

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

---



НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
СТАНДАРТ  
РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р  
8.940—  
2017

---

Государственная система обеспечения  
единства измерений

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ.  
СТАНДАРТНЫЕ СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ**

**Медно-цинковые сплавы. Температурный  
коэффициент линейного расширения и удельное  
электрическое сопротивление в диапазоне  
от 300 К до 2/3 температуры плавления**

Издание официальное



Москва  
Стандартинформ  
2019

## Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Главным научным метрологическим центром «Стандартные справочные данные о физических константах и свойствах веществ и материалов» (ГНМЦ «ССД»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 180 «Стандартные справочные данные о физических константах и свойствах веществ и материалов»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 декабря 2017 г. № 2077-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

5 ПЕРЕИЗДАНИЕ. Март 2019 г.

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет ([www.gost.ru](http://www.gost.ru))*

© Стандартиформ, оформление, 2018, 2019

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

**Содержание**

|  |    |
|--|----|
| 1 Область применения .....                               | 1  |
| 2 Нормативные ссылки .....                               | 1  |
| 3 Общие положения .....                                  | 1  |
| Приложение А (справочное) Экспериментальные данные ..... | 19 |
| Библиография .....                                       | 41 |

---

Государственная система обеспечения единства измерений

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ.  
СТАНДАРТНЫЕ СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

**Медно-цинковые сплавы. Температурный коэффициент линейного  
расширения и удельное электрическое сопротивление в диапазоне  
от 300 К до 2/3 температуры плавления**

State system for ensuring the uniformity of measurements. National standard.  
Standard reference data. Copper-zinc alloys. Temperature coefficient of linear expansion  
and electrical resistivity for the temperature range from 300 K to 2/3 temperature of melting

---

Дата введения — 2018—03—01

## 1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на стандартные справочные данные (ССД) о температурном коэффициенте линейного расширения (ТКЛР) и электрических сопротивлений.

Настоящий стандарт предназначен для использования ССД о ТКЛР медно-цинковых сплавов в диапазоне от 300 К до 2/3 температуры плавления, измерения которого выполнены на кварцевом dilatометре [1], и данных об удельном электрическом сопротивлении, определяемых четырехзондовым методом на постоянном токе (см. приложение А).

## 2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использована нормативная ссылка на следующий стандарт:

ГОСТ 34100.3/ISO/IEC Guide 98-3:2008 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения

**П р и м е ч а н и е** — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

## 3 Общие положения

Тепловое (линейное) расширение — деформация, вызванная изменением температуры. ТКЛР представляет собой относительное изменение линейного размера при изменении температуры на 1 К. ССД о ТКЛР представлены в виде таблиц и рассчитаны по уравнениям, отображающим зависимость ТКЛР от значений температуры (ГОСТ 34100.3).

---

Относительное удлинение (тепловую деформацию)  $\Delta L$  вычисляют по формуле

$$\Delta L = \Delta L_{(T-T_0)} / L_{T_0} = (L_T - L_{T_0}) / L_{T_0}, \quad (1)$$

где  $\Delta L_{(T-T_0)}$  — удлинение в интервале температуры  $(T - T_0)$ , м;

$T$  — конечная температура интервала, К;

$T_0$  — начальная температура, при которой определялись размеры образца  $L$ , К;

$L_{T_0}$  — размер образца при температуре  $T_0$ , м;

$L_T$  — размер образца при температуре  $T$ , м.

Средний (интегральный) ТКЛР в интервале температуры  $(T - T_0)$   $\bar{\alpha}_{(T-T_0)}$ ,  $K^{-1}$  вычисляют по формуле

$$\bar{\alpha}_{(T-T_0)} = (1/L_{T_0}) \cdot \Delta L_{(T-T_0)} / (T - T_0). \quad (2)$$

Полученные значения  $\bar{\alpha}_{(T-T_0)}$  относились к значениям температуры  $T$ .

Значения истинного (дифференциального) ТКЛР  $\alpha$  вычислялись путем нахождения аппроксимирующего полинома  $L = f(T)$  и его дифференцирования. Расчетная формула для истинного ТКЛР имеет следующий вид:

$$\alpha_i = (\delta L / \delta T) \cdot (1/L_i). \quad (3)$$

Поправки, учитывающие тепловое расширение кварца (см. приложение А), вводились непосредственно в программу для расчетов.

Значения электросопротивления  $\rho$  вычислялись по формуле

$$\rho = (1 + \bar{\alpha} \Delta T) \cdot \frac{SU_x R_0}{U_0 l_p}, \quad (4)$$

где  $\bar{\alpha}$  — коэффициент теплового расширения образца в интервале температуры  $\Delta T = T - T_0$ ;

$\Delta T = T - T_0$  — интервал температуры;

$S$  — площадь сечения рабочего участка образца;

$U_x$  и  $U_0$  — падения напряжения на образце и эталонном сопротивлении  $R_0$  соответственно;

$R_0$  — эталонное сопротивление;

$l_p$  — длина рабочего участка образца (расстояние между потенциальными зондами).

ССД для образцов  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -,  $\varepsilon$ -латуней и механических смесей  $\alpha + \beta$ ,  $\beta + \gamma$ ,  $\gamma + \varepsilon$ ,  $\varepsilon + \eta$  системы «медь—цинк», востребованные в ряде отраслей техники, представлены в актуальном для практического применения интервале температур от 300 до 1000 К, для которого отсутствуют надежные аттестованные данные.

В таблицах 1—10 приведены стандартные справочные значения среднего  $\bar{\alpha}_{(T-T_0)}$  и истинного ТКЛР, а также удельного электросопротивления образцов соответствующих составов. Соотношения меди и цинка в сплавах представлены в весовых процентах. При составлении окончательных таблиц приведены термодинамические значения температуры, К. Температура, при которой определялся начальный размер образцов, составляла 293,15 К. Начальная температура при измерениях температурных зависимостей была, как правило, 303,15 К. Температурные зависимости  $\Delta L$  после исследований экстраполировались к значению при температуре 293,15 К. Для каждого состава проводились три серии измерений «нагрев—охлаждение», итого шесть температурных зависимостей. Каждая серия представляла собой температурные зависимости длины образца и электросопротивления при нагреве и охлаждении. После получения температурных зависимостей проводилось усреднение значений  $(T, L, \rho)$  в каждой серии следующим образом:

1-я серия измерений:

$$(T_{i \text{ наг}} + T_{i \text{ охл}}) / 2 = T_{i \text{ сред1}};$$

$$(L_{i \text{ наг}} + L_{i \text{ охл}}) / 2 = L_{i \text{ сред1}};$$

$$(\rho_{i \text{ наг}} + \rho_{i \text{ охл}}) / 2 = \rho_{i \text{ сред1}}.$$

**Пример**

| $T_{\text{наг}}$ | $T_{\text{охл}}$ | $L_{\text{наг}}$ | $L_{\text{охл}}$ | $R_{\text{наг}}$ | $R_{\text{охл}}$ | $T_{\text{ср}}$ | $L_{\text{сред}}$ | $R_{\text{сред}}$ |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| 20               | 22               | 70               | 74               | 0,36             | 0,38             | 21              | 72                | 0,37              |
| 30               | 33               | 82               | 86               | 0,41             | 0,43             | 31,5            | 84                | 0,42              |
| 40               | 41               | 91               | 95               | 0,52             | 0,55             | 40,5            | 93                | 0,535             |

Расчеты проводились аналогичным образом для двух последующих серий.

2-я серия измерений:

$$(T_{i \text{ наг}} + T_{i \text{ охл}})/2 = T_{i \text{ сред}2};$$

$$(L_{i \text{ наг}} + L_{i \text{ охл}})/2 = L_{i \text{ сред}2};$$

$$(\rho_{i \text{ наг}} + \rho_{i \text{ охл}})/2 = \rho_{i \text{ сред}2};$$

3-я серия измерений:

$$(T_{i \text{ наг}} + T_{i \text{ охл}})/2 = T_{i \text{ сред}3};$$

$$(L_{i \text{ наг}} + L_{i \text{ охл}})/2 = L_{i \text{ сред}3};$$

$$(\rho_{i \text{ наг}} + \rho_{i \text{ охл}})/2 = \rho_{i \text{ сред}3};$$

Далее значения трех серий усреднялись, и окончательные значения для данного образца следующие:

$(T_{i \text{ сред}1} + T_{i \text{ сред}2} + T_{i \text{ сред}3})/3 = T_{i \text{ сред}}$  — температура для данного образца, усредненная по трем сериям;

$(L_{i \text{ сред}1} + L_{i \text{ сред}2} + L_{i \text{ сред}3})/3 = L_{i \text{ сред}}$  — длина для данного образца, усредненная по трем сериям;

$(\rho_{i \text{ сред}1} + \rho_{i \text{ сред}2} + \rho_{i \text{ сред}3})/3 = \rho_{i \text{ сред}}$  — электросопротивление для данного образца, усредненное по трем сериям.

Для получения ССД о ТКЛР ( $\bar{\alpha}$  и  $\alpha$ ), приведенных в таблицах 1—10, использовался аппроксимирующий полином  $L = f(T)$ , результат его дифференцирования представлялся также полиномом. Для каждого значения температуры  $T_i$ , к которой относились значения  $\bar{\alpha}_{(T-T_0)}$  и  $\alpha_i$ , вычислялись значения  $L_i$ ,  $(L_{T_i} - L_{T_0})$  и  $(\delta L / \delta T)_i$  по формулам (2) и (3) соответственно.

Т а б л и ц а 1 —  $\alpha$ -латунь (7 % Zn + 93 % Cu)

| $T, \text{K}$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, \text{Om} \cdot \text{m}$ |
|---------------|--|------------------------------------|---|
| 300           | 16,29                                    | 16,38                              | 0,0389                                      |
| 310           | 16,33                                    | 16,46                              | 0,0397                                      |
| 320           | 16,36                                    | 16,53                              | 0,0404                                      |
| 330           | 16,40                                    | 16,60                              | 0,0412                                      |
| 340           | 16,44                                    | 16,68                              | 0,0419                                      |
| 350           | 16,48                                    | 16,75                              | 0,0427                                      |
| 360           | 16,52                                    | 16,83                              | 0,0435                                      |
| 370           | 16,56                                    | 16,90                              | 0,0442                                      |
| 380           | 16,60                                    | 16,98                              | 0,0449                                      |
| 390           | 16,64                                    | 17,05                              | 0,0457                                      |
| 400           | 16,68                                    | 17,12                              | 0,0465                                      |
| 410           | 16,72                                    | 17,20                              | 0,0473                                      |
| 420           | 16,76                                    | 17,27                              | 0,0481                                      |
| 430           | 16,79                                    | 17,35                              | 0,0489                                      |

Продолжение таблицы 1

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, Ом \cdot м$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 440    | 16,83                             | 17,42                       | 0,0496                        |
| 450    | 16,87                             | 17,50                       | 0,0504                        |
| 460    | 16,91                             | 17,57                       | 0,0512                        |
| 470    | 16,95                             | 17,64                       | 0,0520                        |
| 480    | 16,99                             | 17,72                       | 0,0528                        |
| 490    | 17,03                             | 17,79                       | 0,0536                        |
| 500    | 17,07                             | 17,87                       | 0,0544                        |
| 510    | 17,11                             | 17,94                       | 0,0553                        |
| 520    | 17,15                             | 18,01                       | 0,0561                        |
| 530    | 17,19                             | 18,09                       | 0,0569                        |
| 540    | 17,22                             | 18,16                       | 0,0577                        |
| 550    | 17,26                             | 18,24                       | 0,0585                        |
| 560    | 17,30                             | 18,31                       | 0,0593                        |
| 570    | 17,34                             | 18,39                       | 0,0602                        |
| 580    | 17,38                             | 18,46                       | 0,0610                        |
| 590    | 17,42                             | 18,53                       | 0,0618                        |
| 600    | 17,46                             | 18,61                       | 0,0627                        |
| 610    | 17,50                             | 18,68                       | 0,0635                        |
| 620    | 17,54                             | 18,76                       | 0,0644                        |
| 630    | 17,58                             | 18,83                       | 0,0652                        |
| 640    | 17,62                             | 18,90                       | 0,0661                        |
| 650    | 17,65                             | 18,98                       | 0,0669                        |
| 660    | 17,69                             | 19,05                       | 0,0678                        |
| 670    | 17,73                             | 19,13                       | 0,0686                        |
| 680    | 17,77                             | 19,20                       | 0,0695                        |
| 690    | 17,81                             | 19,28                       | 0,0704                        |
| 700    | 17,85                             | 19,35                       | 0,0712                        |
| 710    | 17,89                             | 19,42                       | 0,0721                        |
| 720    | 17,93                             | 19,50                       | 0,0729                        |
| 730    | 17,97                             | 19,57                       | 0,0739                        |
| 740    | 18,01                             | 19,65                       | 0,0748                        |
| 750    | 18,05                             | 19,72                       | 0,0756                        |
| 760    | 18,08                             | 19,80                       | 0,0765                        |
| 770    | 18,12                             | 19,87                       | 0,0774                        |
| 780    | 18,16                             | 19,94                       | 0,0783                        |

Окончание таблицы 1

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, Ом \cdot м$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 790    | 18,20                             | 20,02                       | 0,0792                        |
| 800    | 18,24                             | 20,09                       | 0,0801                        |
| 810    | 18,28                             | 20,17                       | 0,0810                        |
| 820    | 18,32                             | 20,24                       | 0,0819                        |
| 830    | 18,36                             | 20,31                       | 0,0829                        |
| 840    | 18,40                             | 20,39                       | 0,0838                        |
| 850    | 18,44                             | 20,46                       | 0,0847                        |
| 860    | 18,48                             | 20,54                       | 0,0856                        |
| 870    | 18,51                             | 20,61                       | 0,0865                        |
| 880    | 18,55                             | 20,69                       | 0,0875                        |
| 890    | 18,59                             | 20,76                       | 0,0885                        |
| 900    | 18,63                             | 20,83                       | 0,0893                        |
| 910    | 18,67                             | 20,91                       | 0,0903                        |
| 920    | 18,71                             | 20,98                       | 0,0912                        |

Таблица 2 —  $\alpha$ -латунь (19,6 % Zn + 80,4 % Cu)

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, Ом \cdot м$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 300    | 16,69                             | 16,86                       | 0,0566                        |
| 310    | 16,74                             | 16,95                       | 0,0575                        |
| 320    | 16,79                             | 17,05                       | 0,0584                        |
| 330    | 16,84                             | 17,14                       | 0,0593                        |
| 340    | 16,89                             | 17,23                       | 0,0601                        |
| 350    | 16,94                             | 17,32                       | 0,0610                        |
| 360    | 16,99                             | 17,41                       | 0,0619                        |
| 370    | 17,04                             | 17,51                       | 0,0628                        |
| 380    | 17,09                             | 17,60                       | 0,0637                        |
| 390    | 17,14                             | 17,69                       | 0,0646                        |
| 400    | 17,19                             | 17,78                       | 0,0655                        |
| 410    | 17,24                             | 17,87                       | 0,0664                        |
| 420    | 17,29                             | 17,96                       | 0,0673                        |
| 430    | 17,34                             | 18,06                       | 0,0682                        |
| 440    | 17,39                             | 18,15                       | 0,0691                        |
| 450    | 17,44                             | 18,24                       | 0,0701                        |
| 460    | 17,49                             | 18,33                       | 0,0710                        |
| 470    | 17,54                             | 18,42                       | 0,0719                        |
| 480    | 17,59                             | 18,51                       | 0,0729                        |



