

**ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ  
ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ  
ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ**

**Ю.Л. Муромцев<sup>1</sup>, В.Н. Чернышов<sup>2</sup>, З.М. Селиванова<sup>1</sup>**

*Кафедры: «Конструирование радиоэлектронных  
и микропроцессорных систем» (1),*

*«Криминалистика и информатизация правовой деятельности» (2), ТГТУ*

**Ключевые слова и фразы:** доминирующие компоненты; коэффициенты тепло- и температуропроводности; контактное термосопротивление; погрешность измерения; погрешность квантования; теплофизические свойства.

**Аннотация:** Проведены анализ и оценка характеристик погрешностей результатов измерения теплофизических свойств твердых материалов.

**Обозначения**

$a$ – коэффициент температуропроводности;	$T_n, T_m$ – значения температур для эталонных материалов;
$b_n$ – коэффициент нормализации;	$U(T)$ – статическая характеристика ПИП;
$D$ – дисперсия;	$W$ – влажность;
$K_1, K_2, K_3, K_4$ – константы;	$\lambda$ – коэффициент теплопроводности;
$M$ – математическое ожидание;	$\tau$ – время;
$R_T$ – контактное термосопротивление;	$\psi$ – шероховатость поверхности исследуемого объекта.
$q_{1i}, \dots, q_{ni}$ – характеристики округления;	
$T(U)$ – градуировочная характеристика первичного измерительного преобразователя (ПИП);	

Процессы измерения и контроля качества материалов и изделий являются исключительно важными в производстве. Основным показателем, характеризующим качество результата измерения, является погрешность измерения. Рассмотрим характеристики погрешности результатов измерения теплофизических свойств (ТФС) измерительно-вычислительными системами (ИВС) при воздействии дестабилизирующих факторов (ДФ), которыми являются температура и влажность окружающей среды, контактное термосопротивление, шероховатость поверхности исследуемого объекта [1].

Анализ характеристик погрешностей выполним на основе уравнения измерений коэффициентов тепло- и температуропроводности при частотно-импульсном тепловом воздействии на исследуемый объект:

$$a_i^* = \langle K_1 \langle \exp \langle K_2 \frac{\langle T_n^* \rangle q_{1i}}{\langle T_m^* \rangle q_{2i}} \rangle \rangle q_{3i} \rangle q_{4i} \rangle q_{5i} \rangle; \quad (1)$$

$$\lambda_i^* = \langle \frac{1}{\langle T_m^* \rangle q_{1i}} \langle K_3 \langle \ln \langle (K_4 \langle a \rangle q_{2i}) \rangle \rangle q_{3i} \rangle q_{4i} \rangle q_{5i} \rangle q_{6i} \rangle; \quad (2)$$

где  $a_i^*$ ,  $\lambda_i^*$  – коэффициенты температуро- и теплопроводности соответственно;  $T_n^*$ ,  $T_m^*$  – значения температур для эталонных материалов с известными  $a$  и  $\lambda$ ;  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ,  $K_4$  – константы, определяемые при градуировке ИВС;  $\langle \cdot \rangle$  – числовой результат измерительного преобразования в цифровой форме;  $q_{1i}$ ,  $q_{2i}$ ,  $q_{3i}$  – характеристики округления, зависящие от разрядности ИВС.

В уравнениях (1), (2), которые являются процедурами косвенных измерений, применяются результаты прямых измерений температуры  $T(x, \tau)$

$$T_i^*(x, \tau) = \langle \langle [bU(T_i(x, \tau))] \rangle_{\Delta_K U}^h \rangle_{q_{1i}} \langle \langle m_M \rangle_{q_{2i}} \rangle_{q_{3i}} \rangle_{q_{4i}}, \quad (3)$$

где  $T^h(U)$  – градуировочная характеристика ПИП;  $m_M$  – коэффициент масштабирования,  $m_M = \frac{\Delta_K T}{T b_i}$ ;  $\Delta_K T$  – интервал квантования;  $b$  – коэффициент нормализации.

