

АНАЛИЗ ТЯГОВЫХ И ТОРМОЗНЫХ СВОЙСТВ АВТОМОБИЛЕЙ

Дорохин С.В., Скворцова Т.В., Логачев В.Н., Губарев В.Ю.

ФГБОУ ВПО Воронежская государственная лесотехническая академия (394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8) rivelenasoul@mail.ru

Благоприятное разрешение противоречие «скорость–опасность» зависит от совершенства ряда компонентов, которые образуют процесс дорожного движения: транспортных средств, дорожных условий, от подготовленности и дисциплинированности водителей, от качества управления дорожным движением, а также ряда конструктивных особенностей автомобилей; качества тормозной системы, от устойчивости автомобилей и других причин, которые позволяют разрешить эти противоречия за счет их совершенства и периодического контроля. Проведенные исследования показали, что за счет возрастания насосных потерь в цилиндре создается значительное разрежение, нарушается процесс горения, уменьшается индикаторный коэффициент полезного действия, и частота вращения коленчатого вала падает. В дизельных двигателях регулятор числа оборотов в это время перемещает рейку топливного насоса в сторону увеличения цикловой подачи, как бы стараясь придержать падение числа оборотов, и имитирует тем самым нагрузку (увеличивает расход топлива до максимума) дизеля. Для карбюраторных двигателей повышенное разрежение в цилиндрах на несколько секунд создает большее поступление топлива из карбюратора. Все это требует в начале большей затраты дополнительного тормозного усилия и приводит к усиленному нагреву и неэффективному изнашиванию трущихся поверхностей тормозов и шины.

Ключевые слова: разгон, торможение, безопасность движения, тормозной путь, остановочный путь, накат, замедление, мощность.

ANALYSIS OF BRAKING AND TRACTION PROPERTIES CARS

Dorokhin S.V., Skvortsova T.V., Logachev V.N., Gubarev V.Y.

Voronezh State Academy of Forestry Engineering and Technologies (394087, Voronezh, street Timiryazeva, 8) rivelenasoul@mail.ru

Favorable resolution of conflict " speed - risk " depends on the perfection of a number of components that constitute the process of traffic : vehicles, road conditions, the level of preparation and discipline of the drivers , the quality of traffic control, as well as some design features of cars , the quality of the brake system, from stability of cars and other reasons, which allow to resolve these contradictions by their perfection and periodic monitoring. Studies have shown that by increasing the pumping losses in the cylinder, a substantial depression, disrupted the process of combustion, indicating reduced efficiency and the engine speed drops. In diesel engines, speed controller at this time transporting rail fuel pump upward cycle supply, as if trying to hold the drop in the number of turns and thus simulates the load (increase fuel consumption to high) diesel. For gasoline engines high vacuum in the cylinders for a few seconds creates a greater flow of fuel from the carburetor. All this requires a greater expenditure in the early additional braking force and leads to increased heat and wear of rubbing surfaces inefficient brakes and tires.

Keywords: acceleration, braking, safety, braking distance , stopping distance, roll, slowing power .

Введение. Тяговые и тормозные свойства автомобиля тесно связаны между собой. Чем больше мощность двигателя, тем больше при необходимости можно создать тяговое усилие на ведущих колесах и улучшить разгонное качество автомобиля. Это требует во всевозрастающем транспортном потоке уделять большое внимание обеспечению безопасности движения, а, следовательно, улучшить тормозные свойства автомобилей.

Торможение автомобиля – основное средство предотвращения ДТП, поэтому оно имеет важнейшее значение для безопасности движения.

Основными измерителями тормозных свойств автомобиля являются максимальное замедление при торможении ($j_{3\max}$) и тормозной путь ($S_{\text{тор}}$).

Величины замедления можно представить в виде [1] :

$$j_3 = -j = \varphi_x q, \quad (1)$$

где j – ускорение автомобиля (знак минус указывает на то, что происходит замедление движения); φ_x – коэффициент продольного сцепления шин с дорогой; q – ускорение силы тяжести.

