

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Тамбовский государственный технический  
университет»

13.04.01 – Теплоэнергетика и теплотехника

Тема магистерской диссертации:

**«Численное исследование температурных полей в полимерно-металлических изделиях с учетом твердофазных переходов»**

Автор работы: **Полковников Дмитрий Владимирович**

Научный руководитель: **к.т.н., доцент Никулин Сергей Сергеевич**

Тамбов 2019

## **АКТУАЛЬНОСТЬ**

Совершенствование известных, создание новых эффективных методов и средств определения ТФС полимеров востребованы и являются актуальными из-за большого разнообразия стальных изделий с полимерными покрытиями.

## **ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Исследование температурных полей в полимерно-металлических изделиях для определения величины влияния твердофазных переходов в полимерном слое на термограммы.

## **НАУЧНАЯ НОВИЗНА**

1. Выбраны измерительная и тепловая схемы метода НК полимерно-металлических изделий с учетом твердофазных переходов в полимере.
2. Численно исследовано распространение тепла в полимерно-металлических изделиях от действия круглого плоского источника тепла постоянной мощности с учетом твердофазных переходов в полимере.
3. Изучена возможность неразрушающего определения теплопроводности покрытия исследованным методом НК.

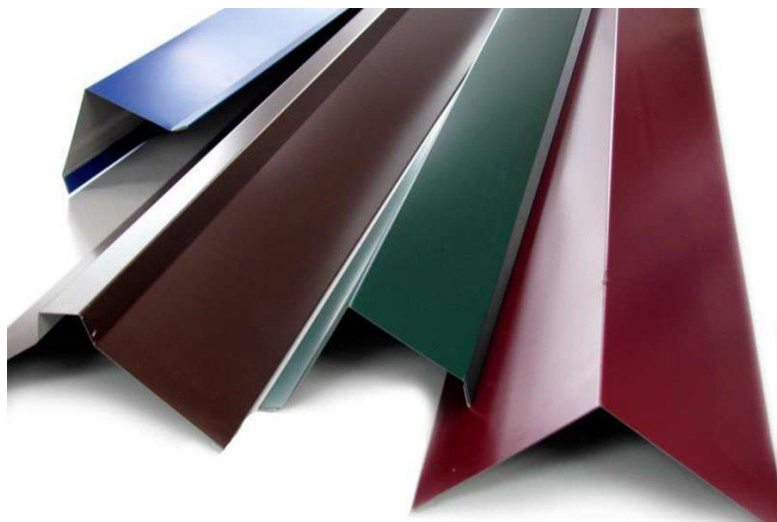
# СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНО-МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

## Материал

## Свойства

Полипропилен	Низкая плотность материала; высокая прочность; устойчивость как к низким, так и высоким температурам; отличные диэлектрические свойства.
Полиэтилен	Не пропускает влагу; стоек к химическим соединениям; имеет небольшой вес; высокая способность к растяжению; высокая теплостойкость, морозоустойчивость.
Политетрафторэтилен	Обладает высокой степенью стойкости; устойчив ко многим агрессивным химическим веществам; имеет низкий показатель коэффициента трения; имеет большой температурный диапазон эксплуатации; низкая электропроводность; устойчив к возгоранию.
Поливинилиденфторид	Низкий удельный вес; высокие механические характеристики; длительный срок службы, даже в агрессивных средах.

# ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНО-МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ



# ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СХЕМА

5

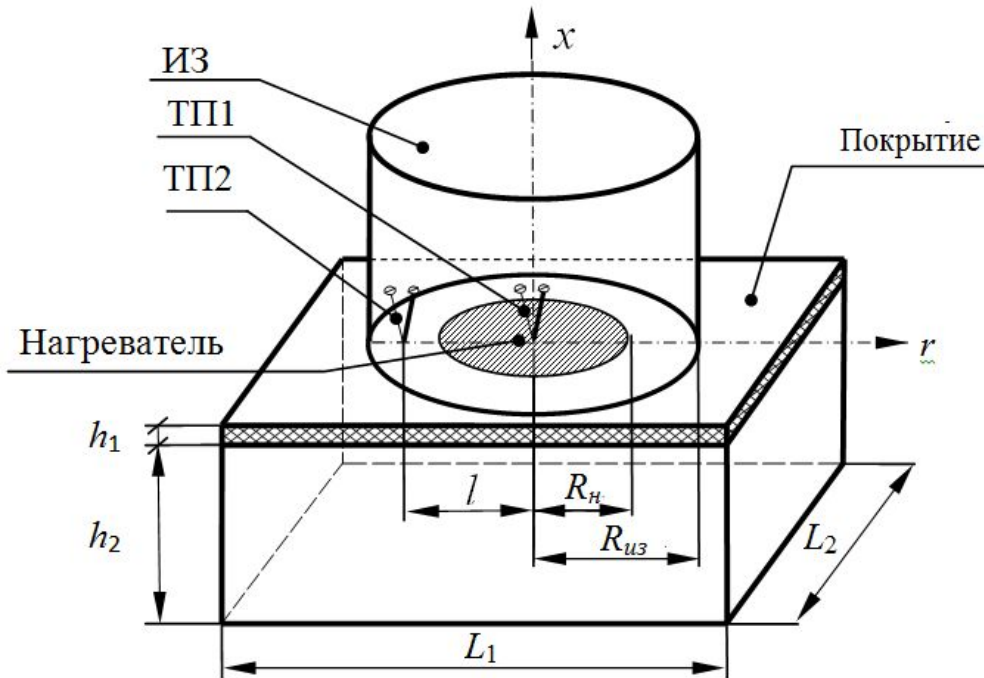


Табл. – Свойства материалов.

Метка блока	Теплопроводность $\lambda$ , Вт/(м·К)	Теплоемкость $c$ , Дж/(кг·К)	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
Полипропилен	0,24	1260	868
Нагреватель	400	385	8890
Подложка зонда	0,028	1270	50
Сталь Ст3	96	460	7850