Характеристики погрешности результатов измерений температуры получим на основе уравнения (3), определяющего структуру полной погрешности [2]

$$\begin{aligned} \Delta T_i^* = & \Delta_b T_i^* + \Delta_U T_i^* + \Delta_{\text{кв}} T_i^* + \Delta_{01} T_i^* + \Delta_{02} T_i^* + \\ & + \Delta_{\Psi} T_i^* + \Delta_W T_i^* + \Delta_{\text{о.с}} T_i^* + \Delta_{R_T} T_i^*, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\Delta_b T_i^*$  – погрешность из-за отличия  $b$  от номинального значения  $b_n$ ;  $\Delta_U T_i^*$  – погрешность в результате отличия реальной статической характеристики преобразования термодатчика от номинальной, так как  $T^h(U) = U^{h^{-1}}(T)$  – градуировочная характеристика, отражающая преобразование, обратное номинальному преобразованию датчика;  $\Delta_{\text{кв}} T_i^*$  – погрешность квантования;  $\Delta_{01} T_i^*$  – погрешность за счет округления результата аналого-цифрового преобразования (АЦП) при считывании;  $\Delta_{02} T_i^*$  – погрешность из-за округления конечного результата;  $\Delta_W T_i^*$  – погрешность из-за изменения влажности исследуемого объекта;  $\Delta_{\Psi} T_i^*$  – погрешность в результате влияния шероховатости поверхности объекта;  $\Delta_{\text{о.с}} T_i^*$  – погрешность из-за воздействия температуры окружающей среды на ИВС и объект;  $\Delta_{R_T} T_i^*$  – погрешность в результате изменения контактного термосопротивления (КТ) в области контакта датчика ИВС и исследуемого объекта.

Для первой составляющей погрешности

$$\Delta_b T_i^* = \frac{\Delta b}{b_n} T_i^*,$$

где  $\Delta b = b - b_n$ .

Характеристики данной погрешности определяются по формулам:

$$M[\Delta_b T_i^*] = \frac{\Delta b}{b_n} M[T_i^*]; \quad D^{1/2}[\Delta_b T_i^*] = \frac{\Delta b}{b_n} D^{1/2}[T_i^*], \quad (5)$$

где  $M$  – математическое ожидание,  $D$  – дисперсия.

Вторая составляющая погрешности равна

$$\begin{aligned}\Delta_U T_i^* &= T^H \left[ \frac{bU(T_i)}{b_H} \right] - T^H \left[ \frac{bU^H(T_i)}{b_H} \right] = \\ &= T^H \left[ \frac{b}{b_H} \left( U^H(T_i) + \Delta U(T_i) \right) \right] - T^H \left[ \frac{b}{b_H} U^H(T_i) \right],\end{aligned}\quad (7)$$

где  $\Delta U(T_i) = U(T_i) - U^H(T_i)$ .

Если градуировочная характеристика линейна, то

$$\Delta_U T_i^* = T^H \left[ \frac{b}{b_H} \Delta U(T_i) \right]; \quad (8)$$

$$U(T_i) = a_1 T_i + a_2, \quad U^H(T_i) = a_1^H T_i + a_1^H \quad \text{и} \quad T^H(U_i) = \frac{U_i - a_2^H}{a_1^H},$$

где  $a_1^H$  и  $a_2^H$  – номинальные значения параметров статической характеристики преобразования датчика,

$$\Delta_U T_i^* = \frac{1}{a_1^H} \left[ \frac{b}{b_H} \left( (a_1 - a_1^H) T_i + a_2 + a_2^H \right) - a_2^H \right]. \quad (9)$$

Тогда

$$M \left[ \Delta_U T_i^* \right] = \frac{b(a_1 - a_1^H)}{a_1^H b_H} M[T_i] + \frac{b(a_2 - a_2^H)}{a_1^H b_H} - \frac{a_2^H}{a_1^H},$$

$$D^{1/2} \left[ \Delta_U T_i^* \right] = \frac{b(a_1 - a_1^H)}{a_1^H b_H} D^{1/2} [T_i].$$

Погрешность квантования определяется по формуле

$$\Delta_{\text{кв}} T_i^* = T^H \left[ \frac{b}{b_H} U(T_i) \right] + \Delta_{\text{к}} \left[ \frac{b}{b_H} U(T_i) \right]^* - T^H \left[ \frac{b}{b_H} U(T_i) \right],$$

где  $\Delta_{\text{кв}} \left[ \frac{b}{b_H} U(T_i) \right]$  – погрешность квантования результата АЦП.