Продолжение таблицы 2

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, Ом \cdot м$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 490    | 17,64                             | 18,61                       | 0,0738                        |
| 500    | 17,69                             | 18,70                       | 0,0748                        |
| 510    | 17,74                             | 18,79                       | 0,0757                        |
| 520    | 17,79                             | 18,88                       | 0,0767                        |
| 530    | 17,83                             | 18,97                       | 0,0777                        |
| 540    | 17,88                             | 19,07                       | 0,0786                        |
| 550    | 17,93                             | 19,16                       | 0,0796                        |
| 560    | 17,98                             | 19,25                       | 0,0806                        |
| 570    | 18,03                             | 19,34                       | 0,0816                        |
| 580    | 18,08                             | 19,43                       | 0,0826                        |
| 590    | 18,13                             | 19,52                       | 0,0836                        |
| 600    | 18,18                             | 19,62                       | 0,0846                        |
| 610    | 18,23                             | 19,71                       | 0,0856                        |
| 620    | 18,28                             | 19,80                       | 0,0866                        |
| 630    | 18,33                             | 19,89                       | 0,0876                        |
| 640    | 18,38                             | 19,98                       | 0,0886                        |
| 650    | 18,43                             | 20,08                       | 0,0896                        |
| 660    | 18,48                             | 20,17                       | 0,0907                        |
| 670    | 18,53                             | 20,26                       | 0,0917                        |
| 680    | 18,58                             | 20,35                       | 0,0927                        |
| 690    | 18,63                             | 20,44                       | 0,0938                        |
| 700    | 18,68                             | 20,53                       | 0,0948                        |
| 710    | 18,73                             | 20,63                       | 0,0959                        |
| 720    | 18,78                             | 20,72                       | 0,0969                        |
| 730    | 18,83                             | 20,81                       | 0,0980                        |
| 740    | 18,88                             | 20,90                       | 0,0991                        |
| 750    | 18,93                             | 20,99                       | 0,1002                        |
| 760    | 18,98                             | 21,09                       | 0,1013                        |
| 770    | 19,03                             | 21,18                       | 0,1023                        |
| 780    | 19,08                             | 21,27                       | 0,1034                        |
| 790    | 19,13                             | 21,36                       | 0,1045                        |
| 800    | 19,18                             | 21,45                       | 0,1056                        |
| 810    | 19,23                             | 21,54                       | 0,1067                        |
| 820    | 19,28                             | 21,64                       | 0,1079                        |
| 830    | 19,33                             | 21,73                       | 0,1090                        |
| 840    | 19,38                             | 21,82                       | 0,1101                        |

Окончание таблицы 2

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, \text{OM} \cdot \text{M}$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|---|
| 850    | 19,43                             | 21,91                       | 0,1112                                      |
| 860    | 19,48                             | 22,00                       | 0,1123                                      |
| 870    | 19,53                             | 22,10                       | 0,1135                                      |
| 880    | 19,58                             | 22,19                       | 0,1146                                      |
| 890    | 19,63                             | 22,28                       | 0,1158                                      |
| 900    | 19,68                             | 22,37                       | 0,1169                                      |
| 910    | 19,73                             | 22,46                       | 0,1181                                      |
| 920    | 19,78                             | 22,55                       | 0,1192                                      |

Таблица 3 —  $\alpha$ -латунь (30,5 % Zn + 69,5 % Cu)

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, \text{OM} \cdot \text{M}$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|---|
| 300    | 13,84                             | 17,21                       | 0,0632                                      |
| 310    | 14,10                             | 17,31                       | 0,0641                                      |
| 320    | 14,35                             | 17,41                       | 0,0651                                      |
| 330    | 14,59                             | 17,51                       | 0,0660                                      |
| 340    | 14,83                             | 17,61                       | 0,0670                                      |
| 350    | 15,05                             | 17,71                       | 0,0680                                      |
| 360    | 15,27                             | 17,80                       | 0,0689                                      |
| 370    | 15,47                             | 17,90                       | 0,0699                                      |
| 380    | 15,67                             | 18,00                       | 0,0709                                      |
| 390    | 15,87                             | 18,10                       | 0,0719                                      |
| 400    | 16,05                             | 18,20                       | 0,0729                                      |
| 410    | 16,23                             | 18,29                       | 0,0739                                      |
| 420    | 16,40                             | 18,39                       | 0,0749                                      |
| 430    | 16,57                             | 18,49                       | 0,0759                                      |
| 440    | 16,72                             | 18,59                       | 0,0769                                      |
| 450    | 16,87                             | 18,69                       | 0,0779                                      |
| 460    | 17,02                             | 18,79                       | 0,0789                                      |
| 470    | 17,16                             | 18,88                       | 0,0799                                      |
| 480    | 17,29                             | 18,98                       | 0,0810                                      |
| 490    | 17,42                             | 19,08                       | 0,0820                                      |
| 500    | 17,54                             | 19,18                       | 0,0831                                      |
| 510    | 17,66                             | 19,28                       | 0,0841                                      |
| 520    | 17,77                             | 19,37                       | 0,0852                                      |
| 530    | 17,88                             | 19,47                       | 0,0862                                      |
| 540    | 17,98                             | 19,57                       | 0,0873                                      |

Окончание таблицы 3

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, Ом \cdot м$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 550    | 18,08                             | 19,67                       | 0,0884                        |
| 560    | 18,17                             | 19,77                       | 0,0894                        |
| 570    | 18,26                             | 19,87                       | 0,0905                        |
| 580    | 18,35                             | 19,96                       | 0,0916                        |
| 590    | 18,43                             | 20,06                       | 0,0926                        |
| 600    | 18,50                             | 20,16                       | 0,0938                        |
| 610    | 18,58                             | 20,26                       | 0,0949                        |
| 620    | 18,65                             | 20,36                       | 0,0959                        |
| 630    | 18,72                             | 20,45                       | 0,0970                        |
| 640    | 18,78                             | 20,55                       | 0,0982                        |
| 650    | 18,85                             | 20,65                       | 0,0993                        |
| 660    | 18,91                             | 20,75                       | 0,1004                        |
| 670    | 18,97                             | 20,85                       | 0,1015                        |
| 680    | 19,02                             | 20,95                       | 0,1026                        |
| 690    | 19,08                             | 21,04                       | 0,1038                        |
| 700    | 19,13                             | 21,14                       | 0,1049                        |
| 710    | 19,18                             | 21,24                       | 0,1060                        |
| 720    | 19,23                             | 21,34                       | 0,1072                        |
| 730    | 19,28                             | 21,44                       | 0,1084                        |
| 740    | 19,33                             | 21,54                       | 0,1095                        |
| 750    | 19,37                             | 21,63                       | 0,1107                        |
| 760    | 19,42                             | 21,73                       | 0,1118                        |
| 770    | 19,47                             | 21,83                       | 0,1130                        |
| 780    | 19,51                             | 21,93                       | 0,1142                        |
| 790    | 19,56                             | 22,03                       | 0,1154                        |
| 800    | 19,61                             | 22,12                       | 0,1166                        |
| 810    | 19,65                             | 22,22                       | 0,1177                        |
| 820    | 19,70                             | 22,32                       | 0,1189                        |
| 830    | 19,75                             | 22,42                       | 0,1201                        |
| 840    | 19,80                             | 22,52                       | 0,1214                        |
| 850    | 19,85                             | 22,62                       | 0,1226                        |
| 860    | 19,90                             | 22,71                       | 0,1238                        |
| 870    | 19,95                             | 22,81                       | 0,1250                        |
| 880    | 20,01                             | 22,91                       | 0,1262                        |
| 890    | 20,06                             | 23,01                       | 0,1275                        |

Таблица 4 — β-латунь (46,1 % Zn + 53,9 % Cu)

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, \text{OM} \cdot \text{M}$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|---|
| 300    | 17,71                             | 17,44                       | 0,0433                                      |
| 310    | 17,82                             | 17,63                       | 0,0444                                      |
| 320    | 17,92                             | 17,82                       | 0,0456                                      |
| 330    | 18,02                             | 18,01                       | 0,0467                                      |
| 340    | 18,12                             | 18,21                       | 0,0479                                      |
| 350    | 18,21                             | 18,40                       | 0,0491                                      |
| 360    | 18,30                             | 18,59                       | 0,0503                                      |
| 370    | 18,38                             | 18,78                       | 0,0516                                      |
| 380    | 18,46                             | 18,98                       | 0,0528                                      |
| 390    | 18,54                             | 19,17                       | 0,0541                                      |
| 400    | 18,62                             | 19,36                       | 0,0554                                      |
| 410    | 18,70                             | 19,55                       | 0,0567                                      |
| 420    | 18,77                             | 19,74                       | 0,0580                                      |
| 430    | 18,85                             | 19,94                       | 0,0594                                      |
| 440    | 18,93                             | 20,13                       | 0,0607                                      |
| 450    | 19,00                             | 20,32                       | 0,0621                                      |
| 460    | 19,08                             | 20,51                       | 0,0635                                      |
| 470    | 19,15                             | 20,71                       | 0,0649                                      |
| 480    | 19,23                             | 20,90                       | 0,0663                                      |
| 490    | 19,32                             | 21,09                       | 0,0677                                      |
| 500    | 19,40                             | 21,28                       | 0,0692                                      |
| 510    | 19,49                             | 21,48                       | 0,0706                                      |
| 520    | 19,58                             | 21,67                       | 0,0721                                      |
| 530    | 19,67                             | 21,86                       | 0,0736                                      |
| 540    | 19,77                             | 22,17                       | 0,0752                                      |
| 550    | 19,87                             | 22,36                       | 0,0767                                      |
| 560    | 19,98                             | 22,52                       | 0,0783                                      |
| 570    | 20,09                             | 22,66                       | 0,0798                                      |
| 580    | 20,21                             | 22,80                       | 0,0814                                      |
| 590    | 20,33                             | 22,97                       | 0,0830                                      |
| 600    | 20,46                             | 23,17                       | 0,0847                                      |
| 610    | 20,60                             | 23,43                       | 0,0863                                      |
| 620    | 20,75                             | 23,77                       | 0,0879                                      |
| 630    | 20,90                             | 24,20                       | 0,0896                                      |
| 640    | 21,06                             | 24,74                       | 0,0913                                      |

Окончание таблицы 4

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, \text{Ом} \cdot \text{м}$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|---|
| 650    | 21,23                             | 25,41                       | 0,0931                                      |
| 660    | 21,41                             | 26,23                       | 0,0948                                      |
| 670    | 21,60                             | 27,21                       | 0,0968                                      |
| 680    | 21,80                             | 28,38                       | 0,0992                                      |
| 690    | 22,01                             | 29,76                       | 0,1016                                      |
| 700    | 22,23                             | 31,35                       | 0,1043                                      |
| 710    | 22,46                             | 33,19                       | 0,1073                                      |
| 720    | 22,71                             | 39,08                       | 0,1106                                      |
| 730    | 22,96                             | 33,06                       | 0,1144                                      |
| 740    | 23,23                             | 28,70                       | 0,1177                                      |
| 750    | 23,38                             | 24,87                       | 0,1195                                      |
| 760    | 23,39                             | 25,03                       | 0,1213                                      |
| 770    | 23,41                             | 25,19                       | 0,1231                                      |
| 780    | 23,43                             | 25,35                       | 0,1249                                      |
| 790    | 23,46                             | 25,52                       | 0,1267                                      |
| 800    | 23,49                             | 25,68                       | 0,1285                                      |
| 810    | 23,53                             | 25,84                       | 0,1303                                      |
| 820    | 23,57                             | 26,00                       | 0,1320                                      |
| 830    | 23,62                             | 26,16                       | 0,1338                                      |
| 840    | 23,67                             | 26,33                       | 0,1356                                      |
| 850    | 23,73                             | 26,49                       | 0,1373                                      |
| 860    | 23,79                             | 26,65                       | 0,1391                                      |
| 870    | 23,87                             | 26,81                       | 0,1408                                      |
| 880    | 23,94                             | 26,98                       | 0,1426                                      |
| 890    | 24,03                             | 27,14                       | 0,1443                                      |
| 900    | 24,12                             | 27,30                       | 0,1460                                      |
| 910    | 24,22                             | 27,46                       | 0,1477                                      |
| 920    | 24,32                             | 27,62                       | 0,1495                                      |

Таблица 5 —  $\gamma$ -латунь (65,1 % Zn + 34,9 % Cu)

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, \text{Ом} \cdot \text{м}$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|---|
| 300    | 16,50                             | 17,58                       | 0,0828                                      |
| 310    | 16,84                             | 18,05                       | 0,0841                                      |
| 320    | 17,17                             | 18,50                       | 0,0855                                      |
| 330    | 17,49                             | 18,93                       | 0,0869                                      |
| 340    | 17,80                             | 19,35                       | 0,0886                                      |

Продолжение таблицы 5

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, Ом \cdot м$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 350    | 18,09                             | 19,76                       | 0,0903                        |
| 360    | 18,37                             | 20,14                       | 0,0921                        |
| 370    | 18,63                             | 20,51                       | 0,0939                        |
| 380    | 18,89                             | 20,87                       | 0,0959                        |
| 390    | 19,13                             | 21,21                       | 0,0979                        |
| 400    | 19,36                             | 21,53                       | 0,0999                        |
| 410    | 19,58                             | 21,83                       | 0,1021                        |
| 420    | 19,80                             | 22,12                       | 0,1043                        |
| 430    | 20,00                             | 22,39                       | 0,1066                        |
| 440    | 20,19                             | 22,65                       | 0,1089                        |
| 450    | 20,37                             | 22,89                       | 0,1113                        |
| 460    | 20,54                             | 23,11                       | 0,1136                        |
| 470    | 20,71                             | 23,32                       | 0,1161                        |
| 480    | 20,86                             | 23,51                       | 0,1185                        |
| 490    | 21,01                             | 23,69                       | 0,1210                        |
| 500    | 21,15                             | 23,84                       | 0,1235                        |
| 510    | 21,29                             | 23,98                       | 0,1260                        |
| 520    | 21,42                             | 24,11                       | 0,1285                        |
| 530    | 21,54                             | 24,22                       | 0,1310                        |
| 540    | 21,65                             | 24,31                       | 0,1336                        |
| 550    | 21,76                             | 24,39                       | 0,1361                        |
| 560    | 21,87                             | 24,45                       | 0,1386                        |
| 570    | 21,97                             | 24,49                       | 0,1411                        |
| 580    | 22,06                             | —                           | —                             |
| 590    | 22,15                             | 24,55                       | 0,1458                        |
| 600    | 22,24                             | 24,75                       | 0,1482                        |
| 610    | 22,32                             | 24,94                       | 0,1506                        |
| 620    | 22,40                             | 25,12                       | 0,1530                        |
| 630    | 22,48                             | 25,28                       | 0,1554                        |
| 640    | 22,56                             | 25,43                       | 0,1578                        |
| 650    | 22,63                             | 25,56                       | 0,1603                        |
| 660    | 22,70                             | 25,68                       | 0,1627                        |
| 670    | 22,77                             | 25,79                       | 0,1651                        |
| 680    | 22,84                             | 25,89                       | 0,1675                        |

