

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение
высшего образования
«ТАМБОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



**Тема бакалаврской работы : «Исследование метода
неразрушающего определения теплопроводности защитного
покрытия из ПВХ на стальном изделии»**

Автор бакалаврской работы: Полковников Дмитрий Владимирович

Научный руководитель: д.т.н., профессор Майникова Нина Филипповна

Тамбов 2017

АКТУАЛЬНОСТЬ:

Совершенствование известных, создание новых эффективных методов и средств определения ТФС защитных покрытий востребованы и являются актуальными из-за большого объема практического использования ПВХ в качестве антикоррозионных покрытий для защиты от коррозии металлоконструкций зданий и сооружений различного назначения.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Исследование метода неразрушающего определения теплопроводности защитного покрытия из ПВХ на стальном изделии.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА ВЫПУСКНОЙ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ:

1. Выбраны измерительная и тепловая схемы метода НК двухслойных изделий, состоящих из стального основания и покрытия из ПВХ
2. Численно исследовано распространение тепла в двухслойном изделии от действия круглого плоского источника тепла постоянной мощности.
3. Изучена возможность неразрушающего определения теплопроводности защитного покрытия ПВХ исследованным методом НК.

ПРИМЕНЕНИЕ ПОКРЫТИЙ ИЗ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА

3

Покрyтия из ПВХ характеризуются:

- 1) высокая механическая прочность;
- 2) стойкость к стиранию, низким температурам, воздействию влаги;
- 3) незначительное относительное удлинение;
- 4) хорошие электроизоляционные свойства.

Поливинилхлорид находит широкое применение в производстве:

- 1) конструкционных изделий из металла с покрытием из ПВХ;
- 2) кабельной электроизоляции;
- 3) полимерно-металлических трубопроводов;
- 4) покрытий для пола;
- 5) профилей окон и дверей.



ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СХЕМА МЕТОДА НК

Свойства материалов объекта исследования.