При линейности градуировочной характеристики

$$\Delta_{\text{к}} T_i^* = T^H \left[ \Delta_{\text{к}} \left[ \frac{b}{b_H} U(T_i) \right]^* \right], \quad \Delta_{\text{к}} T_i^* \in \left[ -\frac{\Delta_{\text{к}} T}{2}, \frac{\Delta_{\text{к}} T}{2} \right],$$

где  $\Delta_{\text{к}} T = \frac{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}}{2^q}$  – интервал квантования температуры,

$$M \left[ \Delta_{\text{к}} T_i^* \right] = 0, \quad D^{1/2} \left[ \Delta_{\text{к}} T_i^* \right] = \frac{\Delta_{\text{к}} T}{2\sqrt{3}}. \quad (10)$$

Составляющая погрешности за счет округления результата АЦП равна

$$\Delta_{01}T_i^* = \Delta T^H \left[ \left[ \frac{b}{b_H} U(T_i) \right]^* + n\Delta_K U \right] - T^H \left[ \frac{b}{b_H} U(T_i) \right]^*, \quad (11)$$

где  $\left[ \frac{b}{b_H} U(T_i) \right]^*$  – результат АЦП без учета округления;  $n\Delta_{KB}U$  – погрешность округления результата АЦП.

Когда градуировочная характеристика линейна, то

$$\Delta_{01}T_i^* = \Delta T^H (n\Delta_{KB}U) = n\Delta_{KB}U;$$

$$M[\Delta_{01}T_i^*] = \frac{\Delta_K T}{2}, \quad D^{1/2}[\Delta_{01}T_i^* + \Delta_K T_i^*] = \frac{\Delta_K T 2^{q_1-1}}{\sqrt{3}}.$$

Составляющая погрешность при округлении конечного результата равна

$$\Delta_{02}T_i^* = r\Delta_0, \quad (12)$$

где  $\Delta_0$  – цена младшего округленного разряда, определяемая видом градуировочной характеристики. При этом

$$M[\Delta_{02}T_i^*] = \sum_{q_2=1}^{q_2^{\max}} P(q_2) \frac{\Delta_0}{2},$$

$$D^{1/2}[\Delta_{02}T_i^*] = \sum_{q_2=1}^{q_2^{\max}} P(q_2) \sum_{r=-(2^{q_2-1}-1)}^{2^{q_2-1}} \left[ r\Delta_0 - \frac{\Delta_0}{2} \right]^2 \frac{1}{2^{q_2}}.$$

Погрешность из-за изменения влажности объекта

$$\Delta_W T_i^* = \frac{\Delta W_i}{W_{H,y}} T_i, \quad (13)$$

где  $\Delta W_i = W_i - W_{H,y}$ ,  $W_{H,y}$  – влажность при нормальных условиях теплофизических измерений. При этом

$$M[\Delta_W T_i^*] = \frac{\Delta W_i}{W_{H,y}} M[T_i]; \quad D^{1/2}[\Delta_W T_i^*] = \frac{\Delta W_i}{W_{H,y}} D^{1/2}[T_i].$$

Составляющая погрешности в результате влияния шероховатости поверхности исследуемого объекта

$$\Delta_\Psi T_i^* = \frac{\Delta \Psi_i}{\Psi_H} T_i, \quad (14)$$

где  $\Delta \Psi_i = \Psi_i - \Psi_H$ ,  $\Psi_H$  – номинальное значение шероховатости объекта.