Окончание таблицы 5

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, \text{Ом} \cdot \text{м}$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|---|
| 690    | 22,91                             | 25,97                       | 0,1699                                      |
| 700    | 22,98                             | 26,04                       | 0,1724                                      |
| 710    | 23,05                             | 26,09                       | 0,1748                                      |
| 720    | 23,12                             | 26,14                       | 0,1773                                      |
| 730    | 23,20                             | 26,17                       | 0,1797                                      |
| 740    | 23,27                             | 26,18                       | 0,1822                                      |
| 750    | 23,34                             | 26,18                       | 0,1846                                      |

Таблица 6 —  $\epsilon$ -латунь (82,6 % Zn + 17,4 % Cu)

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, \text{Ом} \cdot \text{м}$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|---|
| 300    | 22,18                             | 22,60                       | 0,1765                                      |
| 310    | 22,41                             | 22,90                       | 0,1791                                      |
| 320    | 22,64                             | 23,19                       | 0,1817                                      |
| 330    | 22,85                             | 23,47                       | 0,1844                                      |
| 340    | 23,06                             | 23,75                       | 0,1873                                      |
| 350    | 23,25                             | 24,02                       | 0,1901                                      |
| 360    | 23,43                             | 24,28                       | 0,1931                                      |
| 370    | 23,60                             | 24,53                       | 0,1961                                      |
| 380    | 23,77                             | 24,77                       | 0,1992                                      |
| 390    | 23,92                             | 25,01                       | 0,2024                                      |
| 400    | 24,07                             | 25,24                       | 0,2056                                      |
| 410    | 24,20                             | 25,46                       | 0,2088                                      |
| 420    | 24,33                             | 25,67                       | 0,2122                                      |
| 430    | 24,45                             | 25,88                       | 0,2156                                      |
| 440    | 24,57                             | 26,08                       | 0,2190                                      |
| 450    | 24,67                             | 26,27                       | 0,2225                                      |
| 460    | 24,77                             | 26,45                       | 0,2261                                      |
| 470    | 24,87                             | 26,63                       | 0,2297                                      |
| 480    | 24,96                             | 26,79                       | 0,2333                                      |
| 490    | 25,04                             | 26,95                       | 0,2370                                      |
| 500    | 25,12                             | 27,10                       | 0,2407                                      |
| 510    | 25,19                             | 27,25                       | 0,2445                                      |
| 520    | 25,26                             | 27,39                       | 0,2483                                      |
| 530    | 25,32                             | 27,51                       | 0,2521                                      |
| 540    | 25,38                             | 27,64                       | 0,2560                                      |

Окончание таблицы 6

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, \text{OM} \cdot \text{M}$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|---|
| 550    | 25,44                             | 27,75                       | 0,2599                                      |
| 560    | 25,50                             | 27,86                       | 0,2638                                      |
| 570    | 25,55                             | 27,95                       | 0,2678                                      |
| 580    | 25,60                             | 28,04                       | 0,2717                                      |
| 590    | 25,64                             | 28,13                       | 0,2757                                      |
| 600    | 25,69                             | 28,20                       | 0,2797                                      |

Таблица 7 —  $\alpha + \beta$  (~ 41,8 % Zn + 58,2 % Cu)

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, \text{OM} \cdot \text{M}$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|---|
| 300    | 16,06                             | 14,76                       | 0,0635                                      |
| 310    | 16,21                             | 15,30                       | 0,0645                                      |
| 320    | 16,36                             | 15,80                       | 0,0655                                      |
| 330    | 16,51                             | 16,29                       | 0,0666                                      |
| 340    | 16,66                             | 16,75                       | 0,0677                                      |
| 350    | 16,80                             | 17,18                       | 0,0687                                      |
| 360    | 16,94                             | 17,59                       | 0,0698                                      |
| 370    | 17,08                             | 17,98                       | 0,0709                                      |
| 380    | 17,22                             | 18,34                       | 0,0721                                      |
| 390    | 17,35                             | 18,68                       | 0,0732                                      |
| 400    | 17,49                             | 18,99                       | 0,0744                                      |
| 410    | 17,62                             | 19,28                       | 0,0755                                      |
| 420    | 17,75                             | 19,54                       | 0,0767                                      |
| 430    | 17,88                             | 19,78                       | 0,0779                                      |
| 440    | 18,00                             | 20,00                       | 0,0790                                      |
| 450    | 18,12                             | 20,19                       | 0,0802                                      |
| 460    | 18,25                             | 20,36                       | 0,0814                                      |
| 470    | 18,37                             | 20,50                       | 0,0826                                      |
| 480    | 18,48                             | 20,62                       | 0,0839                                      |
| 490    | 18,60                             | 20,71                       | 0,0851                                      |
| 500    | 18,71                             | 20,78                       | 0,0863                                      |
| 510    | 18,82                             | 20,82                       | 0,0875                                      |
| 520    | 18,93                             | 20,84                       | 0,0887                                      |
| 530    | 19,04                             | —                           | —   |
| 540    | 19,14                             | —                           | —   |
| 550    | 19,25                             | 20,90                       | 0,0924                                      |



Окончание таблицы 7

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, Ом \cdot м$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 560    | 19,35                             | 20,90                       | 0,0937                        |
| 570    | 19,45                             | 20,94                       | 0,0950                        |
| 580    | 19,54                             | 21,04                       | 0,0963                        |
| 590    | 19,64                             | 21,19                       | 0,0976                        |
| 600    | 19,73                             | 21,39                       | 0,0989                        |
| 610    | 19,82                             | 21,64                       | 0,1003                        |
| 620    | 19,91                             | 21,95                       | 0,1016                        |
| 630    | 20,00                             | 22,31                       | 0,1029                        |
| 640    | 20,08                             | 22,72                       | 0,1043                        |
| 650    | 20,17                             | 23,18                       | 0,1057                        |
| 660    | 20,25                             | 23,69                       | 0,1072                        |
| 670    | 20,32                             | 24,26                       | 0,1086                        |
| 680    | 20,40                             | 24,88                       | 0,1101                        |
| 690    | 20,48                             | 25,54                       | 0,1116                        |
| 700    | 20,55                             | 26,27                       | 0,1131                        |
| 710    | 20,62                             | 27,04                       | 0,1147                        |
| 720    | 20,69                             | —                           | —                             |
| 730    | 20,75                             | —                           | —                             |
| 740    | 20,82                             | 22,80                       | 0,1200                        |
| 750    | 20,88                             | 22,85                       | 0,1214                        |
| 760    | 20,94                             | 22,89                       | 0,1228                        |
| 770    | 21,00                             | 22,93                       | 0,1242                        |
| 780    | 21,06                             | 22,97                       | 0,1256                        |
| 790    | 21,11                             | 23,02                       | 0,1271                        |
| 800    | 21,16                             | 23,06                       | 0,1286                        |
| 810    | 21,21                             | 23,10                       | 0,1301                        |
| 820    | 21,26                             | 23,14                       | 0,1317                        |
| 830    | 21,31                             | 23,18                       | 0,1333                        |
| 840    | 21,35                             | 23,23                       | 0,1349                        |
| 850    | 21,39                             | 23,27                       | 0,1365                        |
| 860    | 21,43                             | 23,31                       | 0,1381                        |
| 870    | 21,47                             | 23,35                       | 0,1398                        |
| 880    | 21,51                             | 23,40                       | 0,1415                        |
| 890    | 21,54                             | 23,44                       | 0,1432                        |

Таблица 8 —  $\beta + \gamma$  (~ 53,0 % Zn + 47,0 % Cu)

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, \text{OM} \cdot \text{M}$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|---|
| 300    | 18,26                             | 16,73                       | 0,0759                                      |
| 310    | 18,38                             | 17,18                       | 0,0778                                      |
| 320    | 18,50                             | 17,61                       | 0,0797                                      |
| 330    | 18,62                             | 18,03                       | 0,0817                                      |
| 340    | 18,75                             | 18,43                       | 0,0837                                      |
| 350    | 18,87                             | 18,81                       | 0,0858                                      |
| 360    | 18,99                             | 19,18                       | 0,0879                                      |
| 370    | 19,11                             | 19,53                       | 0,0900                                      |
| 380    | 19,24                             | 19,87                       | 0,0922                                      |
| 390    | 19,36                             | 20,18                       | 0,0944                                      |
| 400    | 19,48                             | 20,49                       | 0,0967                                      |
| 410    | 19,60                             | 20,77                       | 0,0990                                      |
| 420    | 19,72                             | 21,04                       | 0,1014                                      |
| 430    | 19,85                             | 21,30                       | 0,1038                                      |
| 440    | 19,97                             | 21,53                       | 0,1062                                      |
| 450    | 20,09                             | 21,76                       | 0,1087                                      |
| 460    | 20,21                             | 21,96                       | 0,1112                                      |
| 470    | 20,34                             | 22,15                       | 0,1138                                      |
| 480    | 20,46                             | 22,32                       | 0,1164                                      |
| 490    | 20,58                             | 22,48                       | 0,1191                                      |
| 500    | 20,70                             | 22,62                       | 0,1218                                      |
| 510    | 20,82                             | 22,74                       | 0,1245                                      |
| 520    | 20,95                             | 22,85                       | 0,1273                                      |
| 530    | 21,07                             | 22,94                       | 0,1301                                      |
| 540    | —                                 | —                           | —   |
| 550    | 21,28                             | 23,56                       | 0,1357                                      |
| 560    | 21,40                             | 24,46                       | 0,1389                                      |
| 570    | 21,54                             | 25,33                       | 0,1424                                      |
| 580    | 21,70                             | 26,17                       | 0,1460                                      |
| 590    | 21,88                             | 27,00                       | 0,1499                                      |
| 600    | 22,08                             | 27,80                       | 0,1540                                      |
| 610    | 22,30                             | 28,58                       | 0,1583                                      |
| 620    | 22,54                             | 29,33                       | 0,1628                                      |
| 630    | 22,78                             | 30,06                       | 0,1676                                      |
| 640    | 23,04                             | 30,77                       | 0,1725                                      |

Окончание таблицы 8

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, Ом \cdot м$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 650    | 23,30                             | 31,46                       | 0,1776                        |
| 660    | 23,58                             | 32,12                       | 0,1830                        |
| 670    | 23,85                             | 32,77                       | 0,1885                        |
| 680    | 24,13                             | 33,38                       | 0,1943                        |
| 690    | 24,41                             | 33,98                       | 0,2003                        |
| 700    | 24,69                             | 34,55                       | 0,2065                        |
| 710    | 24,96                             | 35,10                       | 0,2129                        |
| 720    | 25,23                             | 35,63                       | 0,2195                        |
| 730    | 25,49                             | 36,14                       | 0,2264                        |
| 740    | 25,74                             | 36,62                       | 0,2334                        |
| 750    | 25,98                             | 37,08                       | 0,2407                        |
| 760    | —                                 | —                           | —                             |
| 770    | 26,13                             | 26,28                       | 0,2459                        |
| 780    | 26,15                             | 26,35                       | 0,2480                        |
| 790    | 26,17                             | 26,42                       | 0,2500                        |
| 800    | 26,19                             | 26,49                       | 0,2521                        |
| 810    | 26,21                             | 26,56                       | 0,2541                        |
| 820    | 26,23                             | 26,63                       | 0,2561                        |
| 830    | 26,25                             | 26,70                       | 0,2581                        |
| 840    | 26,27                             | 26,77                       | 0,2601                        |
| 850    | 26,29                             | 26,84                       | 0,2620                        |

Таблица 9 —  $\gamma + \epsilon$  (~ 73,3 % Zn + 26,7 % Cu)

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, Ом \cdot м$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 300    | 22,18                             | 22,06                       | 0,0757                        |
| 310    | 22,41                             | 22,47                       | 0,0775                        |
| 320    | 22,64                             | 22,84                       | 0,0793                        |
| 330    | 22,85                             | 23,19                       | 0,0811                        |
| 340    | 23,06                             | 23,51                       | 0,0829                        |
| 350    | 23,25                             | 23,81                       | 0,0847                        |
| 360    | 23,43                             | 24,08                       | 0,0866                        |
| 370    | 23,60                             | 24,34                       | 0,0884                        |
| 380    | 23,77                             | 24,57                       | 0,0903                        |
| 390    | 23,92                             | 24,78                       | 0,0922                        |
| 400    | 24,07                             | 24,97                       | 0,0940                        |

Окончание таблицы 9

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, Ом \cdot м$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 410    | 24,20                             | 25,15                       | 0,0959                        |
| 420    | 24,33                             | 25,31                       | 0,0978                        |
| 430    | 24,45                             | 25,45                       | 0,0998                        |
| 440    | 24,57                             | 25,58                       | 0,1017                        |
| 450    | 24,67                             | 25,70                       | 0,1036                        |
| 460    | 24,78                             | 25,80                       | 0,1056                        |
| 470    | 24,87                             | 25,90                       | 0,1075                        |
| 480    | 24,96                             | 25,98                       | 0,1095                        |
| 490    | 25,04                             | 26,06                       | 0,1115                        |
| 500    | 25,12                             | 26,13                       | 0,1135                        |
| 510    | 25,19                             | 26,19                       | 0,1155                        |
| 520    | 25,26                             | 26,25                       | 0,1175                        |
| 530    | 25,32                             | 26,31                       | 0,1196                        |
| 540    | 25,38                             | 26,36                       | 0,1216                        |
| 550    | 25,44                             | 26,42                       | 0,1237                        |
| 560    | 25,50                             | 26,47                       | 0,1257                        |
| 570    | 25,55                             | 26,52                       | 0,1278                        |
| 580    | —                                 | —                           | —                             |
| 590    | 25,65                             | 26,64                       | 0,1320                        |
| 600    | 25,69                             | 26,70                       | 0,1341                        |
| 610    | 25,74                             | 26,77                       | 0,1362                        |
| 620    | 25,78                             | 26,84                       | 0,1384                        |
| 630    | 25,82                             | 26,93                       | 0,1405                        |
| 640    | 25,87                             | 27,02                       | 0,1427                        |
| 650    | 25,91                             | 27,12                       | 0,1448                        |
| 660    | 25,96                             | 27,24                       | 0,1470                        |
| 670    | 26,00                             | 27,37                       | 0,1492                        |
| 680    | 26,05                             | 27,51                       | 0,1514                        |
| 690    | 26,10                             | 27,66                       | 0,1536                        |
| 700    | 26,15                             | 27,84                       | 0,1559                        |
| 710    | 26,20                             | 28,03                       | 0,1581                        |
| 720    | 26,25                             | 28,23                       | 0,1604                        |
| 730    | 26,31                             | 28,46                       | 0,1626                        |
| 740    | 26,37                             | 28,71                       | 0,1649                        |

Таблица 10 —  $\varepsilon + \eta$  (~ 87,8 % Zn + 12,2 % Cu)

