УДК 621.825

МОДЕЛЬ ТЕПЛОНАГРУЖЕННОСТИ ТОРМОЗА ПРИ ПОВТОРНО-КРАТКОВРЕМЕННЫХ ТОРМОЖЕНИЯХ

Н.В. Поляков (ВГЛТА)

Анализ работ в области эксплуатации и исследования тормозных устройств, показывает, что их рабочие характеристики определяются в основном температурным режимом узла трения [1 … 3]. При этом наиболее изучены тепловые процессы при однократных торможениях.

В настоящей статье сделана попытка построить тепловую модель для повторно-кратковременных торможений, применительно для ленточно-колодочного тормоза с масляным охлаждением.

В условиях эксплуатации промышленного трактора, как и при стендовых испытаниях, процесс нагрева тормозов происходит в повторно-кратковременном режиме трения, представляющим собой сложную периодическую функцию $q(t)$,которую в общем случае можно выразить так:

$$q(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos\frac{\pi nt}{T} + B_n \sin\frac{\pi nt}{T},$$

$$A_0 = \frac{2}{T}\int_0^T q(t)dt,$$

$$A_n = \frac{2}{T}\int_0^T q(t)\cos\frac{\pi nt}{T}dt,$$

$$B_n = \frac{2}{T}\int_0^T q(t)\sin\frac{\pi nt}{T}dt,$$

где $q(t)$ – плотность теплового потока; T – период между двумя торможениями.

Выделяемое в процессе торможения тепло распределяется между лентой и барабаном, а также частично поглощается смазкой, присутствующей на рабочих поверхностях тормоза. (Конвективной теплоотдачей в процессе торможения можно пренебречь) [1].

Тогда:

$$\alpha_к + \alpha_б + \alpha_м = 1,$$

где α_i – коэффициенты распределения тепловых потоков (доли теплоты торможения), поглощаемые лентой, барабаном и маслом.

Для барабана, например,

$$q_б(t) = \frac{N_T(t)\alpha_б}{F},$$

где F – номинальная площадь фрикционного контакта в тормозе.

В связи с кратковременностью цикла торможения, который в нашем случае составляет доли секунды (0 < t_T < 1), эффективная глубина проникновения тепла от поверхности трения $b_{эф}$ для стального барабана составляет всего несколько миллиметров за цикл $(b_{эф} \le 1{,}73\sqrt{a^2 \cdot t_T})$ [1].

Поэтому в последующем решении тормозной барабан будем рассматривать как сплошной цилиндр с теплоизолированными торцами.

Требуется найти функцию $T(r,t)$, удовлетворяющую уравнению теплопроводности:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a^2\left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\cdot\frac{\partial T}{\partial r}\right),$$

при $(0 \le t_T \le t_T; 0 \le r \le R)$,

граничному условию:

$$\left.\frac{\partial T}{\partial r}\right| r = R = -\frac{q(t)}{\lambda},$$

и начальному условию $T(0,r) = 0$.

После целого ряда преобразований, окончательное решение поставленной задачи получено в виде:

$$T(r,t) = -\frac{r^2}{2R\lambda}q(t) + \left[A_3^{(n)}q(t) - \left(4A_1^{(n)} + A_3^{(n)}\frac{a^2\mu_n{}^2}{R^2}\right)\cdot\right.$$

$$\left.\cdot\int_0^t \exp\left(-\frac{a^2\mu_n{}^2}{R^2}\right)\cdot(t-\tau)\cdot q(\tau)d\tau\right]RI_0\left(\frac{\mu_n r}{R}\right),$$

где μ_n – корни уравнения;

$$I_0'(\mu) = 0;$$

$$\rho = \frac{r}{R}.$$

$$A_1^{(n)} = \frac{1}{I_0^2(\mu_n)}\int_0^1 \rho I_0(\mu_n\rho)d\rho,$$

$$A^{(n)} = \frac{1}{I_0^2(\mu_n)}\int_0^1 \rho^3 I_0(\mu_n\rho)d\rho.$$

Полученные решения в рядах Фурье-Бесселя затруднительны для применения в инженерной практике, т.к. требуют машинного отчета. Однако задача определения нестационарного температурного режима цикла торможения с достаточной для инженерных расчетов точностью может быть решена, если воспользоваться фундаментальным решением уравнения теплопроводности для источника [3], и использовать принцип суперпозиции [4]. Для этой цели кривая плотности теплового потока $q(t)$ разбивается на n интервалов (примерно – 10). При этом можно считать, что в пределах интервала времени $(0{,}01 \le \Delta t \le 0{,}1)$ на каждом интервале Δt действует постоянный тепловой поток q_i.