Характеристики данной погрешности:

$$M[\Delta_\Psi T_i^*] = \frac{\Delta \Psi_i}{\Psi_H} M[T_i]; \quad D^{1/2}[\Delta_\Psi T_i^*] = \frac{\Delta \Psi_i}{\Psi_H} D^{1/2}[T_i].$$

Погрешность за счет воздействия температуры окружающей среды на ИВС

$$\Delta_{0,c} T_i^* = \frac{\Delta T_{0,c}}{T_{н.у}} T_i, \quad (15)$$

где  $\Delta T_{0,c} = T_{0,c} - T_{н.у}$ ,  $T_{н.у}$  – температура при нормальных условиях теплофизических измерений. При этом

$$M[\Delta_{0,c} T_i^*] = \frac{\Delta T_{0,c}}{T_{н.у}} M[T_i]; \quad D^{1/2}[\Delta_{0,c} T_i^*] = \frac{\Delta T_{0,c}}{T_{н.у}} D^{1/2}[T_i].$$

Погрешность из-за влияния КТ на результаты измерения

$$\Delta_{R_T} T_i^* = \frac{\Delta R_T}{R_{ТН}} T_i, \quad (16)$$

где  $\Delta R_T = R_T - R_{ТН}$ ,  $R_{ТН}$  – номинальное значение КТ.

Характеристики составляющей данной погрешности:

$$M[\Delta_{R_T} T_i^*] = \frac{\Delta R_T}{R_{ТН}} M[T_i]; \quad D^{1/2}[\Delta_{R_T} T_i^*] = \frac{\Delta R_T}{R_{ТН}} D^{1/2}[T_i].$$

Выполним анализ характеристик погрешности результатов измерений коэффициентов тепло- и температуропроводности [2].

Структура полной погрешности результатов измерения температуропроводности в соответствии с уравнением измерения (1) имеет следующий вид

$$\Delta a_i^* = \Delta_{K_1} a_i^* + \Delta_{K_2} a_i^* + \Delta T_n a_i^* + \Delta T_m a_i^* + \sum_{i=1}^5 \Delta_{0_i} a_i^*, \quad (17)$$

где  $\Delta_{K_1} a_i^*$  – погрешность из-за неточного определения  $K_1$ ;  $\Delta_{K_2} a_i^*$  – погрешность за счет неточного определения  $K_2$ ;  $\Delta T_n a_i^*$  – погрешность, обусловленная неточным определением  $T_n$ ;  $\Delta_{0_i} a_i^*$  – погрешности округления.

Первая составляющая полной погрешности равна

$$\Delta_{K_1} a_i^* = (K_1 + \Delta K_1) \exp\left(K_2 \frac{T_n}{T_m}\right) - K_1 \exp\left(K_2 \frac{T_n}{T_m}\right) = \Delta K_1 \exp\left(K_2 \frac{T_n}{T_m}\right), \quad (18)$$

где  $K_1$  – точное значение,  $K_1^* = (K_1 + \Delta K_1)$  – неточное значение  $K_1$ .

Вторая составляющая погрешности  $\Delta_{K_2} a_i^*$  определяется аналогично

$$\Delta_{K_2} a_i^* = K_1 \exp\left[(K_2 + \Delta K_2) \frac{T_n}{T_m}\right] - K_1 \exp\left(K_2 \frac{T_n}{T_m}\right) = K_1 \exp\left(\Delta K_2 \frac{T_n}{T_m}\right), \quad (19)$$

где  $K_2$  – точное значение,  $K_2^* = (K_2 + \Delta K_2)$  – неточное значение  $K_2$ .

Погрешность, обусловленная неточным определением  $T_n$ , равна

$$\Delta T_n a_i^* = K_1 \left[ \exp\left(K_2 \frac{T_n + \Delta T_n^*}{T_m}\right) - \exp\left(K_2 \frac{T_n}{T_m}\right) \right]. \quad (20)$$

Погрешность из-за неточности определения  $T_m$  рассчитывается аналогично.

