

ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ФРИКЦИОННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ТОРМОЗНОЙ КОЛОДКИ

Ю. А. ПШЕНИЧНОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Несмотря на появление современных устройств торможения средств движения, на транспорте широко распространены системы на основе использования тормозных колодок [1]. Процесс торможения подвижного состава характеризуется высокой тепловой нагрузкой фрикционных элементов, затрудняющей измерения.

Выделим в тормозной колодке область D , в которой температурное поле при торможении состава допустимо считать одномерным, т. е. температура задается функцией $T(x, t)$, где x ось координат, перпендикулярная фрикционной поверхности колодки S . Обозначим координату этой поверхности через x_0 , которая может быть плоской или цилиндрической. Выделим m изотермических поверхностей, расположенных на одинаковом расстоянии Δx друг от друга, с координатами $x = x_i$, $i = 1, 2, \dots, m$, $x_i > x_0$. Пусть известны температуры T_i на m внутренних поверхностях $x = x_i$, $x_i > x_0$, $i = 1, 2, \dots, m$. Эти температуры могут быть измерены, например, с помощью проводочных термопар.

Зададимся целью по измеренным температурам T_i , $i = 1, 2, \dots, m$, оценить температуру T_0 на поверхности $x = x_0$. Для этого воспользуемся интерполяционной формулой Лагранжа

$$L_m(x) = \sum_{i=1}^m B_i T_i, \quad (1)$$

где

$$B_i = \frac{V_i(x)}{V_i(x_i)} = \frac{(x-x_1)(x-x_2)\dots(x-x_{i-1})(x-x_{i+1})\dots(x-x_{m-1})(x-x_m)}{(x_i-x_1)(x_i-x_2)\dots(x_i-x_{i-1})(x_i-x_{i+1})\dots(x_i-x_{m-1})(x_i-x_m)}. \quad (2)$$

Температуру T_0 на поверхности $x = x_0$ оцениваем путем экстраполяции температурного поля из области $x_m \geq x \geq x_1$ на область $x_1 > x \geq x_0$.

Определим знак

$$V_i(x) = (x-x_1)(x-x_2)\dots(x-x_{i-1})(x-x_{i+1})\dots(x-x_{m-1})(x-x_m). \quad (3)$$

Если $x < x_1$, то все сомножители в (3) отрицательны и знак функции $V_i(x)$ не зависит от индекса i , а определяется числом m :

$$\text{sign} V_i(x) = (-1)^{m-1}. \quad (4)$$

Определим знак функции $V_i(x)$ при $x = x_i$, т. е.

$$V_i(x_i) = (x_i-x_1)(x_i-x_2)\dots(x_i-x_{i-1})(x_i-x_{i+1})\dots(x_i-x_{m-1})(x_i-x_m). \quad (5)$$

Если $x = x_i$, то в (5) знак произведения первых $i-1$ сомножителей в силу неравенства $x_i > x_{i-1}$ строго положителен, а знак произведения оставшихся $m-i-2$ слагаемых вследствие неравенства $x_i < x_n$ ($n = i+1, i+2, \dots, m$) совпадает со знаком числа $(-1)^{m-i-2} = (-1)^{m-i}$.

Поэтому для любого при $x < x_1$:

$$\text{sign} V_i(x) = -\text{sign} V_{i+1}(x), \quad (6)$$

причем

$$\text{sign} V_i(x_i) = (-1)^{m-i}. \quad (7)$$

Из равенств (4), (6) и (7) следует, что при $x < x_1$ при переходе в (1) от i -го слагаемого к $i + 1$ -му слагаемому знак коэффициента B_i при температуре в формуле (1) изменяется строго на противоположный, то есть

$$\text{sign}(B_i) = (-1)^{i+1}. \quad (8)$$

При построении измерительной схемы, предназначенной для определения температуры фрикционной поверхности, использованы свойства коэффициентов B_i , выраженные формулой (8) в соответствие с принципами, разработанными в [2, 3].

Согласно (7) для любого i коэффициенты B_i и B_{i+1} , то есть соседние коэффициенты, имеют строго противоположные знаки. Кроме того, если расстояние $\Delta x_0 = x_1 - x_0$ выбрано равным шагу Δx , то все коэффициенты B_i являются целочисленными.

Предположим, что для измерения температуры используются термоэлектрические преобразователи (термопары), характеризующие одинаковой в пределах допустимой погрешности градуированной зависимостью $T = F(E)$, связывающей ЭДС термопары E и температуру T .

Расположим на каждой из изотермических поверхностей с координатами $x = x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_m$ количество температурных датчиков, равное абсолютной величине целочисленных коэффициентов $B_1, B_2, \dots, B_i, \dots, B_m$ соответственно. Соединим эти датчики в электрическую цепь последовательно, причем так, чтобы датчики, размещенные на i -й поверхности, были включены в общую электрическую цепь с полярностью, знак которой совпадает со знаком коэффициента B_i , т. е. температурные датчики, расположенные на каждых двух соседних поверхностях включим в общую электрическую цепь встречно.

При данном способе размещения и соединения температурных датчиков суммарная ЭДС электрической цепи будет равна величине, совпадающей с определяемой по интерполяционной формуле (1), в которой вместо температур T_i подставлены значения E_i , $i = 1, 2, \dots, m$, т. е. по формуле

$$E_{m0} = \sum_{i=1}^m B_i T_i, \quad (9)$$

где E_i – ЭДС, вырабатываемая температурным датчиком, расположенным на изотермической поверхности $x = x_i$.

В частности, при $m = 2, 3, 4$ формула (9) принимает вид

$$E_{20} = 2E_1 - E_2, \quad (10)$$

$$E_{30} = 6E_1 - 8E_2 + 3E_3, \quad (11)$$

$$E = 4E_1 - 6E_2 + 4E_3 - E_4 \quad (12)$$

соответственно.

Искомая величина поверхностной температуры T_0 при этом определяется из градуировочной зависимости

$$T_0 = F(E_{m0}). \quad (13)$$

Если выбрать значение Δx_0 , отличающееся от Δx_0 , то величины B_i выражаются вещественными числами. В этом случае на каждой изотермической поверхности размещаются по одной термопаре, а в измерительную цепь добавляются DC/DC-преобразователи [4].

Список литературы

- 1 Галай, Э. И. Тормозные системы железнодорожного транспорта. Конструкция тормозного оборудования : учеб. пособие / Э. И. Галай, Е. Э. Галай. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 315 с.
- 2 А. с. № 1093914. Датчик теплового потока // Бюллетень изобретений. – 1984. – № 19.
- 3 А. с. № 1290102. Датчик теплового потока // Бюллетень изобретений. – 1987. – № 6.
- 4 Русу, А. DC/DC-преобразователи: принципы работы и уникальные решения Maxim Integrated / А. Русу [Электронный ресурс] // Компания КОМПЭЛ, 17 декабря 2019. – Режим доступа : <https://www.compel.ru/lib/134297>. – Дата доступа : 19.09.2021.