

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ АЛМАЗОВ И ДРУГИХ ДРАГОЦЕННЫХ КАМНЕЙ

*Шведчикова И.А., к.т.н., доц., Комаров Н.В., к.т.н., доц., Ткач С.А., инж.*  
 Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля  
 кв. Молодежный, 20-А, 91034, г. Луганск, Украина  
 E-mail: [snu2008@mail.ru](mailto:snu2008@mail.ru)

Показано применение метода теплового баланса для идентификации алмазов и других драгоценных камней.

**Ключевые слова:** алмаз, распознавание, свойства, теплопроводность, тепловой баланс.

**Введение.** К одним из наиболее высокотехнологических отраслей промышленности принадлежит производство синтетических алмазов. Алмазы широко используются в авиа- и машиностроении, в космической и инструментальной отраслях, горнодобывающей промышленности, а также в ювелирной отрасли. По этой причине в последние годы потребление алмазов неуклонно растет. Так, например, потребление искусственных алмазов, начиная с 2000 г., увеличивается на 10% в год [1]. Украина входит в число 15-ти стран, обладающих технологией производства синтетических алмазов. Наша страна имеет реальные перспективы стать конкурентоспособным добытчиком природных алмазов. Кимберлитовые трубки, содержащие алмазы, а также другие драгоценные минералы (например, топаз, берилл и другие) высочайшего качества обнаружены в Житомирской области.

Таким образом, как в нашей стране, так и в мировом масштабе тенденция роста производства и потребления алмазов может привести к обострению проблемы идентификации драгоценных камней, решение которой невозможно без современных технических средств. На предприятиях Украины для идентификации алмазов и других драгоценных камней используются приборы (детекторы) импортного производства, например, Даймонд-детекторы (США), отличающиеся относительно высокой стоимостью [2, 3]. В этих условиях представляют актуальность исследования, направленные на разработку простых, надежных и дешевых детекторов драгоценных камней.

**Анализ предыдущих исследований.** Физико-химические и внутренние особенности алмазов и других драгоценных камней лежат в основе существующих методов их распознавания. Наиболее важными диагностическими свойствами алмазов, отличающими его от имитаций, являются теплопроводность, люминесценция, твердость, а также наличие минеральных включений [2, 3].

Принцип идентификации алмазов, реализованный в приборах, основан на измерении теплопроводности камней, которая у алмазов значительно выше, чем у его имитаций или других драгоценных камней. С помощью первичного преобразователя (теплового щупа) на камень подаются тепловые импульсы. После чего этим же преобразователем измеряется скорость падения

температуры, которая является мерой теплопроводности материала камня [3].

Важным этапом разработки новых усовершенствованных приборов для идентификации драгоценных камней является этап теплофизического моделирования. При этом используется модель теплового процесса для двух соприкасающихся тел, находящихся при разных температурах. В научной литературе такие модели тепловых процессов достаточно хорошо описаны [4-7]. При их построении используются различные методы вычислительной математики, теплотехники и теплофизики. Однако аналитическое описание подобного теплообмена является достаточно сложной задачей. Поэтому широкого применения в инженерной практике аналитические методы из-за своей сложности и громоздкости пока не получили. В то же время при проектных расчетах различных теплотехнических устройств широко используется метод, основанный на решении уравнений теплового баланса [4, 6].

**Цель работы.** Применение метода теплового баланса для описания тепловых процессов при идентификации драгоценных камней.

**Материал и результаты исследований.** При решении конкретных теплофизических задач необходим выбор типовых материалов, которые в дальнейшем будут подвергаться контролю. В качестве таких материалов используем алмаз, кварц, сапфир и стекло. Основные физические параметры выбранных материалов представлены в табл. 1 [4].

Определим температуропроводность  $\chi_i$  контролируемых тел по формуле [4]:

$$\chi_i = \frac{\lambda_i}{C_i \cdot \rho_i}, \quad (1)$$

где  $i = 1, 2, 3, 4$ .

В дальнейшем изложении при записи физических параметров контролируемых тел будем использовать следующие индексы: 1 – кварц; 2 – алмаз; 3 – сапфир; 4 – стекло. С учетом этого получим следующие результаты расчета параметра  $\chi_i$ :  $\chi_1 = 1,918 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  $\chi_2 = 8,039 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  $\chi_3 = 7,627 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  $\chi_4 = 1,981 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Следующим этапом является построение геометрической модели теплофизической системы (рис. 1).

