УДК 629.113 https://doi.org/10.26160/2542-0127-2026-18-129-132

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ТОРМОЗНЫХ МЕХАНИЗМОВ КОЛЕСНОЙ МАШИНЫ

Акимов В.Д., Чабунин И.С.
Московское гвардейское высшее общевойсковое командное училище, Москва

Ключевые слова: тормозные механизмы, тепловой режим, колесная машина, работа тормозных механизмов, нагрев тормозных механизмов.
Аннотация. В статье исследуется вопрос влияния силовых факторов, действующих в процессе торможения колесной машины, на величину работы, совершаемой тормозными механизмами, а, следовательно, и на их тепловой режим. От результатов расчетов этого режима зависит надежность работы элементов тормозных механизмов, а, следовательно, и безопасность движения машины. На основании полученных результатов расчетов сделаны выводы о целесообразности учета каждого силового фактора.

A THERMAL MODE OF THE BRAKE MECHANISMS OF A WHEELED VEHICLE

Akimov V.D., Chabunin I.S.
Moscow guard higher military command school, Moscow

Keywords: braking mechanisms, thermal mode, wheeled vehicle, operation of braking mechanisms, heating of braking mechanisms.
Abstract. The article examines the influence of the force factors acting during the braking process of a wheeled vehicle on the amount of work performed by the braking mechanisms, and consequently on their thermal mode. The reliability of the brake mechanism components, and consequently the safety of the vehicle’s movement, depends on the results of calculations of this mode. Based on the obtained calculation results, conclusions are drawn regarding the feasibility of taking each force factor into account.

Способность мобильной машины быстро снижать скорость и останавливаться является критически важной для обеспечения безопасности её движения. Для этого в конструкции предусмотрена тормозная система, которая в общем случае состоит из тормозных механизмов, тормозного привода, источника энергии.

Как известно, основными показателями тормозной динамики являются путь торможения, т.е. расстояние, которое машина проходит с момента начала торможения до полной остановки; величина замедления; а также время торможения – время от начала до окончания торможения. Естественно, что эти показатели взаимосвязаны. При этом самым важным является величина тормозного пути, от которого, в основном, зависят последствия экстренного торможения в аварийной ситуации.

Нормативы эффективности торможения колесных транспортных средств – усилие на органе управления, тормозной путь, установившееся замедление, время срабатывания тормозной системы зависят от категории колёсного транспортного средства и содержатся в ГОСТ [1].

При торможении нужно как можно эффективнее уменьшить кинетическую энергию движущегося транспортного средства. Эта энергия должна перейти в тепло за счёт трения между фрикционными элементами (колодками и диском/барабаном). Однако здесь возникает серьезная проблема с теплоотводом от зон трения, чреватая снижением коэффициента трения, а следовательно, увеличением тормозного пути, возникновением трещин, коробления, изменением структуры материалов элементов тормозных механизмов, закипанием тормозной жидкости. «После постоянных циклических термических нагрузок, превышающих допустимые температуры, на рабочих поверхностях тормозного диска могут образовываться трещины» [2]. Это особенно актуально при агрессивном стиле езды, торможении на длительных спусках, спортивных соревнованиях.

В этой связи исследование теплового режима тормозных механизмов – актуальная задача.

Как правило, количество теплоты Q, выделяемой в тормозных механизмах за одно торможение, определяют через уменьшение кинетической энергии автомобиля:

$$\Delta E_к = \frac{m_a}{2}\left(v_0^2 - v_к^2\right),$$

где m_a – масса машины; v_0 – начальная скорость торможения; $v_к$ – конечная скорость.

Однако в процесс торможения свой вклад вносят не только тормозные механизмы, но и вращающиеся части двигателя внутреннего сгорания, элементов трансмиссии, сопротивление воздуха, сопротивление качению и др. Можно ли ими пренебрегать?

Пусть, например, автомобиль полной массой 1,5 т, двигаясь со скоростью 120 км/ч, начал торможение с замедлением a = 5 м/с^2 до полной остановки. Тогда

$$\Delta E_к = \frac{1500}{2}\left(\left(\frac{120}{3{,}6}\right)^2 - 0^2\right) = 833{,}3\,\text{кДж}.$$

Время торможения составит

$$t_т = \frac{v_0 - v_к}{a} = \frac{\frac{120}{3{,}6} - 0}{5} = 6{,}67\,\text{с}.$$

Тогда мощность $P = \frac{833{,}3}{6{,}67} = 124{,}93\,\text{кВт}$.

Однако это средняя мощность. В разные отрезки времени мощность будет иметь различные значения, уменьшаясь от 249,87 кВт в начале торможения при максимальной скорости движения до 0 кВт в момент остановки.

Рассмотрим, какое влияние на тормозную динамику оказывают не только сила инерции движущейся машины, но и силы сопротивления воздушной среды и сопротивления качению колес в сборе с пневматическими шинами. Пусть сила сопротивления воздуха определяется по выражению: $F_w = c_w v^2$, где c_w – коэффициент пропорциональности, v – скорость. Примем для определённости коэффициент $c_w = 1{,}2$ кг/м. Сила сопротивления качению $F_c \approx f m_a g$, где f –

коэффициент сопротивления качению; g – ускорение свободного падения. Ориентировочно $f = f_0\left(1+(0{,}0216v)^2\right)$ [3], где f_0 – коэффициент сопротивления качению колёс при малых скоростях. Примем $f_0 = 0{,}018$. Также примем, что торможение осуществляется только при помощи тормозных механизмов, с отключенным двигателем, т.е. при коэффициенте приведенной массы [3], близким к 1.

