

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕРМИСТОРАМИ

А. В. Серяков

ОАО «Специальное конструкторско-технологическое бюро по релейной технике»
Россия, 173000, Великий Новгород, ул. Нехинская, 55. E-mail: seryakovav@yandex.ru

Рассмотрен вопрос измерения температуры полупроводниковыми термисторами и повышения точности этих измерений. Повышение точности осуществлено за счет привязки температуры к точке перегиба (inflection point) T_{inf} функциональной зависимости логарифма сопротивления термистора и учета временного дрейфа коэффициентов разложения.

Измерение температуры, термисторы, точка перегиба функциональной зависимости логарифма сопротивления термистора, дрейф коэффициентов разложения.

THERMISTOR THERMOMETRY

A. V. Seryakov

"Special Design and Technological Bureau of Relay Technique"
55 Nekhinskaya street, Veliky Novgorod, 173000, Russia. E-mail: seryakovav@yandex.ru

In the article we consider the problem of thermistor thermometry and increase of accuracy of such measurements. Such accuracy increase is achieved by means of temperature being attached to the inflection point T_{inf} of functional dependence of the logarithm of thermistor resistance, and the account of the timing drift of expansion coefficients.

Temperature measurement, thermistors, inflection point of the functional dependence of the logarithm of thermistor resistance, drift of expansion coefficients.

Проблема измерения температуры термисторами, применяемыми при исследовании тепловых процессов в устройствах охлаждения, например в тепловых трубах среднетемпературного диапазона, исключительно актуальна. При разработке новых тепловых труб сравнение и выбор тех или иных конструктивных вариантов проводится с помощью определения теплопередающих характеристик труб, и точность измерений температуры (разностей температур) при этом является решающим фактором.

С этой целью была выполнена калибровка термистора СТЗ-19 в интервале температур $0 \div 200$ °С, путем сличения показаний в равновесных термодинамических условиях с образцовым платиновым термометром сопротивления [1; 2].

Экспериментальная часть. Термисторы СТЗ-19 представляют собой термочувствительные элементы [3–5], выполненные из керамических оксидных материалов на основе никеля, марганца и кобальта, по составу определяемые формулой $(\text{Ni}_{0,2}\text{Mn}_{0,7}\text{Co}_{0,1})_3\text{O}_4$, с отрицательным ТКС и сопротивлением при комнатной температуре около 10 кОм. Бусинка термистора СТЗ-19 тонкими платиновыми проволочками (0,01 мм) приварена к выводным траверсам (0–3 мм) и покрыта тонким слоем молибденового стекла. Термисторы имеют радиационную стойкость не хуже 2 Ус и длительную выдержку при больших g .

В качестве термометра сопротивления использован чувствительный элемент образцового платинового термометра сопротивления ПТС-10. Кварцевый

геликоид с платиновой спиралью помещен в выполненный из молибденового стекла тонкостенный цилиндрический чехол диаметром 4 мм. Перед запаиванием чехол с геликоидом был заполнен гелием при давлении, несколько меньшим атмосферного. После изготовления термометр сопротивления заново проградуирован в Сибирском институте метрологии (СНИИМ), г. Новосибирск, в интервале температур $0 \div 200$ °С. Абсолютная погрешность измерения температуры термометром оценена в 0,02 К.

Термометр с термистором размещены в массивном медном блоке цилиндрической формы, длиной 100 мм и диаметром 70 мм, установленном в вакуумной камере на специальных жестких подвесах, закрепленных на внутренней поверхности верхнего фланца камеры. В верхний фланец вакуумной камеры вварены две трубы, через одну из которых осуществляется вакуумная откачка камеры, а через другую выведены все измерительные провода. Вакуум в камере поддерживался не хуже $1,3 \cdot 10^{-3}$ Па (10^{-5} тор).

