, стабильностью 10^{-5} . Сопротивление определялось по потенциалу с резистора при помощи цифрового вольтметра типа V-533 класса 0,05, производства ПНР.

На первом этапе измерялись сопротивления резисторов при трех температурах: 290; 77,4; 4,2 К. Относительное изменение сопротивления резистора подсчитывалось по формуле:

$$\delta_1 = \frac{R_{4,2} - R_0}{R_0} [\%]; \quad \delta_2 = \frac{R_{77,4} - R_0}{R_0} [\%], \quad /1/$$

где R_0 - сопротивление при комнатной температуре 290 К, $R_{4,2}$ - сопротивление при температуре кипения жидкого гелия 4,2 К, $R_{77,4}$ - сопротивление при температуре кипения жидкого азота 77,4 К.

На рис.2 изображена полученная зависимость δ_1 и δ_2 от номинального сопротивления резисторов, из которой видно, что максимальной чувствительностью к низким температурам обладают резисторы с номинальным сопротивлением 4 кОм. Затем с увеличением R_0 кривые δ_1, δ_2 спадают до минимума, при 5,5 кОм и дальше снова полого нарастают.

На втором этапе была определена температурная зависимость сопротивления резисторов в диапазоне температур от 4,2 до 450 К. на установке для калибровки температурных датчиков. Температура контролировалась по германиевому термометру КГ №44Т - 43 в диапазоне 4,2-77,4 К с точностью 0,05 К и в диапазоне 77,4-300 К с точностью 0,5 К. Для измерения с минимальной погрешностью на одном пределе цифрового вольтметра исследованы резисторы с номинальным сопротивлением 0,91 кОм и номинальной мощностью 0,125 Вт. Испытанию была подвергнута партия резисторов в количестве 20 штук. На рис.3 показаны кривая 1 - температурной зависимости одного из резисторов ТВО и кривая 2 - для 100-омного резистора фирмы Аллен-Бредли. Кривая 1 с некоторым приближением похожа на кривую 2, поэтому была сделана попытка применить калибровочную формулу для резисторов фирмы Аллен-Бредли, имеющую следующий вид /3/:

$$\ln R = K_1 + K_2 \cdot \left(\frac{\ln R}{T}\right)^n. \quad /2/$$

Для резисторов фирмы Аллен-Бредли $n = 0,5$, а температура

$$T = \frac{K_2 \cdot \ln R}{(\ln R - K_1)^2}. \quad /3/$$

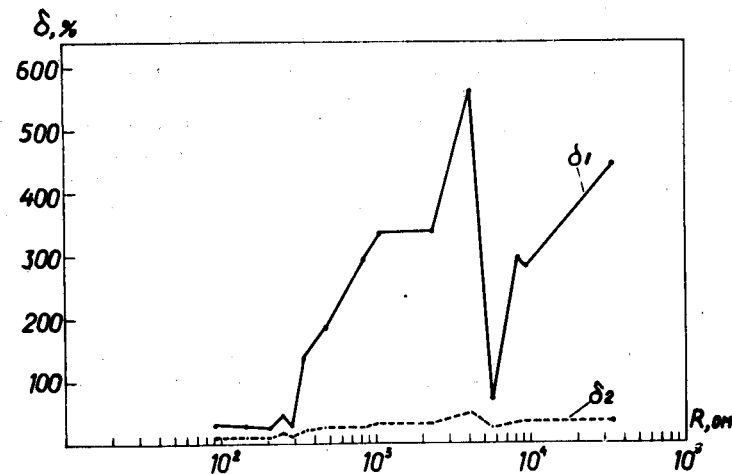


Рис.2. Зависимость температурных изменений сопротивлений δ_1 и δ_2 от номинальных сопротивлений резисторов.

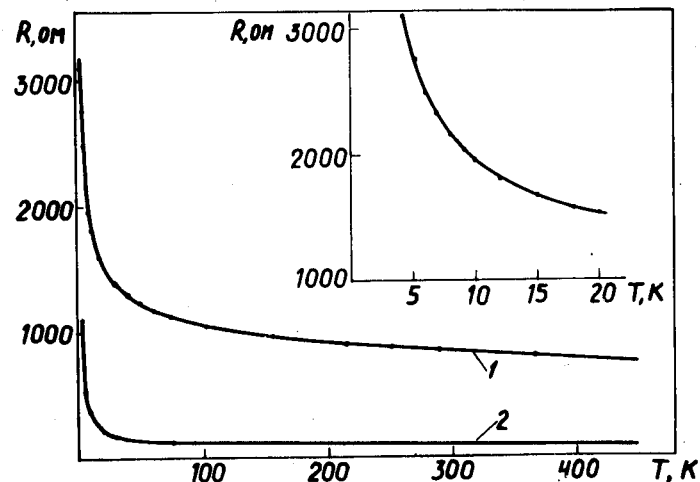


Рис.3. Температурная зависимость сопротивления для резисторов типа ТВО /R=856 Ом/ - кривая 1, и для резисторов фирмы Аллен-Бредли /R=100 Ом/ - кривая 2.