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, \text{OM} \cdot \text{M}$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|---|
| 300    | 22,75                             | 22,87                       | 0,0711                                      |
| 310    | 23,01                             | 23,16                       | 0,0730                                      |
| 320    | 23,25                             | 23,45                       | 0,0749                                      |
| 330    | 23,48                             | 23,74                       | 0,0769                                      |
| 340    | 23,70                             | 24,03                       | 0,0789                                      |
| 350    | 23,91                             | 24,32                       | 0,0809                                      |
| 360    | 24,10                             | 24,61                       | 0,0830                                      |
| 370    | 24,29                             | 24,90                       | 0,0851                                      |
| 380    | 24,46                             | 25,19                       | 0,0872                                      |
| 390    | 24,63                             | 25,48                       | 0,0894                                      |
| 400    | 24,78                             | 25,77                       | 0,0916                                      |
| 410    | 24,93                             | 26,06                       | 0,0938                                      |
| 420    | 25,08                             | 26,35                       | 0,0960                                      |
| 430    | 25,21                             | 26,64                       | 0,0983                                      |
| 440    | 25,35                             | 26,93                       | 0,1006                                      |
| 450    | 25,47                             | 27,22                       | 0,1029                                      |
| 460    | 25,60                             | 27,52                       | 0,1053                                      |
| 470    | 25,72                             | 27,81                       | 0,1078                                      |
| 480    | 25,84                             | 28,10                       | 0,1102                                      |
| 490    | 25,96                             | 28,39                       | 0,1127                                      |
| 500    | 26,08                             | 28,68                       | 0,1152                                      |
| 510    | 26,20                             | 28,97                       | 0,1177                                      |
| 520    | 26,32                             | 29,26                       | 0,1203                                      |
| 530    | 26,44                             | 29,55                       | 0,1229                                      |
| 540    | 26,57                             | 29,84                       | 0,1255                                      |
| 550    | 26,70                             | 30,13                       | 0,1282                                      |
| 560    | 26,83                             | 30,42                       | 0,1309                                      |
| 570    | 26,97                             | 30,71                       | 0,1337                                      |
| 580    | 27,11                             | 31,00                       | 0,1364                                      |
| 590    | 27,27                             | 31,29                       | 0,1392                                      |
| 600    | 27,43                             | 31,58                       | 0,1421                                      |
| 610    | 27,60                             | 31,87                       | 0,1449                                      |

**Приложение А**  
**(справочное)**

**Экспериментальные данные**

**А.1 Химический состав и геометрические размеры образцов системы Cu—Zn**

В 2017 г. проведены обширные систематические исследования медно-цинковых сплавов (латуней), изготовленных на основе меди ОСЧ 11-4 ( $Sb < 6 \cdot 10^{-4} \%$ ;  $Pb < 2 \cdot 10^{-4} \%$ ;  $Sn < 2 \cdot 10^{-4} \%$ ;  $As < 4 \cdot 10^{-4} \%$ ;  $Bi < 3 \cdot 10^{-4} \%$ ;  $Zn < 4 \cdot 10^{-4} \%$ ;  $Mn < 3 \cdot 10^{-4} \%$ ;  $Mg < 3 \cdot 10^{-4} \%$ ;  $Si < 3 \cdot 10^{-4} \%$ ;  $Ni < 6 \cdot 10^{-4} \%$ ;  $Fe < 5 \cdot 10^{-4} \%$ ), цинка марки Ч ( $Fe < 2 \cdot 10^{-2} \%$ ;  $As < 1 \cdot 10^{-4} \%$ ).

Данные, приведенные в таблицах 1—10, получены по результатам измерений, выполненных на установке, реализующей одновременно метод кварцевого дилатометра (измерение ТКЛР) и удельного сопротивления (четырёхзондовый метод) на одних и тех же образцах [1].

Для разработки ССД отобраны результаты исследований образцов 10 составов [2], изготовленных путем сплавления навесок для обеспечения соответствующих концентраций, количественный состав которых приведен в таблице А.1.

Таблица А.1 — Химический состав и геометрические размеры образцов системы Cu—Zn

| Фаза                | Химический состав (навески) |      | Химический анализ |      | Рентгено-флуоресцентный анализ |       | Диаметр образца $d$ , мм | Длина образца $L$ , мм | Расстояние между термопарами $l_p$ , мм |
|---------------------|-----------------------------|------|-------------------|------|--------------------------------|-------|--------------------------|------------------------|---|
|                     | Zn %                        | Cu % | Zn %              | Cu % | Zn %                           | Cu %  |                          |                        |   |
| $\alpha$            | 10                          | 90   | 7                 | 93   | 12,17                          | 87,56 | 4,44                     | 94,06                  | 58,60                                   |
|                     | 20                          | 80   | 19,6              | 80,4 | 20,67                          | 79,09 | 4,43                     | 89,51                  | 63,62                                   |
|                     | 30                          | 70   | 30,5              | 69,5 | 32,66                          | 66,41 | 5,16                     | 94,32                  | 73,96                                   |
| $\alpha + \beta$    | 40                          | 60   | 41,8              | 58,2 | 42,38                          | 56,71 | 4,99                     | 88,94                  | 71,20                                   |
| $\beta$             | 48,5                        | 51,5 | 46,1              | 53,9 | 43,22                          | 56,16 | 4,38                     | 80,51                  | 60,53                                   |
| $\beta + \gamma$    | 55                          | 45   | 53                | 47   | 49,21                          | 50,79 | 5,44                     | 60,15                  | 45,10                                   |
| $\gamma$            | 61                          | 39   | 65,1              | 34,9 | 65,20                          | 33,39 | 8,37                     | 14,78                  | 10,85                                   |
| $\gamma + \epsilon$ | 80                          | 20   | 73,3              | 26,7 | 76,73                          | 22,34 | 5,49                     | 93,52                  | 69,18                                   |
| $\epsilon$          | 86                          | 14   | 82,6              | 17,4 | 81,9                           | 17,1  | 5,04                     | 39,64                  | 23,09                                   |
| $\epsilon + \eta$   | 90                          | 10   | 87,8              | 12,2 | 87,96                          | 12,02 | 4,94                     | 45,40                  | 29,70                                   |

Согласно данным таблицы А.1, результаты этих анализов имеют некоторые различия. При интерпретации исследованных свойств за основу принимают данные, полученные химическим анализом. Это связано с тем, что метод рентгено-флуоресцентного анализа предполагает градуировку по образцам, состав которых определяют путем химического анализа. Преимуществом рентгено-флуоресцентного метода является лишь возможность экспресс-анализа большого количества образцов.

**А.2 Экспериментальная аппаратура и методика измерений**

Большинство экспериментальных методов определения теплового расширения основано на том, что изменение объема или длины образца ставится в соответствие с некоторым легко измеряемым физическим параметром, существенно зависящим от длины образца [3]. Измерение удлинения образца в твердом состоянии с ростом температуры осуществлялось кварцевым дилатометром с фотоэлектрическим датчиком регистрации смещения. Отличительной особенностью данной установки является то, что наряду с измерением ТКЛР образца измеряют также его электросопротивление четырехзондовым методом на постоянном токе [1]. Для измерения температуры использованы хромель-алюмелевые термопары (таблицы перевода приведены в [4]). Поправки на использованные термопары определялись путем их градуировки по температурам плавления чистых металлов: алюминия, кадмия, свинца и индия.

Образец 1 (см. рисунок А.1), имеющий плоскопараллельные торцы, устанавливают между основанием 2 кварцевой трубы 3 и скругленной поверхностью толкателя 4. Толкатель центрируется в кварцевой трубе двумя

кольцами — кварцевым 5 и фторопластовым 6. У основания этой трубы вырезано прямоугольное окно для установки образца. Ячейка герметизирована трубой 7. Трубы 3 и 7 крепят к основанию 8 через инваровую муфту 9 и водоохлаждаемую муфту 10 соответственно. Медный блок 11 с торцевыми нагревателями 12 служит для выравнивания температуры вдоль образца. Нагреватели 12 запитаны от источника 13 и обеспечены системой перераспределения мощности. В качестве индикатора перемещения использован фотоэлектрический датчик 14 от усилителя типа Ф117. Фотодатчик снабжен коромыслом 15, на оси которого закреплено зеркальце. Датчик перемещения крепят к основанию 8 через микрометрическое устройство 16, обеспечивающее установку необходимого уровня выходного сигнала. Линейное перемещение толкателя инваровой иглой передается коромыслу и преобразуется в угловое перемещение. Поворот зеркальца на оси коромысла приводит к перераспределению света на фоторезисторах 18. Фоторезисторы вместе с источником питания 19 образуют электрический мост, выходное напряжение которого регистрируется цифровым вольтметром 20 или самописцем.

Температура образца измерена хромель-алюмелевыми термопарами 21. Одноименные провода термопар использованы в качестве потенциальных зондов. К концам образца крепят токовые электроды 22. Провода термопар и токовых электродов изолированы и выведены наружу через толкатель. Вторые концы термопар поддерживаются при температуре  $T$  в сосуде Дьюара. Сигналы с термопар, потенциальных зондов и эталонного сопротивления  $R_0$ , соединенного последовательно с образцом, подаются на пакетный переключатель  $\Pi_1$ , а с него — на потенциометр 23. Переключатель  $\Pi_2$  коммутирует ток через образец, а  $\Pi_3$  изменяет полярность сигнала, подаваемого на потенциометр. Питание цепи «образец — эталонное сопротивление» осуществлено от стабилизированного источника постоянного тока 24.

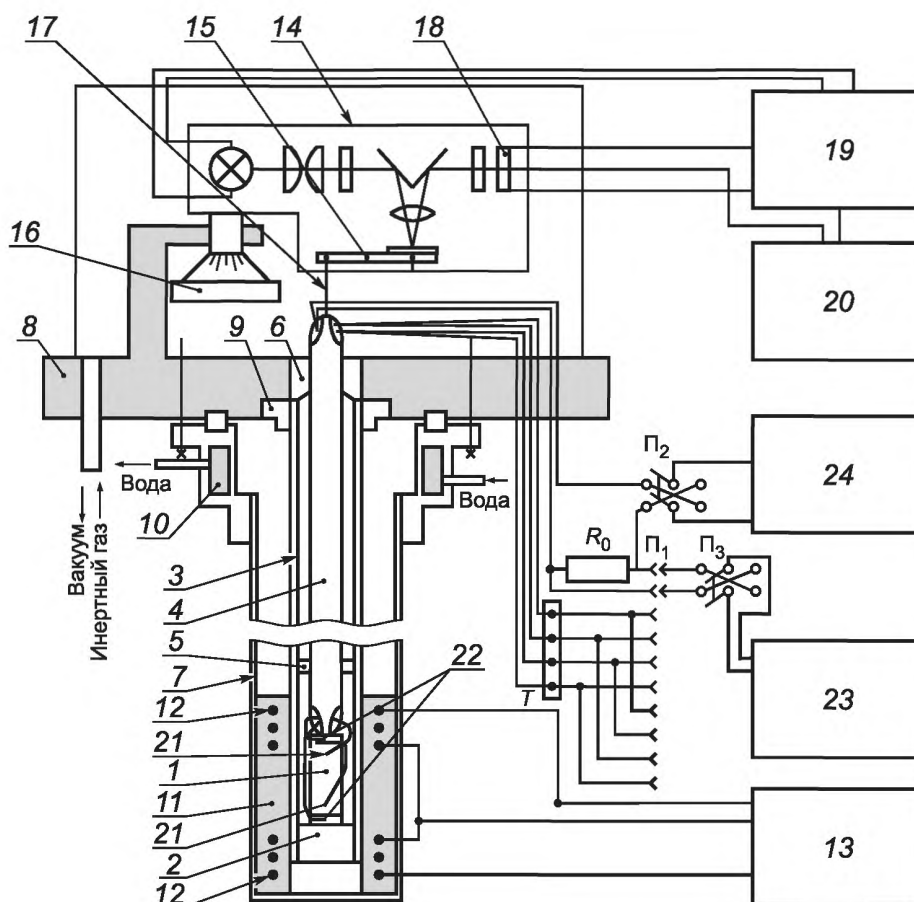


Рисунок А.1 — Электрическая схема установки комплексного исследования электросопротивления и теплового расширения металлов

Установка позволяет определять ТКЛР и  $\rho$  в интервале температур от 300 К до 1000 К в вакууме или среде инертного газа. Напряжение на выходе датчика 14 калибруется с помощью микрометрического устройства 16 с ценой деления  $2 \cdot 10^{-6}$  м. Коэффициент преобразования фотодатчика составляет 10 В/мм. Максимальное значение перемещения 0,5 мм, измеряемое датчиком, определено участком, на котором зависимость выходного напряжения от перемещения линейна. Предельная погрешность измерения перемещения, определяемая стабильно реги-

стрируемым значением напряжения ( $5 \cdot 10^{-4}$  В) на выходе датчика, составляет  $\sim 5 \cdot 10^{-8}$  м. Когда максимальное значение перемещения превышает 0,5 мм, фотодатчик заменяют датчиком перемещения часового типа с ценой деления 1 мкм и максимальным ходом 1,1 мм. Собственный ход установки оценивают с помощью образца из плавленого кварца. При измерениях в стационарном и динамическом режимах (0,05 К/с) ход установки в интервалах температур 273—1000 К близок к нулю без заметного гистерезиса результатов при нагревании и охлаждении. Предельная погрешность оценки ТКЛР [1] зависит в основном от величины измеряемого удлинения образца  $\Delta L$ , значение которого при ТКЛР порядка  $10 \cdot 10^{-6}$  1/К, длине  $L$  образца  $5 \cdot 10^{-2}$  м и интервалах температур  $\Delta T = 20$  К может быть определено с погрешностью  $\sim 5$  %. С повышением значения ТКЛР и интервала температур эта погрешность снижается до 1 % и менее. Нижний предел погрешности ограничен случайной погрешностью, характерной при высокотемпературных измерениях.

Расчет погрешностей проводят по ГОСТ Р 54500.3. Систематическая погрешность, связанная с градуировкой фотоэлектрической системы регистрации [зависимости  $U = f(L)$ ] на линейном участке длиной в 500 мкм прибором с ценой деления 2 мкм, составляет  $\leq 0,5$  %. Погрешность из-за введения поправки на расширение кварцевой трубки длиной, равной длине образца  $\Delta L_j + \Delta L_{j \text{ кварца}}$ , значительно менее инструментальной погрешности определения  $\Delta L_j$ . Поскольку погрешность значения  $\Delta \alpha_{j \text{ кварца}}$  [5] оценивают на уровне 10 %, а доля этой поправки при оценках ТКЛР образца порядка  $10^{-6}$  1/К составляет  $\sim 10$  %, то погрешность  $\Delta \alpha_{\text{кварца}}/\alpha$  при введении этой поправки не превышает 1 %. Рекомендуемые численные значения  $\Delta L_{j \text{ кварца}}$  введены непосредственно в программу для выполнения расчетов.