Вакуумная камера с медным блоком помещена в жидкостный термостат вместимостью 40 л, температуру в котором устанавливали и длительно поддерживали с помощью регулятора ВРТ-3 и платинового термометра ТСП-III в интервале $0 \div 200$ °С с минимальной дискретностью $5 \cdot 10^{-3}$ К. Охлаждающим устройством являлся кондиционер БК-1500, штатный испаритель-теплообменник которого был заменен разветвленным медным змеевиком. Рабочей жидко-

стью в термостате служило силиконовое масло ПЭС-В2, позволяющее работать при температурах 0÷200 °С. Колебания температуры внутри термостата на протяжении нескольких часов наблюдений не превышали $1 \cdot 10^{-3}$ К, дрейф температуры был менее $1 \cdot 10^{-4}$ К/час.

Проведение измерений. На протяжении нескольких лет в ИТ СО РАН, Новосибирск, была осуществлена калибровка термисторов СТЗ-19. Измерения проводились в стационарном режиме с изотермической оболочкой [6; 7], с постепенным увеличением температуры от 0 °С до 200 °С с шагом 10 °С. Длительность одного непрерывного цикла подъема температуры и проведения измерений достигала 48 часов. Всего был проведен 21 цикл измерений.

Собственно калибровка термистора состояла в точном измерении стандартным потенциометрическим методом сопротивления термистора R_C , Ом, в стационарном состоянии при заданной температуре T , К, определяемой по платиновому термометру сопротивления ПТС-10. В качестве измерителя использован компаратор напряжений Р3003 класса точности 0,0005, вместе с образцовой катушкой сопротивления Р 321 класса точности 0,01, размещенной в пассивном термостате. Источником тока служил набор батарей «Бакен» в заземленном металлическом кожухе.

Всего получено более 500 экспериментальных точек, из которых был сформирован массив исходных данных температур T и логарифмов сопротивлений термистора $\ln R_C$. Максимальная случайная погрешность измерения температуры термометром ПТС-10 не превышала $(2 \div 3) \cdot 10^{-3}$ К, сопротивлений термистора $5 \cdot 10^{-4}$ Ом.

Все измерения температуры, выполненные на термометре сопротивления ПТС-10, включая калибровку в СНИИМ, сделаны при величине измерительного тока 1 ма ($1 \cdot 10^{-3}$ А), и выделяемая тепловая мощность равна $W_{\text{ПТС}} = (10 \div 17) \cdot 10^{-6}$ Вт.

На рис. 1 приведены результаты одного цикла измерений сопротивления термистора R_C в зависимости от температуры, при этом для удобства дальнейшего анализа график представлен в виде функции обратной

температуры $10^4/T$, 1/К, от $\ln R_C$. Эта зависимость близка к линейной, но в области повышенных температур $T \sim 473$ К, где $\ln R_C \sim 4 \div 5$, и в области пониженных температур $T \sim 273$ К, где $\ln R_C \sim 9 \div 10$, наблюдаются отклонения. При средних температурах, в интервале значений $\ln R_C \sim 6 \div 8$, возможно существование точки перегиба.

Рассматривая датчик температуры как систему со сосредоточенными параметрами, уравнение термистора записывают следующим образом [1; 2]:

$$T_C + \tau_C \cdot \dot{T}_C = \frac{W_C}{K_C} + T_0; \quad \tau_C = \frac{C_C}{K_C}, \quad (1)$$

где T_C – температура термистора, К; \dot{T}_C – производная по времени температуры термистора при динамическом режиме измерений, τ_C – характерное время запаздывания термистора, с; W_C – выделяемая на термисторе электрическая мощность, Вт; K_C – коэффициент теплопередачи между термистором и медным блоком, Вт/К; T_0 – измеряемая термометром ПТС-10 температура медного блока или, например, тепловой трубы τ – время, с; C_C – теплоемкость термистора, Дж/К.

Решением уравнения (1) является выражение (2) [8], в котором в момент времени $\tau = \tau^*$

$$T_C(\tau) = T_C^* \cdot \exp\left(-\frac{\tau - \tau^*}{\tau_C}\right) + \left(\frac{W_C}{K_C} + T_0\right) \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{\tau - \tau^*}{\tau_C}\right)\right] \quad (2)$$

температура термистора считается известной и равной T_C^* .