Полагая $q \approx 10 \text{ м/с}^2$, можно считать, что при экстренном торможении автомобилей всех моделей на сухом асфальтобетоне максимальное замедление будет порядка $j_3 = 7,5 \dots 8 \text{ м/с}^2$. В условиях эксплуатации, чтобы избежать повышенного износа тормозов и шин, при служебном торможении, замедление не создает больше $1,5 \dots 2,5 \text{ м/с}^2$.

При торможении автомобиля с целью уменьшения скорости путь можно определить следующей формулой [1,6]:

$$S_{\text{тор}} = \left(v_{\text{н}}^2 - v_{\text{к}}^2 \right) / (2q\varphi_x), \quad (2)$$

где $v_{\text{н}}$ – скорость автомобиля в момент начала торможения; $v_{\text{к}}$ – скорость автомобиля в момент окончания торможения.

Теоретический анализ. Подробно рассмотрим процесс торможения по этим показателям с различными приемами, анализируя при этом различные способы поглощения кинетической энергии.

Известно, что время равномерного движения автомобиля обычно мало по сравнению с общим временем его работы. Автомобили движутся равномерно всего 15...25 времени, от 30 до 45 % времени приходится на ускоренное движение и 30...40 % – движение накатом и торможение. Исходя из этого, для безопасного движения большое значение имеют разгонные и тормозные качества автомобилей. Во время разгона двигатель развивает мощность, близкую к максимальной. Повышение при этом тяговых качеств обеспечивается, прежде всего, за счет возможности использования почти в течение всего процесса разгона максимальной мощности двигателя. Если имеется возможность определить максимальную мощность двигателя без снятия его с автомобиля, тогда при установлении разгонного качества автомобиля целесообразно учитывать максимальную мощность двигателя при данном его техническом состоянии.

При движении накатом двигатель отъединен от трансмиссии, крутящий момент к ведущим колесам не подводится и тяговая сила отсутствует. Поглощение кинетической энергии при этом происходит за счет мощности затрачиваемой на преодоление трения в транс-

миссии и гидравлических потерь. Величина этой мощности незначительна и поэтому замедление происходит очень медленно.

Величина тормозного пути при торможении с максимальной интенсивностью прямо пропорциональна квадрату скорости автомобиля в момент начала торможения. Поэтому при увеличении скорости движения автомобиля величина тормозного пути растет особенно быстро. Следовательно, знание скорости движения автомобиля перед экстренным торможением и мощность, затрачиваемая на торможение, дает возможность раскрыть механизм дорожного происшествия и техническую возможность его предотвращения, а также принять меры предупреждения.

Методика. При выводе формул для пути и времени торможения не учитывалось состояние тормозных механизмов (износ, регулировка, загрязненность), а также несоответствие распределения тормозной силы по колесам. Поэтому фактически минимальный тормозной путь оказывается на 20...40 % больше теоретического [2, 4].

Для учета эксплуатационных условий Д.П. Великанов [1] предложил ввести в формулу торможения коэффициент $K_э$, который учитывает степень использования полной теоретически возможной эффективности действия тормозной системы:

$$S_{\text{тор}} = K_э v_H^2 / (2q\phi_x). \quad (3)$$

Величина коэффициента эффективности торможения $K_э$ в среднем равна 1,2 для легковых автомобилей и 1,4...1,6 для грузовых автомобилей и автобусов.

Величина $S_{\text{тор}}$ учитывает лишь путь, проходимый непосредственно за время полного торможения. Полный (остановочный) путь S_0 , необходимый для остановки автомобиля, больше $S_{\text{тор}}$, так в него входит также путь, проходимый автомобилем за время водителя (t_p) (в течение времени, которое он с момента обнаружения препятствия принимает решение о торможении и переносит ногу с педали управления подачи топлива на педаль тормоза), за время запаздывания срабатывания тормозного привода (t_{np}) (в течение времени, при котором выбирается свободный ход педали тормоза до прижатия тормозных колодок к барабану и возникновения тормозного момента или замедления) и за время постепенного увеличения замедления от нуля (начало действия тормозов) до максимального значения (t_y).

Таким образом, остановочный путь автомобиля складывается из четырех отрезков пути, соответствующих четырех промежутков времени: $S_0 = S_1 + S_2 + S_3 + S_4$. Следовательно, остановочный путь – это расстояние, которое пройдет автомобиль от момента обнаружения водителем опасности до момента остановки автомобиля.