Таким образом, погрешность определения  $\alpha$  на установке не превышает от 1 % до 5 % при температуре от 273 К до 1000 К соответственно для материалов с низким тепловым расширением. Минимальный ТКЛР при измерениях металлов составлял  $20 \cdot 10^{-6}$  1/К. В этом случае погрешность измерений снижалась до 2,5 % и не изменялась при повышении температуры, несмотря на повышение ТКЛР, из-за нестабильности контактов образца с кварцевой трубкой 3 и толкателем 4. Остаточная деформация, возникающая под действием веса толкателя при исследованиях металлов, снижалась (практически) до пренебрежимо малой величины путем подпружинивания толкателя. Для расчета ТКЛР экспериментальные данные подвергались регрессивному анализу и устанавливалась наилучшая степень аппроксимирующего полинома, описывающего температурную зависимость длины образца. Погрешностью, возникающей при аппроксимации (критерий Фишера), можно пренебречь.

Тепловое расширение в некотором интервале температур характеризуется средним ТКЛР  $\bar{\alpha}$ , а при данной температуре  $T$  — истинным  $\alpha$ . Значения  $\bar{\alpha}$  вычисляют по формуле

$$\bar{\alpha} = \frac{\Delta L}{L \Delta T} = \frac{L_2 - L_1}{(T_2 - T_1)L_1}, \quad (\text{A.1})$$

где  $\Delta L$  — измерение длины тела при изменении температуры на  $\Delta T$ , которое обычно соответствует интервалу от 273,15 К до  $T_K$  или от 293,15 К до  $T_K$ . Значения  $\bar{\alpha}$  необходимы при инженерных расчетах, например при подсчете изменения размеров тела вследствие термического расширения, или при оценке термостойкости материалов. Для выявления структурных изменений в исследуемом образце или для установления связи между различными параметрами твердого тела с его тепловым расширением необходимо использовать дифференциальное значение  $\alpha$ , вычисляемое по формуле

$$\alpha = \delta L / \delta T, \quad (\text{A.2})$$

где  $L = (L_0 \pm \Delta L)$  — длина образца при некоторой температуре  $T$ ;

$L_0$  — исходная длина образца;

$\delta L / \delta T$  — производная функции  $L = f(T)$  при той же температуре  $T$ .

Необходимая точность измерения  $\alpha$  и  $\bar{\alpha}$  достигается всесторонним учетом систематических погрешностей, появляющихся вследствие отклонений условий эксперимента от идеальных при вычислениях по формулам (A.1) и (A.2). Например, неоднородность образца может приводить к систематической погрешности, поэтому при исследованиях латуней необходимо предварительно оценить однородность образца измерением его плотности при комнатной температуре после неоднократных переплавок или измерением плотности различных образцов из слитка одной плавки. Однородность определялась также измерениями удельного электросопротивления на различных участках образца. Систематическая погрешность, возникающая из-за неоднородности температурного поля в образце, исключалась установлением нулевого градиента вдоль образца. Погрешность определения производной  $\delta L / \delta T$  складывается из погрешности определения изменения длины образца с температурой и значения температуры отнесения  $T$ .

### А.3 Объекты исследования

Компонентами полученных сплавов служили Zn чистотой 99,99 и Cu чистотой 99,999. В кварцевую ампулу 1 (см. рисунок А.2), дно которой представляло собой воронку с тонким капилляром на конце, сначала помещалась навеска Zn, а затем навеска Cu 2 соответствующего образца сплава. Ампула закрывалась пробкой 3 из активированного угля такой длины, чтобы заполнялось оставшееся пустое пространство. Нагревателем 4 вдоль ампулы снизу вверх создавался градиент температуры более чем 100 К, в результате чего Cu нагревалась более чем Zn. Это обеспечивало хорошую растворимость Cu в расплаве Zn без окисления последнего. После встряхивания ампу-



лы с расплавом Cu с Zn при температуре на  $\sim 50$  К более температуры кристаллизации дно ампулы прокалывалось острием стержня из нержавеющей стали. Расплав при этом заливался в следующую ампулу 5, предварительно прогретую нагревателем 6 до температуры кристаллизации этого сплава. Образец в ампуле 5 затем медленно охлаждался в теплоизолированном блоке 7. Из этого образца на токарном станке вытачивалось изделие в форме (см. рисунок А.2), удобной для исследований. В изделии просверливались отверстия для тоководов и штифтов из нержавеющей стали для крепления термопар.

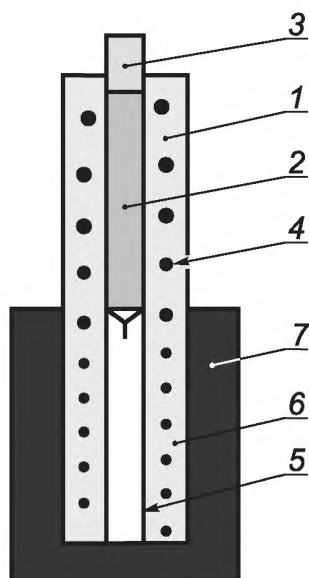


Рисунок А.2 — Устройство для изготовления образца

Головки термопар приваривались к штифтам искровой сваркой. Хороший контакт образца с тоководами обеспечивался путем вчеканивания медных проводов в отверстия для тоководов. Некоторые образцы латуни, содержащих  $\gamma$ -фазу, и образцы, богатые цинком, изготавливались литьем в гипсовую форму, в которой предусматривались перемычки, обеспечивающие наличие в изделии отверстий для тоководов и штифтов для приварки термопар (см. рисунок А.3).

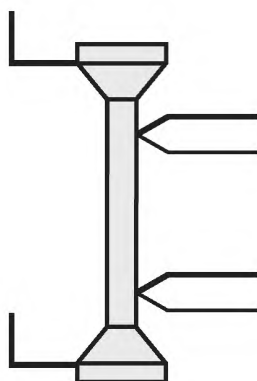


Рисунок А.3 — Образец для исследований электросопротивления и теплового расширения

Медь растворялась в жидком цинке уже при температурах, незначительно превышающих температуру плавления цинка — 693 К. Получение образцов осуществлялось в два этапа:

1) сплавы выдерживались в жидком состоянии в течение 5—10 мин при непрерывном встряхивании ампулы, а затем охлаждались до затвердевания;

2) полученные заготовки сплавов переворачивались и переплавлялись повторно для повышения однородности. Оптимальные длина и диаметр образца согласно оценкам, учитывающим особенности эксперимента, находились в пределах  $1,4 \cdot 10^{-2} < l_p < 9,5 \cdot 10^{-2}$  м и  $d = (0,44—0,84) \cdot 10^{-2}$  м соответственно. Отбор пробы (стружку) для химического анализа осуществлялся по длине и глубине рабочего участка каждой заготовки при изготовлении

образца формы на токарном станке (см. рисунок А.3). Химический анализ проводился стандартным химическим методом на электрофотоколориметре (КФК-2). Рентгено-флюоресцентный анализ тех же образцов проводился по трем точкам на поверхности рабочего участка после измерений свойств. Погрешность анализа ограничивалась точностью весов (точность —  $\pm 1$  мг) и не превышала 1 %.

#### А.4 Экспериментальные данные

Для обеспечения надежного электрического контакта термопар с образцом при высоких температурах в нем просверливались отверстия, куда зачеканивались штифты из нержавеющей стали, к которым приваривались головки хромель-алюмелевых термопар. Рабочая длина образца — это расстояние между головками термопар, диаметры которых не превышали 0,3 мм. Результаты экспериментальных измерений ТКЛР и  $\rho$  образцов согласно [2] приведены в таблицах А.2—А.11.

Таблица А.2 — Результаты  $\bar{\alpha}$ ,  $\alpha$  и  $\rho$  для  $\alpha$ -латуни (7 % Zn + 93 % Cu)

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, \text{Om} \cdot \text{m}$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|---|
| 306,0  | 16,31                             | 16,41                       | 0,03956                                     |
| 316,3  | 16,35                             | 16,49                       | 0,04025                                     |
| 326,3  | 16,39                             | 16,57                       | 0,04109                                     |
| 336,3  | 16,43                             | 16,64                       | 0,04172                                     |
| 346,3  | 16,47                             | 16,72                       | 0,04259                                     |
| 356,2  | 16,51                             | 16,79                       | 0,04322                                     |
| 368,5  | 16,55                             | 16,89                       | 0,04422                                     |
| 375,2  | 16,58                             | 16,94                       | 0,0446                                      |
| 384,3  | 16,62                             | 17,00                       | 0,04541                                     |
| 396,6  | 16,66                             | 17,10                       | 0,04627                                     |
| 405,0  | 16,70                             | 17,16                       | 0,04703                                     |
| 415,0  | 16,74                             | 17,23                       | 0,04768                                     |
| 425,7  | 16,78                             | 17,31                       | 0,04862                                     |
| 436,3  | 16,82                             | 17,39                       | 0,04926                                     |
| 446,2  | 16,86                             | 17,47                       | 0,05026                                     |
| 456,6  | 16,90                             | 17,55                       | 0,05089                                     |
| 466,4  | 16,94                             | 17,62                       | 0,05172                                     |
| 475,5  | 16,97                             | 17,69                       | 0,05234                                     |
| 486,3  | 17,01                             | 17,77                       | 0,05334                                     |
| 497,6  | 17,06                             | 17,85                       | 0,05411                                     |
| 505,2  | 17,09                             | 17,91                       | 0,05486                                     |
| 516,8  | 17,13                             | 18,00                       | 0,05551                                     |
| 525,4  | 17,17                             | 18,06                       | 0,0565                                      |
| 536,8  | 17,21                             | 18,15                       | 0,05718                                     |
| 545,8  | 17,25                             | 18,21                       | 0,05802                                     |
| 556,0  | 17,29                             | 18,29                       | 0,05867                                     |

Окончание таблицы А.2

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, Ом \cdot м$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 566,0  | 17,33                             | 18,36                       | 0,05956                       |
| 573,5  | 17,36                             | 18,42                       | 0,06032                       |
| 586,3  | 17,41                             | 18,51                       | 0,06116                       |
| 595,3  | 17,44                             | 18,58                       | 0,06181                       |
| 606,2  | 17,48                             | 18,66                       | 0,06271                       |
| 616,8  | 17,52                             | 18,74                       | 0,0636                        |
| 626,2  | 17,56                             | 18,81                       | 0,06444                       |
| 636,0  | 17,60                             | 18,88                       | 0,06536                       |
| 646,2  | 17,64                             | 18,96                       | 0,06609                       |
| 655,7  | 17,68                             | 19,03                       | 0,06691                       |
| 666,2  | 17,72                             | 19,11                       | 0,06782                       |
| 676,0  | 17,76                             | 19,18                       | 0,06856                       |
| 683,9  | 17,79                             | 19,24                       | 0,06931                       |
| 695,8  | 17,83                             | 19,32                       | 0,07026                       |
| 706,8  | 17,88                             | 19,41                       | 0,07134                       |
| 717,0  | 17,92                             | 19,48                       | 0,07229                       |
| 725,3  | 17,95                             | 19,54                       | 0,07304                       |
| 736,0  | 17,99                             | 19,62                       | 0,0738                        |
| 748,3  | 18,04                             | 19,71                       | 0,07501                       |
| 757,0  | 18,07                             | 19,78                       | 0,07557                       |
| 765,9  | 18,11                             | 19,84                       | 0,07658                       |
| 776,5  | 18,15                             | 19,92                       | 0,0773                        |
| 785,7  | 18,19                             | 19,99                       | 0,07825                       |
| 796,0  | 18,23                             | 20,06                       | 0,07906                       |
| 807,8  | 18,27                             | 20,15                       | 0,08006                       |
| 817,2  | 18,31                             | 20,22                       | 0,08084                       |
| 826,5  | 18,35                             | 20,29                       | 0,0816                        |
| 837,6  | 18,39                             | 20,37                       | 0,08255                       |
| 846,3  | 18,42                             | 20,43                       | 0,08327                       |
| 857,7  | 18,47                             | 20,51                       | 0,08439                       |
| 865,8  | 18,50                             | 20,57                       | 0,08501                       |
| 876,0  | 18,54                             | 20,65                       | 0,08608                       |
| 886,2  | 18,58                             | 20,72                       | 0,08675                       |
| 895,6  | 18,62                             | 20,79                       | 0,08792                       |

Таблица А.3 — Результаты  $\bar{\alpha}$ ,  $\alpha$  и  $\rho$  для  $\alpha$ -латуни (19,6 % Zn + 80,4 % Cu)

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, Ом \cdot м$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 306,2  | 16,72                             | 16,90                       | 0,0567                        |
| 316,8  | 16,77                             | 17,00                       | 0,05774                       |
| 326,3  | 16,82                             | 17,09                       | 0,05842                       |
| 336,4  | 16,87                             | 17,19                       | 0,05946                       |
| 346,3  | 16,92                             | 17,28                       | 0,0601                        |
| 355,9  | 16,97                             | 17,37                       | 0,06121                       |
| 365,9  | 17,02                             | 17,46                       | 0,06182                       |
| 377,2  | 17,07                             | 17,57                       | 0,06307                       |
| 385,9  | 17,12                             | 17,65                       | 0,06361                       |
| 397,7  | 17,18                             | 17,76                       | 0,06497                       |
| 406,5  | 17,22                             | 17,84                       | 0,06537                       |
| 415,8  | 17,27                             | 17,92                       | 0,06655                       |
| 426,3  | 17,32                             | 18,02                       | 0,06715                       |
| 437,1  | 17,37                             | 18,12                       | 0,06845                       |
| 445,4  | 17,41                             | 18,20                       | 0,06889                       |
| 457,6  | 17,47                             | 18,31                       | 0,07031                       |
| 466,7  | 17,52                             | 18,40                       | 0,07084                       |
| 477,0  | 17,57                             | 18,49                       | 0,07195                       |
| 485,8  | 17,61                             | 18,57                       | 0,07253                       |
| 496,5  | 17,67                             | 18,67                       | 0,07371                       |
| 507,0  | 17,72                             | 18,77                       | 0,07444                       |
| 516,0  | 17,76                             | 18,85                       | 0,07551                       |
| 525,9  | 17,81                             | 18,94                       | 0,0762                        |
| 536,6  | 17,87                             | 19,04                       | 0,0775                        |
| 545,4  | 17,91                             | 19,12                       | 0,07804                       |
| 556,5  | 17,97                             | 19,23                       | 0,07942                       |
| 565,7  | 18,01                             | 19,31                       | 0,08007                       |
| 576,9  | 18,07                             | 19,41                       | 0,08147                       |
| 586,4  | 18,12                             | 19,50                       | 0,0821                        |
| 597,6  | 18,17                             | 19,60                       | 0,08345                       |
| 606,0  | 18,21                             | 19,68                       | 0,08406                       |