Электрическая мощность W_C , выделяемая на термисторе измерительным током, при всех калибровочных испытаниях постоянна и равна $20 \cdot 10^{-6}$ Вт, и перегрев термистора ΔT_C вычисляются по формуле

$$\Delta T_C = \frac{W_C}{K_C} = \tau_C \cdot \frac{W_C}{C_C}. \quad (3)$$

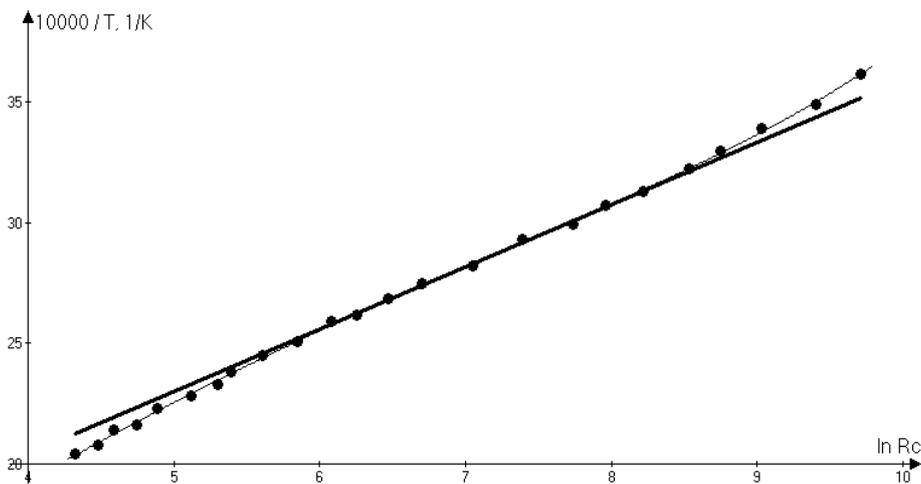


Рис. 1. Экспериментальная зависимость логарифма сопротивления термистора СТЗ-19 от обратной температуры $10^4/T$, 1/К. Прямая линия – расчет по уравнению (6); график кривой – расчет по уравнению (9)

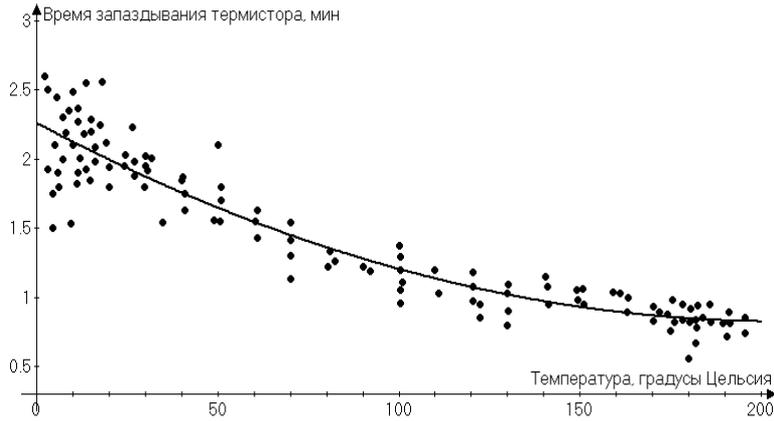


Рис. 2. Экспериментально определенные времена τ_c запаздывания термистора СТЗ-19

Для определения перегрева термистора были проведены специальные опыты, в которых в стационарных состояниях при температурах от 2 до 195 °С, измерялся темп нагрева и остывания термистора (и термометра) при ступенчатом изменении выделяемой в них электрической мощности W_C . С помощью измерительной системы жидкостного калориметра, описание которой приведено в [6; 7], были проведены подробные измерения релаксационных характеристик датчиков. Расчет времени запаздывания термистора τ_c по уравнению (2) с помощью стандартной процедуры метода наименьших квадратов (МНК) [9–12] дал результаты, приведенные на рис. 2.