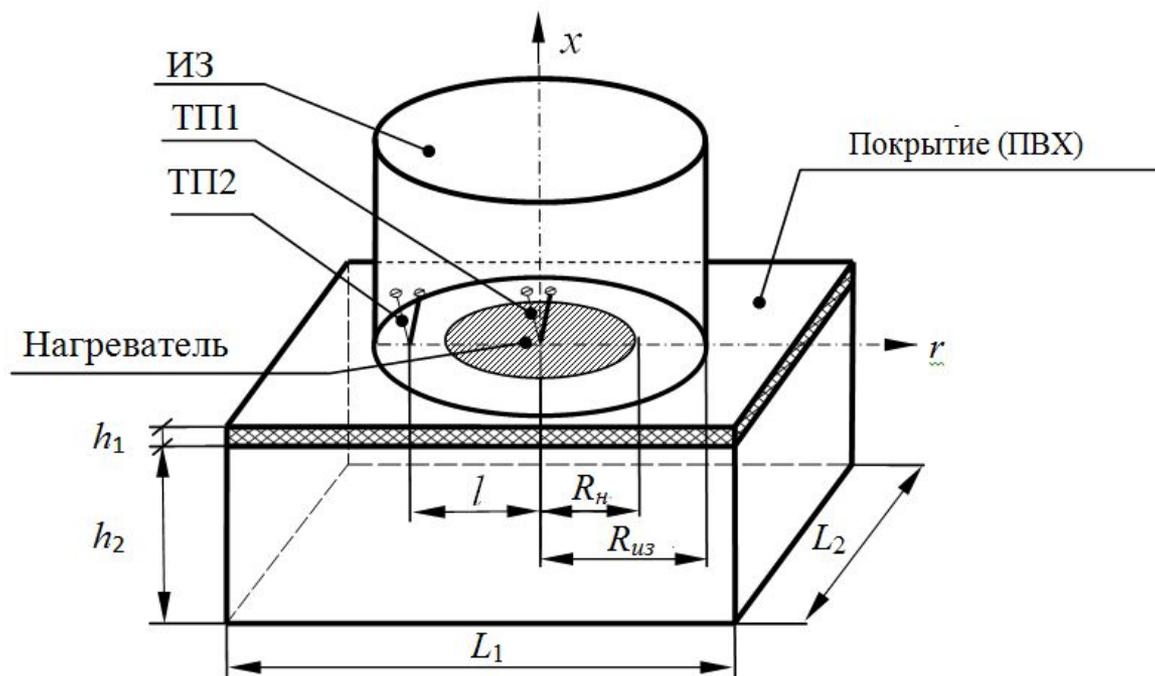


Рис. Измерительная схема

Свойства сталь 40	
Теплопроводность λ , Вт/мК	47
Теплопроводность λ , Вт/мК	462
Теплопроводность λ , Вт/мК	7800

Свойства ПВХ	
Теплопроводность λ , Вт/мК	0,12
Теплопроводность λ , Вт/мК	1260
Теплопроводность λ , Вт/мК	125

На металлической пластине с низкотеплопроводным покрытием из ПВХ толщиной h_1 расположен измерительный зонд (ИЗ), включающий в себя плоский круглый нагреватель (Н), теплоизолирующую подложку и термоприёмники (ТП1, ТП2).

Математическая модель метода [1]

5

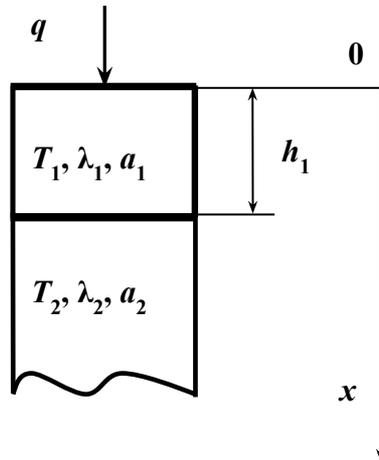


Рис. 2– Схема системы, состоящей из ограниченного и полуограниченного тел

$$\frac{\partial T_1(x, \tau)}{\partial \tau} = a_1 \frac{\partial^2 T_1(x, \tau)}{\partial x^2}, \quad \tau > 0, \quad 0 < x < h_1; \quad (1)$$

$$\frac{\partial T_2(x, \tau)}{\partial \tau} = a_2 \frac{\partial^2 T_2(x, \tau)}{\partial x^2}, \quad \tau > 0, \quad h_1 < x < \infty; \quad (2)$$

$$T_1(x, 0) = T_2(x, 0) = 0; \quad T_1(h_1, \tau) = T_2(h_1, \tau); \quad (3, 4)$$

$$\lambda_1 \frac{\partial T_1(h_1, \tau)}{\partial x} = \lambda_2 \frac{\partial T_2(h_1, \tau)}{\partial x}; \quad (5)$$

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1(0, \tau)}{\partial x} = q; \quad T_2(\infty, \tau) = 0. \quad (6, 7)$$

Решение краевой задачи теплопроводности [1]

$$T_1(0, \tau) = \frac{2q}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{\sqrt{\tau}}{\varepsilon_2} + \left(1 - \frac{\varepsilon_1^2}{\varepsilon_2^2}\right) \frac{qh_1}{\lambda_1}. \quad (8)$$

Где q – тепловой поток, Вт/м²; $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – тепловые активности первого и второго тел, Вт·с^{1/2}/(м²·К); h_1 – толщина первого слоя, м; λ_1 – теплопроводность, Вт/(м·К).

Выражение (8) представляет собой линейную зависимость вида: $T(0, \tau) = b_1 \sqrt{\tau} + b_0$, (9)

$$\text{где } b_1 = \frac{2q}{\sqrt{\pi} \varepsilon_2}, \quad b_0 = \left(1 - \frac{\varepsilon_1^2}{\varepsilon_2^2}\right) \cdot \frac{q \cdot h_1}{\lambda_1}, \quad \lambda_1 \ll \lambda_2, \quad \varepsilon_1 \ll \varepsilon_2, \quad \text{тогда} \quad b_0 = \frac{q \cdot h_1}{\lambda_1}. \quad (10)$$

$$\text{Следовательно,} \quad h_1 = \frac{\lambda_1 \cdot b_0}{q} \quad \text{и} \quad \lambda_1 = \frac{h_1 \cdot q}{b_0}. \quad (11, 12)$$

Из выражений (11, 12), зная λ_1 , можно определить h_1 , если задана h_1 , можно определить λ_1 .