Рис.– Измерительная схема

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

# ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

6

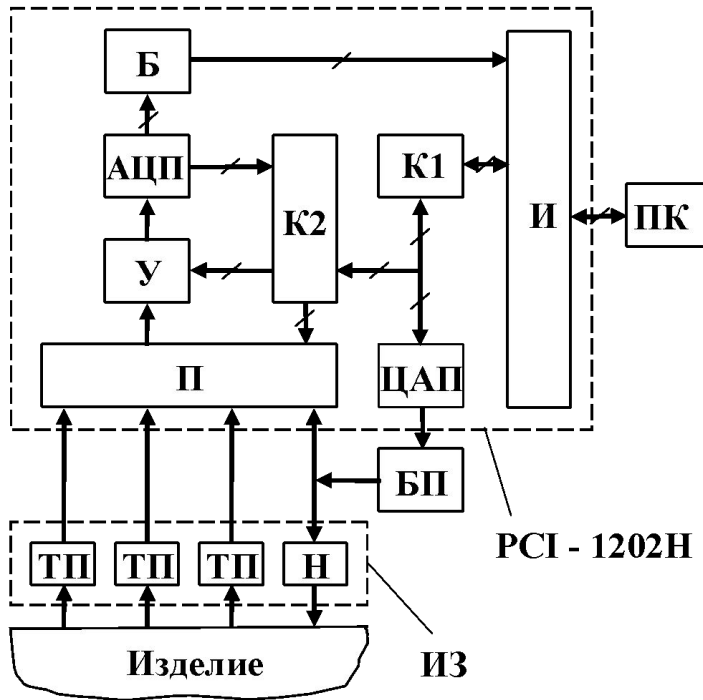


Рис. 1– Структурная схема

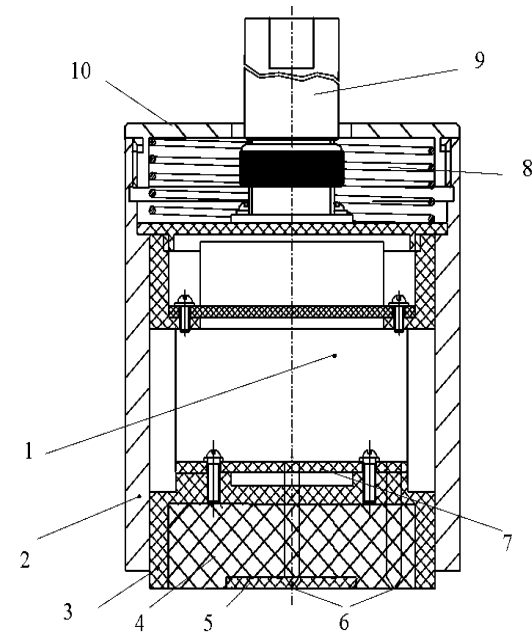


Рис. 2– Измерительный зонд  
1 – измерительная ячейка; 2 – корпус;  
3 – основание; 4 – теплоизолятор;  
5 – нагреватель, 6 – микротермопары;  
7 – разъём; 8 – пружина;  
9 – крышка корпуса;  
10 – крышка измерительной ячейки.

## ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Дано:  $q = 40000 \text{ Вт/м}^2$ ;  $R_{\text{н}} = 4 \text{ мм}$ ;  $h_1 = 2 \text{ мм}$ ;  $h_2 = 6 \text{ мм}$ ;  $\tau = 60 \text{ с}$