Замедление автомобиля за время t_y изменяется по закону, весьма близкому к линейному. Поэтому можно считать, что за это время автомобиль движется равнозамедленно с замедлением, равным $0,5j_{3\max}$. С учетом этого, остановочный путь можно определить следующим образом:

$$S_o = (t_p + t_{np} + 0,5t_y)v_k + K_{\varepsilon}v_n^2 / (2g\phi_x). \quad (4)$$

Время t_p зависит от индивидуальных особенностей и квалификации водителей и находится в пределах 0,4...1 с. В расчетах обычно принимают $t_p = 0,8$ с. В течение времени t_{np} происходят перемещения всех подвижных деталей тормозного привода. Оно зависит от типа тормозного привода, а также от его технического состояния и находится в пределах 0,2...0,4 с для гидравлического и 0,6...0,8 с – для пневматического приводов. У автопоездов с пневматическим тормозным приводом $t_{np} = 1 \dots 2$ с. С достаточной для практики точностью можно считать, что за время t_{np} автомобиль движется равномерно, сохраняя начальную скорость. Время t_y зависит от эффективности торможения, нагрузки автомобиля, типа и состояния дорожного покрытия. Исходя из этого, при экстренном торможении груженого автомобиля на сухом асфальтобетоне с достаточной точностью можно определить следующей формулой [10]:

$$t_y = 1,4t'_y\phi_x(1 + Q/G_o), \quad (5)$$

где t'_y – время увеличения замедления при экстренном торможении автомобиля без груза в заданных дорожных условиях; G_o – вес автомобиля без груза; Q – вес груза.

Приращение скорости Δv за время t_y можно определить формулой:

$$\Delta v = 0,5j_{3\max}t_y. \quad (6)$$

Следовательно, скорость v' в начале экстренного торможения с замедлением $j_{3\max}$ равна:

$$v' = v' - \Delta v = v - 0,5j_{3\max}t_y. \quad (7)$$

Если же в дальнейшем автомобиль движется равнозамедленно с замедлением $j_{3\max}$ и останавливается в конце торможения, то скорость в течение времени $t_{\text{Тор}}$ уменьшается по линейному закону от значения v' до нуля.

Тогда:

$$v' = j_{3\max} t_{\text{top}} \quad (8)$$

Решая полученное уравнение, относительно времени t_y , получим:

$$t_{\text{top}} = \frac{v'}{j_{3\max}} = \frac{v}{j_{3\max}} - 0,5t_y \quad (9)$$

При «ударном» или быстром нажатии на педаль тормоза значение t_y колеблется в пределах: для гидравлического привода 0,15...0,25 с, а для пневматического привода 0,4...0,8 с. При этом можно считать, что тормозная сила нарастает почти равномерно. Из всех перечисленных величин аналитически определяется лишь t_{top} , а все остальные находятся экспериментально.

Торможение автомобиля с периодическим прекращением действия тормозной системы также является одним из приемов эффективного торможения. Однако этот способ можно рекомендовать только водителям высокой квалификации, так как для того, чтобы удержать колеса автомобиля на грани юза, не допуская их скольжения, необходимы опыт и большое внимание.

Исследованиями установлено, что тормозная мощность двигателя при обычном торможении составляет около 40 % от его эффективной мощности. Тормозная мощность двигателя складывается из затрачиваемых на преодоление сил трения в двигателе механические потери, привод вспомогательных агрегатов двигателя и насосные потери.

Основная часть механических потерь двигателя (50...60 %) составляет трение в поршневой группе, которое в свою очередь состоит от силы трения поршневых колец и трения поршня:

$$P_{\text{пг}} = \Sigma P_{\text{тк}} + P_{\text{п}} \quad (10)$$

Наиболее точно эти силы могут определяться следующими формулами [3, 7]:

$$\Sigma P_{\text{тк}} = 1,13\sqrt{c_m \eta} \left[F_1 \sqrt[3]{\frac{(P_{p1} + 0,15P_{kp})^2}{\rho_1}} + F_2 \sqrt[3]{\frac{(P_{p2} + 0,04P_{kp})^2}{\rho_2}} + F_3 \sqrt[3]{\frac{(P_{p3} + 0,03P_{kp})^2}{\rho_3}} + F_4 \sqrt[3]{\frac{P_{p4}}{\rho_4}} + F_5 \sqrt[3]{\frac{P_{p5}}{\rho_5}} \right]; \quad (11)$$