Таблица 1 – Физические параметры контролируемых тел

| Параметр                   | Ед. изм.          | Материалы             |                       |                       |                       |
|----------------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                            |                   | Кварц                 | Алмаз                 | Сапфир                | Стекло                |
| Теплопроводность $\lambda$ | Вт/К·м            | 1,36                  | 2300                  | 23,1                  | 1,36                  |
| Удельная теплоёмкость $C$  | Дж/кг·К           | 2,676                 | 854                   | 761                   | 2,64                  |
| Плотность $\rho$           | кг/м <sup>3</sup> | 2650                  | 3350                  | 3980                  | 2600                  |
| Температуропроводность     | м <sup>2</sup> /с | $1,918 \cdot 10^{-4}$ | $8,039 \cdot 10^{-4}$ | $7,627 \cdot 10^{-6}$ | $1,981 \cdot 10^{-4}$ |

В геометрической модели датчик имеет вид полубесконечного цилиндрического стержня из кварца радиусом  $R = 2,5$  мм, а объект контроля (ОК) моделируется бесконечным полупространством (рис. 1). Подобные допущения целесообразны по следующим причинам:

- во-первых, заранее неизвестны размеры участков соприкасающихся тел, участвующих в теплообмене (на рис.1 размеры участков  $x_1$  и  $x_2$  условно показаны для трех моментов времени  $t_1, t_2, t_3$ );
- во-вторых, размеры контролируемых объектов могут изменяться в значительных пределах.

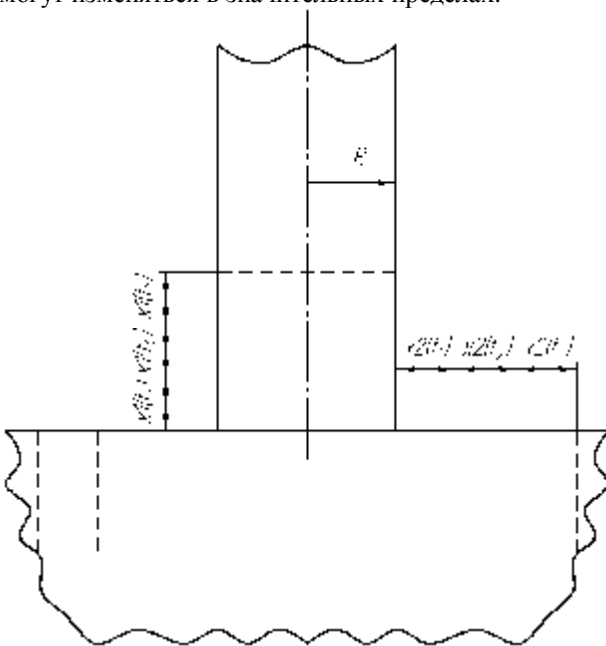


Рисунок 1 - Геометрическая модель теплофизической системы (датчик - ОК)

Размеры участков  $x_i$  тел, участвующих в теплообменных процессах, зависят от времени контакта  $t$  и температуропроводности  $\chi_i$  тел [4]:

$$x_i = \sqrt{\chi_i \cdot t} \quad (2)$$

Задавшись интервалом времени теплообмена  $t=0 \dots 5$  секунд, получаем зависимости размеров  $x_i$  элементов тел, участвующих в теплообмене, от времени  $t$  (рис. 2).

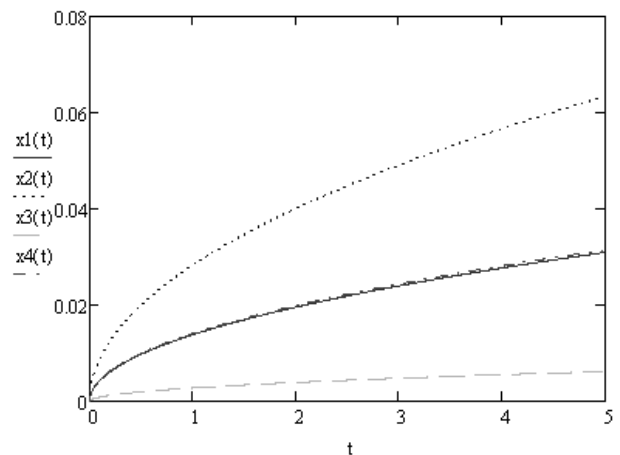


Рисунок 2 - Зависимости размеров  $x_i$  участков тел от времени  $t$

При соприкосновении двух тел с разной температурой через них потекут сонаправленные тепловые потоки, и в зоне теплообмена установится некая общая температура  $T_o$ . Определим температуру в зоне теплообмена  $T_o$  с помощью метода теплового баланса (в качестве ОК принят алмаз):

$$\begin{aligned} Q_1 &= Q_2; \\ Q_1 &= C_1 \cdot m_1 \cdot (T_1 - T_o), \\ Q_2 &= C_2 \cdot m_2 \cdot (T_o - T_2) \end{aligned} \quad (3)$$

где  $Q_1, Q_2$  – количество теплоты, участвующее в теплообменных процессах для 1-го и 2-го тела соответственно;  $m_1, m_2$  – масса веществ, участвующих в теплообмене (масса вещества стержня определяется выражением  $m_1 = \rho_1 \pi R^2 x_1$ , а масса вещества ОК –  $m_2 = \rho_2 \pi (R + x_2)^2 x_2$ ;  $T_1 = 80^\circ\text{C}$  – начальная температура нагревателя;  $T_2 = 20^\circ\text{C}$  – начальная температура ОК;  $\rho_1, \rho_2$  – плотность веществ, участвующих в теплообмене.