Погрешность за счет округления  $K_1$  определяется следующим образом

$$\Delta_{01} a_i^* = -\Delta_0 K_1^* \exp\left(K_2 \frac{T_n}{T_m}\right), \quad (21)$$

где  $\Delta_0 K_1^*$  – погрешность округления  $K_1^*$ .

Погрешность из-за округления  $K_2$  определяется по формуле

$$\Delta_{02} a_i^* = -K_1 \exp\left(\Delta_0 K_2^* \frac{T_n}{T_m}\right), \quad (22)$$

где  $\Delta_0 K_2^*$  – погрешность округления  $K_2^*$ .

Погрешность, обусловленная округлением  $\exp\left(K_2 \frac{T_n}{T_m}\right)$ , равна

$$\Delta_{03} a_i^* = \left\langle K_1^* \right\rangle \exp\left(K_2 \frac{T_n}{T_m}\right) \frac{\Delta_0 \left(\exp\left(K_2 \frac{T_n}{T_m}\right)\right)}{\exp\left(K_2 \frac{T_n}{T_m}\right) + \Delta_0 \left(\exp\left(K_2 \frac{T_n}{T_m}\right)\right)}, \quad (23)$$

где  $\Delta_0 \left(\exp\left(K_2 \frac{T_n}{T_m}\right)\right)$  – погрешность округления  $\exp\left(K_2 \frac{T_n}{T_m}\right)$ .

Составляющая погрешности, обусловленная округлением произведения  $K_1 \exp\left(K_2 \frac{T_n}{T_m}\right)$ , равна

$$\begin{aligned} \Delta_{04} a_i^* = & \left\langle K_1^* \right\rangle_{q_1} \left\langle \exp\left(K_2 \frac{T_n}{T_m}\right) \right\rangle_{q_2} \times \\ & - \Delta_0 \left( K_1 \left\langle \exp\left(K_2 \frac{T_n}{T_m}\right) \right\rangle_{q_3} \right) \\ & \times \frac{1}{K_1 \left\langle \exp\left(K_2 \frac{T_n}{T_m}\right) \right\rangle_{q_3} + \Delta_0 \left( K_1 \left\langle \exp\left(K_2 \frac{T_n}{T_m}\right) \right\rangle_{q_3} \right)}, \end{aligned} \quad (24)$$

где  $\Delta_0 \left( K_1 \left\langle \exp\left(K_2 \frac{T_n}{T_m}\right) \right\rangle_{q_3} \right)$  – погрешность округления  $K_1 \exp\left(K_2 \frac{T_n}{T_m}\right)$ .

Последняя компонента полной погрешности равна

$$\Delta_{05} a_i^* = \Delta_0 \left[ \left\langle K_1^* \right\rangle_{q_1} \left\langle \exp\left(\left\langle K_2 \right\rangle_{q_2} \frac{T_n}{T_m}\right) \right\rangle_{q_3} \right]. \quad (25)$$

Определим далее характеристики погрешности результатов измерений  $\lambda$ .

На основе уравнения (2) структура полной погрешности результата измерения  $\lambda$  будет следующей

$$\Delta\lambda_i^* = \Delta_{K_3}\lambda_i^* + \Delta_{K_4}\lambda_i^* + \Delta_a\lambda_i^* + \Delta_{T_m}\lambda_i^* + \sum_{i=1}^5 \Delta_{0i}\lambda_i^*, \quad (26)$$

где  $\Delta_{K_3}\lambda_i^*$ ,  $\Delta_{K_4}\lambda_i^*$  – погрешности, обусловленные неточным определением значений  $K_3$ ,  $K_4$ ;  $\Delta_a\lambda_i^*$  – погрешность из-за неточного установления  $a$ ;  $\Delta_{T_m}\lambda_i^*$  – погрешность за счет неверного  $T_m$ ;  $\Delta_{0i}\lambda_i^*$  – погрешности округлений.