После некоторых упрощений, допустимых в нашем случае, расчетная формула приобретает вид:

$$T(n,t_i) = \sum_{i=1}^{i=n}\frac{q_i\alpha}{\lambda}\left\{\frac{2a\cdot\sqrt{\Delta t}}{\sqrt{\pi}}\left[\exp\left(-\frac{n^2}{4a^2\Delta t(n-i}\right) - berfc\left(\frac{b}{2a\sqrt{\Delta t(n-i)}}\right)\right]\right\},$$

где $erf(z) = \frac{2}{\pi}\int_0^z e^{-t^2}dt$ – интеграл вероятностей (табулированная функция); b – глубина рассматриваемого слоя от поверхности трения.

Для поверхности трения ($b = 0$) расчетная формула упрощается:

$$T(0, t_i) = \frac{2a \cdot \sqrt{\Delta t \alpha}}{\lambda \sqrt{\pi}} \sum_{i=1}^{i=n} q_i \ ,$$

где Δt – шаг разбиения (рис .1).

Решения по формулам (1.12) и (1.13) будут давать результат с некоторым избытком, однако это повышает надежность расчета, т.к. фактический фрикционный контакт является дискретным и имеют место температурные вспышки.

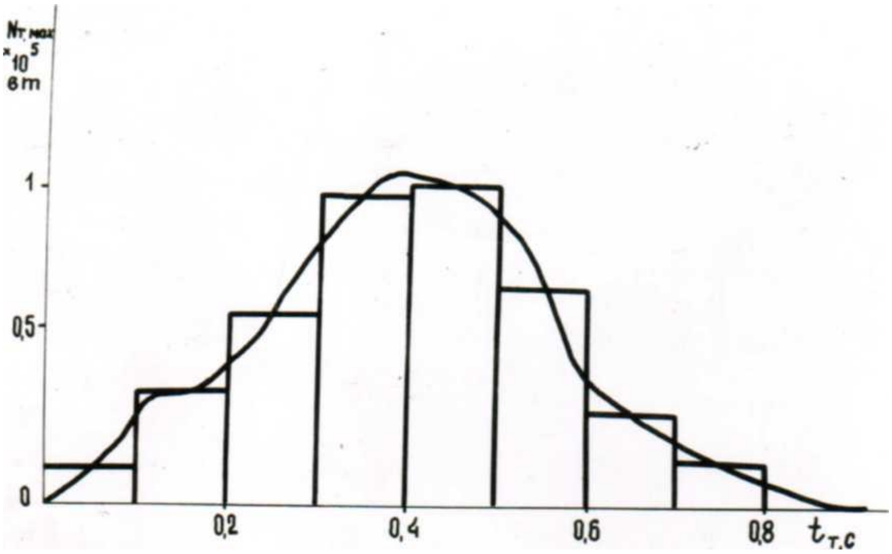

Рисунок 1 – Пример обработки осциллограммы для теплового расчета

Библиографический список

1 Хебды, М., Справочник по триботехнике / М. Хебды, А. В. Чичинадзе, М. : Машиностроение, 1992. Т3 – 545 с.

2 Чичинадзе, А. В. Учет экранирующего действия тонких пленок для оценки температур на поверхности трения твердых тел / А. В. Чичинадзе, Н. В. Поляков "Трение и износ" 1999 № 1. С. 62-67.

3 Чичинадзе, А. В. Применение теорий тепловой динамики и моделирования тяжелонагруженных тормозов транспортных машин [Текст] / А. В. Чичинадзе, В. Д. Кожемякина "Трение и смазка в машинах и механизмах". 2009 № 5. С. 31-38.