Выражение (3) запишем в следующем виде:

$$\begin{aligned} (T_1 - T_o) \cdot C_1 \cdot \rho_1 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot x_1 &= \\ = (T_o - T_2) \cdot C_2 \cdot \rho_2 \cdot \pi \cdot (R + x_2)^2 \cdot x_2. \end{aligned}$$

В результате температура в зоне теплообмена  $T_o$  может быть определена с помощью выражения:

$$T_o = \frac{T_1 + \alpha_i \cdot \beta_i \cdot T_2}{1 + \alpha_i \cdot \beta_i} \quad (4)$$

где  $\alpha_i = \frac{C_i \cdot \rho_i \cdot \sqrt{\chi_i}}{C_1 \cdot \rho_1 \cdot \sqrt{\chi_1}}$ ,  $\beta_i = \frac{(R + x_i)^2}{R^2}$ ,  $i = 1, 2, 3, 4$ .

Расчетные выражения для вычисления температуры в зоне теплообмена  $T_o$  при контакте стержня с различными контролируемыми материалами сведены в табл. 2. В свою очередь, результаты расчета по формулам (табл. 2) сведены в табл. 3.

Зависимости величины температуры в зоне теплообмена  $T_o$  от времени для различных контролируемых материалов приведены на рис. 3

Полученные результаты позволяют выбрать рациональное время контроля  $t$ , при котором температура в зоне теплообмена  $T_o$  между кварцевым датчиком и ОК из алмаза будет существенно отличаться от соответствующих температур в зоне теплообмена при взаимодействии датчика с ОК из других исследуемых материалов.

**Таблица 2 – Расчетные выражения для вычисления температуры в зоне теплообмена  $T_o$**

| № | Материалы      | Параметр $\alpha_i$   | Параметр $\beta_i$        |
|---|----------------|---|---------------------------|
| 1 | кварц - кварц  | $\frac{C_1 \cdot \rho_1 \cdot \sqrt{\chi_1}}{C_1 \cdot \rho_1 \cdot \sqrt{\chi_1}}$ | $\frac{(R + x_1)^2}{R^2}$ |
| 2 | кварц - алмаз  | $\frac{C_2 \cdot \rho_2 \cdot \sqrt{\chi_2}}{C_1 \cdot \rho_1 \cdot \sqrt{\chi_1}}$ | $\frac{(R + x_2)^2}{R^2}$ |
| 3 | кварц - сапфир | $\frac{C_3 \cdot \rho_3 \cdot \sqrt{\chi_3}}{C_1 \cdot \rho_1 \cdot \sqrt{\chi_1}}$ | $\frac{(R + x_3)^2}{R^2}$ |
| 4 | кварц - стекло | $\frac{C_4 \cdot \rho_4 \cdot \sqrt{\chi_4}}{C_1 \cdot \rho_1 \cdot \sqrt{\chi_1}}$ | $\frac{(R + x_4)^2}{R^2}$ |

