

*Ю. И. Лобыкина, В. В. Димитров\**

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕНОСА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ДВУХСЛОЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

На сегодняшний день накоплен достаточный опыт применения покрытий металлических изделий. Для получения полимерных покрытий используют составы на основе полиэтилена, поливинилбутираля, поливинилхлорида, эпоксидов, полиэфиров, реже – полиамидов.

Одну из главных ролей в решении задачи обеспечения выпуска качественной продукции играют методы и средства контроля. Существуют

---

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

два класса современных методов контроля теплофизических свойств полимерно-металлических изделий – разрушающие и неразрушающие.

Тепловые методы неразрушающего контроля (НК) позволяют определять теплофизические свойства (ТФС) покрытий исследуемых объектов по откликам на тепловое воздействие от нагревателя определенной формы [1, 2].

В связи со сложностью и большим объемом экспериментальных исследований по определению качества полимерно-металлических изделий исследование известных и новых методов контроля востребовано и является актуальным.

В случае НК активным тепловым методом искомые ТФС проявляются через температурный отклик исследуемого изделия на тепловое воздействие, которому оно подвергается в специально организованном эксперименте.

Математическая модель, полученная решением краевой задачи теплопроводности, позволяет определять ТФС покрытия с высокой точностью в температурно-временном диапазоне рабочего участка термограммы. На рабочем участке наблюдается хорошее совпадение экспериментальных и расчетных значений температуры [2].

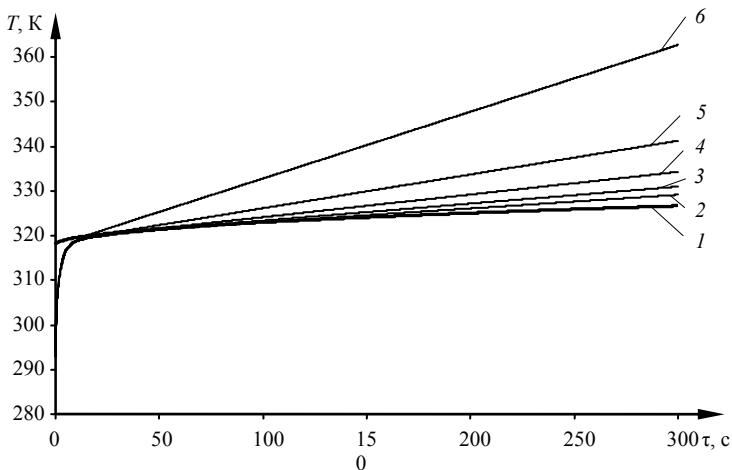
Рабочему участку соответствует тепловой режим опыта, когда реализуется регуляризация тепловых потоков в локальной области исследуемого объекта, расположенной вблизи нагревателя и термоприемников. Разработанный метод НК ТФС не предполагает идентификацию всего температурного поля.

Выделение рабочего участка производится статистическим методом с использованием критерия Дарбина – Ватсона [1].

Математическая модель [2] работает при условии, что второе тело (металлическая подложка) – полуограниченное в тепловом отношении. Поэтому важно установить, какой должна быть толщина второго тела, чтобы было возможно достичь стадии регуляризации теплового процесса, выделить рабочий участок и определить ТФС полимерного покрытия.

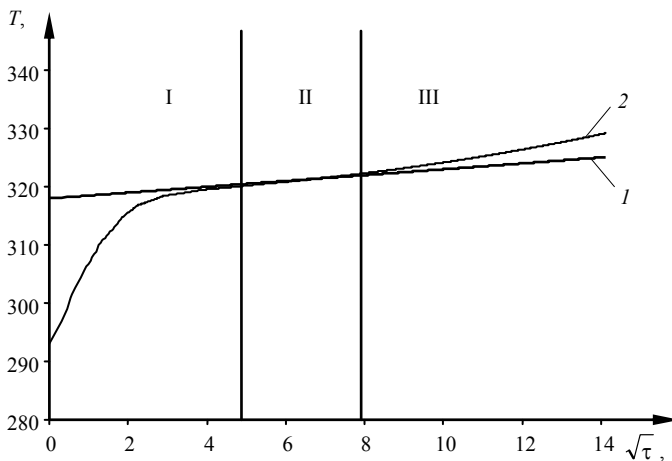
Термограммы для системы ограниченного и полуограниченного тел с различными толщинами второго слоя для покрытия из поливинилхлорида (ПВХ) на металлическом основании из стали марки Ст3 получены численным моделированием по методу конечных элементов.