Окончание таблицы А.3

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, Ом \cdot м$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 616,1  | 18,26                             | 19,77                       | 0,08532                       |
| 625,8  | 18,31                             | 19,86                       | 0,08597                       |
| 637,7  | 18,37                             | 19,97                       | 0,08744                       |
| 646,8  | 18,42                             | 20,06                       | 0,08809                       |
| 657,3  | 18,47                             | 20,15                       | 0,08943                       |
| 667,2  | 18,52                             | 20,24                       | 0,09025                       |
| 676,3  | 18,56                             | 20,33                       | 0,09131                       |
| 684,2  | 18,60                             | 20,40                       | 0,09187                       |
| 696,9  | 18,67                             | 20,51                       | 0,09343                       |
| 705,9  | 18,71                             | 20,60                       | 0,09408                       |
| 716,7  | 18,77                             | 20,70                       | 0,09538                       |
| 725,9  | 18,81                             | 20,78                       | 0,09616                       |
| 736,8  | 18,87                             | 20,88                       | 0,09743                       |
| 745,9  | 18,91                             | 20,96                       | 0,09809                       |
| 756,7  | 18,97                             | 21,06                       | 0,0995                        |
| 765,7  | 19,01                             | 21,14                       | 0,10014                       |
| 776,7  | 19,07                             | 21,24                       | 0,1016                        |
| 785,9  | 19,11                             | 21,32                       | 0,10232                       |
| 797,3  | 19,17                             | 21,43                       | 0,10376                       |
| 806,8  | 19,22                             | 21,51                       | 0,10443                       |
| 818,6  | 19,28                             | 21,62                       | 0,10605                       |
| 826,4  | 19,31                             | 21,69                       | 0,10662                       |
| 836,3  | 19,36                             | 21,78                       | 0,10795                       |
| 846,4  | 19,41                             | 21,87                       | 0,10873                       |
| 855,7  | 19,46                             | 21,96                       | 0,11002                       |
| 866,2  | 19,51                             | 22,05                       | 0,111                         |
| 877,1  | 19,57                             | 22,15                       | 0,11258                       |
| 886,2  | 19,61                             | 22,23                       | 0,11312                       |
| 896,3  | 19,66                             | 22,32                       | 0,11446                       |
| 906,9  | 19,72                             | 22,42                       | 0,11527                       |
| 917,5  | 19,77                             | 22,51                       | 0,11689                       |
| 926,2  | 19,81                             | 22,59                       | 0,11756                       |

Таблица А.4 — Результаты  $\bar{\alpha}$ ,  $\alpha$  и  $\rho$  для  $\alpha$ -латуни (30,5 % Zn + 69,5 % Cu)

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, \text{Ом} \cdot \text{м}$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|---|
| 334,4  | 14,70                             | 17,54                       | 0,06621                                     |
| 342,9  | 14,89                             | 17,62                       | 0,06709                                     |
| 352,4  | 15,10                             | 17,72                       | 0,06787                                     |
| 362,4  | 15,32                             | 17,82                       | 0,06875                                     |
| 372,2  | 15,52                             | 17,91                       | 0,06965                                     |
| 381,8  | 15,71                             | 18,01                       | 0,07066                                     |
| 391,8  | 15,90                             | 18,11                       | 0,07161                                     |
| 400,9  | 16,07                             | 18,20                       | 0,07232                                     |
| 410,3  | 16,23                             | 18,29                       | 0,07349                                     |
| 419,4  | 16,39                             | 18,38                       | 0,07428                                     |
| 429,8  | 16,56                             | 18,49                       | 0,07523                                     |
| 439,8  | 16,72                             | 18,59                       | 0,07626                                     |
| 450,0  | 16,88                             | 18,69                       | 0,07733                                     |
| 459,9  | 17,02                             | 18,79                       | 0,07831                                     |
| 469,9  | 17,16                             | 18,88                       | 0,07914                                     |
| 479,7  | 17,29                             | 18,98                       | 0,08018                                     |
| 490,0  | 17,42                             | 19,08                       | 0,08122                                     |
| 499,8  | 17,54                             | 19,18                       | 0,08223                                     |
| 509,8  | 17,66                             | 19,28                       | 0,08324                                     |
| 519,7  | 17,77                             | 19,38                       | 0,08416                                     |
| 529,3  | 17,87                             | 19,47                       | 0,08527                                     |
| 539,4  | 17,97                             | 19,57                       | 0,08632                                     |
| 549,2  | 18,07                             | 19,67                       | 0,0874                                      |
| 558,7  | 18,16                             | 19,76                       | 0,08831                                     |
| 569,0  | 18,25                             | 19,86                       | 0,08947                                     |
| 578,5  | 18,33                             | 19,96                       | 0,09036                                     |
| 588,3  | 18,41                             | 20,05                       | 0,0914                                      |
| 597,8  | 18,49                             | 20,14                       | 0,09253                                     |
| 606,3  | 18,55                             | 20,23                       | 0,09324                                     |
| 616,7  | 18,63                             | 20,33                       | 0,09445                                     |
| 626,3  | 18,69                             | 20,42                       | 0,0956                                      |
| 636,7  | 18,76                             | 20,53                       | 0,09641                                     |
| 646,0  | 18,82                             | 20,62                       | 0,09782                                     |
| 655,3  | 18,88                             | 20,71                       | 0,0986                                      |
| 664,7  | 18,94                             | 20,80                       | 0,09924                                     |

Окончание таблицы А.4

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, \text{Ом} \cdot \text{м}$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|---|
| 674,4  | 18,99                             | 20,90                       | 0,10063                                     |
| 684,0  | 19,04                             | 20,99                       | 0,10244                                     |
| 693,4  | 19,10                             | 21,08                       | 0,10287                                     |
| 703,5  | 19,15                             | 21,18                       | 0,10356                                     |
| 712,4  | 19,19                             | 21,27                       | 0,10498                                     |
| 722,3  | 19,24                             | 21,36                       | 0,10588                                     |
| 732,2  | 19,29                             | 21,46                       | 0,10679                                     |
| 743,5  | 19,34                             | 21,57                       | 0,10859                                     |
| 750,5  | 19,38                             | 21,64                       | 0,1091                                      |
| 761,3  | 19,43                             | 21,74                       | 0,11061                                     |
| 769,3  | 19,46                             | 21,82                       | 0,11126                                     |
| 778,8  | 19,51                             | 21,91                       | 0,11201                                     |
| 787,9  | 19,55                             | 22,00                       | 0,11336                                     |
| 797,4  | 19,59                             | 22,09                       | 0,11469                                     |
| 806,3  | 19,64                             | 22,18                       | 0,11545                                     |
| 818,7  | 19,69                             | 22,30                       | 0,11692                                     |
| 828,4  | 19,74                             | 22,40                       | 0,11821                                     |
| 836,4  | 19,78                             | 22,47                       | 0,11902                                     |
| 844,4  | 19,82                             | 22,55                       | 0,11945                                     |
| 852,5  | 19,86                             | 22,63                       | 0,12089                                     |
| 858,4  | 19,89                             | 22,69                       | 0,1214                                      |
| 863,3  | 19,92                             | 22,73                       | 0,12194                                     |
| 872,7  | 19,97                             | 22,82                       | 0,12272                                     |
| 881,8  | 20,02                             | 22,91                       | 0,12419                                     |

Таблица А.5 — Результаты  $\bar{\alpha}$ ,  $\alpha$  и  $\rho$  для  $\beta$ -латуни (46,1 % Zn + 53,9 % Cu)

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, \text{Ом} \cdot \text{м}$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|---|
| 312,7  | 17,85                             | 17,68                       | 0,04608                                     |
| 322,7  | 17,95                             | 17,87                       | 0,04469                                     |
| 332,4  | 18,05                             | 18,06                       | 0,04747                                     |
| 342,2  | 18,14                             | 18,25                       | 0,0475                                      |
| 352,7  | 18,23                             | 18,45                       | 0,04853                                     |
| 361,4  | 18,31                             | 18,62                       | 0,04977                                     |
| 371,2  | 18,39                             | 18,81                       | 0,04967                                     |
| 381,2  | 18,47                             | 19,00                       | 0,05269                                     |

Продолжение таблицы А.5

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, Ом \cdot м$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 390,7  | 18,55                             | 19,18                       | 0,05308                       |
| 400,2  | 18,62                             | 19,37                       | 0,05524                       |
| 419,2  | 18,77                             | 19,73                       | 0,0585                        |
| 428,9  | 18,84                             | 19,92                       | 0,05944                       |
| 437,7  | 18,91                             | 20,09                       | 0,06033                       |
| 449,2  | 18,99                             | 20,31                       | 0,06186                       |
| 459,2  | 19,07                             | 20,50                       | 0,06322                       |
| 468,9  | 19,15                             | 20,69                       | 0,06411                       |
| 479,2  | 19,23                             | 20,88                       | 0,06446                       |
| 488,9  | 19,31                             | 21,07                       | 0,06693                       |
| 498,9  | 19,39                             | 21,26                       | 0,06846                       |
| 528,7  | 19,66                             | 21,83                       | 0,07331                       |
| 538,4  | 19,75                             | 22,02                       | 0,07351                       |
| 548,4  | 19,85                             | 22,21                       | 0,07568                       |
| 557,7  | 19,95                             | 22,39                       | 0,0769                        |
| 596,9  | 20,42                             | 23,47                       | 0,08295                       |
| 606,7  | 20,55                             | 23,72                       | 0,08423                       |
| 616,7  | 20,70                             | 24,04                       | 0,08592                       |
| 625,9  | 20,84                             | 24,41                       | 0,08779                       |
| 645,2  | 21,15                             | 25,49                       | 0,09149                       |
| 654,4  | 21,31                             | 26,19                       | 0,0938                        |
| 663,7  | 21,48                             | 27,02                       | 0,09536                       |
| 673,4  | 21,67                             | 28,06                       | 0,09721                       |
| 682,7  | 21,85                             | 29,21                       | 0,09937                       |
| 687,7  | 21,96                             | 29,90                       | 0,10006                       |
| 692,4  | 22,06                             | 30,61                       | 0,10161                       |
| 697,2  | 22,17                             | 31,38                       | 0,10276                       |
| 701,7  | 22,27                             | 32,15                       | 0,10406                       |
| 711,2  | 22,49                             | 33,94                       | 0,10654                       |
| 715,9  | 22,60                             | 34,92                       | 0,10888                       |
| 720,9  | 22,73                             | 36,02                       | 0,11072                       |
| 725,7  | 22,85                             | 37,12                       | 0,11155                       |
| 730,2  | 22,97                             | 38,23                       | 0,11314                       |
| 734,9  | 23,09                             | 30,53                       | 0,11437                       |



Окончание таблицы А.5

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, Ом \cdot м$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 739,9  | 23,23                             | 28,54                       | 0,11577                       |
| 744,4  | 23,35                             | 27,11                       | 0,11639                       |
| 758,4  | 23,39                             | 25,00                       | 0,11948                       |
| 767,9  | 23,41                             | 25,16                       | 0,12079                       |
| 772,7  | 23,42                             | 25,24                       | 0,12133                       |
| 777,4  | 23,43                             | 25,31                       | 0,11968                       |
| 786,7  | 23,45                             | 25,46                       | 0,12329                       |
| 791,2  | 23,46                             | 25,54                       | 0,12694                       |
| 810,2  | 23,53                             | 25,85                       | 0,12749                       |
| 819,4  | 23,57                             | 26,00                       | 0,13241                       |
| 828,7  | 23,61                             | 26,15                       | 0,12966                       |
| 838,4  | 23,66                             | 26,31                       | 0,13209                       |
| 847,7  | 23,72                             | 26,46                       | 0,13386                       |
| 857,2  | 23,78                             | 26,61                       | 0,13537                       |
| 866,7  | 23,84                             | 26,77                       | 0,13605                       |
| 875,9  | 23,91                             | 26,92                       | 0,13978                       |
| 885,2  | 23,99                             | 27,06                       | 0,14146                       |
| 894,7  | 24,07                             | 27,22                       | 0,14196                       |
| 903,9  | 24,16                             | 27,37                       | 0,1435                        |
| 913,2  | 24,25                             | 27,51                       | 0,14528                       |
| 922,2  | 24,34                             | 27,66                       | 0,14581                       |
| 931,4  | 24,45                             | 27,81                       | 0,1484                        |

Таблица А.6 — Результаты  $\bar{\alpha}$ ,  $\alpha$  и  $\rho$  для  $\gamma$ -латуни (65,1 % Zn + 34,9 % Cu)

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, Ом \cdot м$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 313,3  | 16,95                             | 18,20                       | 0,08412                       |
| 324,0  | 17,30                             | 18,67                       | 0,0859                        |
| 333,5  | 17,60                             | 19,08                       | 0,0877                        |
| 343,4  | 17,90                             | 19,49                       | 0,0899                        |
| 353,4  | 18,18                             | 19,89                       | 0,09066                       |
| 363,3  | 18,46                             | 20,27                       | 0,09297                       |
| 373,2  | 18,72                             | 20,63                       | 0,09473                       |
| 383,5  | 18,97                             | 20,99                       | 0,09792                       |
| 393,0  | 19,20                             | 21,31                       | 0,09877                       |

Окончание таблицы А.6

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, Ом \cdot м$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 402,8  | 19,43                             | 21,62                       | 0,10007                       |
| 413,5  | 19,66                             | 21,94                       | 0,10213                       |
| 424,2  | 19,88                             | 22,24                       | 0,10383                       |
| 433,3  | 20,06                             | 22,48                       | 0,10729                       |
| 443,3  | 20,25                             | 22,73                       | 0,10951                       |
| 454,0  | 20,44                             | 22,98                       | 0,11195                       |
| 463,0  | 20,59                             | 23,18                       | 0,11392                       |
| 473,2  | 20,76                             | 23,38                       | 0,11685                       |
| 483,7  | 20,92                             | 23,58                       | 0,11944                       |
| 493,2  | 21,06                             | 23,74                       | 0,12208                       |
| 502,9  | 21,19                             | 23,89                       | 0,12465                       |
| 513,8  | 21,34                             | 24,03                       | 0,1276                        |
| 523,0  | 21,45                             | 24,15                       | 0,12924                       |
| 534,3  | 21,59                             | 24,26                       | 0,13244                       |
| 543,5  | 21,69                             | 24,34                       | 0,13453                       |
| 553,5  | 21,80                             | 24,41                       | 0,13645                       |
| 562,9  | 21,89                             | 24,46                       | 0,13899                       |
| 573,4  | 22,00                             | 24,51                       | 0,14144                       |
| 593,7  | 22,18                             | 24,63                       | 0,14786                       |
| 604,5  | 22,28                             | 24,84                       | 0,14922                       |
| 613,3  | 22,35                             | 25,00                       | 0,15109                       |
| 623,6  | 22,43                             | 25,18                       | 0,15489                       |
| 633,3  | 22,51                             | 25,33                       | 0,15597                       |
| 643,3  | 22,58                             | 25,47                       | 0,15813                       |
| 653,4  | 22,65                             | 25,61                       | 0,1614                        |
| 662,0  | 22,72                             | 25,71                       | 0,16343                       |
| 673,2  | 22,80                             | 25,83                       | 0,16591                       |
| 683,9  | 22,87                             | 25,92                       | 0,16808                       |
| 693,3  | 22,94                             | 26,00                       | 0,17046                       |
| 702,2  | 23,00                             | 26,05                       | 0,17263                       |
| 713,3  | 23,08                             | 26,11                       | 0,17607                       |
| 723,8  | 23,15                             | 26,15                       | 0,17771                       |
| 733,8  | 23,22                             | 26,17                       | 0,18027                       |
| 744,2  | 23,30                             | 26,18                       | 0,18274                       |

Таблица А.7 — Результаты  $\bar{\alpha}$ ,  $\alpha$  и  $\rho$  для  $\epsilon$ -латуни (82,6 % Zn + 17,4 % Cu)