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ЗОНД

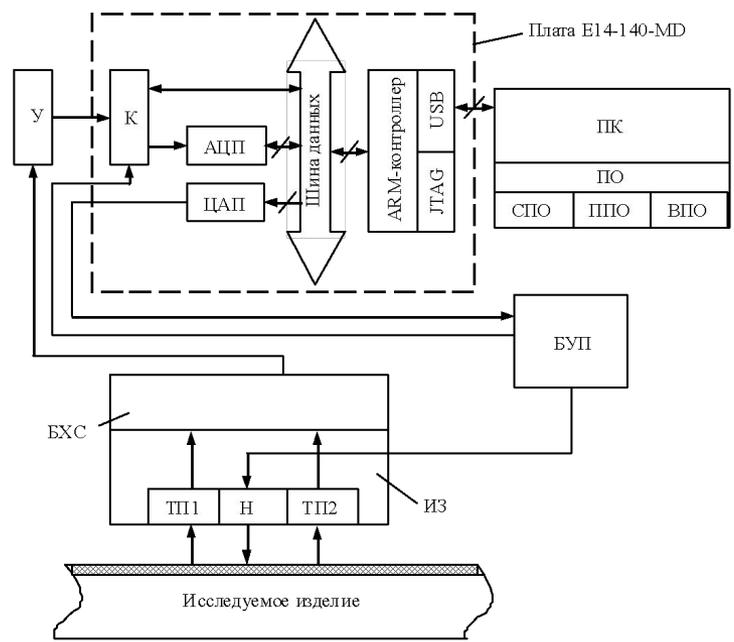


Рис. 3– Структурная схема

ИС – измерительная система; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; БУП – блок управления питанием; БХС – блок холодного спая; ИЗ – измерительный зонд; СПО – системное программное обеспечение; ППО – прикладное программное обеспечение; К – контроллер; Н – нагреватель; ВПО – вспомогательное программное обеспечение; ПО – программное обеспечение; ПК – персональный компьютер; ТП1, ТП2 – термоприемники; – усилитель; ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь.

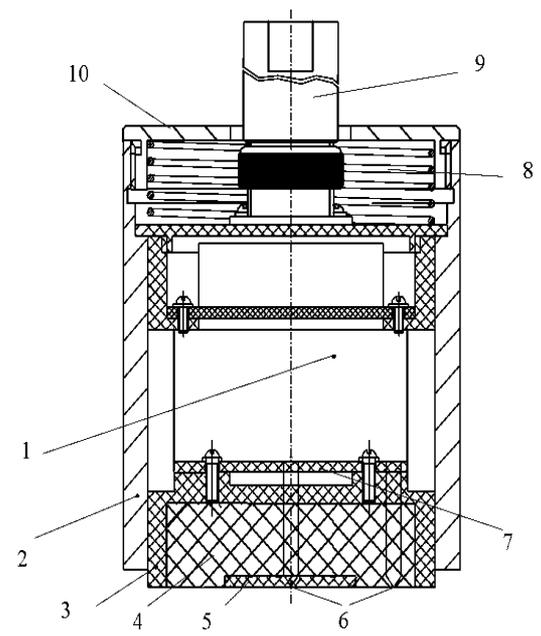


Рис.4. Измерительный зонд

- 1 – измерительная ячейка; 2 – корпус;
- 3 – основание; 4 – теплоизолятор;
- 5 – нагреватель, 6 – микротермопары;
- 7 – разъём; 8 – пружина;
- 9 – крышка корпуса;
- 10 – крышка измерительной ячейки.

