

*А. А. Сычев, А. Ю. Ярмизина, Ю. И. Лобыкина, В. В. Димитров\**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В МЕТОДЕ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДВУХСЛОЙНЫХ ПОЛИМЕРНО-МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

Известны контактные методы неразрушающего контроля (НК), позволяющие определять теплофизические свойства (ТФС) твердых материалов. Методы реализуются с помощью измерительных систем (ИС) [1, 2].

ТФС определяют по рабочим участкам термограмм, полученных при тепловом воздействии на поверхность объекта исследования от круглого источника тепла постоянной мощности в виде диска, встроенного в подложку измерительного зонда (ИЗ). По моделям рассчитывают ТФС.

Цель данной работы – численное исследование температурных полей в методе НК двухслойных полимерно-металлических изделий.

Согласно измерительной схеме тепловое воздействие на двухслойную полимерно-металлическую систему осуществляется с помощью нагревателя постоянной мощности, выполненного в виде тонкого диска. Подложка ИЗ выполнена из теплоизоляционного материала. Размеры подложки ИЗ и металлической пластины подобраны так, что их можно считать полуограниченными. Температура в точках контроля измеряется с помощью термоприемников. Регистрируют термограммы – зависимости температуры от времени.

Наиболее сложной задачей при создании новых методов НК является разработка физико-математических моделей, адекватно описывающих теплоперенос. В основе метода НК двухслойных полимерно-металлических изделий лежат следующие предположения.

На термограмме имеются участки (рабочие), для которых обеспечивается высокая точность совпадения с результатами вычислительных экспериментов по аналитическим моделям. Причем, этим участкам соответствуют тепловые режимы опыта, вышедшие на стадию регуляризации.

Известно, что регулярные тепловые режимы первого и второго рода имеют общее свойство, характеризующееся независимостью от времени отношения теплового потока в любой точке тела к потоку

---

\* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора ФГБОУ ВПО «ГГТУ» Н. Ф. Майниковой.

тепла на его поверхности. Данное свойство доказано А. В. Лыковым. Математическая модель, описывающая термограмму, в данном случае чаще всего является линейной по параметрам или легко линеаризуется. Однако основная часть этих методов базируется на моделях для тех конечных размеров. Применительно же к методам НК следует говорить не о регулярном тепловом режиме для всего тела (так как оно принимается неограниченным), а о регуляризации теплового процесса только для определенной (локальной) области тела. В нашем случае можно проводить термический анализ, основываясь только на участке термограммы, соответствующем регуляризации теплового режима в области нагревателя и термоприемников. Полученные ранее решения краевой задачи нестационарной теплопроводности в системе двух тел, нагреваемых через бесконечный плоский нагреватель тепловым потоком постоянной мощности, в форме, пригодной для использования на рабочем участке термограммы (при регуляризации тепловых потоков), были использованы для получения математических выражений для расчета толщины покрытий на металлических основаниях [2].

Численное исследование температурных полей в методе неразрушающего контроля двухслойных полимерно-металлических изделий позволит выявить наличие стадии регуляризации теплового процесса и возможность применения одномерной математической модели распространения тепла в плоском полупространстве.

Исследуемое тело представляет собой конструкцию, состоящую из двух слоев: первый – с теплофизическими свойствами  $\lambda_1, c_1, \rho_1$ ; второй – с теплофизическими свойствами  $\lambda_2, c_2, \rho_2$ . Толщина первого слоя –  $h_1$ , второго –  $h_2$ . Численно исследуется изделие с полимерным покрытием из пентапласта. Подложка изделия – в виде пластины из стали.

Для упрощения схемы и расчетов пренебрегаем теплоемкостью нагревателя и оттоками тепла по проводам термоприемников. Принимаем, что все элементы схемы находятся в идеальном тепловом контакте друг с другом. Боковые поверхности тел имеют тепловую изоляцию ( $q = 0$ ).

Авторы воспользовались моделированием температурных полей методом конечных элементов с помощью пакета программ Elcut Student.

