

## МЕТОД БЕСКОНТАКТНОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ ИЗ НИХ

В.Н. Чернышов, Э.В. Сысоев, А.В. Чернышов

*Кафедра «Криминалистика и информатизация правовой деятельности»,  
ГОУ ВПО «ТГТУ»*

*Представлена членом редколлегии профессором С.В. Пономаревым*

**Ключевые слова и фразы:** бесконтактное тепловое воздействие; лазер; неразрушающий контроль; тепловые потери; теплофизические свойства.

**Аннотация:** Предложен новый метод бесконтактных измерений теплопроводности и температуропроводности твердых материалов и изделий из них. В этом методе учитываются тепловые потери в окружающую среду, что позволяет повысить точность результатов измерений искомых свойств.

---

В настоящее время среди различных методов неразрушающего контроля (НК) теплофизических свойств (ТФС) твердых материалов и изделий из них особое место занимают бесконтактные методы, отличительными особенностями которых являются дистанционность, высокая оперативность и производительность измерений. Существующие методы обладают рядом определенных недостатков. Так, во многих методах не учитываются тепловые потери, происходящие с открытой поверхности исследуемого объекта в окружающую среду [1, 2]. В последнее время появились разработки, позволяющие при помощи различных компенсационных методов в той или иной степени уменьшить влияние тепловых потерь на точность результатов измерений ТФС [3–5]. Но особенностью этих методов является то, что в процессе измерений учет тепловых потерь в окружающую среду осуществляется с большой погрешностью из-за приближенного определения площади теплоотвода участка поверхности исследуемых тел. Таким образом, данная особенность не позволяет в полной мере компенсировать тепловые потери, что существенно снижает метрологический уровень методов и средств НК ТФС твердых материалов и изделий из них. Для устранения этих недостатков разработан новый метод, сущность которого заключается в следующем.

Над исследуемым изделием 1 помещают точечный источник тепловой энергии 2 (лазер) и три термоприемника 3–5, сфокусированных на поверхность, подверженную тепловому воздействию (рис. 1). Перемещение термоприемников 4, 5 осуществляется по оси  $x$ , термоприемника 3 – по параллельной ей прямой  $A$  и по оси  $y$ . Регулирование величины теплового воздействия на поверхность исследуемого образца осуществляется оптическим затвором, который осуществляет частотно-импульсную модуляцию лазерного луча.

Вначале термоприемником 4 измеряют температуру имитатора «абсолютно черного тела» (АЧТ) 6. Затем термоприемником 4 измеряют температуру исследуемого образца. В результате этого, используя отношение температуры, измеренной термоприемником на поверхности объекта, к температуре, измеренной

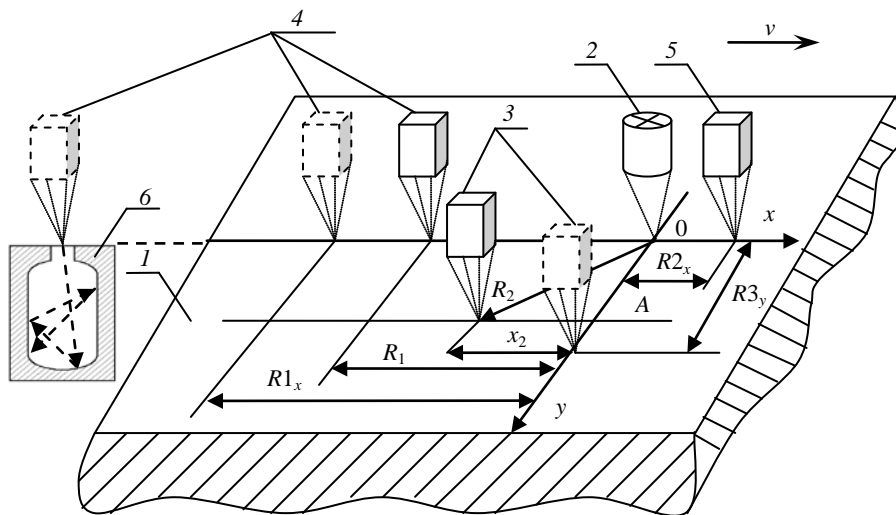


Рис. 1. Схема расположения точечного источника тепла и термодатчиков над поверхностью исследуемого образца