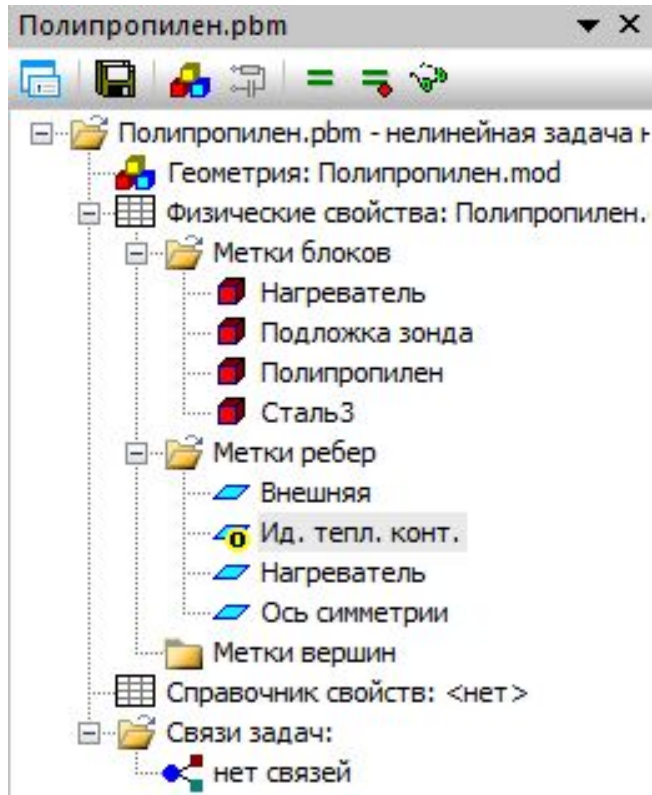


Рис. 1– Вводим граничные условия

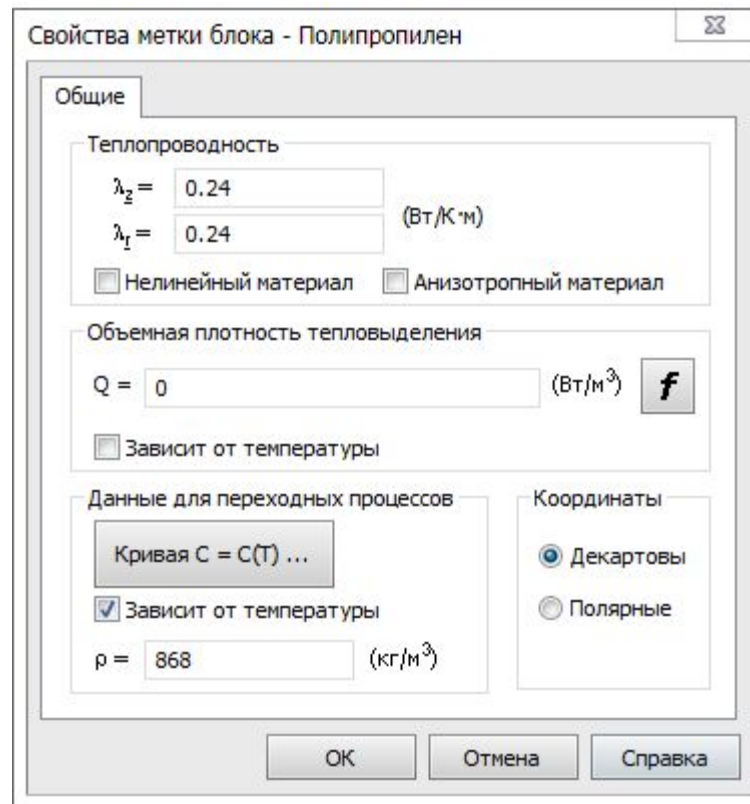


Рис. 2– Свойства метки блока «Полипропилен»

# РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

8

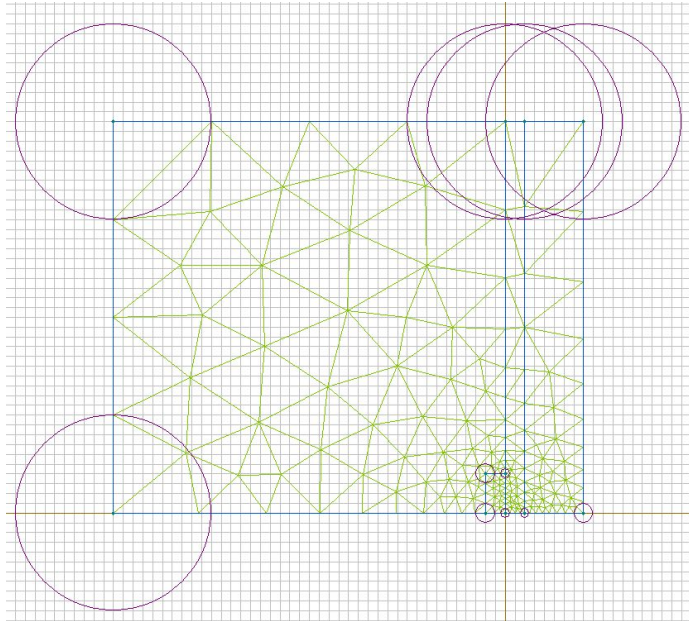