Аппроксимирующая кривая на рис. 2 задана полиномиальным выражением

$$\tau_c(t) = 3,3963027 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 1,39779 \cdot 10^{-2} \cdot t + 2,261388, \text{ мин}, \quad (4)$$

где t – температура в градусах Цельсия, среднеквадратичное отклонение экспериментальных точек $\sigma \sim 0,18$ мин.

Теплоемкость термистора $C_C \sim (0,3 \div 0,35)$ Дж/К, коэффициент теплопередачи $K_C \sim (2 \div 5) \cdot 10^{-3}$ Вт/К, величина перегрева измерительным током не превышает $\Delta T_C \sim (10 \div 4) \cdot 10^{-3}$ К и учитывается при всех измерениях.

Разность температур между медным блоком и окружающей ее изотермической оболочкой – термостатом – не превышала $0,05 \div 0,1$ К, величина температурного хода при проведении калибровки была меньше 10^{-7} К/с, поэтому термодинамическое состояние датчиков температуры внутри медного блока в этот период являлось квазистационарным.

Обработка результатов. Функциональная зависимость электрического сопротивления оксидного полупроводникового термистора R_C от температуры T достаточно сложна, и в первом приближении ее представляют в виде сопротивления идеального полупроводника со строго одинаковым количеством дырок и носителей заряда, в экспоненциальном виде

$$R_C = A \cdot \exp\left(\frac{B}{T}\right), \quad (5)$$

где R_C – электрическое сопротивление термистора, Ом, при температуре T , К; A – величина сопротивления термистора, Ом, при бесконечно большой температуре; B – параметр чувствительности термистора, в общем случае также зависящий от температуры, 1/К. При температуре $t = 1$ °С сопротивление термистора СТЗ-19 $R_C \sim 30$ кОм, при температуре $t = 200$ °С $R_C \sim 50$ Ом. Величина $B \sim 4000$ 1/К, $A \sim 0,013$ Ом. После логарифмирования (5) получают

$$\frac{1}{T} = -\frac{1}{B} \cdot \ln A + \frac{1}{B} \cdot \ln R_C. \quad (6)$$

Для уточнения вопроса о перегибе, была вычислена производная $d(1/T)/d(\ln R_C)$, при этом анализировался весь массив экспериментальных точек. Значения производной $d(1/T)/d(\ln R_C)$, рассчитанные по результатам одного цикла измерений сопротивления термистора в зависимости от $\ln R_C$, приведены на рис. 3.

По результатам численного дифференцирования [13] всего массива экспериментальных точек, минимум кривой определен нами при значении $\ln R_{C \min} = 7,63 \pm 0,01$, что соответствует температуре точки перегиба (inflection point) $T_{\text{inf}} = 336,34$ К или $63,19$ °С. Разлагая производную $d(1/T)/d(\ln R_C)$ в ряд в окрестности точки минимума, было получено выражение

$$\frac{d(1/T)}{d \ln R_C} = a_1 + a_2 \cdot (\ln R_C - 7,63)^2 + a_3 \cdot (\ln R_C - 7,63)^3 + \dots \quad (7)$$

где a_i – коэффициенты разложения.

После интегрирования разложение (7) приводят к следующему виду

$$\frac{1}{T} = A_0(\tau_d) + A_1(\tau_d) \cdot (\ln R_C - 7,63) + A_2(\tau_d) \cdot (\ln R_C - 7,63)^2 + A_3(\tau_d) \cdot (\ln R_C - 7,63)^3, \quad (8)$$

где $A_i(\tau_d)$ – коэффициенты разложения; τ_d – время дрейфа (drift) коэффициентов.