термодатчиком на имитаторе АЧТ, определяется коэффициент  $k$ , учитывающий значения степени черноты  $\epsilon$  поверхности исследуемого образца и прозрачности  $\beta$  окружающей среды, разделяющей поверхность исследуемого образца и измерительную головку. Найденное значение  $k$  используется для введения поправок при расчете искомых ТФС.

Далее включают источник энергии и оптический затвор с начальной минимальной частотой  $F_{\min}$  модуляции лазерного луча и начинают перемещение измерительной головки над исследуемым изделием с постоянной скоростью  $v$ , величина которой берется такой, чтобы при выбранной частоте  $F_{\min}$  в точке контроля  $R_1$  появлялась избыточная температура  $T(R_1)$ , уровень которой выше чувствительности термодатчика  $\xi$ .

Затем постепенно увеличивают частоту  $F$  прерывания лазерного луча в соответствии с известной зависимостью [5] до тех пор, пока измеряемая в точке контроля  $R_1$  избыточная температура не станет равной заданному значению температуры  $T_{\text{зад}}$ . При этом измеряют значение частоты  $F_1$  и значение избыточной температуры  $T(R_2)$  в точке контроля, расположенной на расстоянии  $R_2$  от центра пятна нагрева. Затем фокусируют термодатчики 3–5 в центр пятна нагрева 0 и начинают их перемещение. Причем термодатчик 4 перемещают по оси  $x$  в сторону отставания от источника тепла 2; термодатчик 3 – по оси  $y$ ; термодатчик 5 – по оси  $x$  в сторону опережения источника тепла 2.

Термодатчики 3, 4 и 5 при движении через заданное расстояние  $\Delta$  фиксируют избыточную температуру поверхности  $T_{F_1}(x)_i$  и  $T_{F_1}(y)_j$  соответственно по осям  $x$  и  $y$ . Перемещение осуществляют до тех пор, пока избыточная температура, измеренная термодатчиками 3, 4 и 5, не станет меньше или равной чувствительности измерительной аппаратуры  $\xi$ . При этом фиксируют расстояния  $R_{1x1}$ ,  $R_{2x1}$ ,  $R_{3y1}$ . После этого термодатчики возвращают в исходное положение.

Затем, увеличив заданное значение избыточной температуры  $T_{\text{зад}}$  в два раза, повторяют вышеописанные процедуры измерения. В результате определяют значение параметра  $F_2$ , при котором выполняется вышеуказанное соотношение контролируемых избыточных температур, избыточные температуры поверхности

$T_{F2}(x)_i$  и  $T_{F2}(y)_j$  соответственно по осям  $x$  и  $y$ , а также расстояния  $R1_{x2}$ ,  $R2_{x2}$ ,  $R3_{y2}$ . А искомые теплофизические свойства определяют по зависимостям, полученным на основании следующих рассуждений.

Известно [5], что распределение температуры в полубесконечном в тепловом отношении теле при действии на него подвижного точечного источника тепла с учетом тепловых потерь с поверхности тела в окружающую среду определяется следующей зависимостью

$$T(R, x) = T_{\text{п}} - T_{\text{с}} = \frac{\varepsilon\beta q_{\text{ит}} - (q_{\text{к}} + q_{\text{л}})}{2\pi\lambda R \exp\left(\frac{\mathcal{V}(R-x)}{2a}\right)}, \quad (1)$$

где  $q_{\text{ит}}$  – мощность точечного источника тепла, Вт;  $q_{\text{к}}$  и  $q_{\text{л}}$  – потери тепловой мощности в окружающую среду соответственно за счет конвективного и лучистого теплообмена, Вт;  $a$  и  $\lambda$  – коэффициенты соответственно температуропроводности и теплопроводности исследуемого объекта,  $\text{м}^2/\text{с}$  и  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ;  $v$  – скорость движения источника тепла относительно исследуемого тела, м/с;  $R$  – расстояние между центром пятна нагрева и точкой измерения температуры, м;  $x$  – расстояние между центром пятна нагрева и проекцией точки, расположенной на расстоянии  $R$  от него, на линию движения источника тепла, м.

