

УДК 536.212.3
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ППУ ИЗОЛЯЦИИ

Н. В. ГЕРАСИМЕНКО, М. АКПАНУРОМ

Научный руководитель С. В. БОЛОТОВ, канд. техн. наук, доц.
БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Разработка системы непрерывного контроля состояния пенополиуретановой (ППУ) изоляции на основе цифровых датчиков влажности предполагает размещение основных электронных компонентов непосредственно в слое ППУ изоляции. Влияние высоких температур может негативно сказаться на работоспособности тех или иных электронных элементов, следовательно, актуальной является задача анализа тепловых характеристик изоляционного материала.

Для определения условий эксплуатации электронных компонентов, располагаемых в слое изоляции, был выполнен ряд экспериментов, а также математическое моделирование распределения температуры в плоских образцах ППУ.

На практике широко применяется стационарный метод исследования распределения температуры, в котором используется нагреваемая пластина и плоские образцы. При этом в образце создается одномерный тепловой поток между нагреваемой и охлаждаемой пластиной. Таким образом, задача сводится к анализу распределения температуры в плоской стенке (рис. 1).

В процессе эксперимента на одной из границ плоского образца постоянно поддерживалась температура $T_1 = 90 \text{ }^\circ\text{C}$, на противоположной стороне поддерживалась температура окружающей среды, $T_2 = 21 \text{ }^\circ\text{C}$. Значение температуры фиксировалось при помощи перемещаемого датчика, расположенного внутри образца.

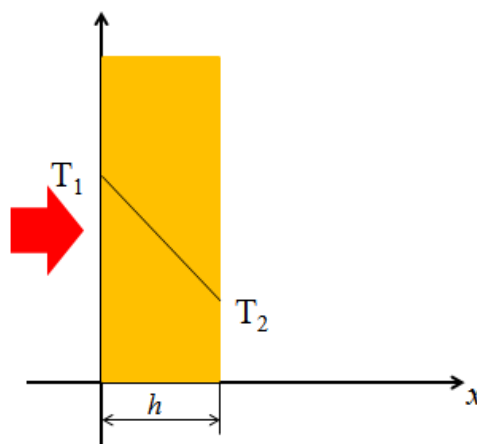


Рис. 1. Исследуемая модель

Дифференциальное уравнение теплопроводности неподвижной среды (уравнение Фурье) имеет следующий вид

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \quad (1)$$

где a – коэффициент температуропроводности материала.

Поскольку в стационарном режиме $\frac{\partial T}{\partial \tau} = 0$, коэффициент температуропроводности a является характеристикой материала и не может быть равен нулю, а также с учетом того, что задача является одномерной, уравнение (1) сводится к виду

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0. \quad (2)$$

Уравнение (2) описывает распределение температуры внутри плоского образца (стенки) при переносе теплоты теплопроводностью в неподвижной среде.

Интегрируя уравнение (2), получим следующее выражение

$$T(x) = C_1 \cdot x + C_2. \quad (3)$$

Постоянные интегрирования C_1 и C_2 определим исходя из граничных условий согласно формулы 1: при $x = 0$, $T = T_1$; при $x = h$, $T = T_2$. Таким образом, функция распределения температуры в плоском образце будет иметь вид

$$T(x) = \frac{(T_2 - T_1) \cdot x}{h} + T_1. \quad (4)$$

Используя выражение (4), получим зависимость для исследуемого образца (рис. 2). Полученная зависимость хорошо согласуется с экспериментом и носит линейный характер (что свидетельствует об отсутствии источников тепла внутри исследуемого образца).

Данная модель позволяет оценить оптимальное расстояние, на котором необходимо расположить электронные элементы системы непрерывного контроля, учитывая их предельные температуры эксплуатации.

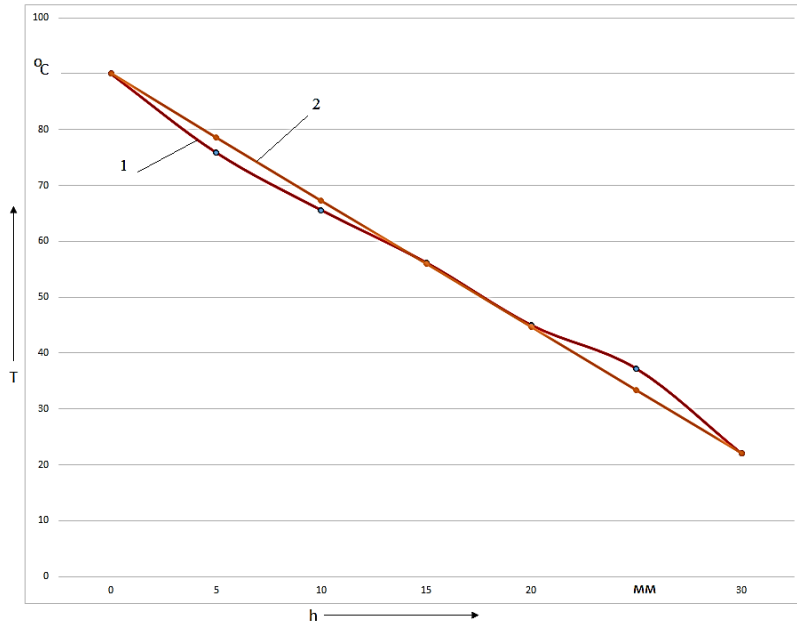


Рис. 2. Распределение температуры в плоском образце

Температуры теплоносителя и окружающей среды в процессе эксплуатации могут изменяться, следовательно, необходимо оценить время, за которое наступает установившийся температурный режим. В процессе эксперимента датчики температуры были расположены на расстоянии 20 мм от источника тепла ($T_H = 60\text{ }^\circ\text{C}$), что соответствует расположению проводников системы ОДК в слое ППУ изоляции. Математическая модель получена путем решения уравнения (1) методом конечных разностей.

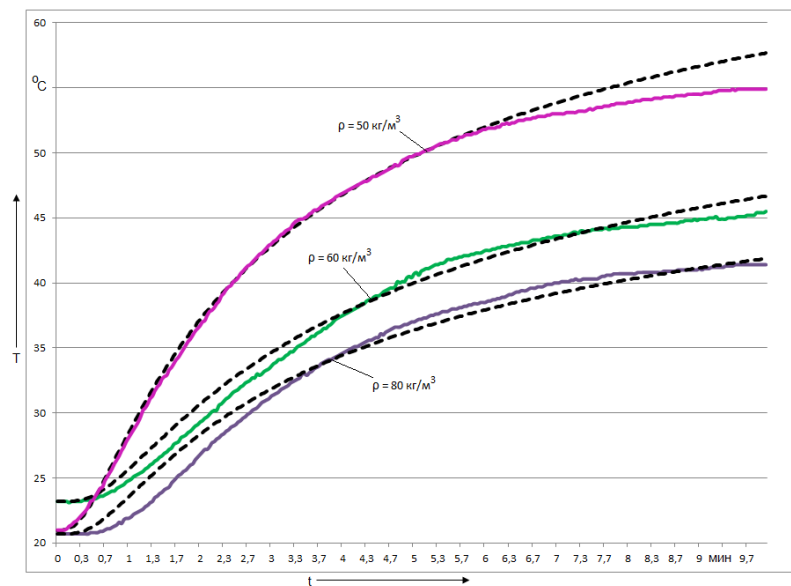


Рис. 3. График изменения температуры в слое $h = 20$ м: сплошная кривая – экспериментальные данные; пунктирная кривая – математическая модель