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, \text{Om} \cdot \text{m}$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|---|
| 309,2  | 22,06                             | 22,88                       | 0,17749                                     |
| 319,3  | 22,29                             | 23,17                       | 0,17991                                     |
| 329,0  | 22,49                             | 23,45                       | 0,1827                                      |
| 339,0  | 22,70                             | 23,72                       | 0,18549                                     |
| 348,9  | 22,90                             | 23,99                       | 0,18857                                     |
| 359,3  | 23,10                             | 24,26                       | 0,19156                                     |
| 369,0  | 23,28                             | 24,51                       | 0,19449                                     |
| 378,0  | 23,44                             | 24,73                       | 0,1971                                      |
| 389,1  | 23,64                             | 24,99                       | 0,2006                                      |
| 399,3  | 23,81                             | 25,22                       | 0,20356                                     |
| 410,1  | 23,99                             | 25,46                       | 0,20664                                     |
| 419,0  | 24,13                             | 25,65                       | 0,20968                                     |
| 429,0  | 24,28                             | 25,86                       | 0,21283                                     |
| 439,7  | 24,43                             | 26,07                       | 0,21624                                     |
| 450,1  | 24,57                             | 26,27                       | 0,2198                                      |
| 460,9  | 24,72                             | 26,47                       | 0,22316                                     |
| 469,3  | 24,82                             | 26,61                       | 0,22655                                     |
| 479,3  | 24,94                             | 26,78                       | 0,22989                                     |
| 489,0  | 25,05                             | 26,94                       | 0,23384                                     |
| 499,0  | 25,16                             | 27,09                       | 0,23747                                     |
| 509,6  | 25,26                             | 27,24                       | 0,24155                                     |
| 520,4  | 25,37                             | 27,39                       | 0,24549                                     |
| 530,3  | 25,45                             | 27,52                       | 0,24936                                     |
| 539,6  | 25,53                             | 27,63                       | 0,25253                                     |
| 549,3  | 25,60                             | 27,74                       | 0,2562                                      |
| 559,3  | 25,67                             | 27,85                       | 0,26  |
| 569,4  | 25,74                             | 27,95                       | 0,26397                                     |
| 578,7  | 25,79                             | 28,04                       | 0,26695                                     |
| 589,7  | 25,85                             | 28,13                       | 0,27136                                     |
| 599,5  | 25,89                             | 28,20                       | 0,27489                                     |

Таблица А.8 — Результаты  $\bar{\alpha}$ ,  $\alpha$  и  $\rho$  для  $\alpha + \beta$  смеси (~ 41,8 % Zn + 58,2 % Cu)

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, \text{Ом} \cdot \text{м}$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|---|
| 313,5  | 16,27                             | 15,48                       | 0,06491                                     |
| 324,0  | 16,42                             | 16,00                       | 0,06619                                     |
| 333,1  | 16,56                             | 16,43                       | 0,0665                                      |
| 340,5  | 16,66                             | 16,77                       | 0,06766                                     |
| 352,8  | 16,84                             | 17,30                       | 0,06867                                     |
| 362,1  | 16,97                             | 17,67                       | 0,06988                                     |
| 371,9  | 17,11                             | 18,05                       | 0,07086                                     |
| 381,3  | 17,24                             | 18,39                       | 0,07234                                     |
| 391,3  | 17,37                             | 18,72                       | 0,07365                                     |
| 402,0  | 17,51                             | 19,05                       | 0,07475                                     |
| 410,9  | 17,63                             | 19,30                       | 0,07584                                     |
| 421,2  | 17,76                             | 19,57                       | 0,07691                                     |
| 430,6  | 17,88                             | 19,79                       | 0,07795                                     |
| 440,3  | 18,01                             | 20,00                       | 0,07909                                     |
| 450,3  | 18,13                             | 20,19                       | 0,08008                                     |
| 460,1  | 18,25                             | 20,35                       | 0,08143                                     |
| 469,8  | 18,36                             | 20,49                       | 0,08241                                     |
| 480,3  | 18,49                             | 20,62                       | 0,08378                                     |
| 490,2  | 18,60                             | 20,71                       | 0,08503                                     |
| 500,0  | 18,71                             | 20,78                       | 0,08615                                     |
| 510,2  | 18,82                             | 20,82                       | 0,08723                                     |
| 520,2  | 18,93                             | 20,84                       | 0,0891                                      |
| 549,5  | 19,24                             | 20,90                       | 0,09231                                     |
| 559,3  | 19,34                             | 20,89                       | 0,0938                                      |
| 569,0  | 19,44                             | 20,93                       | 0,09464                                     |
| 578,7  | 19,53                             | 21,02                       | 0,09624                                     |
| 588,4  | 19,62                             | 21,16                       | 0,09751                                     |
| 597,5  | 19,71                             | 21,33                       | 0,09846                                     |
| 607,7  | 19,80                             | 21,58                       | 0,10012                                     |
| 617,3  | 19,89                             | 21,86                       | 0,10094                                     |
| 627,0  | 19,97                             | 22,19                       | 0,10252                                     |
| 636,5  | 20,05                             | 22,56                       | 0,10407                                     |
| 645,8  | 20,13                             | 22,97                       | 0,10522                                     |
| 655,5  | 20,21                             | 23,45                       | 0,1065                                      |
| 665,3  | 20,29                             | 23,98                       | 0,10772                                     |

Окончание таблицы А.8

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, Ом \cdot м$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 674,5  | 20,36                             | 24,52                       | 0,10907                       |
| 684,0  | 20,43                             | 25,14                       | 0,11072                       |
| 688,8  | 20,47                             | 25,46                       | 0,11145                       |
| 693,8  | 20,50                             | 25,81                       | 0,11251                       |
| 698,0  | 20,53                             | 26,11                       | 0,11266                       |
| 702,7  | 20,57                             | 26,46                       | 0,11357                       |
| 708,3  | 20,61                             | 26,90                       | 0,11432                       |
| 741,1  | 20,83                             | 22,81                       | 0,11993                       |
| 745,5  | 20,85                             | 22,83                       | 0,12106                       |
| 751,5  | 20,89                             | 22,85                       | 0,12166                       |
| 755,8  | 20,92                             | 22,87                       | 0,12224                       |
| 760,8  | 20,95                             | 22,89                       | 0,12251                       |
| 765,5  | 20,97                             | 22,91                       | 0,12368                       |
| 773,3  | 21,02                             | 22,94                       | 0,12531                       |
| 778,3  | 21,05                             | 22,96                       | 0,12591                       |
| 783,1  | 21,07                             | 22,98                       | 0,12609                       |
| 792,2  | 21,12                             | 23,02                       | 0,12751                       |
| 801,7  | 21,17                             | 23,06                       | 0,12886                       |
| 811,3  | 21,22                             | 23,10                       | 0,13014                       |
| 820,7  | 21,26                             | 23,14                       | 0,13159                       |
| 830,3  | 21,31                             | 23,18                       | 0,13324                       |
| 839,5  | 21,35                             | 23,22                       | 0,13483                       |
| 849,0  | 21,39                             | 23,26                       | 0,13649                       |
| 857,7  | 21,42                             | 23,30                       | 0,13785                       |
| 867,5  | 21,46                             | 23,34                       | 0,13923                       |
| 877,2  | 21,50                             | 23,38                       | 0,14109                       |
| 886,0  | 21,53                             | 23,42                       | 0,14263                       |

Таблица А.9 — Результаты  $\bar{\alpha}$ ,  $\alpha$  и  $\rho$  для смеси  $\beta + \gamma$  (~ 53,0 % Zn + 47,0 % Cu)

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, Ом \cdot м$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 338,3  | 18,73                             | 18,36                       | 0,08348                       |
| 348,0  | 18,84                             | 18,74                       | 0,08546                       |
| 357,5  | 18,96                             | 19,09                       | 0,08699                       |
| 367,2  | 19,08                             | 19,43                       | 0,08951                       |
| 376,9  | 19,20                             | 19,76                       | 0,09136                       |
| 386,2  | 19,31                             | 20,06                       | 0,09388                       |

Продолжение таблицы А.9

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, \text{Ом} \cdot \text{м}$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|---|
| 396,2  | 19,43                             | 20,37                       | 0,09592                                     |
| 405,7  | 19,55                             | 20,65                       | 0,09804                                     |
| 415,3  | 19,67                             | 20,92                       | 0,1005                                      |
| 425,3  | 19,79                             | 21,18                       | 0,10255                                     |
| 435,0  | 19,91                             | 21,42                       | 0,10473                                     |
| 445,2  | 20,03                             | 21,65                       | 0,10753                                     |
| 455,2  | 20,15                             | 21,86                       | 0,10996                                     |
| 465,4  | 20,28                             | 22,07                       | 0,11248                                     |
| 475,2  | 20,40                             | 22,24                       | 0,115                                       |
| 484,8  | 20,52                             | 22,40                       | 0,11788                                     |
| 495,4  | 20,65                             | 22,56                       | 0,12045                                     |
| 500,3  | 20,71                             | 22,62                       | 0,12189                                     |
| 505,3  | 20,77                             | 22,69                       | 0,12306                                     |
| 509,9  | 20,82                             | 22,74                       | 0,12441                                     |
| 515,2  | 20,89                             | 22,80                       | 0,12583                                     |
| 520,2  | 20,95                             | 22,85                       | 0,12732                                     |
| 524,9  | 21,01                             | 22,90                       | 0,12882                                     |
| 529,9  | 21,07                             | 22,94                       | 0,13015                                     |
| 549,8  | 21,28                             | 23,54                       | 0,13582                                     |
| 554,4  | 21,33                             | 23,96                       | 0,13728                                     |
| 559,5  | 21,39                             | 24,41                       | 0,13913                                     |
| 564,2  | 21,45                             | 24,82                       | 0,14065                                     |
| 569,3  | 21,53                             | 25,26                       | 0,14222                                     |
| 578,6  | 21,68                             | 26,05                       | 0,1457                                      |
| 588,3  | 21,85                             | 26,86                       | 0,14872                                     |
| 598,2  | 22,05                             | 27,66                       | 0,1534                                      |
| 607,8  | 22,25                             | 28,41                       | 0,15628                                     |
| 618,0  | 22,49                             | 29,18                       | 0,16134                                     |
| 627,2  | 22,71                             | 29,86                       | 0,16591                                     |
| 636,5  | 22,95                             | 30,53                       | 0,17003                                     |
| 646,2  | 23,20                             | 31,20                       | 0,17531                                     |
| 655,8  | 23,46                             | 31,85                       | 0,18074                                     |
| 665,0  | 23,71                             | 32,45                       | 0,18605                                     |
| 674,8  | 23,99                             | 33,06                       | 0,19104                                     |
| 684,2  | 24,25                             | 33,64                       | 0,19724                                     |
| 693,5  | 24,51                             | 34,18                       | 0,20358                                     |

Окончание таблицы А.9

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, Ом \cdot м$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 703,1  | 24,77                             | 34,73                       | 0,20955                       |
| 712,5  | 25,03                             | 35,24                       | 0,2152                        |
| 717,6  | 25,16                             | 35,51                       | 0,21763                       |
| 722,7  | 25,30                             | 35,77                       | 0,22148                       |
| 726,8  | 25,41                             | 35,98                       | 0,22502                       |
| 731,7  | 25,53                             | 36,22                       | 0,22731                       |
| 736,2  | 25,64                             | 36,44                       | 0,23061                       |
| 741,0  | 25,76                             | 36,67                       | 0,23352                       |
| 745,8  | 25,88                             | 36,89                       | 0,23626                       |
| 771,7  | 26,13                             | 26,30                       | 0,24629                       |
| 776,2  | 26,14                             | 26,33                       | 0,24697                       |
| 780,9  | 26,15                             | 26,36                       | 0,24844                       |
| 787,9  | 26,16                             | 26,41                       | 0,24949                       |
| 797,4  | 26,18                             | 26,48                       | 0,25155                       |
| 806,7  | 26,20                             | 26,54                       | 0,25317                       |
| 816,0  | 26,22                             | 26,61                       | 0,25537                       |
| 826,2  | 26,24                             | 26,68                       | 0,25764                       |
| 833,1  | 26,25                             | 26,72                       | 0,25875                       |
| 839,3  | 26,27                             | 26,77                       | 0,25952                       |
| 848,9  | 26,29                             | 26,83                       | 0,26195                       |

Таблица А.10 — Результаты  $\bar{\alpha}$ ,  $\alpha$  и  $\rho$  для смеси  $\gamma + \epsilon$  (~ 73,3 % Zn + 26,7 % Cu)

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, Ом \cdot м$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 344,8  | 23,15                             | 23,65                       | 0,08309                       |
| 354,7  | 23,33                             | 23,94                       | 0,08443                       |
| 363,7  | 23,50                             | 24,18                       | 0,08614                       |
| 373,8  | 23,67                             | 24,43                       | 0,08828                       |
| 382,2  | 23,80                             | 24,61                       | 0,08927                       |
| 392,5  | 23,96                             | 24,83                       | 0,09164                       |
| 402,7  | 24,10                             | 25,02                       | 0,09445                       |
| 411,3  | 24,22                             | 25,17                       | 0,09526                       |
| 420,9  | 24,34                             | 25,32                       | 0,09685                       |
| 430,5  | 24,46                             | 25,46                       | 0,09855                       |
| 441,9  | 24,59                             | 25,60                       | 0,10175                       |
| 452,0  | 24,69                             | 25,72                       | 0,10187                       |

Окончание таблицы А.10

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, \text{Ом} \cdot \text{м}$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|---|
| 461,7  | 24,79                             | 25,82                       | 0,10518                                     |
| 481,7  | 24,97                             | 25,99                       | 0,10814                                     |
| 491,6  | 25,05                             | 26,07                       | 0,11066                                     |
| 501,8  | 25,13                             | 26,14                       | 0,11251                                     |
| 512,2  | 25,21                             | 26,21                       | 0,11511                                     |
| 522,0  | 25,27                             | 26,26                       | 0,11604                                     |
| 531,7  | 25,33                             | 26,32                       | 0,11888                                     |
| 541,5  | 25,39                             | 26,37                       | 0,12013                                     |
| 551,3  | 25,45                             | 26,42                       | 0,12263                                     |
| 561,1  | 25,50                             | 26,47                       | 0,12364                                     |
| 571,1  | 25,55                             | 26,52                       | 0,12626                                     |
| 590,7  | 25,65                             | 26,64                       | 0,13038                                     |
| 600,2  | 25,69                             | 26,70                       | 0,13184                                     |
| 609,1  | 25,73                             | 26,76                       | 0,13367                                     |
| 618,6  | 25,77                             | 26,83                       | 0,13626                                     |
| 629,1  | 25,82                             | 26,92                       | 0,138                                       |
| 638,5  | 25,86                             | 27,00                       | 0,13992                                     |
| 648,0  | 25,90                             | 27,10                       | 0,14134                                     |
| 657,5  | 25,94                             | 27,21                       | 0,14315                                     |
| 668,2  | 25,99                             | 27,34                       | 0,14744                                     |
| 677,0  | 26,03                             | 27,46                       | 0,14803                                     |
| 686,0  | 26,07                             | 27,60                       | 0,15017                                     |
| 695,8  | 26,12                             | 27,76                       | 0,15194                                     |
| 705,0  | 26,17                             | 27,93                       | 0,15454                                     |
| 715,3  | 26,23                             | 28,13                       | 0,15575                                     |
| 723,6  | 26,27                             | 28,31                       | 0,15787                                     |
| 733,5  | 26,33                             | 28,54                       | 0,16099                                     |