На основании выражения (1) измеряемое значение избыточной предельной температуры в точке, перемещающейся вслед за источником тепла по линии его движения и отстающей от него на расстоянии  $R_1$  при частоте следования его тепловых импульсов  $F_1$ , будет определяться следующей зависимостью

$$T_{F1}(R_1) = \frac{\varepsilon\beta q_{\text{ит}} - (q_{\text{к1}} + q_{\text{л1}})}{2\pi\lambda R_1} = \frac{kF_1\tau_{\text{имп}}q_{\text{ит}} - (q_{\text{к1}} + q_{\text{л1}})}{2\pi\lambda R_1}, \quad (2)$$

где  $R_1$  – расстояние между центром пятна нагрева и точкой измерения температуры;  $q_{\text{к1}}$  и  $q_{\text{л1}}$  – потери тепловой мощности в окружающую среду соответственно за счет конвективного и лучистого теплообмена при частоте следования тепловых импульсов;  $F_1$  – частота следования тепловых импульсов от источника тепла (лазера), Гц;  $\tau_{\text{имп}}$  – длительность одного теплового импульса, с;  $k = \varepsilon\beta$ .

При нагреве поверхности исследуемого тела подвижным точечным источником энергии избыточная предельная температура в точке, перемещающейся со скоростью источника  $v$  и находящейся на расстоянии  $R_2$  от него, определяется зависимостью

$$T(R_2) = \frac{kF_1\tau_{\text{имп}}q_{\text{ит}} - (q_{\text{к1}} + q_{\text{л1}})}{2\pi\lambda R_2 \exp\left(\frac{\mathcal{V}(R_2 - x_2)}{2a}\right)}, \quad (3)$$

где  $x_2$  – расстояние между центром пятна нагрева и проекцией точки, расположенной на расстоянии  $R_2$  от него, на линию движения источника тепла.

Так как из условия эксперимента  $T_{F1}(R_1) = T_{\text{зад}}$ , то после несложных математических преобразований выражений (2) и (3), получим формулу для расчета температуропроводности в следующем виде

$$a = \frac{\mathcal{V}(R_2 - x_2)}{2\ln\left[\frac{T_{\text{зад}}R_1}{T(R_2)R_2}\right]}. \quad (4)$$

При увеличении частоты следования тепловых импульсов источника тепла с  $F_1$  до  $F_2$  мощность теплового воздействия на исследуемый объект увеличивается в  $n = F_2/F_1$  раз. Значение избыточной предельной температуры в точке  $R_1$  при частоте следования тепловых импульсов источника тепла  $F_2$  будет определяться следующей зависимостью

$$T_{F_2}(R_2) = \frac{kF_2\tau_{\text{имп}}q_{\text{ит}} - (q_{\text{к2}} + q_{\text{л2}})}{2\pi\lambda R_1} = \frac{knF_1\tau_{\text{имп}}q_{\text{ит}} - (q_{\text{к2}} + q_{\text{л2}})}{2\pi\lambda R_1}, \quad (5)$$

где  $q_{\text{к2}}$  и  $q_{\text{л2}}$  – потери тепловой мощности в окружающую среду соответственно за счет конвективного и лучистого теплообмена при частоте следования тепловых импульсов  $F_2$ .

Проанализируем, как изменяются тепловые потери за счет конвективного  $q_{\text{к}}$  и лучистого  $q_{\text{л}}$  теплообмена при увеличении мощности теплового воздействия  $q_{\text{ит}}$  в  $n$  раз по сравнению с начальной мощностью.

