

# ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТОРМОЗОВ АВТОБУСОВ И ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ НА ОСНОВЕ ИХ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЖЕННОСТИ

А. Н. Астапович

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель П. Е. Родзевич

Современные модели автобусов и грузовых автомобилей оснащены барабанными тормозами и дисково-колодочными тормозами со сплошными и вентилируемыми дисками.

Целью работы является сравнительный анализ тепловой нагруженности тормозов автобусов и грузовых автомобилей различных марок и моделей в условиях их экстренного торможения с максимально допустимой скорости и максимально допустимой массы на сухой горизонтальной асфальтовой дороге. Такой анализ позволяет получить информацию о качестве конструкции тормозов и эффективности их работы.

Для сравнительной оценки тормозов автобусов и грузовых автомобилей принимаем к расчету наиболее распространенные марки, на которых установлены тормоза как барабанного типа, так и дисково-колодочные со сплошным и вентилируемым диском.

При сравнительной оценке будем считать, что кинетическая энергия движущегося автомобиля в режиме экстренного торможения распределяется равномерно на каждую ось.

Оценку тормозов проводим по величине средних приращений температур, возникающих на поверхности трения фрикционная накладка - барабан (диск). Тепловую задачу рассматриваем как одномерную, без учета теплоотдачи в окружающую среду.

Выявление качества непосредственно конструкции тормоза можно проводить, задаваясь одинаковым сочетанием материалов трущихся пар. Будем считать, что в качестве фрикционного материала накладок используется безасбестовая композиция, имеющая следующие теплофизические свойства:

$$\lambda_1 = 0,96 \text{ Вт/мК}, c_1 = 1200 \text{ Дж/кгК}, \rho_1 = 2000 \text{ кг/м}^3, a_1 = 4,0 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Теплофизические свойства контртела (барабана, диска):

$$\lambda_2 = 30 \text{ Вт/мК}, c_2 = 540 \text{ Дж/кгК}, \rho_2 = 7300 \text{ кг/м}^3, a_2 = 7,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Приращения температур в барабане (диске) с учетом теплоотдачи в окружающую среду равны:

$$\vartheta_2(0, Fo_2) - \vartheta_0 = \frac{(1 - \alpha_T) K_{\text{вз}} q_0 h_2}{\lambda_2} \Theta'_2(0, Fo_2) - \frac{(1 - \alpha_T) K_{\text{вз}} q_0 h_2^3}{t_T \lambda_2 a_2} \Theta''_2(0, Fo_2),$$

где  $\vartheta_2$  – температура барабана;  $\vartheta_0$  – начальная температура;  $\alpha_T$  – коэффициент распределения тепловых потоков.

$$\alpha_T = \frac{K_{\text{вз}} \cdot \sqrt{\lambda_1 \cdot c_1 \cdot \rho_1}}{K_{\text{вз}} \cdot \sqrt{\lambda_1 \cdot c_1 \cdot \rho_1} + \sqrt{\lambda_2 \cdot c_2 \cdot \rho_2}},$$

где  $K_{\text{вз}} = \frac{A_{a_1}}{A_{a_2}}$  – коэффициент взаимного перекрытия трущихся пар;  $A_{a_1}$ ,  $A_{a_2}$  – площадь накладки и дорожки трения, соответственно;  $q_0$  – начальная интенсивность фрикционного тепловыделения.

$$q_0 = \frac{k_2 m_n v_0^3}{8 A_{a_1} S_T},$$

где  $m_n$  – полная масса автобуса;  $v_0$  – начальная скорость торможения;  $t_T$  – полное время торможения;  $S_T$  – тормозной путь;

$$\Theta'_2(0, Fo_2) = Fo_2 + \frac{1}{3} + \sum A'_n \cos \mu_n \times \exp(-\mu_n^2 Fo_2);$$

$$\Theta''_2(0, Fo_2) = \frac{Fo_2^2}{2} + \frac{Fo_2}{3} - \frac{1}{45} - \sum_{n=1}^{\infty} A''_n \cos \mu_n \times \exp(-\mu_n^2 Fo_2)$$

$$Fo_2 = \frac{a_2 t}{h_2^2}, \mu_n = n\pi, A'_n = (-1)^{n+1} \frac{2}{\mu_n^2}, A''_n = (-1)^{n+1} \frac{2}{\mu_n^4}, t - \text{время.}$$

Средние приращения температур на поверхностях трения зависят от кинетической энергии движущихся автомобилей, особенностей конструкции тормозов и времени торможения.