У

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА

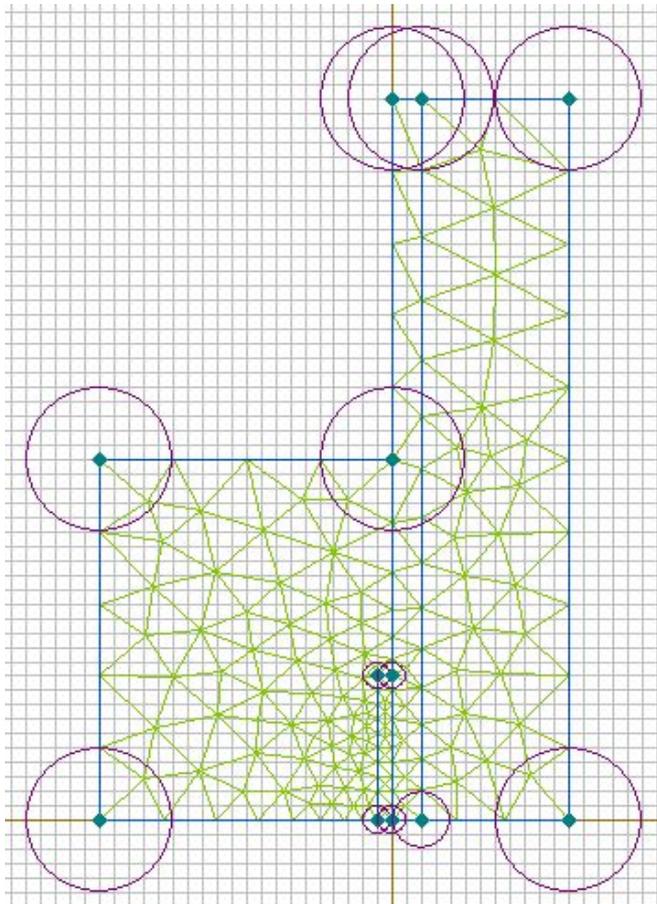


Рис.5. Распределение сетки конечных элементов

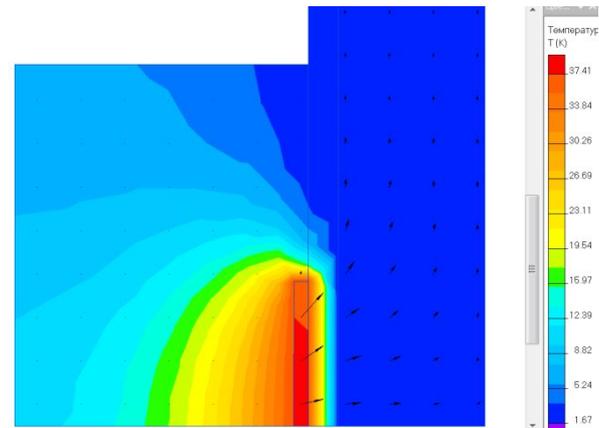


Рис.6 а) Отображение тепловых векторов ($\tau = 600$ с.)

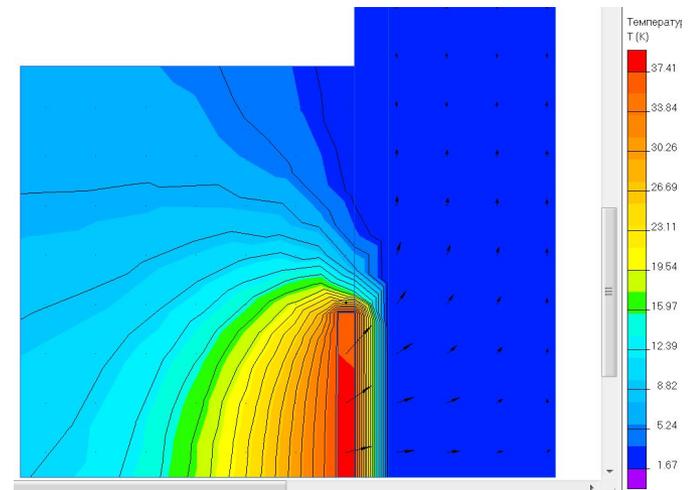


Рис.6 б) Отображение тепловых векторов и изотерм ($\tau = 600$ с.)