Первая составляющая полной погрешности равна

$$\Delta_{K_3}\lambda_i^* = \frac{1}{T_m}(K_3 + \Delta K_3) \ln(K_4 a) - \frac{1}{T_m} K_3 \ln(K_4 a) = \frac{1}{T_m} \Delta K_3 \ln(K_4 a), \quad (27)$$

где  $K_3$  – точное значение,  $K_3^* = (K_3 + \Delta K_3)$  – неточное значение  $K_3$ .

Вторая составляющая полной погрешности равна

$$\Delta_{K_4}\lambda_i^* = \frac{1}{T_m} K_3 \ln[(K_4 + \Delta K_4) a] - \frac{1}{T_m} K_3 \ln(K_4 a), \quad (28)$$

где  $K_4$  – точное значение,  $\Delta K_4 = (K_4 + \Delta K_4)$  – неточное значение  $K_4$ .

Погрешность из-за неточного определения температуропроводности  $a$

$$\Delta_a\lambda_i^* = \frac{1}{T_m} K_3 \ln[K_4 (a + \Delta a)] - \frac{1}{T_m} K_3 \ln(K_4 a). \quad (29)$$

Погрешность, обусловленная неверным установлением  $T_m$

$$\begin{aligned} \Delta_{T_m}\lambda_i^* &= \frac{1}{T_m + \Delta T_m} K_3 \ln(K_4 a) - \frac{1}{T_m} K_3 \ln(K_4 a) = \\ &= K_3 \ln(K_4 a) \left( -\frac{\Delta T_m^*}{T_m (T_m + \Delta T_m^*)} \right). \end{aligned} \quad (30)$$

Погрешность из-за округлений  $K_3$  определяются следующим образом

$$\Delta_{01}\lambda_i^* = -\frac{1}{T_m} \Delta_0 K_3^* \ln(K_4 a), \quad (31)$$

где  $\Delta_0 K_3^*$  – погрешность округления  $K_3^*$ .

Погрешность в результате округления  $K_4$  определяется по формуле

$$\Delta_{02}\lambda_i^* = -\frac{1}{T_m} K_3 \ln(\Delta_0 K_4^* a), \quad (32)$$

где  $\Delta_0 K_4^*$  – погрешность округления  $K_4^*$ .

Погрешность, обусловленная округлением  $\ln(K_4 a)$ , равна

$$\Delta_{03}\lambda_i^* = \frac{1}{T_m} < K_3^* >_{q1} \left[ -\frac{\Delta_0 [\ln(K_4 a)]}{\ln(K_4 a) [\ln(K_4 a) + \Delta_0 \ln(K_4 a)]} \right], \quad (33)$$

где  $\Delta_0 [\ln(K_4 a)]$  – погрешность округления  $\ln(K_4 a)$ .

Составляющая погрешности из-за округления  $K_3 \ln(K_4 a)$  равна

$$\Delta_{04} \lambda_i^* = \frac{1}{T_m} \langle K_3^* \rangle_{q_1} \langle \ln(K_4 a) \rangle_{q_2} \times \frac{-\Delta_0 K_3 \langle \ln(K_4 a) \rangle_{q_3}}{K_3 \langle \ln(K_4 a) \rangle_{q_3} + \Delta_0 [\langle K_3 \ln(K_4 a) \rangle_{q_3}]}, \quad (34)$$

где  $\Delta_0 K_3 \langle \ln(K_4 a) \rangle_{q_3}$  – погрешность округления  $K_3 \ln(K_4 a)$ .

Последняя компонента полной погрешности равна

$$\Delta_{05} \lambda_i^* = \Delta_0 \left[ \frac{1}{T_m} \langle K_3^* \rangle_{q_1} \langle \ln(\langle K_4^* \rangle_{q_2} a) \rangle_{q_3} \right]. \quad (35)$$

В выше приведенных выражениях  $\Delta(\cdot)$  – погрешность определения  $(\cdot)$ , а  $\Delta_0(\cdot)$  – погрешность округления  $(\cdot)$ .

Приведенные выражения составляют основу для определения  $M$  и  $D$ , которые определяются с учетом задаваемых исходных данных в виде распределения вероятности  $\omega(T_{1i}^*)$  и  $\omega(a_i^*)$ .