Выразив из формулы приращения температур в барабане параметр  $K_{\text{вз}}$ , можно, задаваясь максимальной температурой трущихся пар, определить относительные геометрические параметры фрикционной накладки и дорожки трения барабана; (диска):

$$K_{\text{вз}} = \frac{(\vartheta_2(0, Fo_2) - \vartheta_0) \lambda_2}{(1 - \alpha_T) q_0 h_2 \left[ \Theta'_2(0, Fo_2) - \frac{h_2^2}{t_T a_2} \Theta''_2(0, Fo_2) \right]}$$

Таблица 1

## Сравнительная характеристика тормозов автобусов

| Марка автобуса        | $t_f, c$ | $S_f, m$ | $A_{a1}, cm^2$ | $A_{a2}, cm^2$ | $K_{вз}$ | $\alpha_f$ | $ \theta_1(\Delta F \theta) - \theta_{1max} , K$ |
|-----------------------|----------|----------|----------------|----------------|----------|------------|--|
| МАЗ-103               | 4,05     | 56,2     | 814            | 2834           | 0,575    | 0,047      | 276  |
| - 151                 | 5,26     | 95,0     | 532            | 2834           | 0,575    | 0,047      | 409  |
| ПАЗ-5269              | 3,64     | 45,5     | 532            | 1759           | 0,605    | 0,049      | 399  |
| - 5272                | 3,64     | 45,5     | 693            | 1759           | 0,605    | 0,049      | 379  |
| ЛАЗ 4207              | 4,05     | 56,2     | 693            | 2318           | 0,598    | 0,049      | 252  |
| - 5207                | 4,45     | 68,0     | 693            | 2318           | 0,598    | 0,049      | 324  |
| - 695Н                | 3,48     | 41,5     | 693            | 2318           | 0,598    | 0,049      | 166  |
| - 699 Р               | 4,05     | 56,2     | 693            | 2318           | 0,598    | 0,049      | 242  |
| - А 141               | 4,05     | 56,2     | 693            | 2318           | 0,598    | 0,049      | 258  |
| - 52523               | 3,64     | 45,5     | 396            | 2318           | 0,598    | 0,049      | 282  |
| IKARUS-260            | 3,24     | 36,0     | 396            | 1847           | 0,429    | 0,036      | 273  |
| - 263                 | 4,45     | 68,0     | 396            | 1847           | 0,429    | 0,036      | 494  |
| - 365                 | 4,45     | 68,0     | 396            | 1847           | 0,429    | 0,036      | 428  |
| MERCEDES<br>BENZ O350 | 4,85     | 80,9     | 200            | 1433           | 0,14     | 0,012      | 379  |
| - 302С                | 4,45     | 68,0     | 592            | 2061           | 0,575    | 0,047      | 425  |

Максимальные температуры трения возникают в тормозах автобусов марки IKARUS.

Зависимость приращений температур в тормозах автобусов Mercedes Benz носит экстремальный характер. Но если в случае дисково-колодочного тормоза автобуса Mercedes Benz O350 наибольшие приращения температур достигают 379 К при скорости движения  $V_0 = 120$  км/ч, то в барабанном тормозе автобуса Mercedes Benz 302С приращение температуры достигает 425 К при  $V_0 = 110$  км/ч.

Приращения температур в тормозах автобусов МАЗ и ЛАЗ меньше, чем в тормозах автобусов ПАЗ, что, очевидно, связано с более оптимальной геометрией тормозов. Наиболее теплонагруженными являются тормоза автобусов IKARUS.

На основании теплового расчета тормозов автобусов можно сделать вывод о том, что барабанные тормоза автобусов МАЗ и Mercedes Benz 302С, а также дисково-колодочный тормоз автобуса Mercedes Benz O350 наименее теплонагружены по сравнению с барабанными тормозами автобусов других марок. Следовательно, применение на автобусах дисково-колодочную конструкцию обеспечивает наименьшую тепловую нагруженность тормоза.