Задание меток блоков, ребер и граничных условий

Дано: $q=3000\text{Вт/м}^2$; $R_{\text{н}}=100\text{мм}$; $h_1=2\text{мм}$; $h_2=10\text{мм}$; $\tau=600\text{с}$

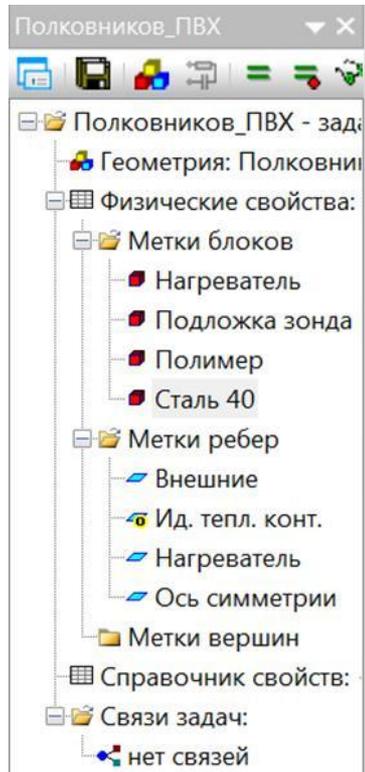


Рис.7. Вводим граничные условия

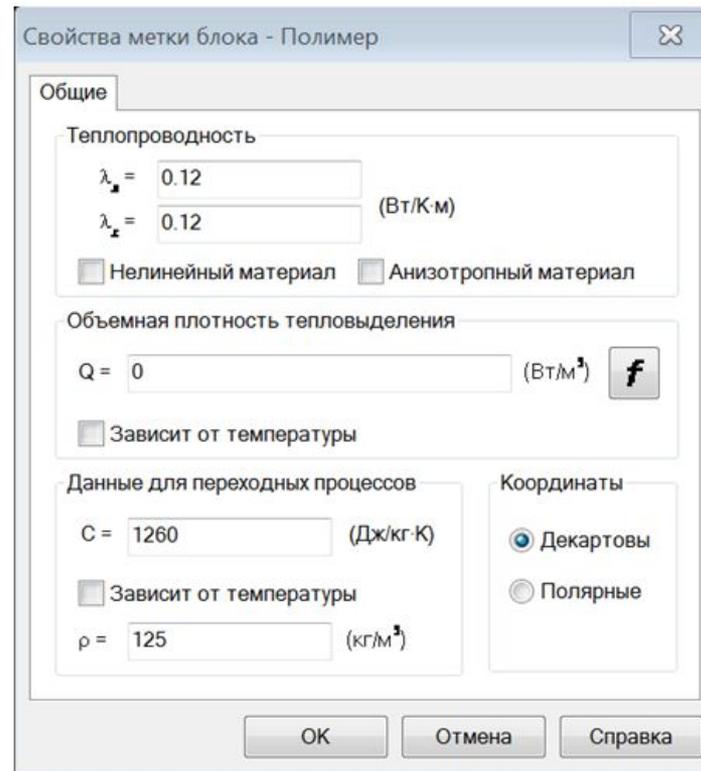


Рис. 8. Свойства метки блока «Покрытие»

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА. РЕЗУЛЬТАТЫ ИМИТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