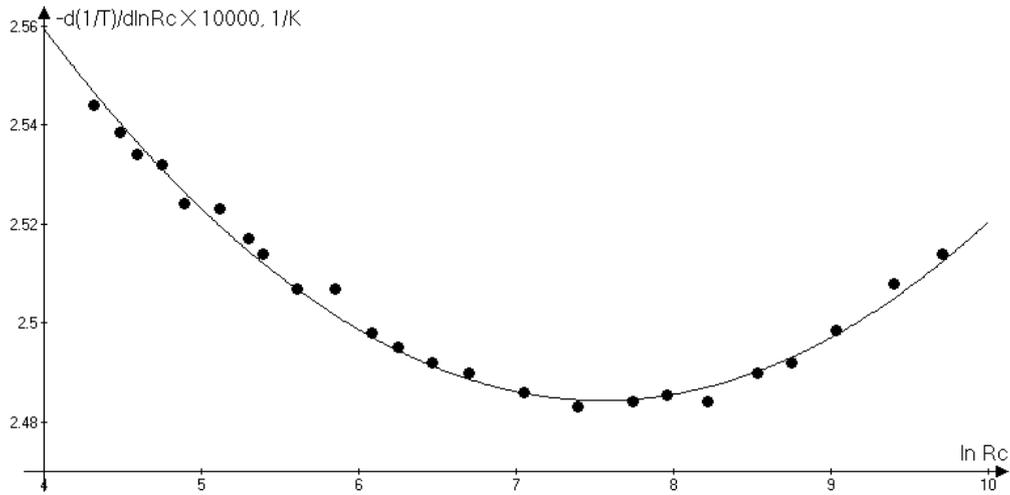


Рис. 3. Расчетная зависимость производной $-d(1/T)/d(\ln R_C) \cdot 10^4, 1/K$, в зависимости от логарифма сопротивления $\ln R_C$ термистора СТ3-19

Таким образом, калибровка термистора СТ3-19 по существу, состоит в определении численного значения коэффициентов полинома (8) $A_i(\tau_d)$ и учета их дрейфа во времени.

Основная особенность расчета по уравнению (8) заключается в привязке температуры к точке перегиба T_{inf} функциональной зависимости логарифма сопротивления термистора.

Расчет коэффициентов $A_i(\tau_d)$ был проведен с помощью стандартной процедуры метода наименьших квадратов (МНК) [9–12]. Абсолютные погрешности расчета коэффициентов $A_i(\tau_d)$ следующие: $\delta A_0 \sim 1 \cdot 10^{-3}$, $\delta A_1 \sim 1 \cdot 10^{-3}$, $\delta A_2 \sim 1 \cdot 10^{-4}$, $\delta A_3 \sim 1 \cdot 10^{-5}$.

Для контроля качества калибровок и их долговременной стабильности после каждого из 21 определения набора коэффициентов $A_i(\tau_d)$ из выражения (8) были вычислены производные $d(1/T)/d(\ln R_C)$. С разбросом не более $\Sigma \sim 5 \cdot 10^{-7}$ все значения производных лежат на кривой рис. 3. В области пониженных температур при значениях логарифмов $\ln R_C \sim 9 \div 10$, разброс калибровок несколько больше и достигает $\Sigma \sim (5 \div 7) \cdot 10^{-7}$. Связано это с тем, что там, где больше сопротивление термистора R_C и круче его температурная зависимость dR_C/dT , там меньшая плотность экспериментальных точек, поскольку калибровки термистора преимущественно проводились равномерно по температуре с шагом $10^\circ C$.

Динамика изменения коэффициентов $A_i(\tau_d)$, временной дрейф калибровки термистора представлена на рис. 4. Первые восемь циклов измерений проводились с нагревом термистора до температуры $200^\circ C$. Следствием такого нагрева был значительный дрейф калибровки и изменение коэффициентов $A_i(\tau_d)$, например $dA_0/d\tau \sim 6 \cdot 10^{-4}$ 1/мес.

После того как верхний предел температуры был снижен до $190^\circ C$, временной дрейф коэффициентов заметно уменьшился, к примеру скорость изменения коэффициента $A_0(\tau_d)$ стала всего $dA_0/d\tau \sim 1,5 \cdot 10^{-4}$ 1/мес. Значения временного дрейфа коэффициентов $A_i(\tau_d)$ приведены ниже, τ_d – месяцы.