Процедура выделения доминант заключается в следующем. Вклад каждой компоненты для вероятностной характеристики  $\theta[\Delta U_i^*]$  определяется как разность [2]

$$\Delta \theta_i [\Delta U_j^*] = \theta_i [\Delta U_j^*] - \theta_{i-1} [\Delta U_j^*],$$

где  $\Delta \theta_i [\Delta U_j^*] = \theta_i \left[ \sum_{S=1}^i \Delta_S U_j^* \right]$ , причем  $\theta_0 [\Delta U_j^*] = 0$ ,  $\theta_m [\Delta U_j^*] = \theta [\Delta U_j^*]$ .

Для систематической погрешности вклад каждой компоненты в характеристику полной погрешности определяется математическими ожиданиями компонент, так как при

$$\Delta U_j^* = \sum_{i=1}^m \Delta_i U_j^*, \quad M[\Delta U_j^*] = \sum_{i=1}^m M[\Delta U_j^*].$$

После определения значений всех  $\Delta \theta_i [\Delta U_j^*]$  производится их упорядочивание, после чего из рассмотрения исключаются все компоненты с малыми значениями  $\Delta \theta_i$ , суммарный вклад которых в  $\theta_i [\Delta U_j^*]$  меньше установленного.

При выделении доминирующих компонент в структуре полной погрешности измерений температуры исключены погрешности  $\Delta_b T_i^*$ ,  $\Delta_u T_i^*$ ,  $\Delta_{KB} T_i^*$ ,  $\Delta_{01} T_i^*$ ,  $\Delta_{02} T_i^*$ , суммарный вклад которых в  $\theta_i [\Delta U_j^*]$  меньше установленного. В итоге доминирующими компонентами являются погрешности из-за влияния  $R_t$ ,  $\psi$ ,  $T$ ,  $W$ .

В результате проведенного анализа характеристик погрешностей измерений ТФС при воздействии ДФ с использованием уравнений измерений, составлена структура полной погрешности результатов измерений, предложен подход выделения доминирующими компонентами в составе полной погрешности. Выделенные доминанты позволяют целенаправленно осуществить коррекцию результатов измерения ТФС и повысить метрологический уровень ИВС на 3 – 5 %.

#### *Список литературы*

1 Муромцев Ю.Л., Селиванова З.М. Адаптивная микропроцессорное средство для контроля теплофизических свойств материалов // Проектирование и технология электронных средств. – 2002. – №3. – С. 44 – 48.

2 Мищенко С.В., Муромцев Ю.Л., Цветков Э.И., Чернышов В.Н. Анализ и синтез измерительных систем. – Тамбов: ТГТУ, 1995. – 234 с.

---

### **Error Evaluation of Measures Results of Thermophysical Properties of Solid Materials under Destabilizing Factors Influence**

**Yu.L. Muromtsev, V.N. Chernyshov, Z.M. Selivanova**

*Departments: "Designing of Radio-electronic and Microprocessor Systems" (1), "Criminal Law and Legal Activity Informatization" (2), TSTU*

**Key words and phrases:** thermo-physical properties; measurement error; thermal conductivity; thermal diffusivity heat and temperature conduction coefficients; quantization error; contact thermal resistance; dominating components.

**Abstract:** Analysis and evaluation of characteristics of measurement results errors of thermo-physical properties of solid materials are given.

---

### **Einschätzung des Fehlers der Meßergebnissen der wärme-physikalischen Eigenschaften der Feststoffe bei der Einwirkung der destabilisierenden Faktoren**

**Zusammenfassung:** Es sind die Analyse und die Einschätzung der Charakteristiken der Fehler der Meßergebnisse der wärme-physikalischen Eigenschaften der Feststoffe durchgeführt.

---

### **Evaluation des erreurs des résultats des mesures des propriétés thermophysiques des matériaux solides avec l'action des facteurs destabilisants**

**Résumé:** On a donné l'analyse et l'évaluation des caractéristiques des erreurs des résultats des mesures des propriétés thermophysiques des matériaux solides.