

УДК 629.4

*Авдеева А. Н. кандидат технических наук, доцент
доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство»,
Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта,
Узбекистан, г. Ташкент*

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУР В ГРЕБНЕ ТЕПЛОВОЗНОГО
КОЛЕСА ПРИ ТРЕНИИ О ТОРМОЗНУЮ КОЛОДКУ**

Аннотация: процесс движения и торможения локомотива сопровождается нагревом поверхностного слоя материала колеса до высоких температур. При температуре выше критической, что соответствует 300 °С, начинает превалировать разупрочнение поверхностных слоев, что приводит к интенсивному износу контактируемых поверхностей колёсной пары. В связи с этим представляет определенный интерес выявление величины температуры нагрева колеса при торможении локомотива, чему и посвящена статья, в которой предложена математическая модель расчета.

Ключевые слова: механические свойства стали, гребень бандажа, цикл торможения, интенсивность износа.

*Avdeeva A. N. candidate of technical Sciences, associate Professor
Docent, Department of «Wagons and wagon economy»,
Tashkent Institute of railway transport engineers, Uzbekistan, Tashkent*

**METHODOLOGY OF TEMPERATURE CALCULATIONS IN THE FLANGE
OF THE DIESEL LOCOMOTIVE WHEEL DURING FRICTION AGAINST
THE BRAKE SHOE**

Аннотация: The process of locomotive movement and braking is accompanied by heating of the surface layer of the wheel material up to high temperatures. At temperatures above critical, which corresponds to 300C, softening of the surface layers begins to prevail, which leads to the intensive wear of the contacting surfaces of the wheelset. In this case, it is of certain interest to identify the amount of the wheel

heating during braking of the locomotive, which is the focus of the article in which a mathematical calculation model is proposed.

Keyword: mechanical properties of steel, the crest of the bandage, the loop of braking, rate of wear.

При проскальзывании колеса на участках контактирующихся поверхностей энергия внешнего трения в большей части переходит в тепло, концентрация которого в поверхностном слое может способствовать изменению механических свойств металла. Экспериментальные данные по твердости, пределу прочности, текучести и относительному удлинению, свидетельствуют о резком снижении механических свойств и повышении пластичности сталей, начиная с температуры 300⁰С [1]. Данная статья посвящена теоретическому определению температуры рабочей поверхности гребня при торможении тепловоза чугунными колодками.

В работе [2] показано, что при торможении через поверхность гребней бандажей подводится около 40% тепловой мощности N_T . Это явление объясняется тем, что периметр поверхности гребня бандажа в радиальном сечении, проходящем через ось вращения колесной пары:

$$n_r = \pi r_r + 30 = \pi \cdot 15 + 30 = 77 \text{ мм}.$$

Сопоставим это значение с шириной поверхности катания:

$$n_k = 140 - 30 = 110 \text{ мм},$$

к которым подводится тепловая мощность N_T при торможении колесных пар тепловоза. Введем допущение о разделении мощности N_T на две составляющие N_r и N_k , подводимые к поверхности гребня и катания бандажа по рельсам пропорциональные отношению

$$N_r = N_T \frac{n_r}{n_r + n_k} = \frac{77 N_T}{77 + 110} \approx 0,41 N_T, \quad (1)$$

поэтому $N_k = 0,59 N_T$.

Для определения тепловой мощности N_T выделяющейся при торможении тепловоза одной тормозной колодкой используем формулу

$$N_m = 2,345 K \varphi_k V, \quad (2)$$

где K – действительная сила натяжения на тормозную колодку, принятая для расчетов в пределах $K = (8,5-5,5)$ кН; φ_k – действительный тормозной коэффициент, величина которого определяется по формуле [3, с. 268], при условии использования тормозных колодок с содержанием фосфора $(1,0 \div 1,4)\%$ и скорости движения тепловоза, $V = 100, 90, 72, 54, 36$ км/ч. Так как в формуле (2) значение V вводится в [м/с], определим коэффициент перевода единиц мощности как: $9,81 \cdot 0,239 = 2,345$

Вводим допущение формы модели гребня бандажа в виде кольца толщиной $z_\Gamma = 25$ мм, шириной $v_\Gamma = 30$ мм и длиной $\ell_\Gamma = 2\pi R_\Gamma$ при $R_\Gamma = R_l + z_\Gamma$.

Для расчетного примера принимаем $R_l = 515$ мм, $R_\Gamma = 540$ мм и определяем вес материала кольца гребня бандажа

$$G_\Gamma = 2\pi R_\Gamma v_\Gamma z_\Gamma \gamma_\Gamma \approx 2\pi \cdot 0,54 \cdot 0,03 \cdot 0,025 \cdot 7860 \approx 200 \text{ Н}.$$

Используем модель теплопередачи мощности N_Γ от тормозной колодки через поверхность $F_\Gamma = 2\pi R_\Gamma v_\Gamma$ гребня бандажа к такой же поверхности основного материала бандажа. Для этого используем функцию прироста температуры $T_\Gamma(t, z)$, где $t = 0 - t_\Gamma$ продолжительность цикла торможения колеса локомотива, z – расстояние от поверхности радиуса R_Γ до слоя внутри материала модели гребня бандажа, диапазон изменения $z = 0 \div z_\Gamma$. Для такой модели используем уравнение теплопроводности в виде

$$C_\Gamma F_\Gamma \gamma_\Gamma \frac{\partial T_\Gamma}{\partial t} - K_\Gamma F_\Gamma \frac{\partial^2 T_\Gamma}{\partial z^2} = \frac{N_\Gamma}{2\pi R_\Gamma}, \quad (3)$$