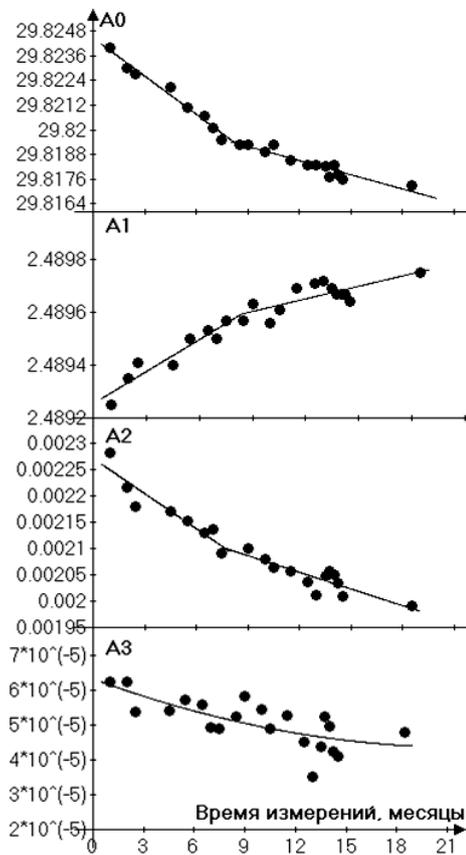


Рис. 4. Динамика изменений коэффициентов A_i во времени при нагревах до $200^\circ C$ – левые части графиков, до $190^\circ C$ – правые части графиков

Коэффициент $A_0(\tau_d)$:

$A_0 = - 6,21997 \cdot 10^{-4} \cdot \tau_d + 29,824488$ при нагреве до $200^\circ C$;

$A_0 = - 2,3075444 \cdot 10^{-4} \cdot \tau_d + 29,819432$ при нагреве до $190^\circ C$.

Коэффициент $A_1(\tau_d)$:

$A_1 = 4,051207 \cdot 10^{-5} \cdot \tau_d + 2,489278$ при нагреве до $200^\circ C$;

$A_1 = 1,5876991 \cdot 10^{-5} \cdot \tau_d + 2,48958$ при нагреве до 190 °С.

Коэффициент $A_2(\tau_d)$:

$A_2 = - 2,2266277 \cdot 10^{-5} \cdot \tau_d + 0,0022733$ при нагреве до 200 °С;

$A_2 = - 1,0559017 \cdot 10^{-5} \cdot \tau_d + 0,0021054$ при нагреве до 190 °С.

Коэффициент $A_3(\tau_d)$:

$A_3 = - 3,98635 \cdot 10^{-8} \cdot (\tau_d)^2 + 1,771915 \cdot 10^{-6} \cdot \tau_d + 6,3241 \cdot 10^{-5}$ при нагреве до 190 °С и до 200 °С.

Подстановка коэффициентов $A_i(\tau_d)$, вычисленных при нагреве термистора до 190 °С в уравнение (8), снижает разброс производных $d(1/T)/d(\ln R_C)$ на кривой рис. 3 до величины $\sum \sim (2 \div 3) \cdot 10^{-7}$, и позволяет более точно определить точку минимума $\ln R_{C_{\min}} = 7,63_2 \pm 0,01$, тем самым уменьшить погрешность расчета температуры при проведении измерений термистором СТЗ-19.

Таким образом, рекомендуемое уравнение для расчета температуры термистором СТЗ-19, учитывающее как точку перегиба (inflection point)

$T_{\text{inf}} = 336,34$ К функциональной зависимости логарифма $\ln R_C$ сопротивления термистора, так и временной дрейф полиномиальных коэффициентов разложения $A_i(\tau_d)$ при периодических нагревах термистора до 190 °С, выглядит следующим образом:

$$\frac{1}{T} = A_0(\tau_d) + A_1(\tau_d) \cdot (\ln R_C - 7,63_2) +$$

$$A_2(\tau_d) \cdot (\ln R_C - 7,63_2)^3 + A_3(\tau_d) \cdot (\ln R_C - 7,63_2)^4. \quad (9)$$