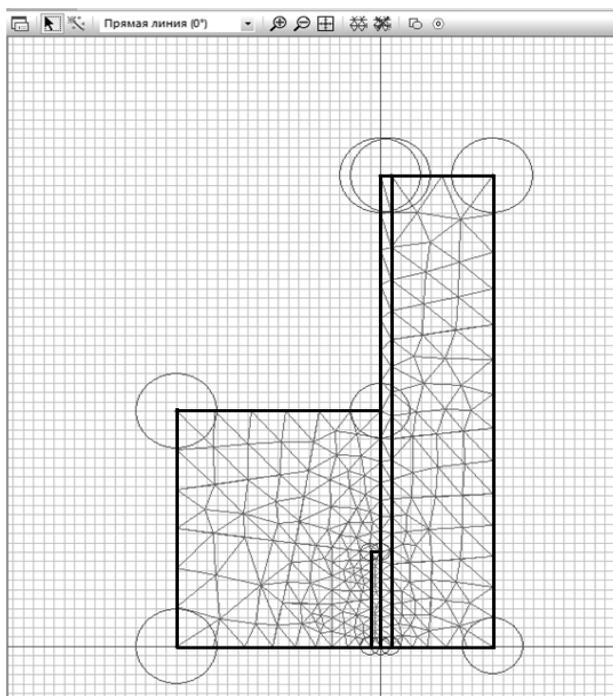
Для построения геометрии задачи использованы следующие размеры объекта. Размер подложки ИЗ: высота 20 мм, радиус 25 мм. Размеры двухслойного объекта: толщина полимерного покрытия – 1 мм, толщина металлического основания 10 мм. Нагреватель из меди имеет размеры: радиус 10 мм, высота 1 мм.

Теплофизические свойства материалов, из которых изготовлен объект исследования, сведены в таблицу.

**Таблица. Теплофизические свойства материалов**

Метка блока	Теплопроводность $\lambda$ , Вт/(К·м)	Теплоемкость $c$ , Дж/(кг·К)	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
Покрытие (пентапласт)	0,18	1930	1400
Нагреватель (медь)	400	385	8890
Подложка зонда (политетрафторэтилен)	0,25	970	2150
Пластина (Сталь 40)	47	462	7800

Выполнено построение сетки конечных элементов, распределение узлов которой представлено на рис. 1.

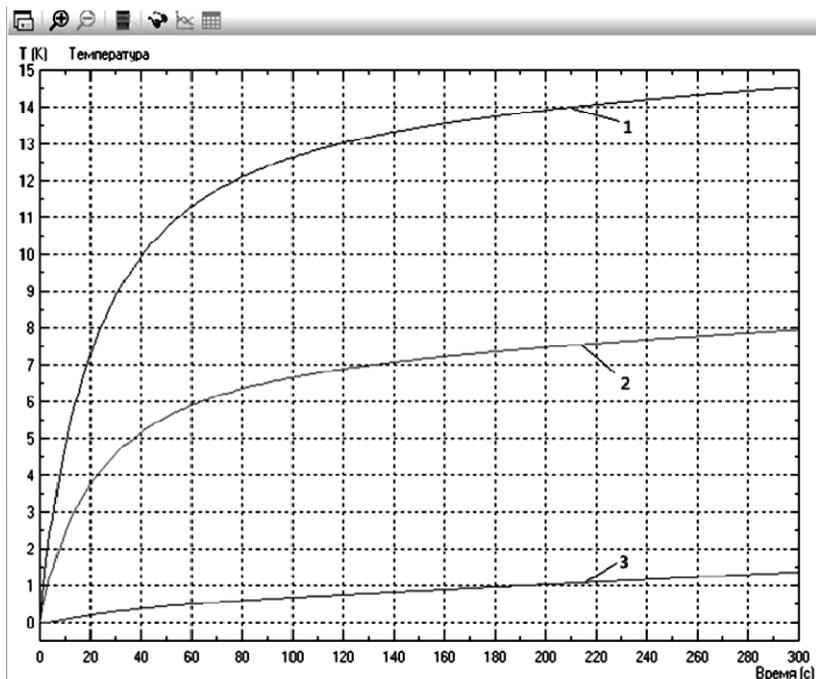


**Рис. 1. Распределение сетки конечных элементов**

На рисунке 2 представлены термограммы. Контролировали температуру в точках, расположенных на оси нагревателя: на границе раздела «подложка ИЗ–покрытие» (1); в середине слоя покрытия (2); на границе раздела «покрытие–металл» (3).

Полученные данные (рис. 2) позволяют выделить на термограммах 1–3 рабочие участки, характеризующиеся независимостью от времени отношения теплового потока в любой точке покрытия к потоку тепла на его поверхности, и сделать вывод о реализации режима регуляризации для локальной области изделия.

Таким образом, ранее полученное решение можно использовать для расчета толщины покрытий из пентапласта [2].



**Рис. 2. Термограммы в точках контроля, расположенных на оси нагревателя:**  
на границе раздела «подложка зонда из рипора–покрытие» (1);  
в середине слоя покрытия (2);  
на границе раздела «покрытие из пентапласта–металл» (3)

## Список литературы

1. Жуков, Н. П. Измерительно-вычислительная система неразрушающего теплофизического контроля / Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова // Приборы и техника эксперимента. – 2005. – № 2. – С. 153–154.
2. Теоретическое обоснование теплового метода неразрушающего контроля двухслойных изделий / И. В. Рогов, Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова, Н. В. Лунева // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2009. – № 9(23). – С. 93 – 99.

*Кафедра «Энергообеспечение предприятий и теплотехника»  
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»*