Потери тепловой мощности в окружающую среду за счет конвективного теплообмена, исходя из теории теплопроводности [6], определяются выражением

$$q_{\text{к}} = \bar{q}_{\text{к}}S = \alpha_{\text{к}}(T_{\text{п}} - T_{\text{с}})S, \quad (6)$$

где  $\bar{q}_{\text{к}}$  – удельный тепловой поток конвективного теплообмена, Вт/м<sup>2</sup>;  $\alpha_{\text{к}}$  – коэффициент конвективного теплообмена, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $T_{\text{п}}$  – температура поверхности нагретого тела, К;  $T_{\text{с}}$  – температура окружающей среды, К;  $S$  – площадь теплоотдающей поверхности, м<sup>2</sup>.

Потери тепловой мощности в окружающую среду за счет лучистого теплообмена, исходя из теории теплопроводности [6], определяются выражением

$$q_{\text{л}} = \bar{q}_{\text{л}}S = \alpha_{\text{л}}(T_{\text{п}} - T_{\text{с}})S, \quad (7)$$

где  $\bar{q}_{\text{л}}$  – удельный тепловой поток лучистого теплообмена, Вт/м<sup>2</sup>;

$\alpha_{\text{л}} = \varepsilon C_0 \left[ \left( \frac{T_{\text{п}}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{\text{с}}}{100} \right)^4 \right] / (T_{\text{п}} - T_{\text{с}})$  – коэффициент лучистого теплообмена,

Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\varepsilon$  – коэффициент излучения поверхности нагретого тела;  $C_0 = 5,67$  – постоянная Стефана–Больцмана, Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>).

Из формул (6) и (7) видно, что потери за счет конвективного и лучистого теплообмена зависят от площади теплоотдающей поверхности и от значений удельных тепловых потоков конвективного и лучистого теплообмена.

Граница температурного поля на поверхности исследуемого объекта представляет собой изотерму, имеющую форму неправильного эллипса, состоящего из двух правильных полуэллипсов (рис. 2). Поэтому площадь теплоотдающей поверхности считается по формуле:  $S = S_1 + S_2$  [7], где  $S_1, S_2$  – площади полуэллипсов граничной изотермы температурного поля

$$S_1 = 0,5\pi R_{1x} R_{3y}; \quad (8)$$

$$S_2 = 0,5\pi R_{3y} R_{2x}; \quad (9)$$

$$S = 0,5\pi R_{3y}(R_{1x} + R_{2x}). \quad (10)$$

Таким образом, при увеличении мощности теплового воздействия в  $n$  раз площадь теплоотдающей поверхности исследуемого объекта увеличивается в

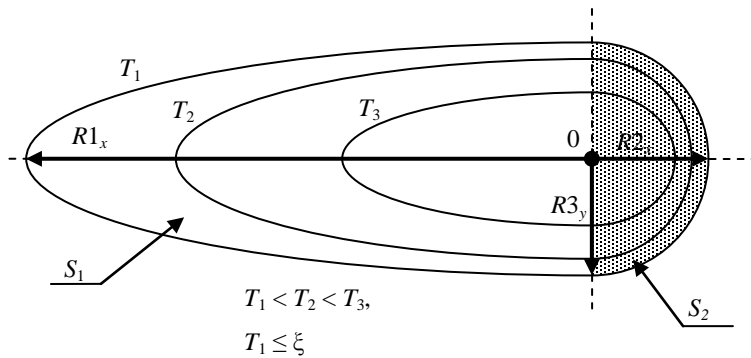


Рис. 2. Граница температурного поля на поверхности исследуемого объекта

$S_{F2}/S_{F1}$ , где  $S_{F1}$  и  $S_{F2}$  – площади теплоотдающей поверхности при частоте следования тепловых импульсов соответственно  $F_1$  и  $F_2$ .