Обсуждение результатов. Известно полиномиальное уравнение третьей степени J. S. Steinhart, S. R. Hart [14], предназначенное для расчета температуры термистором и содержащее линейный и кубический по логарифму сопротивления $\ln R_C$ члены

$$\frac{1}{T_{SH}} = A + B \cdot \ln R_C + C \cdot \ln R_C^3. \quad (10)$$

Диапазон применения по температуре данного уравнения с одним набором коэффициентов не превышает 50 ÷ 75 К [14; 15]. Используя опубликованные в современных интернет-изданиях [15] наборы численных значений коэффициентов уравнения Steinhart'a и Hart'a, было проведено сопоставление результатов расчета температуры по уравнению Steinhart'a и Hart'a и по нашему уравнению четвертой степени логарифмов сопротивления термистора (9).

Относительные разности температур

$$\delta = (T_{SH} - T) / T \cdot 100 \%,$$

в зависимости от $\ln R_C$ представлены на рис. 5. Проведенное сопоставление результатов показывает, что разности температур δ в зависимости от $\ln R_C$ имеют знакопеременный характер.

Минимальные значения разностей температур δ порядка 0,25 %, наблюдаются при величине $\ln R_C \sim 6$ термистора СТЗ-19. Максимальные значения разностей δ , достигающие 0,8 ÷ 1 %, имеют место на краях интервала применимости уравнения (9).

Погрешность определения температуры (разностей температур) термистором СТЗ-19 с помощью уравнения четвертой степени (9) с учетом точки перегиба при $\ln R_C = 7,63_2$, не превышает $(3 \div 5) \cdot 10^{-4}$ К.

Применение полиномиального уравнения четвертой степени (9) с привязкой температуры к точке перегиба функциональной зависимости логарифма сопротивления термистора, позволяет расширить диапазон и повысить точность определения температуры.

Учет временного дрейфа коэффициентов разложения полинома (9) $A_i(\tau_d)$ позволяет повысить точность определения точки минимума $\ln R_{C_{\min}} = 7,63_2 \pm 0,01$ характеристик термистора и тем самым точность определения температуры.

Применение полиномиального уравнения третьей степени Steinhart'a и Hart'a увеличивает погрешности расчета температуры термистором на краях интервала 273 К ÷ 473 К до 1,5 ÷ 2 К.

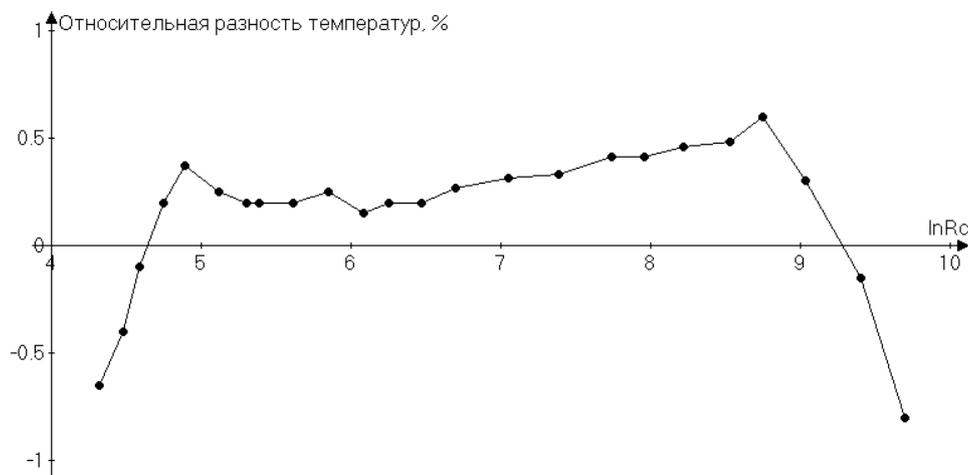


Рис. 5. Относительные разности температур δ , вычисленные по уравнению Steinhart'a и Hart'a, и по уравнению четвертой степени относительно точки перегиба характеристик термистора (9)

