

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ТОРМОЗОВ АВТОМОБИЛЕЙ В РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Ю. В. Сидамонидзе

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

Научный руководитель П. Е. Родзевич

Последние модели современных легковых автомобилей оборудуются дисково-колодочными тормозами с вентилируемым диском (AUDI 100 2.0ie, ГАЗ 3110, PEUGEOT 605 и др.). Представляет интерес исследование теплового режима работы вентилируемых тормозов различных конструкций при экстренном торможении со скорости 90 км/ч с учетом теплоотдачи в окружающую среду, а также в условиях конвективного охлаждения.

Для сравнительной оценки конструктивных особенностей тормозов будем считать, что фрикционные накладки и соответственно диски (барабаны) изготовлены из одних и тех же материалов. Фрикционные накладки изготовлены из безасбестового композита со следующими теплофизическими свойствами:

$$\lambda_1 = 0,42 \text{ Вт/мК}, \quad c_1 = 800 \text{ Дж/кгК}, \quad \rho_1 = 2600 \text{ кг/м}^3, \quad a_1 = 2,0 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Диск (барабан) – из высокопрочного чугуна ($\lambda_2 = 30 \text{ Вт/мК}$, $c_2 = 540 \text{ Дж/кгК}$, $\rho_2 = 7300 \text{ кг/м}^3$, $a_2 = 7,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$).

Оценку тормозов будем проводить по величине средних приращений температур, возникающих в зоне контакта *фрикционная накладка–диск*.

Тепловую задачу рассматриваем с учетом теплоотдачи в окружающую среду со стороны $z_2 = h_2$.

Коэффициент теплоотдачи со стороны дорожки трения может быть подсчитан по эмпирической формуле

$$\alpha' = 16,7(1 + 0,6\sqrt{v}), \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

В вентилируемом тормозе поверхность $z_2 = h_2$ рифленая, поэтому $\alpha'' > \alpha'$. В первом приближении будем считать, что $\alpha'' = 2\alpha'$. В дальнейших расчетах будем пользоваться средним значением $\alpha''_{\text{cp}} = \text{const}$.

Тепловой расчет тормозов проводим по методике, изложенной в работе [1]: вычисляем тормозные пути, полное время торможения, кинетическую энергию движущегося автомобиля, начальную интенсивность фрикционного тепловыделения.

Приращение температуры на поверхности трения определяем по формуле [1]:

$$\vartheta_2(0, Fo_2) - \vartheta_0 = \frac{(1 - \alpha_T) q_0 K_{\text{вз}} h_2}{\lambda_2} \Theta_2'''(0, Fo_2) - \frac{(1 - \alpha_T) q_0 K_{\text{вз}} h_2^3}{t_T \lambda_2 a_2} \Theta_2''(0, Fo_2),$$

где

$$\Theta_2'''(0, Fo_2) = 1 + \frac{1}{Bi_2} - \sum_{n=1}^{\infty} A_n''' \times \exp(-\mu_n^2 Fo_2),$$

$$\Theta_2''(0, Fo_2) = \frac{Fo_2^2}{2} + \frac{Fo_2}{3} - \frac{1}{45} - \sum_{n=1}^{\infty} A_n'' \times \exp(-\mu_n^2 Fo_2), \quad \mu_n = n\pi,$$

$$Fo_2 = \frac{a_2 t}{h_2^2}, \quad Bi_2 = \frac{\alpha'' h_2}{\lambda_2}, \quad \text{ctg} \mu_n = \frac{1}{Bi_2} \mu_n, \quad A_n''' = \frac{2(\mu_n^2 + Bi_2^2)}{\mu_n^2(\mu_n^2 + Bi_2^2 + Bi_2)}, \quad A_n'' = (-1)^{n+1} \frac{2}{\mu_n^4}.$$