Проанализируем, как изменяются удельные тепловые потоки конвективного и лучистого теплообмена при увеличении мощности теплового воздействия в  $n$  раз. Из формул (6) и (7) видно, что удельные тепловые потоки конвективного и лучистого теплообмена зависят от средней избыточной температуры поверхности нагретого тела  $\bar{T} = (T_{\text{п}} - T_c)$ , а также от коэффициентов соответственно конвективного  $\alpha_k$  и лучистого  $\alpha_l$  теплообмена, которые при увеличении мощности теплового воздействия практически не изменяются.

Таким образом, при увеличении мощности источника  $q_{\text{ит}}$  в  $n$  раз по сравнению с начальной мощностью  $q_{\text{ит}}$  потери тепловой мощности за счет конвективного и лучистого теплообмена увеличиваются в  $m = \frac{\bar{T}_{F2} S_{F2}}{\bar{T}_{F1} S_{F1}}$  раз, где  $\bar{T}_{F1}$  и  $\bar{T}_{F2}$  – средние избыточные температуры поверхности нагретого тела при частоте следования тепловых импульсов соответственно  $F_1$  и  $F_2$ .

С учетом этого выражение (5) можно записать в следующем виде

$$T_{F2}(R_1) = \frac{nkF_1\tau_{\text{имп}}q_{\text{ит}} - \bar{T}_{F2}S_{F2}(\alpha_k + \alpha_l)}{2\pi\lambda R_1}, \quad (11)$$

а выражение (3) в виде

$$T_{F1}(R_2) = \frac{kF_1\tau_{\text{имп}}q_{\text{ит}} - \bar{T}_{F1}S_{F1}(\alpha_k + \alpha_l)}{2\pi\lambda R_2}. \quad (12)$$

Принимая во внимание условие равенства  $T_{F2}(R_1) = 2T_{\text{зад}}$ , после несложных математических преобразований выражений (11) и (12) получим формулу для расчета теплопроводности в следующем виде

$$\lambda = \frac{k\tau_{\text{имп}}q_{\text{ит}} \left( \frac{R3_{y2}(R1_{x2} + R2_{x2})\bar{T}_{F2}}{R3_{y1}(R1_{x1} + R2_{x1})\bar{T}_{F1}} F_1 - F_2 \right)}{2\pi R_1 T_{\text{зад}} \left( \frac{R3_{y2}(R1_{x2} + R2_{x2})\bar{T}_{F2}}{R3_{y1}(R1_{x1} + R2_{x1})\bar{T}_{F1}} - 2 \right)}, \quad (13)$$

где средние избыточные температуры  $\overline{T_{F1}}$  и  $\overline{T_{F2}}$  определяют исходя из показаний термоприемников 3, 4 и 5 по следующим выражениям:

$$\overline{T_{F1}} = \frac{\sum_{i=1}^{(R1_{x1}+R2_{x1})/\Delta} T_{F1}(x)_i}{2(R1_{x1} + R2_{x1})/\Delta} + \frac{\sum_{j=1}^{R3_{y1}/\Delta} T_{F1}(y)_j}{2 R3_{y1}/\Delta}, \quad (14)$$

$$\overline{T_{F2}} = \frac{\sum_{i=1}^{(R1_{x2}+R2_{x2})/\Delta} T_{F2}(x)_i}{2(R1_{x2} + R2_{x2})/\Delta} + \frac{\sum_{j=1}^{R3_{y2}/\Delta} T_{F2}(y)_j}{2 R3_{y2}/\Delta}. \quad (15)$$

Коэффициент  $k$  определяется исходя из следующих рассуждений.

Известно [8], что сигнал  $u$  с термоприемника определяется следующим выражением

$$u = b\epsilon \exp(-\gamma l) f(T) = b k f(T), \quad (16)$$

где  $b$  – постоянная, зависящая от конкретного используемого термоприемника;  $f(T)$  – функция, зависящая от температуры объекта.

