

КРИТЕРИЙ ОПТИМАЛЬНОГО ВЫБОРА МЕДНОГО ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ В АТМОСФЕРЕ ПРИ НОРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

В качестве критерия выбора оптимального значения медного термосопротивления при температурных измерениях в атмосфере при нормальных условиях предлагается параметр, прямо пропорциональный чувствительности термосопротивления и обратно пропорциональный произведению «мертвого» сопротивления на «мертвую» температуру (произведение погрешностей при определении температуры и сопротивления). На примере исследования четырех образцов показано удобство предлагаемого критерия. Для одного из термосопротивлений этот параметр оказывается выше в исследуемом диапазоне температур.

КРИТЕРИЙ ВЫБОРА, МЕДНОЕ ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЕ, ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ, «МЕРТВОЕ» СОПРОТИВЛЕНИЕ, «МЕРТВАЯ» ТЕМПЕРАТУРА.

Экспериментальные исследования, связанные с прецизионными температурными измерениями, редко обходятся без использования платиновых и медных термосопротивлений (ТС). После градуировки они могут использоваться для определения температуры по измеряемой величине сопротивления ТС.

Для меди, используемой в качестве термосопротивления (ТС), согласно ГОСТу 1994 года [1], отношение его сопротивления соответственно при 100 и 0 °С должно было составлять

$$\frac{R(100\text{ °C})}{R(0\text{ °C})} = 1,427 \pm 0,001. \quad (1)$$

Если использовать известную линейную зависимость сопротивления от температуры

$$R(t) = R_0 + at, \quad (2)$$

где R_0 – сопротивление проводника при температуре $t = 0\text{ °C}$, a – угловой коэффи-

циент, который следует зависимости

$$a = R_0\alpha \quad (3)$$

(α – температурный коэффициент сопротивления), и записать формулу (2) для тех же температур, то получим следующее соотношение:

$$\frac{R(100\text{ °C})}{R(0\text{ °C})} = 1 + \alpha \cdot 100\text{ °C}. \quad (4)$$

Если сопоставить правые части формул (1) и (4), то получим следующее значение температурного коэффициента сопротивления:

$$\alpha = 0,00427 \pm 0,00001. \quad (5)$$

С 1 января 2008 года, согласно ГОСТу [2], вместо отношения (1) был взят температурный коэффициент сопротивления, значение которого для медных ТС должно было составлять $0,00428\text{ (°C)}^{-1}$ (без указания допуска).

В следующий ГОСТ, 2009 года [3], кро-

ме этой величины, были включены медные ТС со значением температурного коэффициента сопротивления $\alpha = 0,00426 \text{ (}^\circ\text{C)}^{-1}$. Таким образом, в настоящее время температурный коэффициент сопротивления для ТС реально по ГОСТу должен иметь вместе с допуском прежнее значение (5).

Последняя поправка, скорее всего, связана с тем, что в качестве добавок для изготовления медной проволоки (применяется в качестве ТС), используют, например, никель, олово и серебро. Естественно, что из-за этого обстоятельства медное ТС может иметь разный температурный коэффициент сопротивления (например, у импортных ТС он равен нижней границе значения (5) [3]).

С другой стороны, если рассматривать чувствительность ТС (характеристика, показывающая, как быстро меняется сопротивление при изменении температуры), которая, очевидно, зависит от углового коэффициента a , то в его формулу (3), помимо температурного коэффициента α должно входить еще и значение сопротивления R_0 .

В связи с вышеизложенным, возникает вопрос, нельзя ли сформулировать специальный критерий, который бы помог выбрать оптимальное значение сопротивления медного ТС для проведения температурных измерений.

С этой целью было проведено исследование, которому посвящена данная статья.

В качестве исследуемых были выбраны

четыре образца из медной эмалированной проволоки диаметром 0,1 мм, изготовленной голландской компанией Velleman, различающихся по величине сопротивления примерно в два раза (см. таблицу, где даны значения сопротивления при $0 \text{ }^\circ\text{C}$ и $20 \text{ }^\circ\text{C}$; они обозначены как R_0 , R_{20} соответственно).