Рис. 1 – Распределение сетки конечных элементов

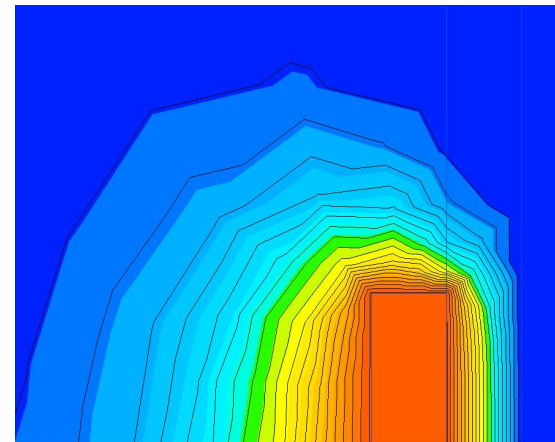


Рис. 2а) – Температурное поле и изотермы ( $\tau=60$ с.)

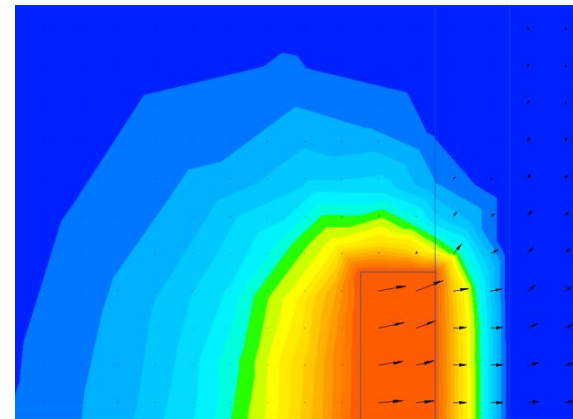
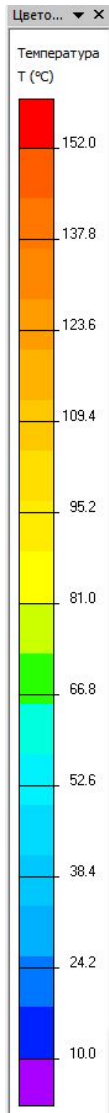