9

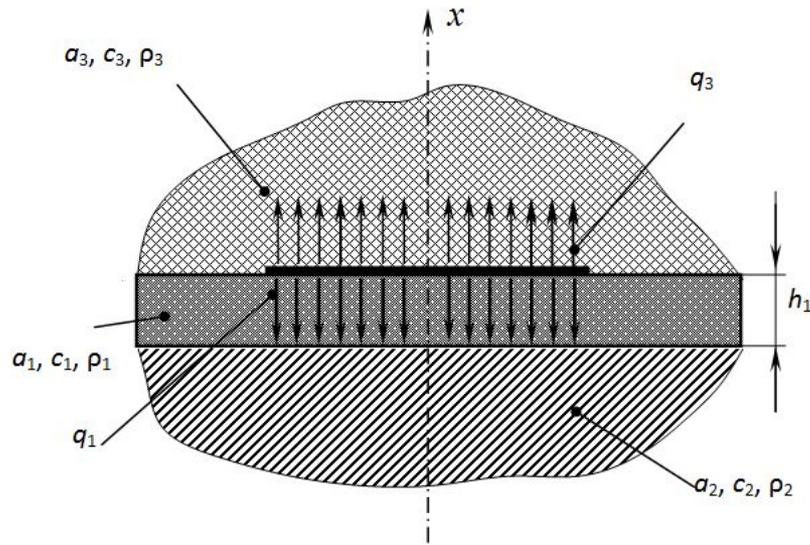


Рис. 9. – Тепловая схема многослойной системы

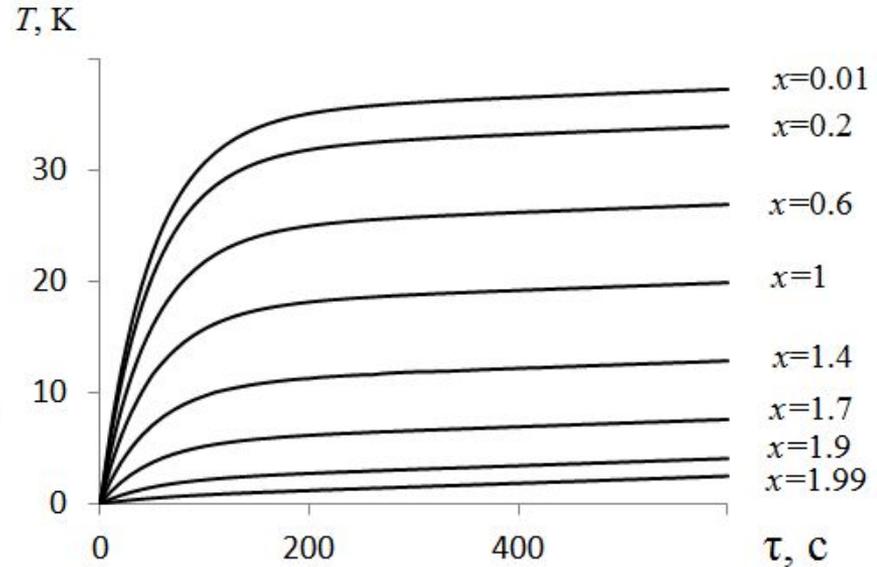


Рис. 10. Термограмма на оси нагревателя в слое полимера:
вблизи границы раздела подложка зонда – защитное покрытие (1); в слое покрытия (2-7); вблизи границы раздела покрытие – металл (8).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИМИТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