Проволоку наматывали на деревянный каркас размером $440 \times 230 \times 20$ мм. Численное значение ТС измерялось с помощью моста Уитстона, в свободные плечи и диагональ которого были включены магазины сопротивлений Р-33 и цифровой вольтметр В7-35 соответственно. На вход моста подавалось постоянное стабилизированное напряжение 9 В. Температуру t в лаборатории при нормальных условиях ($15 - 25$) $^\circ\text{C}$ измеряли термометром с ценой деления $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$; она колебалась естественным образом в течение промежутка времени утро-вечер. Иногда для обогрева помещения лаборатории применялась батарея водяного отопления или масляная батарея. Достижение теплового равновесия между ТС и измерительной средой контролировали по графику зависимости $R(t)$; оно считалось достигнутым, если на данном графике отсутствовали характерные отчетливые «провалы» сопротивления в какой-либо температурной области (такие провалы возникали, если образец не успевал нагреться).

Обработка экспериментальных результа-

Таблица

Полученные экспериментальные данные

Параметр	Значение параметра для образца			
	1	2	3	4
R_0 , кОм	0,5378	0,8585	1,5693	3,1738
R_{20} , кОм	0,5828	0,9293	1,7035	3,4372
ΔR_0 , Ом	0,09	0,12	0,19	0,49
R_p , Ом	1,2	1,9	3,4	6,9
a , Ом \cdot ($^\circ\text{C}$) $^{-1}$	2,260	3,540	6,710	13,170
Δa , Ом \cdot ($^\circ\text{C}$) $^{-1}$	0,005	0,005	0,010	0,025
α , 10^{-3} ($^\circ\text{C}$) $^{-1}$	4,20	4,12	4,20	4,15
K , ($^\circ\text{C}$) $^{-2}$	3,60	3,50	3,90	3,60
K_0 , ($^\circ\text{C}$) $^{-2}$	631	870	1247	722

тов зависимости (2), полученной в описанных нормальных условиях, производилась с помощью линейного метода наименьших квадратов (МНК) (для каждого образца было проведено 1720 измерений). С помощью МНК определяли угловой коэффициент a и свободный член R_0 (напомним, что он соответствует значению ТС при 0°C), со своими среднеквадратичными отклонениями (соответственно Δa и ΔR_0 , см. таблицу). Приборная погрешность магазина сопротивлений при выбранных условиях обуславливалась его классом точности, который составлял 0,2 %.

Очевидно, что эффективность работы ТС должна быть прямо пропорциональна его чувствительности (см. выше) и обратно пропорциональна произведению «мертвого» сопротивления на «мертвую» температуру (см. далее). Поэтому в качестве параметра, определяющего критерий для выбора оптимального значения ТС, нами предлагается величина

$$K = \frac{a}{R_D t_D}, \quad (6)$$

где $a = \Delta R / \Delta t$ – чувствительность ТС (она определяется тангенсом угла наклона линейной зависимости $R(t)$ к оси абсцисс t); R_D – «мертвое» сопротивление (МС); t_D – «мертвая» температура (МТ).

В качестве МС R_D бралась погрешность сопротивления при 20°C , учитывающая класс точности магазина сопротивлений. Она оказалась примерно на порядок выше, чем среднеквадратичное отклонение ΔR_0 ТС (см. таблицу) в измеряемом диапазоне температур. Следует отметить, что если взять в качестве магазина сопротивлений другой, с более высоким классом точности, например МСР-60М (класс точности 0,02 %), то полученные таким образом МС оказываются сравнимыми с соответствующими среднеквадратичными отклонениями. В качестве МТ t_D бралась погрешность температуры при 20°C (при определенном ее значении) при фиксированном сопротивлении при той же температуре. Если же принять погрешность при 20°C как погрешность термометра, то при этом теряется индивидуальность

ТС, поскольку последняя у всех одна и та же; она составляет $0,05^\circ\text{C}$. В связи с вышесказанным, МТ определялась как произведение МС на котангенс угла (a^{-1}) между полученной экспериментальной зависимостью $R(t)$ и осью абсцисс t , т. е.

$$t_D = R_D \cdot a^{-1}. \quad (7)$$

При подстановке формулы (7) в выражение для критерия (6) получим, что

$$K = (a/R_D)^2. \quad (8)$$

Полученные экспериментальные результаты сведены в таблице. Из ее анализа можно сделать следующие заключения.