Библиографические ссылки

1. *Линевег Ф.* Измерение температур в технике. Справочник. М. : Металлургия, 1980.
2. *Кондратьев Г. М.* Тепловые измерения. М. : Машгиз, 1957.
3. *Мэглин Э. Д.* Терморезисторы. М. : Радио и связь, 1983.
4. *Гендин Г. С.* Все о резисторах : справочное издание. М. : Горячая Линия-Телеком, 2000.
5. *Шефтель И. Т.* Терморезисторы. М. : Наука, 1973.
6. *Серяков А. В.* Автоматизированный калориметр постоянного объема для исследования растворов электролитов // Теплофизические свойства растворов, расплавов и композитов : сб. научн. тр. ; Институт теплофизики СО РАН. Новосибирск, 1991. С. 139–153.
7. *Груздев В. А., Серяков А. В.* Жидкостный калориметр // Теплофизические свойства веществ : тр. 8-й Всесоюзн. конф. Новосибирск, 1989. Ч. 1. С. 256–261.
8. *Камке Э.* Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. М. : Наука, 1976.
9. *Демидович Б. П., Марон И. А.* Основы вычислительной математики. М. : Наука, 1966.
10. *Амосов А. А., Дубинский Ю. А., Копченкова Н. В.* Вычислительные методы для инженеров. М. : Высшая школа, 1994.
11. *Хемминг Р. В.* Численные методы. М. : Наука, 1968.
12. *Дэвенпорт Дж., Сирэ И., Турнье Э.* Компьютерная алгебра: Системы и алгоритмы алгебраических вычислений. М. : Мир, 1991.
13. *Мудров А. Е.* Численные методы для ПЭВМ на языках Бейсик, Фортран и Паскаль. Томск : Раско, 1991.
14. *Steinhart J. S., Hart S. R.* Calibration curves for thermistors // Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts. 1968. Vol. 15. № 4. P. 497–503.
15. Cornerstone Sensors. A, B, C Coefficients for Steinhart-Hart Equation. Temperature Sensors for Health, Science and Industry. 2010. 2 p. California 92083. USA.

© А. В. Серяков, 2013

УДК 628.16.087

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОАГУЛЯЦИИ НА СТЕПЕНЬ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ИОНОВ МЕТАЛЛОВ

И. Я. Шестаков¹, О. В. Раева²

¹Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31. E-mail: yakovlevish@mail.ru

²Сибирский федеральный университет, институт цветных металлов и материаловедения 660025, Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 95. E-mail: O.V.Raeva@mail.ru

Представлены результаты экспериментальных исследований очистки воды, заключающейся в пропускании через нее переменного асимметричного тока с использованием нерастворимых разнородных электродов, введении коагулянта и отстаивании.

Ключевые слова: вода, электрохимический способ, переменный ток, коагулянт, отстаивание.

ASSESSMENT OF COAGULATION INFLUENCE ON INDEX OF PURIFICATION OF WATER FROM METAL IONS

I. Ya. Shestakov¹, O. V. Raeva²

¹Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev 31 "Krasnoyarskiy Rabochiy" prospect, Krasnoyarsk, 660014, Russia. E-mail: yakovlevish@mail.ru

²Siberian Federal University, Institute of Non-Ferrous Metals and Material Science 95 "Krasnoyarskiy Rabochiy" prospect, Krasnoyarsk, 660025, Russia. E-mail: O.V.Raeva@mail.ru

The article presents the results of experimental studies of water purification, consisting of passing through it asymmetric alternating current with application of insoluble heterogeneous electrodes, introducing coagulating agent and settling.

Keywords: water, electrochemical method, alternating current, coagulating agent, settling.

Загрязнение воды является одной из острых экологических проблем в мире. Более 90 % сточных вод сбрасываются в открытые водоемы без предварительной очистки. Загрязнены реки, озера, подземные

источники. В большой мере причиной тому являются сточные воды гальванических производств, содержащие целый ряд ионов металлов, пагубно воздействующих на здоровье людей и окружающую среду.