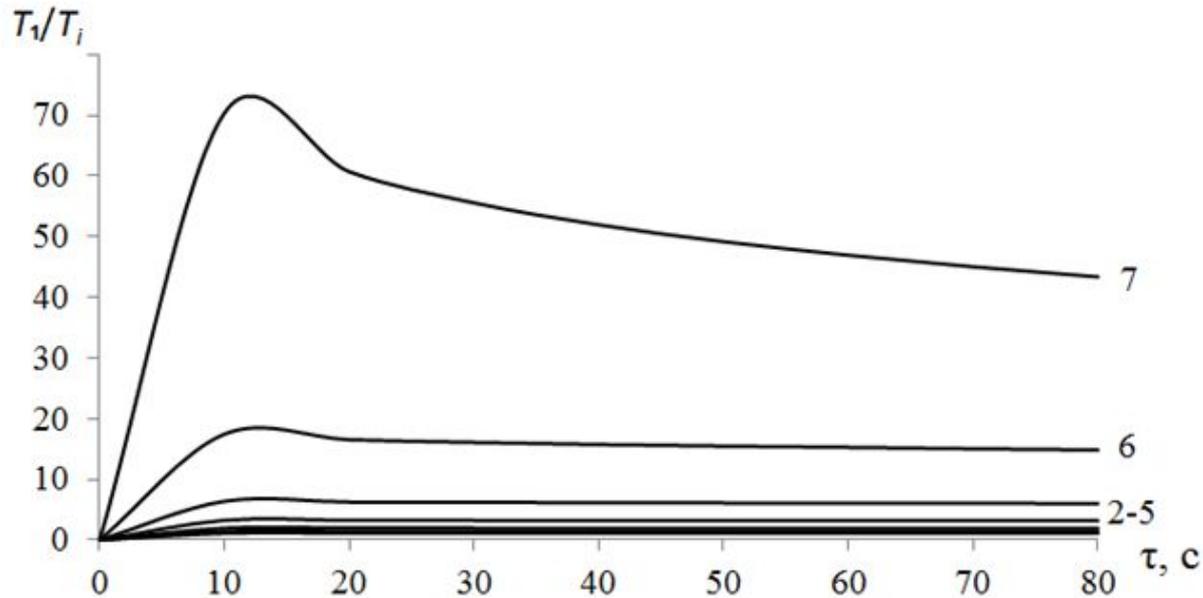
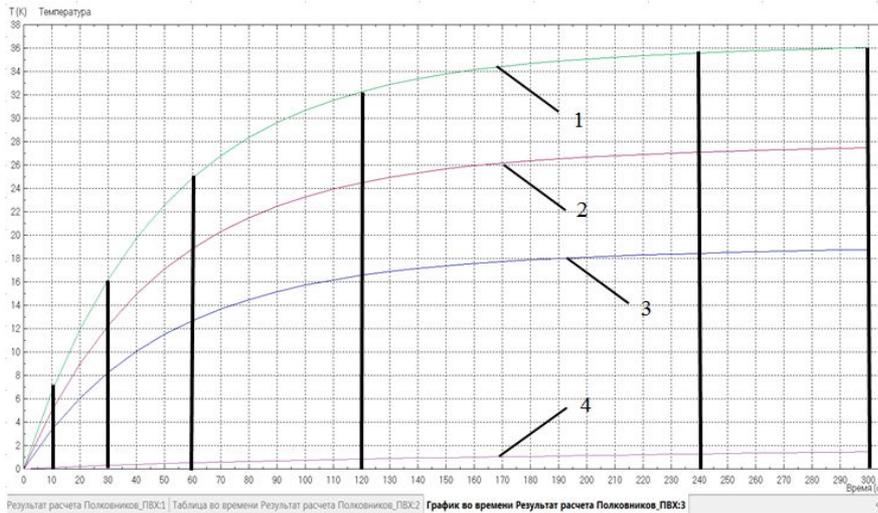


Рис.11. Изменение отношения T_1/T_i во времени:
 2-5 - изменение отношений во времени $T_{0.01}/T_{0.2}$; $T_{0.01}/T_{0.6}$;
 $T_{0.01}/T_1$; $T_{0.01}/T_{1.4}$; $T_{0.01}/T_{1.7}$; 6 – $T_{0.01}/T_{1.9}$ и 7 – $T_{0.01}/T_{1.99}$
 соответственно.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА.



τ, c	$\frac{T_1}{T_2}$	$\frac{T_1}{T_3}$	$\frac{T_1}{T_4}$
10	1,327309	1,979042	70,28401
30	1,321661	1,964891	55,54681
60	1,320424	1,959843	46,9418
120	1,317681	1,94886	38,03859
240	1,313284	1,930274	27,78038
300	1,311022	1,921006	24,40775

Рис. 12. - Термограммы в точках контроля:
 1 – в слое ПВХ вблизи границы раздела подложка зонда – защитное покрытие ($x=0,01\text{мм}$);
 2;3 – в слое покрытия ($x=0,5\text{мм}$; $x=1\text{мм}$);
 4 – вблизи границы раздела покрытие – металл ($x=1,99\text{мм}$).