1. Погрешности, полученные по формулам косвенных измерений [4], с учетом приборной погрешности для температурного коэффициента a и параметра K , составили соответственно $1,1 \cdot 10^{-4} (^\circ\text{C})^{-1}$ и $0,05 (^\circ\text{C})^{-2}$, а для параметра K_0 с учетом величин, полученных из МНК, погрешность оказалась более чем на два порядка меньше, чем сама величина для всех образцов.

2. С учетом погрешностей, представленных в п. 1, температурные коэффициенты a у всех образцов совпадают, и за исключением второго, у которого отличия наблюдаются в третьей значащей цифре, они совпадают с аналогичной величиной (5) по существующему в настоящее время ГОСТу.

3. Параметр K имеет наибольшее значение для третьего образца, тогда как для первого, второго и четвертого образцов значения параметра K совпадают.

4. Если в качестве МС взять среднеквадратичное отклонение ΔR_0 для свободного члена из МНК и, используя соотношение (7), определить соответствующую МТ, то при подстановке в выражение (8) введенный параметр K_0 для третьего ТС становится существенно больше, по сравнению с другими ТС.

5. На основании п.п. 3 и 4 можно заключить, что из результатов, полученных при выбранных условиях для четырех образцов медных ТС, оптимальным при температурных измерениях является значение сопротивления у третьего образца.

Таким образом, предлагаемый параметр $K(K_0)$ может служить в качестве удобного и надежного критерия выбора оптималь-

ного значения медного термосопротивления при температурных измерениях в атмосфере при нормальных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] ГОСТ 6651-94. Термопреобразователи сопротивления. Общие технические требования и методы испытаний. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. 31 с.

[2] ГОСТ Р 8.625-2006. Термометры сопротивления из платины, меди и никеля. Методика проверки. М.: Стандартинформ, 2007. 33 с.

[3] ГОСТ 6651-2009. Термопреобразо-

ватели сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2011. 25 с.

[4] Белов В.Н., Молодкин Ю.Л., Пальмова Н.И., Хачатурьянц А.В. Обработка результатов измерений. Л.: Изд-во ЛПИ им. М.И. Калинина, 1988. 41 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

ОКТЯБРЬСКИЙ Валерий Павлович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры медицинской физики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

195251, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

vokt@yandex.ru

Oktyabrskiy V.P. THE CRITERION FOR THE OPTIMAL SAMPLING OF COPPER THERMISTOR TO MEASURE IN THE ATMOSPHERE UNDER NORMAL CONDITIONS.

In this paper a new parameter is suggested as a criterion for selecting the optimal value of the copper thermal resistance in temperature measurements in the atmosphere under normal conditions. The proposed parameter is directly proportional to the sensitivity of thermal resistance and inversely proportional to the product of 'dead' resistance and 'dead' temperature (the product of errors of temperature and resistance when their determination). It has been shown through the example of 4 samples that this criterion is convenient. For one of the thermal resistance this parameter is higher in the investigated range of temperatures.

SELECTION CRITERION, COPPER THERMISTOR, TEMPERATURE MEASUREMENT, 'DEAD' RESISTANCE, 'DEAD' TEMPERATURE.

REFERENCES

[1] GOST 6651-94. Termopreobrazovateli soprotivleniya. Obshchiye tekhnicheskkiye trebovaniya i metody ispytaniy [Resistance thermal converters. General technical requirements and test methods], Moscow, ИПК Изд-во standartov, 2002.

[2] GOST R 8.625-2006. Termometry soprotivleniya iz platiny, medi i nikelya. Metodika proverki [Resistance thermometers of platinum, copper and nickel. Test procedure], Moscow, Standartinform, 2007.

[3] GOST 6651-2009. Termopreobrazovateli soprotivleniya iz platiny, medi i nikelya. Obshchiye tekhnicheskkiye trebovaniya i metody ispytaniy [Resistance thermal converters of platinum, copper and nickel. General technical requirements and test methods], Moscow, Standartinform, 2011.

[4] V.N. Belov, Yu.L. Molodkin, N.I. Palmova, A.V. Khachataryants, Obrabotka rezultatov izmereniy [The treatment of measuring data], Leningrad, Leningrad Polytechnical Institute, 1988.

THE AUTHOR

ОКТЯБРСКИЙ Valeriy P.

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russian Federation

vokt@yandex.ru