$$P_{\text{п}} = \sqrt[3]{\frac{(\pi E_n C_m \eta)^2}{\delta}} P_N, \quad (12)$$

Где 1...5 указывает номера колец; P_{cp} – среднее давление колец; P_{p_i} – давление от собственной упругости кольца; F – площадь опорной поверхности кольца; P_N – нормальная сил, действующих на поршень; ρ – радиус закругления кромки кольца.

По мере износа цилиндропоршневой группы давление собственной упругости кольца уменьшается. При износе кольца по радиальной толщине на элементарную величину Δa изменение упругости поршневого кольца [1, 6]:

$$P_p = P_{p_0} \left(1 - \frac{2\pi a + 3\Delta S}{\Delta S} c + \frac{4\pi a + 3\Delta S}{\Delta S} c^2 \right), \quad (13)$$

где ΔS – зазор в стыке кольца; $c = \frac{\Delta a}{a}$ – коэффициент относительного изнашивания; a – радиальная толщина кольца; P_{p_0} – упругость неизношенного кольца.

Толщина поршневых колец и гильзы экспоненциально изменяется по убыванию в процессе эксплуатации:

$$a = a_0 e^{-b^l}, \quad (14)$$

где a_0 – диаметр кольца, гильзы в конце приработки; b – коэффициент интенсификации изнашивания; l – пробег автомобиля.

Практически площадь просвета между кольцом и гильзой пропорционально износу гильзы. Тогда зазор будет равным износу гильзы:

$$\delta = \frac{\Delta d}{2} = \frac{d_0}{2} \left(1 - e^{-b^l} \right). \quad (15)$$

Значительное влияние на тормозной момент двигателя оказывает температура смазавшего масла. Это объясняется температурно-вязкостными свойствами масла и ухудшением условий смазки трущихся поверхностей.

Для определения динамической вязкости масла (η) [3, 8]:

$$\eta^t = \eta_{50} \left[\frac{100}{t_{bc} + t_w + \left(0,013 + 0,07 \frac{P_H}{P_{bc}} \right) + 2n_o + 40} \right]^{2,6}, \quad (16)$$

где t_{bc} и t_w – соответственно температура всасывания воздуха и охлаждавшей воды; P_H и P_{bc} – соответственно давления сжатия и всасывания; η_{50} – вязкость масла при 50°C.

Для обычных двигателей со свободным впуском (без турбонаддува) насосные потери составляют 10...20 % от всех потерь двигателя и имеют место во всех тактах при нормальной работе двигателя кроме рабочего хода. Но в процессе переработки в изношенном двигателе увеличивается прорыв газов в картер за такт сжатия, и снижаются насосные потери. Давление в конце сжатия двигателя с учетом прорыва и без учета прорыва можно определить по следующей формуле:

$$P_c = P_a \epsilon^{n_1}, P_c^o = P_a \epsilon^{n_1^o}, \quad (17)$$

где P_a – давление начала сжатия; n_1 и n_1^o – показатели политропы сжатия соответственно с учетом и без учета прорыва газов.

n_1 находим из следующего формулы:

$$\frac{n_1^o - n_1}{n_1^o} \lg \epsilon + \lg \frac{G_a}{G_e} = 0, \quad (18)$$

где G_a, G_e – соответственно масса заряда в начале и в конце сжатия.

Изменение работы за политропический процесс сжатия будет:

$$\Delta L_{сж} = \frac{P_c^o v_c - P_a v_a}{n_1^o - 1} - \frac{P_c v_c - P_a v_a}{n_1 - 1}, \quad (19)$$

где v_a, v_c – объем заряда в начале и конце сжатия. Изменение насосных потерь в такте всасывания и выпуска зависит от засоренности воздухоочистителя и глушителя и требует более глубокого анализа.

При обеспечении безопасности движения экстренным тормозом совместно рабочим тормозом и двигателем при различных наработках значения указанных сил еще больше изменятся.