Данные о значениях полных масс автомобилей разных марок, геометрических характеристиках вентилируемых тормозов, а также о максимальных приращениях средних температур поверхностей трения за текущее время торможения t при начальной скорости торможения 90 км/ч на сухой асфальтовой дороге приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Сравнительная характеристика вентилируемых тормозов
легковых автомобилей**

| Марка автомобиля | m_n , кг | h_2 , мм | D_2 , мм | A_{a_1} , см ² | A_{a_2} , см ² | $K_{вз}$ | α_T | $[\vartheta_2(0,t) - \vartheta_0]_{\max}$, К |
|----------------------------|---------------|---------------|---------------|--------------------------------|--------------------------------|----------|------------|---|
| | | | | | | | | v_0 , км/ч |
| | | | | | | | | 90 |
| AUDI 100 2.0ie | 1800 | 6,5 | 256 | 50 | 314 | 0,159 | 0,014 | 114 |
| BMW 320i | 1800 | 6 | 256 | 40 | 324 | 0,123 | 0,011 | 104 |
| MITSUBISHI TD1.8 | 1700 | 6 | 250 | 45 | 274 | 0,164 | 0,014 | 116 |
| PEUGEOT 605 | 1650 | 6 | 276 | 40 | 355 | 0,113 | 0,001 | 87 |
| VOLKSWAGEN PASSAT D 1.9 | 1700 | 6,5 | 256 | 40 | 271 | 0,148 | 0,013 | 125 |
| ГАЗ 3110 | 1850 | 6 | 280 | 45 | 361 | 0,125 | 0,011 | 96 |

На рис. 1 приведены зависимости приращений температур $\vartheta_2(0, Fo_2) - \vartheta_0$ от текущего времени t в передних вентилируемых тормозах автомобилей.

Приращение температуры
 $\vartheta_2(0, Fo_2) - \vartheta_0$, К

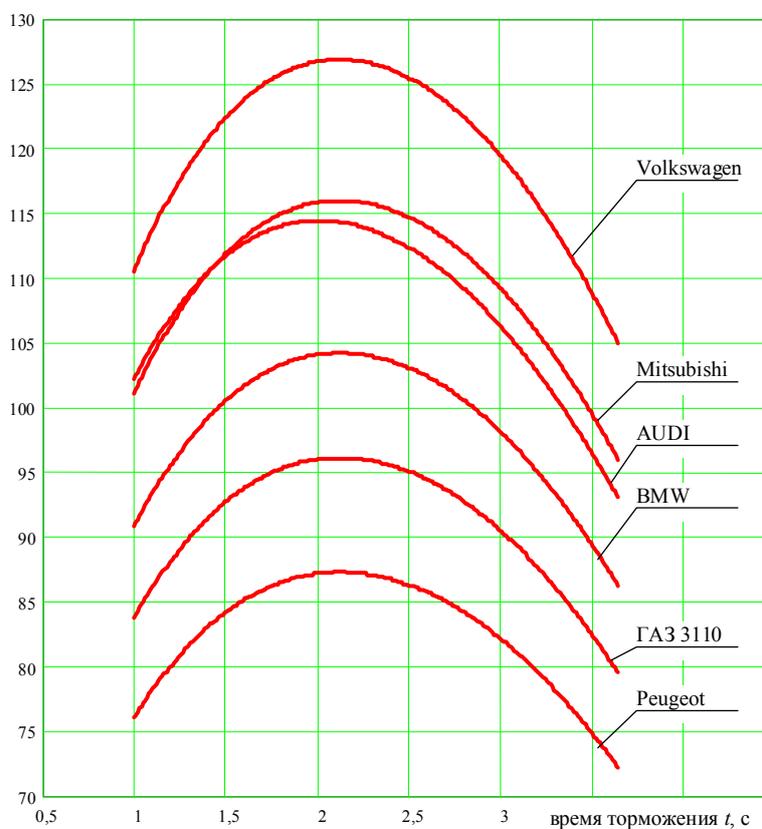


Рис. 1. Тепловая нагруженность вентилируемых тормозов легковых автомобилей при экстренном торможении со скорости 90 км/ч