После обработки экспериментальных данных был определен коэффициент μ в формуле /2/: $\mu = 0,4$ для резисторов типа ТВ0. Формула /2/ описывает температурную зависимость резистора ТВ0 в диапазоне 4,2-77,4 К с точностью 0,05-0,1 К. Ход кривой 1 на рис.3 в диапазоне 200-450 К можно аппроксимировать прямой линией с точностью 0,5-1,0 К. Для резистора с $R_0 = 850 \text{ Ом}$ определены коэффициенты: $K1 = 0,66$, $K2 = 1,108$.

Абсолютная температурная чувствительность резисторов определяется по формуле:

$$S_a = \frac{\Delta R}{\Delta T} \left[\frac{\text{Ом}}{\text{К}} \right], \quad /4/$$

где: ΔR - изменение сопротивления в интервале температур ΔT .

Относительная температурная чувствительность резисторов определяется по формуле:

$$S_0 = \frac{S_a}{R} = \frac{\Delta R}{\Delta T} \cdot \frac{1}{R} \left[\frac{\%}{\text{К}} \right], \quad /5/$$

где: R - сопротивление резистора при температуре T .

В табл.1 приведены абсолютные и относительные температурные чувствительности резисторов типа ТВ0 и фирмы Аллен-Бредли при разных температурах, из которой видно, что при обычной температуре $T = 273 \text{ К}$ $S_a = 0,6 \text{ Ом/К}$, в то время как для резисторов фирмы Аллен-Бредли она на 2 порядка ниже.

Таблица 1

		Температура					
		4,25 К	20,4 К	77,4 К	273 К	450 К	
Резистор ТВ0	S_a	529	22,5	4,08	0,60	0,58	
	S_0	17,07	1,45	0,36	0,079	0,076	
Резистор Алл.-Бр.	S_a	360	7,0	0,47	0,04	0	
	S_0	33,96	3,24	0,37	0,04	0	

3. ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Для изучения влияния магнитного поля резисторы типа ТВ0 помещались в апертуру сверхпроводящего магнита, позволяющего получить в центре напряженность поля до 80 кЭ. Погрешность показаний из-за влияния магнитного поля оценивалась по формуле:

$$\phi = \frac{1}{R} \cdot \frac{\Delta R}{B} \left[\frac{\%}{\text{кЭ}} \right], \quad /6/$$

где: R - сопротивление резистора при $T = 4,2 \text{ К}$ в омах, ΔR - изменение сопротивления, B - напряженность поля в центре магнита в кЭ.

В табл.2 приведены погрешности при разных величинах магнитного поля для резисторов типа ТВ0 с $R_0 = 850 \text{ Ом}$ и аналогичные данные для резисторов фирмы Аллен-Бредли с $R_0 = 100 \text{ Ом}$ /4/.

Таблица 2

Напряженность магнитного поля	10 кЭ	20 кЭ	30 кЭ
Резистор ϕ %/кЭ ТВ0	0,013	0,023	0,038
Резистор ϕ %/кЭ Алл.-Бр.	0,050	0,051	0,061

4. ВРЕМЕННАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ ПОКАЗАНИЙ

С целью изучения повторяемости и стабильности показаний партия из 10 резисторов ТВ0 с номинальным сопротивлением 0,91 кОм после предварительной калибровки в диапазоне 4,2-77,4 К была подвергнута 10 циклам испытаний: охлаждению до температуры 4,2 К и нагреванию до 290 К. Затем калибровка проверялась периодически через месяц в течение восьми месяцев. В пределах 0,05 К изменения калибровки не обнаружено.

Проверен еще один факт - возможность изменения калибровки датчика при перепайках. После пяти циклов нагрева паяльником выводов резисторов и охлаждения до комнатной температуры, резистор фирмы Аллен-Бредли изменил свое номинальное сопротивление на 0,5%, а калибровку при 4,2 К на 0,01 К, в то время как у резисторов ТВ0 этих изменений не замечено.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По своим параметрам резисторы типа ТВ0 в качестве термометров вполне удовлетворяют требованиям технического эксперимента на криогенных установках в широком интервале температур 4,2-450 К. В диапазоне 4,2-77,4 К можно получить точность измерения температур 0,05±0,1 К, в диапазоне 77,4-450 К - с точностью 0,5-1,0 К.

ЛИТЕРАТУРА

1. Роуз-Инс А. Техника низкотемпературного эксперимента. "Мир", М., 1966, с.158.
2. Уайт Г.К. Экспериментальная техника в физике низких температур. Издательство физико-математической литературы, М., 1961, с.150.
3. Менке Х., Цвинева Г.П. ОИЯИ, Р8-9055, Дубна, 1975.
4. Decker D.L., Laquer H.L. Cryogenics, 1969, vol.9, No.6, p.481.

Рукопись поступила в издательский отдел
28 марта 1980 года.