На рисунке 1 представлены термограммы для системы двух тел с различными толщинами второго слоя при действии на поверхности полимерного тела круглого плоского нагревателя постоянной мощности. Первая кривая получена по математической модели [2]. Кривые 2 – 6 получены численным моделированием по методу конечных элементов при толщине второго (металлического) слоя: 50; 40; 30; 20; 10 мм.



**Рис. 1. Термограммы**

По данным, полученным численным моделированием, построена зависимость  $T = f(\sqrt{\tau})$ , позволяющая наглядно продемонстрировать наличие рабочего участка. На термограмме, представленной на рис. 2, выделены три участка – I, II и III.



**Рис. 2. Выделение рабочего участка на термограмме:**

1 – кривая получена по математической модели; 2 – кривая получена численным моделированием по методу конечных элементов для покрытия из ПВХ при толщине металлического основания 30 мм

Первый (I) участок термограммы характеризуется тем, что тепловой поток, проходящий через точку контроля, является переменным во времени и соответствует начальной стадии развития теплового процесса.

Второй (II) участок термограммы характеризуется регуляризацией теплового режима в локальной области нагревателя и тепловой поток, проходящий через точку контроля, становится практически постоянным. Это позволяет использовать математическую модель описания процесса теплопереноса для второго (рабочего) участка термограммы [2].

Третий (III) участок термограммы характеризуется тем, что нарушается условие полуограниченности объекта исследования (тепловой поток, проходящий через точку контроля, вновь становится переменным).

Определяем рабочий участок термограммы (рис. 2), на котором металлическое основание можно считать полуограниченным. Рабочим участком будет считаться тот, на котором расхождения между значениями температуры составят менее 1 %. На рисунке 2 данный участок термограммы отмечен как II участок.

На рисунке 3 представлена зависимость  $\Delta\tau = f(h_2)$  для двухслойного изделия из стального основания и покрытия ПВХ. Толщина металлического основания ( $h_2$ ) в полимерно-металлическом изделии является величиной, определяющей работоспособность математической модели, так как определение ТФС покрытия по рабочим участкам термограммы возможно при условии, что металлическое тело является полуограниченным в тепловом отношении.

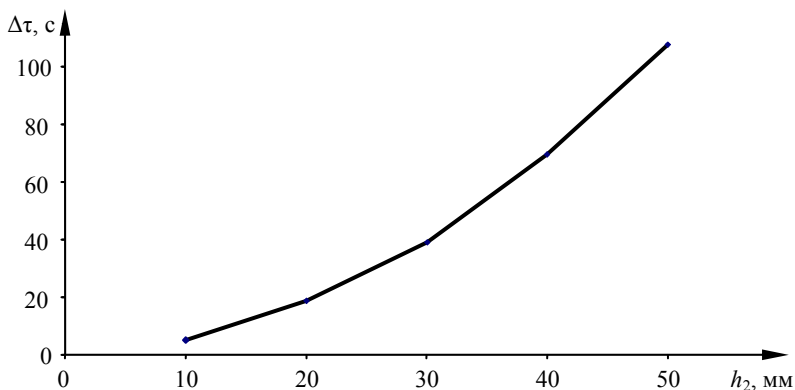


Рис. 3. Зависимость  $\Delta\tau = f(h_2)$

Данные численного исследования позволяют определить минимально возможное значение толщины второго тела, при котором соблюдается условие полуограниченности и при котором возможно определить ТФС покрытия.

### **Список литературы**

1. *Об одном методе* термического анализа для неразрушающего контроля теплофизических свойств полимеров / Н. Ф. Майникова, Ю. Л. Муромцев, И. В. Рогов, А. А. Балашов // Пластические массы. – 2001. – № 2. – С. 33 – 36.

2. *Моделирование* теплопереноса в методе неразрушающего контроля двухслойных материалов / Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова, И. В. Рогов, А. О. Антонов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 19, № 3. – С. 506 – 511.

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