Таблица А.11 — Результаты  $\bar{\alpha}$ ,  $\alpha$  и  $\rho$  для смеси  $\epsilon + \eta$  (~ 87,8 % Zn + 12,2 % Cu)

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, \text{Ом} \cdot \text{м}$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|---|
| 324,7  | 23,36                             | 23,57                       | 0,07572                                     |
| 334,9  | 23,59                             | 23,87                       | 0,07762                                     |
| 344,3  | 23,79                             | 24,15                       | 0,07977                                     |
| 354,0  | 23,99                             | 24,43                       | 0,0812                                      |
| 363,2  | 24,16                             | 24,70                       | 0,08467                                     |



Окончание таблицы А.11

| $T, K$ | $\bar{\alpha} \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ | $\rho \cdot 10^6, \text{Ом} \cdot \text{м}$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------|---|
| 373,5  | 24,35                             | 25,00                       | 0,0858                                      |
| 383,5  | 24,52                             | 25,29                       | 0,08835                                     |
| 392,8  | 24,67                             | 25,57                       | 0,09002                                     |
| 402,4  | 24,82                             | 25,85                       | 0,09234                                     |
| 414,1  | 24,99                             | 26,19                       | 0,09469                                     |
| 422,7  | 25,11                             | 26,44                       | 0,09632                                     |
| 431,3  | 25,23                             | 26,69                       | 0,0983                                      |
| 441,4  | 25,36                             | 26,99                       | 0,10203                                     |
| 451,8  | 25,50                             | 27,29                       | 0,10268                                     |
| 462,5  | 25,63                             | 27,60                       | 0,10582                                     |
| 471,5  | 25,74                             | 27,86                       | 0,10758                                     |
| 481,4  | 25,86                             | 28,15                       | 0,11021                                     |
| 490,7  | 25,97                             | 28,42                       | 0,11295                                     |
| 499,7  | 26,07                             | 28,68                       | 0,11521                                     |
| 509,7  | 26,19                             | 28,97                       | 0,11803                                     |
| 522,0  | 26,34                             | 29,33                       | 0,12124                                     |
| 532,0  | 26,47                             | 29,61                       | 0,12334                                     |
| 541,5  | 26,58                             | 29,89                       | 0,12564                                     |
| 551,2  | 26,71                             | 30,17                       | 0,12895                                     |
| 560,9  | 26,84                             | 30,45                       | 0,13037                                     |
| 570,3  | 26,97                             | 30,72                       | 0,1338                                      |
| 580,0  | 27,12                             | 31,00                       | 0,13648                                     |
| 590,5  | 27,28                             | 31,30                       | 0,13938                                     |
| 598,7  | 27,41                             | 31,53                       | 0,14136                                     |
| 608,5  | 27,57                             | 31,82                       | 0,14556                                     |
| 619,1  | 27,76                             | 32,12                       | 0,14711                                     |

В таблицах А.2—А.11 приведены данные, полученные после усреднения значений, полученных по трем сериям измерений «нагрев — охлаждение» для каждого образца (см. раздел 2).

#### А.5 Метод обработки экспериментальных данных

Достоверность данных подтверждена совпадением результатов многократных измерений для каждого из сплавов. Предельная погрешность измерения  $\Delta L/L$  определяется чувствительностью индикатора (ценой одного деления); погрешность  $\Delta T/T$  — погрешностью определения напряжения на концах термопары потенциометром  $\Delta U/U$  и погрешностью термопары  $\Delta \varepsilon/\varepsilon$ . Последняя, в свою очередь, зависит от чувствительности термопары и погрешности градуировки. При использовании стандартных проводов для термопар и таблиц градуированных данных можно ограничиться расчетом погрешности  $\Delta U/U$ . Путем многократного определения микрометром длины образца  $L_0$  систематическая погрешность ее оценки может быть переведена в случайную. Известно, что измеряемая величина  $L_0$  лежит в интервале значений  $L_0 + \Delta x$  и  $L_0 - \Delta x$ , причем  $L_0$  распределена около среднего значения  $L$  по нормальному закону, где  $\Delta x$  — цена деления нониуса. Предельная погрешность  $\Delta x = 2\sigma x$ . Основным источником случайной погрешности при измерениях теплового расширения является погрешность  $\sigma \Delta L/\Delta L$ , которая будет определена воспроизводимостью данных измерений  $\Delta L$  при одной и той же температуре. Ее не следует путать с  $\Delta L/L$ ,

т. к. она определена не только предельной погрешностью прибора, но и погрешностью, обусловленной неидеальностью подгонки деталей ячейки и контакта этих деталей с образцом.

Предельную случайную погрешность при определении  $\alpha$  вычисляют по формуле

$$\frac{\delta_{\alpha}}{\alpha} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\Delta L}}{\Delta L}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\Delta x}}{L_0}\right)^2}. \quad (\text{A.3})$$

Предельную систематическую погрешность вычисляют по формуле

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} = \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon} + \frac{2\sigma_{\text{ост}}}{L}. \quad (\text{A.4})$$

Верхнюю границу суммарной погрешности  $\Sigma_{\alpha}$  вычисляют путем сложения систематической и случайной погрешностей

$$\Sigma_{\alpha} = \frac{\Delta\alpha}{\alpha} + \frac{\delta_{\alpha}}{\alpha}. \quad (\text{A.5})$$

Оценка погрешности ТКЛР по формуле (A.5) в области температур от  $\sim 300$  К до 1000 К приводит к значениям не более 7 % (при длине образца не менее 10 см) и менее 5 % соответственно. При значениях ТКЛР ниже  $5 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$  погрешность будет выше.

Чувствительность к изменению электросопротивления ограничена в основном неточностью определения падения напряжения на образце. Потенциометр обеспечивает достаточно высокую точность измерений, однако значения напряжений, измеренных хромелевыми и алюмелевыми проводами термомпар, как правило, расходятся в четвертом знаке и носят случайный характер, вследствие чего эти результаты усредняются. Таким образом, чувствительность будет определена величиной несовпадения напряжений, измеряемых хромелевыми и алюмелевыми проводами, которая составляет примерно  $10^{-6}$  В. В твердом состоянии минимально измеряемое напряжение —  $10^{-3}$  В. Чувствительность вычисляют по формуле

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} \approx \frac{\Delta U}{1,4U}, \quad (\text{A.6})$$

которая составляет  $5 \cdot 10^{-4}$ . Коэффициент 1,4 в формуле (A.6) введен ввиду усреднения измеряемых напряжений. Значения электросопротивления  $\rho$  вычисляют по формуле

$$\rho = (1 + \bar{\alpha}\Delta T) \cdot \frac{SU_x R_0}{U_0 I_p}, \quad (\text{A.7})$$

где  $\bar{\alpha}$  — коэффициент теплового расширения образца в интервале температур  $\Delta T = T - T_0$ ;

$\Delta T = T - T_0$  — интервал температур;

$S$  — площадь сечения рабочего участка образца;

$U_x$  — падение напряжения на образце;

$U_0$  — падение напряжения на эталонном сопротивлении  $R_0$ ;

$R_0$  — эталонное сопротивление;

$l_p$  — длина рабочего участка образца (расстояние между потенциальными зондами).

При потенциометрических измерениях с коммутацией тока контактными явлениями и сопротивлением измерительных проводов можно пренебречь. Измерение распределения температур вдоль образца тремя термопарами и введение соответствующих поправок позволяют существенно снизить систематическую погрешность из-за температурной неоднородности образца. Метод исключения систематической погрешности, которая может быть обусловлена неоднородностью образца, описан выше. Предельная систематическая погрешность будет складываться из погрешностей эталонного сопротивления  $R_0$  и погрешностей измерения напряжений  $U_x$  и  $U_0$  потенциометром. Погрешностью определения  $\bar{\alpha}$  при расчете можно пренебречь, т. к. в формуле (A.7) выражение в скобках является поправкой, тогда

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} \approx \frac{\Delta R}{R} + 2 \frac{\Delta U}{U}, \quad (\text{A.8})$$

где величина  $\Delta R/R$  соответствует значению класса точности, указанному на самом образцовом сопротивлении  $R_0$ ;

$\Delta U$  — рассчитывается по формуле, приведенной в описании потенциометра;

$U$  — измеряемое напряжение.

Систематическая погрешность, возникающая при определении геометрии образца, может быть переведена в случайную путем многократного определения как сечения ( $S = \pi r^2$ ), так и длины рабочего участка образца  $l$ . Еще одним источником случайной ошибки является невозпроизводимость данных измерения  $U_x$  и  $U_0$  при одном и том же значении температуры, которая может быть оценена путем многократных измерений или по дисперсии данных на экспериментальной зависимости электросопротивления  $\rho$  от температуры  $T$ .

Предельную случайную погрешность при измерениях вычисляют по формуле

$$\frac{d\rho}{\rho} = 2\sqrt{2\left(\frac{\sigma_U}{U}\right)^2 + 2\left(\frac{\sigma_x}{x}\right)^2 + 2\left(\frac{\sigma_x}{U}\right)^2}. \quad (\text{A.9})$$

Предельная суммарная погрешность измерения электросопротивления не превышает 0,5—1 %. Систематическая погрешность по сравнению со случайной пренебрежимо мала. Случайная погрешность устанавливается погрешностью определения длины рабочего участка образца, которая в варианте, приведенном на рисунке А.3, снижается до 0,1 % при толщине зондов 0,05 мм, систематические и случайные погрешности рассчитывались в соответствии с [7].

Ход установки (для введения поправки в значения ТКЛР) определялся по кварцевому стержню и образцу из меди. Контрольные измерения на Cu марки М0, Zn марки Ч и нержавеющей стали марки 1Х18Н9Т показали, что отклонения результатов измерения не превышают величины рассчитанных погрешностей [1].

#### А.6 Оценка достоверности данных

Оценка достоверности полученных данных о ТКЛР медно-цинковых сплавов осуществлялась многократным повторением измерений ТКЛР и электросопротивления в выбранном температурном диапазоне с последующей совместной обработкой большого числа серий измерений. Сравнение с литературными данными по электросопротивлению проведено только для β-латуни близкого состава согласно [8] (см. рисунок А.12).

При низких температурах значения совпадают, а в неупорядоченной фазе, например при 900 К, различаются на ~ 4 %. Такой процент расхождений выше температуры фазового перехода β-латуни может быть связан с неидентичностью количественного состава образцов (в [8] содержание Zn — 48 %, а в настоящем стандарте — 46,1 %).

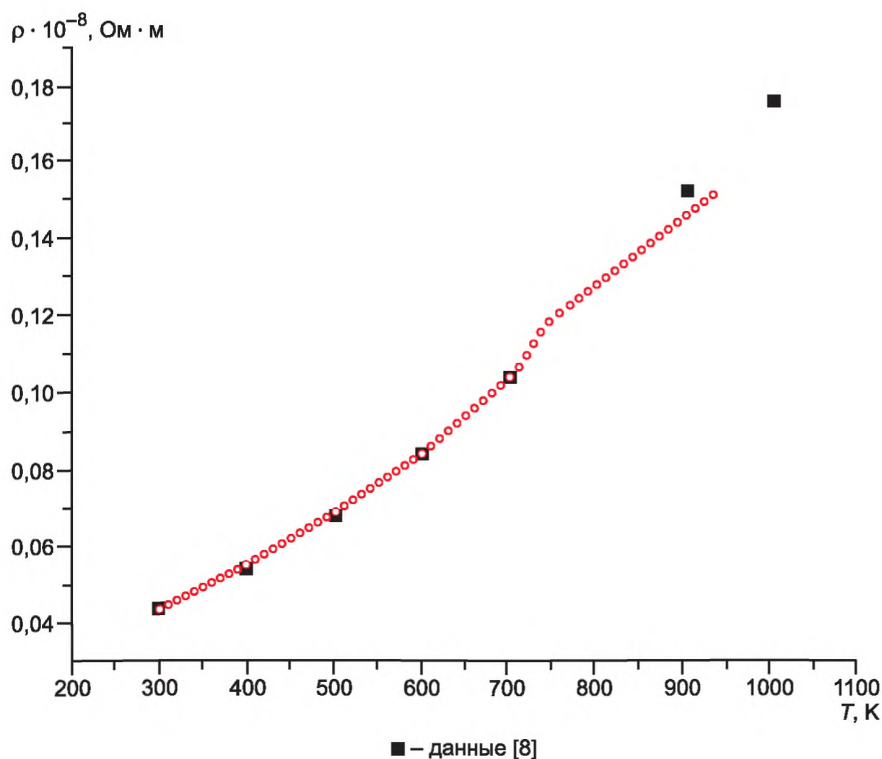


Рисунок А.4 — Сравнение данных об электросопротивлении β-латуни настоящего стандарта с данными [8] в диапазоне температур от 300 К до 1000 К

## Библиография

- [1] ГСССД МЭ 208—2013. Методика одновременных исследований электросопротивления и теплового расширения твердых тел // Палчаев Д.К., Мурлиева Ж.Х., Исаков М.Э.
- [2] Мурлиева Ж.Х., Палчаев Д.К., Фараджеева М.П., Черных Д.Г. Температурная зависимость электросопротивления сплавов, обусловленная динамическим и статическим беспорядками // Теплофизика высоких температур. 2012, т. 50, № 4, с. 1—10
- [3] Абдулагатов И.М., Мурлеева Ж.Х., Палчаев Д.К., Казбеков К.К., Маангалов М.М. Тепловое расширение и кинетические коэффициенты кристаллов // Журнал физики и химии твердого тела (Thermal Expansion and Kinetic Coefficients of Crystals // J. Phys. and Chem. Solids), 2007. 1713—1720 с.
- [4] Чистяков В.С. Краткий справочник по теплотехническим измерениям. М.: Энергоатомиздат, 1990. 320 с.
- [5] Новикова С.И. Тепловое расширение твердых тел. М.: Наука, 1974. 291 с.; Чистяков В.С. Краткий справочник по теплотехническим измерениям. М.: Энергоатомиздат, 1990. 320 с.
- [6] Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. М.: Высшая школа. 1982. 224 с.
- [7] Сергеев О.А. Метрологические основы теплофизических измерений. М.: Стандарты, 1972. 156 с.
- [8] Шматко О.А., Усов Ю.В. Электрические и магнитные свойства металлов и сплавов // Справочник. Киев: Наукова думка, 1987. 582 с.

Редактор *Л.С. Зимилова*  
Технический редактор *В.Н. Прусакова*  
Корректор *О.В. Лазарева*  
Компьютерная верстка *А.Н. Золотаревой*

Сдано в набор 13.03.2019. Подписано в печать 29.04.2019. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Гарнитура Ариал.  
Усл. печ. л. 5,12. Уч.-изд. л. 4,83.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандартов

---

Создано в единичном исполнении ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» для комплектования Федерального  
информационного фонда стандартов, 117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.  
[www.gostinfo.ru](http://www.gostinfo.ru) [info@gostinfo.ru](mailto:info@gostinfo.ru)