Работа сил трения в тормозных механизмах за элементарный отрезок времени определится как произведение силы $F = m_a a - F_w - F_c$ на среднюю скорость за этот отрезок времени.

На рисунке 1 сплошной линией показана работа сил трения в тормозных механизмах соответственно с учётом всех трёх сил, штриховой – с учётом только одной силы инерции. По оси абсцисс – время торможения *t*, с, по оси ординат – работа сил трения в тормозных механизмах *A*, кДж. Как видно из рисунка 1, две последние силы могут уменьшить работу тормозных механизмов более чем на 15%.

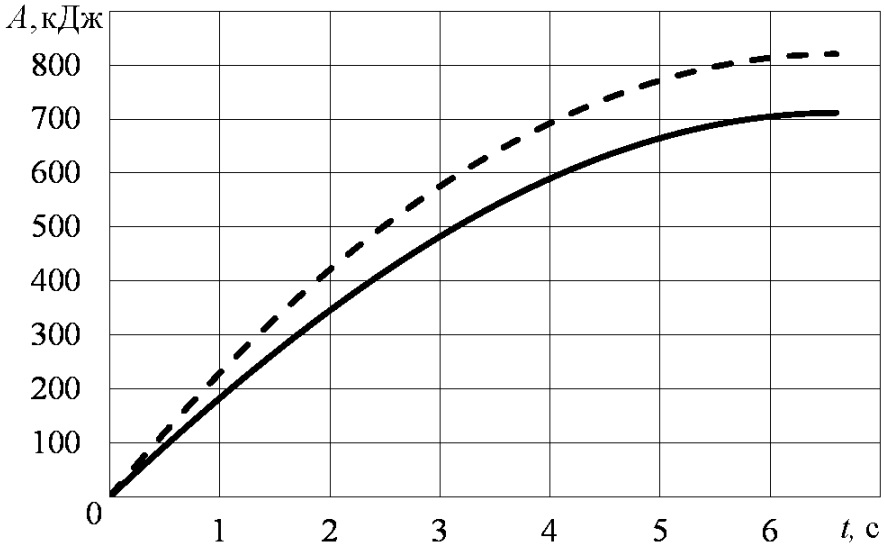


Рис. 1. Работа сил трения в тормозных механизмах

Для температуры нагрева элементов тормозных механизмов воспользуемся формулой: $\Delta T = \dfrac{Q_{\text{т.м.}}}{c \cdot m}$, где $Q_{\text{т.м.}}$ – теплота, переданная элементам тормозного механизма; c – удельная теплоемкость материала; m – масса нагреваемых элементов. Примем, что $m = 1{,}5$ кг, на передние колеса с учётом перераспределения нагрузок приходится 70% от всей нагрузки на колеса, и между левым и правым колесами она распределена поровну. Для чугуна $c \approx 540 \dfrac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}}$. С учетом этого на рисунке 2 представлены результаты расчётов – изменение температуры ΔT, °С: сплошной линией – с учётом действия всех трёх сил, штриховой – только силы инерции. Расхождение также превышает 15% и это без учёта отвода теплоты, которое при таких больших скоростях может быть существенным.

Величина расхождения от влияния перечисленных сил может быть различной в зависимости от начальных условий и режима торможения колесной машины.

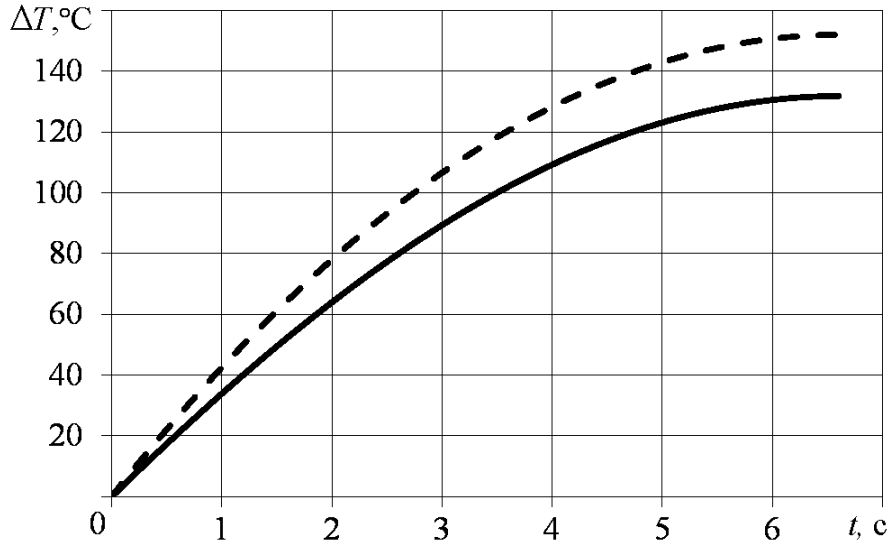


Рис. 2. Нагрев элементов тормозных механизмов

Тем не менее, при исследовании теплового режима тормозных механизмов колесной машины целесообразно учитывать силовые факторы, действующие на нее в процессе торможения.

Список литературы

1. ГОСТ 33997-2016. Колесные транспортные средства. Требования к безопасности в эксплуатации и методы проверки.
2. Поляков П.А., Тагиев Р.С., Федотов Е.С., Полякова Е.А., Москаленко М.Б. Разработка тепловой модели тормозного диска фрикционного узла // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2020. – №24(1). – С. 64-76.
3. Тарасик В.П. Теория движения автомобиля: Учебник для вузов. – СПб: БХВ-Петербург, 2006. – 478 с.

Сведения об авторах:
Акимов Владислав Дмитриевич – обучающийся;
Чабунин Игорь Сергеевич – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой общепрофессиональных дисциплин.