Вид функции  $f(T)$  и постоянная  $b$  определяются конкретным типом используемого термоприемника, их значения указаны в его технических характеристиках. Так, например, для радиационного термоприемника  $f(T) = T^4$ .

Перед началом теплового воздействия на исследуемый объект можно считать, что его температура практически равна температуре окружающей среды, а, следовательно, и температуре имитатора АЧТ. Конструкция АЧТ представляет собой замкнутую область с небольшим отверстием для выхода излучения, степень черноты  $\epsilon$  которого равна 1.

Таким образом, зная вид функции  $f(T)$  используемого термоприемника и температуру АЧТ можно определить коэффициент  $k$ , по следующему выражению

$$k = f(T)/f(T_{\text{АЧТ}}), \quad (17)$$

где  $T$  – где температура на поверхности исследуемого объекта, измеренная термоприемником;  $T_{\text{АЧТ}}$  – где температура имитатора АЧТ, измеренная этим же термоприемником.

Таким образом, определив коэффициент  $k$ , частоты  $F_1$  и  $F_2$  следования тепловых импульсов, избыточную температуру  $T(R_2)$  и радиусы  $R1_x$ ,  $R2_x$ ,  $R3_y$ , определяющие площадь теплоотдающей поверхности при частотах  $F_1$  и  $F_2$ , средние избыточные температуры поверхности нагретого тела при тех же частотах  $F_1$  и  $F_2$ , зная длительность  $\tau_{\text{имп}}$  одного теплового импульса и мощность  $q_{\text{ит}}$  источника тепла, а также скорость  $v$  его движения над поверхностью исследуемого тела, по формулам (4) и (13) можно определить искомые теплофизические свойства.

Проведенные экспериментальные исследования разработанного метода подтвердили корректность основных теоретических выводов, положенных в основу его создания, а также эффективность его практического применения в области теплофизических измерений. Результаты ряда экспериментов на эталонных образцах с известными ТФС приведены в табл. 1.

Отличительной особенностью разработанного метода является и то, что в нем, в отличие от известных методов, термоприемник вначале измеряет температуру АЧТ, а затем температуру исследуемого образца без воздействия на него то-

Таблица 1

## Данные экспериментальных исследований на эталонных образцах

Материал	Экспериментальные данные		Справочные и паспортные данные		$\delta \lambda, \%$	$\delta a, \%$
	$\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$	$a \cdot 10^7, \text{м}^2/\text{с}$	$\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$	$a \cdot 10^7, \text{м}^2/\text{с}$		
ПММ	0,190	1,06	0,195	1,13	4,39	4,58
Стекло	0,720	3,39	0,75	3,55	4,01	4,51
Рипор	0,029	4,78	0,027	4,6	7,41	3,91

чечного источника энергии (лазера). В результате, используя соотношения измеренных температур, наиболее точно определяется коэффициент  $k$ , учитывающий значения степени черноты  $\epsilon$  поверхности исследуемого образца и прозрачности  $\beta$  окружающей среды, разделяющей поверхность исследуемого образца и измерительную головку. Введение коэффициента  $k$  в расчетные формулы позволяет практически полностью исключить влияние на результаты измерений тепловых потерь, обусловленных поглощением части энергии лазерного луча окружающей средой, а также частичным отражением лазерного луча от поверхности исследуемого объекта.

Кроме того, в предложенном методе определяются средние избыточные температуры и площади теплоотдающей поверхности исследуемого объекта при различных мощностях теплового воздействия. Это позволяет практически полностью исключить влияние на результаты измерений тепловых потерь за счет конвективного и лучистого теплообмена поверхности исследуемого объекта с окружающей средой. Вышеназванные потери, как показали эксперименты, составляют не менее 20 % мощности источника тепла.