которое приводим к виду

$$\frac{\partial T_\Gamma}{\partial t} - \frac{K_\Gamma}{C_\Gamma \gamma_\Gamma} \frac{\partial^2 T_\Gamma}{\partial z^2} = \frac{N_\Gamma}{G_\Gamma C_\Gamma}. \quad (4)$$

Для решения последнего уравнения используем функцию

$$T_\Gamma(t, z) = T_\Gamma(t) T_\Gamma(z) = T_\Gamma(t) \left(1 - \frac{z^2}{z_\Gamma^2} \right), \quad (5)$$

которая в слое $z = 0$ соответствует приросту максимальной температуры $T_{\Gamma}(t)$ внутри модели, а в слое $z = z_{\Gamma}$ на поверхности радиуса $R_1 - T_{\Gamma}(z) = 0$.

Используем $\frac{\partial^2 T_{\Gamma}(t, z)}{\partial z^2} = -\frac{2T_{\Gamma}(t)}{z^2_{\Gamma}}$ для уравнения (4) и получим

$$\frac{\partial T_{\Gamma}(t)}{\partial t} + \psi_{\Gamma} T_{\Gamma}(t) = \frac{N_{\Gamma}}{G_{\Gamma} C_{\Gamma}}, \quad (6)$$

где
$$\psi_{\Gamma} = \frac{2K_{\Gamma}}{C_{\Gamma} \gamma_{\Gamma} z_{\Gamma}^2}.$$

Частное решение этого уравнение для начальных условий $T_{\Gamma}(0)=0$ при $t=0$, полученное методом операционного исчисления [4], имеет вид

$$T_{\Gamma}(t) = \frac{N_{\Gamma}}{G_{\Gamma} C_{\Gamma} \psi_{\Gamma}} (1 - e^{-\psi_{\Gamma} t}) = \frac{N_{\Gamma} \gamma_{\Gamma} z_{\Gamma}^2}{2G_{\Gamma} K_{\Gamma}} (1 - e^{-\psi_{\Gamma} t}). \quad (7)$$

Выполним пример расчета этой температуры при: начальной скорости торможения $V = 100$ км/ч; $K = 8,5$ тс; $N_T = 50,64$ ккал/с, $N_{\Gamma} = 0,41 N_T = 20,8$ ккал/с; $t_T = 40$ с; $C_{\Gamma} = 0,114$ ккал/кг $^{\circ}C$ (значение теплоемкости) и $K_{\Gamma} = 40,7$ ккал/м ч $^{\circ}C$ (коэффициент теплопроводности); $G_{\Gamma} = 20$ кг; $\gamma_{\Gamma} = 7860$ кг/м³ (значение плотности); $z_1 = 0,025$ м. При этих данных получим

$$\psi_{\Gamma} = \frac{2 \cdot 40,7}{0,114 \cdot 7860 \cdot 0,025^2} = 145,4 \frac{1}{ч}$$

$$\psi_{\Gamma} t_T = 145,4 \frac{40}{3600} = 1,616, \quad e^{-\psi_{\Gamma} t_T} = 0,199$$

$$T_{\Gamma}(t_T) = \frac{20,8 \cdot 3600 \cdot 7860 \cdot 0,025^2}{2 \cdot 20 \cdot 40,7} (1 - 0,199) = 181^{\circ} C.$$

В интервале времени между очередными циклами торможений интенсивность снижения температуры только для материала модели гребня бандажа будет характеризоваться функцией $T_{\Gamma} e^{-\psi_{\Gamma} t_0}$ и через интервал времени $t_0 = 60$ с до следующего цикла торможения составит

$$T_{\Gamma} e^{-\psi_{\Gamma} t_0} = T_{\Gamma} e^{-2,42} \approx 0,09 T_{\Gamma}$$

С учетом температуры окружающего воздуха в условиях АО “Узбекистон темир йуллари” средняя температура гребня при торможении составит $T_{\Gamma} = 200^{\circ} C$.

Использованные источники:

1. Лужнов, Ю. М. Причины интенсивного износа колес и рельсов на железных дорогах России и пути решения этой проблемы // Передовые технологии на пороге XXI века: тезисы докл. междунар. конф. / НИЦ «Инженер». – М., 1998. – С. 7 – 12.
2. Моделирование импульсного динамического и теплового нагружения материала колесных пар локомотивов / А. Д. Глущенко, Ш. С. Файзибаев. – Ташкент: Фан, 2002. – 194 с.
3. Подвижной состав и основы тяги поездов: [Учеб. для техникумов ж.-д. трансп. / П. И. Борцов, М. Г. Наливкин, Л. И. Менжинский и др.]; Под ред. С. И. Осипова. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Транспорт, 1990. - 335, [1] с.: ил.; 21 см. - (Сред. спец. образование).; ISBN 5-277-00919-1 (В пер.) : 1 р.
4. Г. Корн Справочник по математике для научных работников и инженеров: Определения, теоремы, формулы / Г. Корн – М.: Книга по Требованию, 2014. – 832 с. ISBN 978-5-458-25439-7