Таблица 2

## Сравнительная характеристика тормозов грузовых автомобилей

| Марка автомобиля | $m_a, кг$ | $V_0, км/ч$ | $t_f, c$ | $q_0, Мвт/м^2$ | $\alpha_f$ | $\tau, кН/м^2$ | $A_{a1}, A_{a2}, cm^2$ |          | $K_{вз}$ | $R_a, R, м$ |       | $ \theta_1(\Delta F \theta) - \theta_{1max} , K$ |
|------------------|-----------|-------------|----------|----------------|------------|----------------|------------------------|----------|----------|-------------|-------|--|
|                  |           |             |          |                |            |                | $A_{a1}$               | $A_{a2}$ |          | $R_a$       | $R$   |  |
| ГАЗ-66           | 5770      | 90          | 3,64     | 4,183          | 0,051      | 477            | 296                    | 955      | 0,620    | 0,542       | 0,190 | 231  |
| ЗИЛ-431410       | 10400     | 90          | 3,64     | 7,791          | 0,050      | 757            | 280                    | 924      | 0,606    | 0,510       | 0,210 | 429  |
| КамАЗ-5325       | 19000     | 100         | 4,04     | 8,516          | 0,049      | 828            | 532                    | 1759     | 0,605    | 0,540       | 0,200 | 481  |

Окончание табл. 2

| Марка<br>автомобиля   | $m_n$ ,<br>кг | $V_0$ ,<br>км/ч | $t_T$ , с | $q_0$ ,<br>МВт/м <sup>2</sup> | $\alpha_T$ | $\tau$ ,<br>кН/м <sup>2</sup> | $A_{s1}$        | $A_{s2}$ | $K_{83}$ | $R_s$ | $R$   | $[S_1(0, F_0) - S_1]_{\text{длина}}$<br>К |
|-----------------------|---------------|-----------------|-----------|-------------------------------|------------|-------------------------------|-----------------|----------|----------|-------|-------|---|
|                       |               |                 |           |                               |            |                               | см <sup>2</sup> |          |          | м     |       |   |
| КрАЗ-250              | 24000         | 75              | 3,03      | 7,477                         | 0,051      | 881                           | 410             | 1319     | 0,621    | 0,540 | 0,220 | 360                                       |
| УРАЛ-43<br>20-01      | 13325         | 85              | 3,44      | 3,751                         | 0,050      | 477                           | 480             | 1583     | 0,606    | 0,630 | 0,210 | 196                                       |
| МАЗ-64226             | 24000         | 100             | 4,04      | 3,688                         | 0,048      | 341                           | 624             | 2111     | 0,591    | 0,540 | 0,210 | 203                                       |
| IVECO 190             | 17500         | 100             | 4,04      | 1,970                         | 0,053      | 181                           | 847             | 261      | 0,649    | 0,540 | 0,211 | 119                                       |
| MERCEDES<br>BENZ 1735 | 17000         | 100             | 4,04      | 1,798                         | 0,052      | 170                           | 902             | 2834     | 0,637    | 0,560 | 0,205 | 107                                       |

Из данных, приведенных в табл. 2, видно, что наибольшие приращения температур в зоне контакта фрикционная колодка-барабан (диск) наблюдаются в тормозах автомобиля КамАЗ-5325. Это объясняется неудовлетворительным выбором геометрических параметров тормоза, в частности, малой площадью фрикционной колодки.

Наименьшие значения максимального приращения температуры и удельной силы трения, равные соответственно 119 К и 181 кН/м<sup>2</sup> наблюдаются в тормозах автопоезда IVECO 190 36 РТ с трехосным полуприцепом. Этот автопоезд имеет сравнительно небольшую полную массу и оснащен десятью тормозами. Несколько большая теплонагруженность тормозов в автопоезде МАЗ-64226 с двухосным полуприцепом. Этот автопоезд обладает большей грузоподъемностью и также оборудован десятью тормозами.

Минимальные значения приращений температур наблюдаются в тормозе автомобилей Mercedes Benz 1735. Здесь этот эффект достигается за счет оптимального подбора геометрических параметров тормоза.

В процессе торможения грузовых автомобилей ГАЗ-66 и УРАЛ-4320-01 средние приращения температур в зоне контакта фрикционная накладка-барабан не превышают 230 К.

По мере возрастания удельной силы трения повышается и тепловая нагруженность тормозов. Наибольшие средние приращения температур, равные 481 К, в режиме экстренного торможения со скорости 100 км/ч возникают на поверхности трения тормоза автомобиля КамАЗ-5325, имеющего относительно большую полную массу  $m_n = 19000$  кг.

#### Литература

1. Балакин, В. А. Тепловые расчеты тормозов и узлов трения / В. А. Балакин, В. П. Сергиенко. – Гомель : ИММС НАН Республики Беларусь, 1999.
2. Сравнительный анализ тормозов грузовых автомобилей / В. А. Балакин [и др.] // Трение и износ. – 2001. – Т. 22, № 2. – С. 123–127.
3. Балакин, В. А. Тепловая нагруженность тормозов с учетом сил инерции / В. А. Балакин, В. П. Сергиенко, П. Е. Родзевич // Трение и износ. – 2000. – Т. 21, № 6.