Рис. 2б) – Температурное поле и векторы теплового потока ( $\tau = 60$  с. )





# ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА. РЕЗУЛЬТАТЫ ИМИТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

9

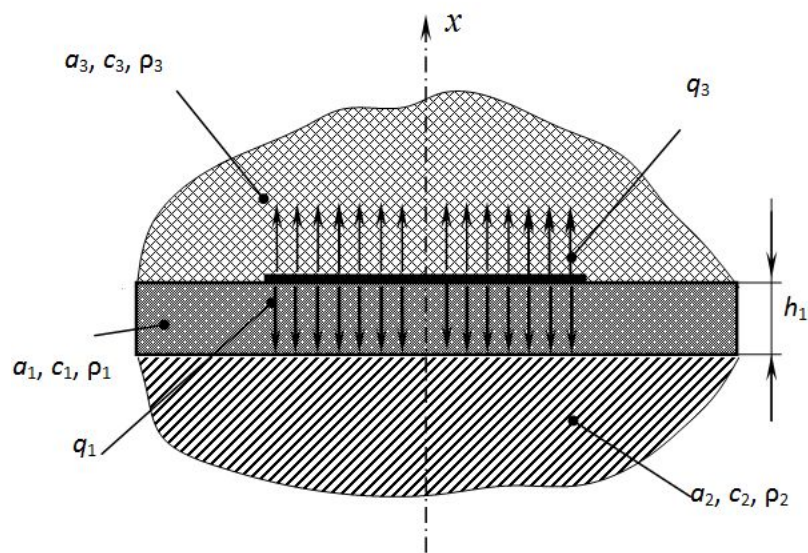


Рис. 1– Тепловая схема многослойной системы

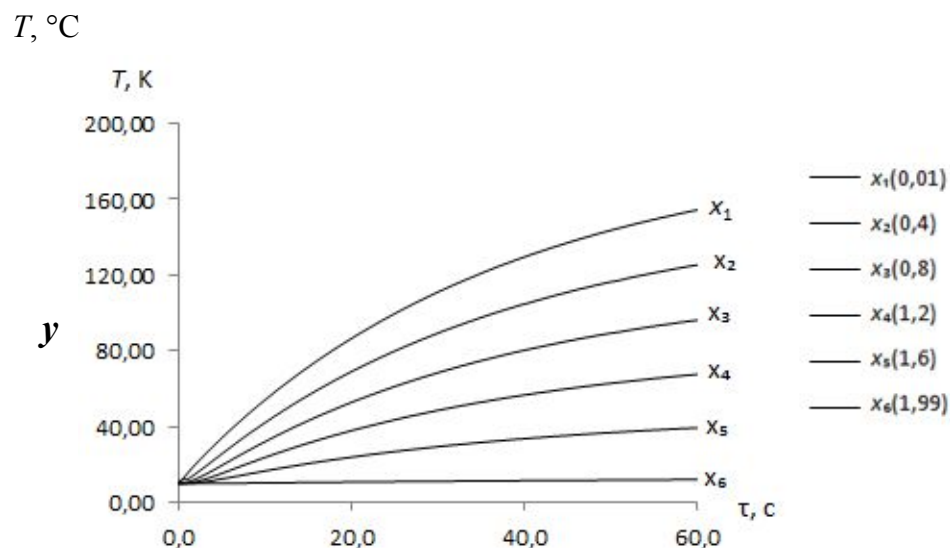


Рис. 2– Термограмма на оси нагревателя в слое полимера:  
вблизи границы раздела подложка зонда – полимерное покрытие (1); в слое покрытия (2-5); вблизи границы раздела покрытие – металл (6).