Таблица 1 – Соотношения T_1 к T_i при различных значениях h , где τ – время эксперимента

РЕЗУЛЬТАТЫ ИМИТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

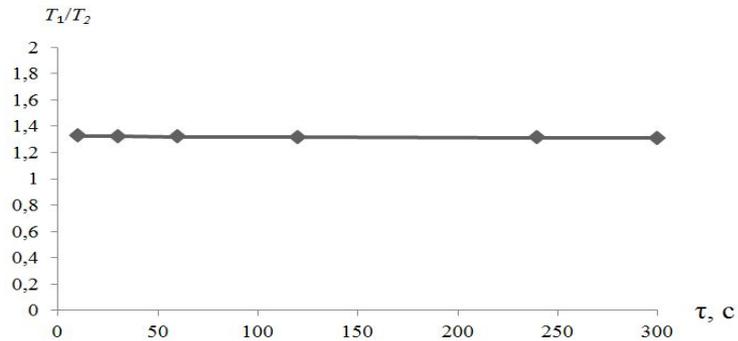


Рис. 1. – Изменение отношения T_1/T_2 во времени

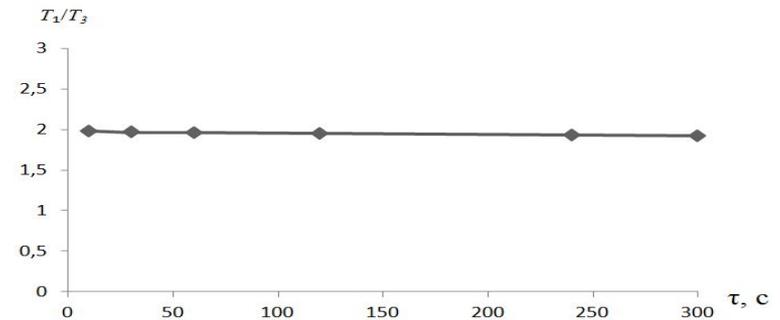


Рис. 2. – Изменение отношения T_1/T_3 во времени

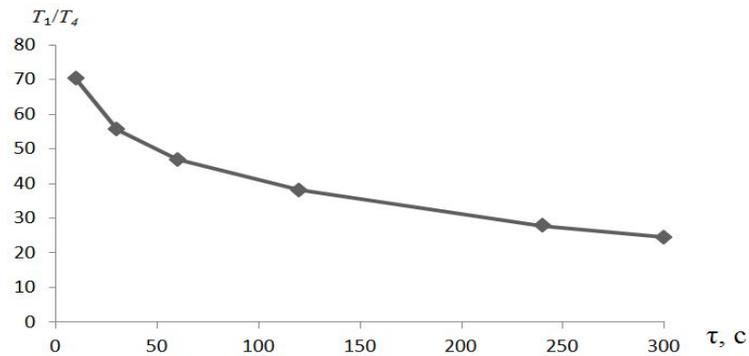
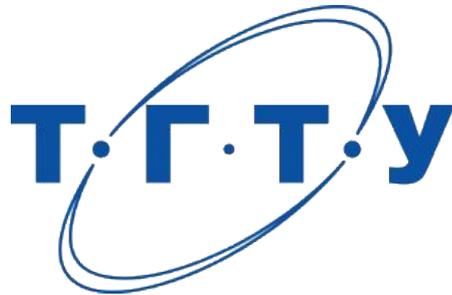


Рис. 3. – Изменение отношения T_1/T_4 во времени

1. Выполнен анализ методов неразрушающего определения теплопроводности низкотеплопроводных покрытий на металлических основаниях.
2. Выбрана измерительная схема метода неразрушающего определения теплопроводности полимерных покрытий ПВХ на изделии из стали 40. Предложено использовать круглый плоский источник тепла постоянной мощности, встроенный в измерительный зонд.
3. Экспериментально доказано возможность реализации исследуемого метода НК на данном двухслойном объекте.

Спасибо за внимание



Контактная информация:

Россия, 392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106

Тамбовский государственный технический университет

Кафедра – Энергообеспечение предприятий и теплотехника

Тел.: 8 (4752) 68 04 48

e-mail: teplotehnika@nnn.tstu.ru