Таким образом, разработанный метод позволяет практически полностью устранить влияние на результаты измерений тепловых потерь с поверхности исследуемых объектов в окружающую среду, что в итоге существенно повышает его метрологический уровень. Разработанный бесконтактный метод имеет большие перспективы применения в самых различных технологических процессах для контроля качества твердых материалов и изделий из них.

## Список литературы

1. А. с. № 1377695 СССР, МКИ G 01 N 25/18. Способ неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов / В.Н. Чернышов [и др.] (СССР). – № 4055693/31-25 ; заявл. 14.04.86 ; опубл. 29.02.88, Бюл. № 8. – 4 с.
2. А. с. № 1193555 СССР, МКИ G01N 25/18. Способ комплексного определения теплофизических характеристик материалов без нарушения их целостности / В.Н. Чернышов [и др.]. – № 3741643/18-25 ; заявл. 16.05.84 ; опубл. 23.11.85, Бюл. № 43. – 4 с.
3. Пат. 2168168 Российская Федерация, МПК G 01 N 25/18. Способ бесконтактного контроля теплофизических характеристик материалов / Чернышова Т.И., Сысоев Э.В. [и др.] ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 99117106/28 ; заявл. 4.08.1999 ; опубл. 27.05.2001, Бюл. № 15. – 16 с.
4. Пат. № 2208778 Российская Федерация, МПК G 01 N 25/18. Способ бесконтактного контроля теплофизических свойств материалов / Чернышов В.Н., Сысоев Э.В. [и др.] ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 2001101230/28 ; заявл. 12.01.2001 ; опубл. 20.07.2003, Бюл. № 20. – 8 с.

5. Пат. 2211446 Российская Федерация, МПК G 01 N 25/18. Способ бесконтактного контроля теплофизических свойств материалов и устройство для его осуществления / Чернышов А.В., Сысоев Э.В. ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 2001117813/28 ; заявл. 26.06.2001 ; опубл. 27.08.2003, Бюл. № 24. – 14 с.

6. Лыков, А.В. Теория тепло- и массопереноса / А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов. – М. : Госэнергоиздат, 1963. – 535 с.

7. Киселев, А.П. Геометрия / А.П. Киселев. – М. : Физматлит, 1996. – 312 с.

8. Вавилов, В.П. Тепловые методы контроля композиционных структур и изделий радиоэлектроники / В.П. Вавилов. – М. : Радио и связь, 1984. – 152 с.

---

## Method of Noncontact Nondestructive Control over Thermo-Physical Properties of Solid Materials and Items

V.N. Chernyshov, E.V. Sysoev, A.V. Chernyshov

*Department "Criminal Law and legal Activity Computerization", TSTU*

**Key words and phrases:** heat loss; laser; noncontact heat influence; nondestructive control; thermo-physical properties.

**Abstract:** The paper presents a new method of noncontact measurements of heat conductivity and thermal diffusivity of solid materials and items. This method takes into account heat emission into the environment, thus enabling to improve the accuracy of the measurement results of the given properties.

---

## Methode der kontaktlosen nicht zerstörenden Kontrolle der wärme-physikalischen Eigenschaften der festen Stoffe und der ihren Erzeugnisse

**Zusammenfassung:** Es ist die neue Methode der kontaktlosen Messungen der Wärmeleitfähigkeit und der Temperaturleitfähigkeit der festen Stoffe und der Erzeugnisse angeboten. In dieser Methode werden die thermischen Verluste in die Umwelt berücksichtigt, was erlaubt, die Genauigkeit der Ergebnisse der Messungen der gesuchten Eigenschaften zu erhöhen.

---

## Méthode du contrôle non-destructif sans contact des propriétés thermophysiques des matériaux solides et des articles exécutés à partir de ces derniers

**Résumé:** Est proposée une nouvelle méthode des mesures sans contact de la conductibilité de chaleur et de température des matériaux solides et des articles exécutés à partir de ces derniers. Dans cette méthodes sont prises en compte les pertes thermiques dans l'environnement ce qui permet d'augmenter la précision des résultats des mesures des propriétés recherchées.