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТВЕРДОФАЗНОГО ПЕРЕХОДА

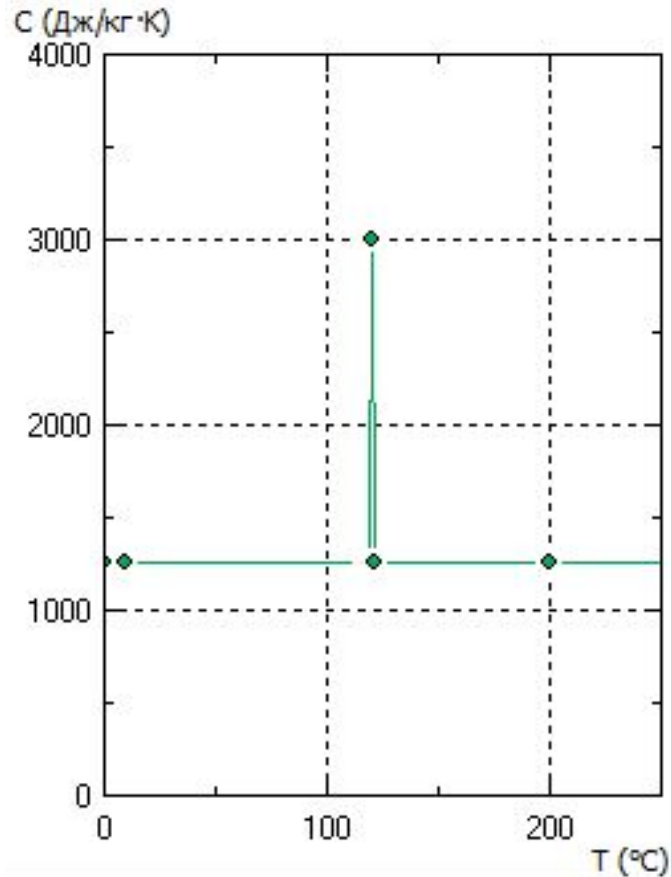


Рис. 1– Зависимость теплоёмкости полипропилена от температуры

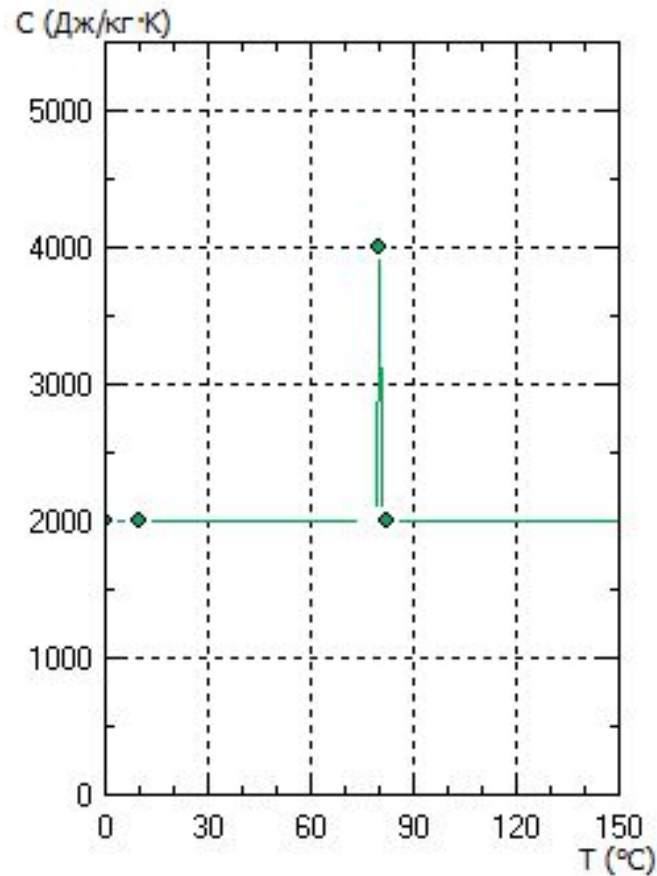
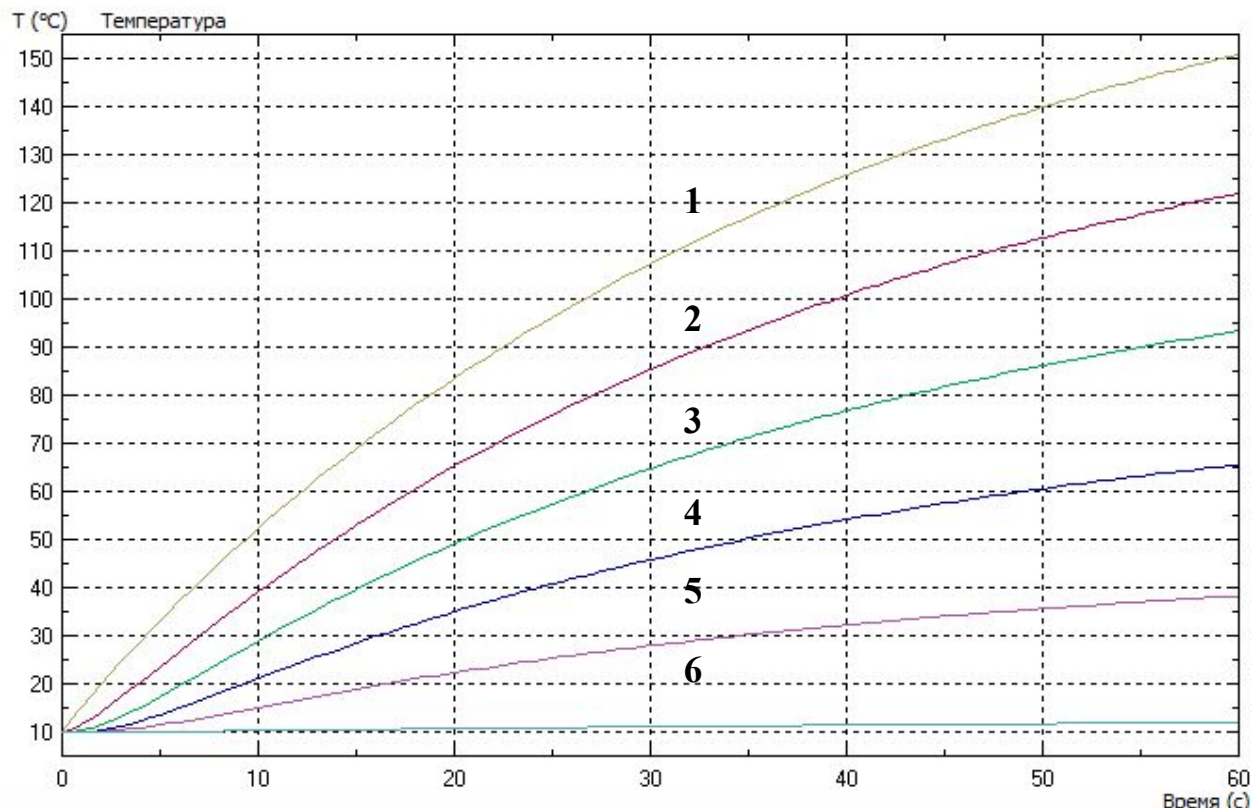