Минимальные значения приращений температур наблюдаются в тормозах автомобилей PEUGEOT 605 и ГАЗ 3110. В автомобиле PEUGEOT 605 этот эффект достигается за счет относительно малой полной массы. В автомобиле ГАЗ 3110 – за счет оптимального подбора геометрических параметров тормоза. Наибольшие приращения температур – у тормозов автомобилей MITSUBISHI TD1.8 и VOLKSWAGEN PASSAT D 1.9. Это объясняется сравнительно большим коэффициентом взаимного перекрытия трущихся пар, а также малыми значениями номинальной площади дорожки трения A_{a_2} .

При выключенном тормозе процесс охлаждения диска проходит в условиях вынужденной конвекции. Для расчета процесса конвективного охлаждения воспользуемся формулой [1]:

$$\vartheta_2(1, Fo_2) - \vartheta_c = \Theta_2^{''''}(\vartheta_{2cp} - \vartheta_c),$$

где

$$\Theta_2^{''''}(\eta_2, Fo_2) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n^{''''} \cos[\mu_n(1 - \eta_2)] \exp(-\mu_n^2 Fo_2),$$

$$\operatorname{ctg} \mu_n = \frac{1}{Bi_2} \mu_n, \quad A_n^{''''} = (-1)^{n+1} \frac{2 \cdot Bi_2 \sqrt{\mu_n^2 + Bi_2^2}}{\mu_n (\mu_n^2 + Bi_2^2 + Bi_2)}, \quad Fo_2 = \frac{a_2 t}{h_2^2}, \quad Bi_2 = \frac{\alpha' h_2}{\lambda_2}, \quad \eta_2 = \frac{z_2}{h_2}.$$

Проведен расчет конвективного охлаждения диска тормозов автомобилей BMW 320i, PEUGEOT 605, VOLKSWAGEN PASSAT D 1.9, ГАЗ 3110. Результаты расчетов сводим в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительная оценка приращения температур в тормозах при конвективном охлаждении

| Марка автомобиля | $\vartheta_2(1, Fo_2), \text{ К}$ | | | | | | | |
|-------------------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | $t, \text{ с}$ | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 5 | 7 | 10 | 12 | 16 |
| BMW 320i | 123,1 | 122,2 | 121,3 | 119,6 | 117,9 | 115,5 | 113,9 | 110,9 |
| PEUGEOT 605 | 106,1 | 105,2 | 104,3 | 102,6 | 100, | 98,5 | 96,9 | 94,1 |
| VOLKSWAGEN PASSAT D 1.9 | 144,1 | 143,1 | 142,2 | 140,3 | 138,6 | 135,9 | 134,3 | 131,1 |
| ГАЗ 3110 | 115,1 | 114,2 | 113,3 | 111,6 | 109,9 | 107,5 | 105,9 | 102,9 |

Из табл. 2 видно, что к 16-й секунде приращение температуры поверхности трения диска автомобилей BMW 320i, PEUGEOT 605, VOLKSWAGEN PASSAT D 1.9, ГАЗ 3110 снизилось на 10, 12, 9 и 11 % соответственно. Процесс конвективного охлаждения дисков усилится, если автомобиль снова начнет двигаться, так как коэффициент теплоотдачи зависит от скорости.

Литература

1. Балакин, В. А. Тепловые расчеты тормозов и узлов трения / В. А. Балакин, В. П. Сергиенко. – Гомель : ИММС НАН Республики Беларусь, 1999.
2. 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.
3. Балакин, В. А. Сравнительный анализ дисково-колодочных тормозов легковых автомобилей / В. А. Балакин, В. П. Сергиенко, П. Е. Родзевич // Трение и износ. – 2000. – № 4. – С. 408–413.
4. Сравнительный анализ тормозов грузовых автомобилей / В. А. Балакин [и др.] // Трение и износ. – 2001. – № 2. – С. 123–127.