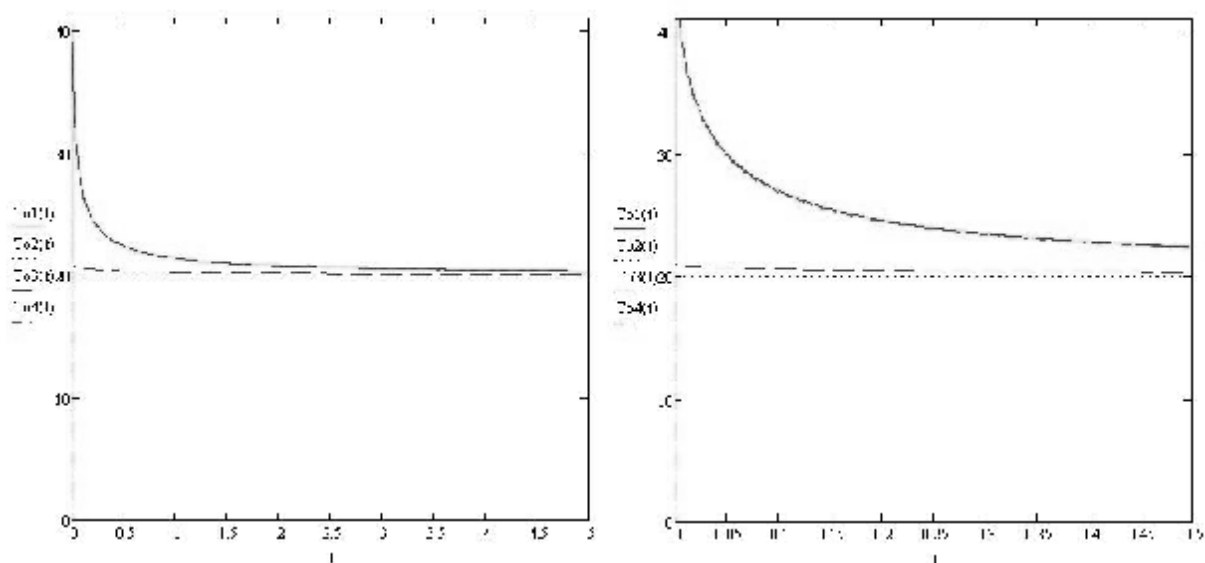


Рисунок 3 - Зависимости температуры в зоне теплообмена  $T_o$  от времени для различных материалов ОК

**Таблица 3 – Численные значения температуры  $T_o$  в зоне теплообмена**

| Время контроля, с | Температура в зоне теплообмена $T_o$ , °С для материалов |               |                |                |
|-------------------|--|---------------|----------------|----------------|
|                   | Кварц – кварц  | Кварц – алмаз | Кварц – сапфир | Кварц – стекло |
| 0,1               | 27,000   | 20,004        | 20,576         | 26,855         |
| 0,2               | 24,583   | 20,002        | 20,470         | 24,474         |
| 0,3               | 23,474   | 20,002        | 20,408         | 23,385         |
| 0,4               | 22,819   | 20,001        | 20,364         | 22,745         |
| 0,5               | 22,383   | 20,001        | 20,332         | 22,318         |

**Выводы.** Рациональным временем контроля подлинности алмазов (рис.3) следует считать время  $t = 0,5$  с, при котором разница между температурой датчика  $T_d$  и температурой в зоне теплообмена  $T_o$  для алмаза и наиболее близкого к нему по теплофизическим характеристикам сапфира составит около 0,4%, что является достаточным для приборной реализации принципа идентификации алмазов по теплопроводности

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Козуб П.А. Физико-химические основы и методы совершенствования технологии синтетических алмазов [Электронный ресурс] / П.А.Козуб, А.Я. Лобойко, Г.И. Гринь // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки). – 2008. – С. 79-84. - Режим доступу до журн. : [http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Znpddtu/2008/section5/\(5-2\).pdf](http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Znpddtu/2008/section5/(5-2).pdf)
2. Ємченко І. В. Методи і технічні засоби митного контролю / І. В. Ємченко, А. П.Закусілов. – К.: Центр учбової літератури, 2007. – 432 с.
3. Головінов Г. Організація митного контролю на транспорті / Г. Головінов, Ю. Бурліков, А. Рібаков. – Дніпропетровськ: Вид-во АМСУ, 2001. – 140 с.
4. Матецкий Ю. М. Идентификация теплофизических свойств твердых тел / Ю. М. Матецкий, С. Ф. Лушпенко. – Киев: Наукова думка, 1990. – 216 с.
5. Махненко В. И. Тепловые процессы при механизированной наплавке деталей типа круговых цилиндров / В. И. Махненко, Т. Г. Кравцов. – Киев: Наукова думка, 1976. – 156 с.
6. Лыков А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – М.: Высшая школа, 1967. – 322 с.
7. Резников А. Н. Тепловые процессы в технологических системах / А. Н. Резников, Л. А. Резников. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.

## МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ АЛМАЗІВ ТА ІНШИХ КОШТОВНИХ КАМЕНІВ

*Шведчикова І.О., к.т.н., доц., Комаров М.В., к.т.н., доц., Ткач С. А., інж.*

*Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля*

*кв. Молодіжний, 20-А, 91034, м. Луганськ, Україна*

*E-mail: [akjeres@bk.ru](mailto:akjeres@bk.ru)*

Показано вживання методу теплового балансу для ідентифікації алмазів та інших коштовних каменів.

**Ключові слова:** алмаз, розпізнавання, властивості, теплопровідність, тепловий баланс.

## MODELLING OF THERMOPHYSICAL PROCESSES DURING AUTHENTICATION OF DIAMONDS AND OTHER JEWELS

*Shvedchikova I., Cand. Sc. (Tech.), Komarov N., Cand. Sc. (Tech.), Tkach S., eng.*

*East Ukrainian Volodymyr Dal National University*

*bl. Molodezhniy, 20-A, 91034, Lugansk, Ukraine*

*E-mail: [akjeres@bk.ru](mailto:akjeres@bk.ru)*

Application of method of thermal balance for authentication of diamonds and other jewels is presented.

**Key words:** diamond, recognition, properties, heat conductivity, thermal balance.