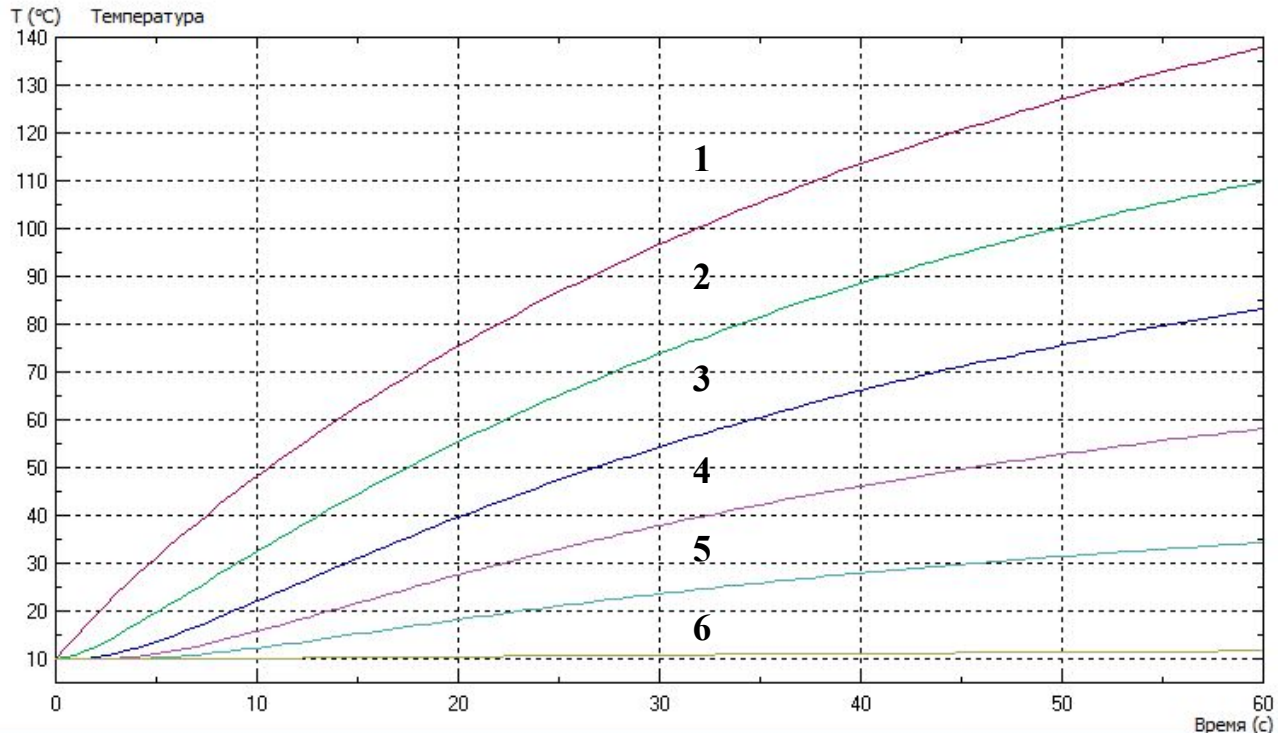
Рис. 2– Зависимость теплоёмкости полиэтилена от температуры



1 – на расстоянии 0,01 мм от нагревателя; 2 – на расстоянии 0,4 мм от нагревателя;  
3 – на расстоянии 0,8 мм от нагревателя; 4 – на расстоянии 1,2 мм от нагревателя;  
5 – на расстоянии 1,6 мм от нагревателя; 6 – на расстоянии 1,99 мм от нагревателя.

Рис. – Термограммы в точках контроля в полипропилене на оси нагревателя.

# РЕЗУЛЬТАТЫ ИМИТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

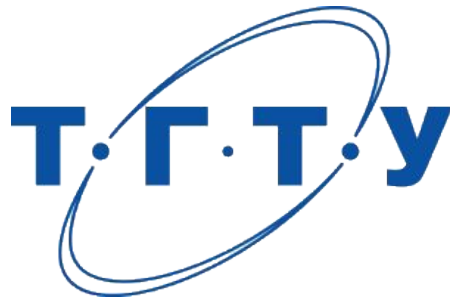


1 – на расстоянии 0,01 мм от нагревателя; 2 – на расстоянии 0,4 мм от нагревателя;  
3 – на расстоянии 0,8 мм от нагревателя; 4 – на расстоянии 1,2 мм от нагревателя;  
5 – на расстоянии 1,6 мм от нагревателя; 6 – на расстоянии 1,99 мм от нагревателя.

Рис. – Термограммы в точках контроля в полиэтилене на оси нагревателя.

1. Выполнен анализ методов неразрушающего определения покрытий на металлических основаниях.
2. Выбрана измерительная схема метода неразрушающего определения твердофазного перехода полимерных покрытий из ППР, ПЭ, ПТФЭ, ПВДФ на изделия из стали Ст3. Предложено использовать круглый плоский источник тепла постоянной мощности, встроенный в измерительный зонд.
3. Проведены численные исследования методом конечных элементов на предмет определения возможности регистрации рассматриваемым методом твердофазных переходов в полимерных покрытиях с различными теплофизическими свойствами. Наличие твердофазных переходов вносит незначительные изменения в температурное поле.

# 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](mailto:teplotehnika@nnn.tstu.ru)