Затраты мощности на привод вспомогательных агрегатов растут с ростом числа оборотов по степенному закону и изменение значения по технической причине подменяется аналитической зависимостью.

Вывод. Чем больше разгоняется автомобиль (имеет лучшие тяговые качества для увеличения скорости), тем при необходимости требуется эффективное торможение. Тяговые и тормозные свойства автомобиля тесно связаны между собой. В связи с нерациональным расходом топлива на разгоне, предшествующем торможению и возрастанию при этом других потерь, надо при этом добиться наименьшего остановочного или тормозного пути. Поэтому, с целью обеспечения активной безопасности дорожного движения при диагностировании

технического состояния тормозного механизма необходимо иметь взаимосвязь между мощностью двигателя, которая используется для создания тяги, осуществлявшей разгон автомобиля. По мощности, затрачиваемой на торможение при движении автомобиля, можно оценивать техническое состояние тормозов.

Список литературы

1. Автомобильные транспортные средства [Текст] / Д.П. Великанов, В.Н. Вернацкий, Б.И. Нифонтов, И.П. Плеханов; под ред. Д.П. Великанова. – М.: Транспорт, 1977. – 326 с.
2. Информационные технологии для решения задач управления в условиях рационального лесопользования [Текст] : монография / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова, А.И. Вакулин, В.Н. Логачев. – Воронеж, 2011. – 127 с. – Деп. в ВИНТИ 26.09.2011, № 420-2011.
3. Кондрашова, Е.В. Определение эффективности транспортной работы лесовозной автомобильной дороги [Текст] / Е.В. Кондрашова // Бюллетень транспортной информации (БТИ). Информационно-практический журнал. – 2009. – № 9 (171), сентябрь. – С. 25-27.
4. Кондрашова, Е.В. Повышение эффективности транспортной работы автомобильных дорог в лесном комплексе [Текст] / Е.В. Кондрашова, А.М. Волков. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. университета, 2010. – 232 с.
5. Курьянов, В.К. Повышение эффективности обследования автомобильных дорог в районах лесозаготовок [Текст] / В.К. Курьянов, Е.В. Кондрашова, Ю.В. Лобанов. – М.: Изд-во РАЕ, 2010. – 130 с.
6. Методы, модели и алгоритмы повышения транспортно-эксплуатационных качеств лесных автомобильных дорог в процессе проектирования, строительства и эксплуатации [Текст]: монография / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова, А.И. Вакулин, В.Н. Логачев. – М.: Изд-во ФЛИНТА: Наука, 2012. – 310 с.
7. Рябова, О.В. Совершенствование методов оценки транспортно-экологических качеств автомобильных дорог [Текст] / О.В. Рябова, Е.В. Кондрашова, А.В. Скрыпников. – Воронеж: Изд-во Воронежского гос. ун-та, 2005. – 277 с.
8. Скрыпников, А.В. К вопросу повышения безопасности движения на лесовозных автомобильных дорогах и дорогах общего пользования [Текст] / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, В.Ю. Губарев, А.Б. Киреев. – М.: Издательство ФЛИНТА: Наука, 2012. – 168 с.
9. Скрыпников, А.В. Метод оптимизации планов ремонта участков лесных автомобильных дорог [Текст] / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т. В. Скворцова // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 6; URL: www.science-education.ru/100-5155.

10. Скрыпников, А.В. Оптимизация межремонтных сроков лесовозных автомобильных дорог [Текст] / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т. В. Скворцова // *Фундаментальные исследования*. – М., 2011. – № 8 (ч. 3). – С. 667-671.

11. Скрыпников, А.В. Оценка транспортно-эксплуатационных качеств автомобильных дорог в системе автоматизированного проектирования (САПР АЛД) [Текст] / А.В. Скрыпников. – Воронеж: Издательство Воронеж. гос. лесотехн. акад., 2008. – 387 с.

Рецензенты:

Скрыпников А.В., д.т.н., профессор, профессор кафедры информационные технологии моделирования и управления ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», г. Воронеж.

Кондрашова Е.В., д.т.н., профессор кафедры технического сервиса и технологии машиностроения ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», г. Воронеж.