Лекция № 8.

ТОРМОЗНЫЕ СВОЙСТВА АВТОМОБИЛЯ

1. Тормозные системы автомобиля и виды торможений
2. Оценочные показатели тормозных свойств автомобиля
3. Уравнение движения автомобиля при торможении
4. Способы торможения автомобиля
5. Распределение тормозных моментов между мостами автомобиля
6. Снижение эффективности тормозной системы при постоянном распределении тормозных моментов

Торможение — процесс создания и изменения искусственного сопротивления движению автомобиля с целью уменьшения его скорости вплоть до полной остановки или удержания в неподвижном состоянии.

Тормозные свойства — совокупность потенциальных свойств автомобиля, характеризующих его способность интенсивно снижать скорость, поддерживать постоянную скорость на уклонах, обеспечивать устойчивое прямолинейное движение в процессе торможения, надежно удерживать автомобиль в покое.

Тормозные свойства определяют ***активную безопасность автомобиля*** и поэтому регламентируются международными документами, разработанными Комитетом по внутреннему транспорту Европейской экономической комиссии Организации Объединенных Наций (ЕЭК ООН) — Правилами № 13, в соответствии с которыми разрабатываются национальные стандарты.

1. Тормозные системы автомобиля и виды торможений

Чем эффективнее и совершеннее тормозная система автомобиля, тем выше безопасная скорость, а следовательно, средняя скорость движения и производительность автомобиля.

При торможении кинетическая энергия автомобиля превращается в тепловую вследствие трения, возникающего в тормозных механизмах и в контакте шин с опорной поверхностью дороги. На спусках тормоза позволяют поддерживать постоянную скорость, а тормозные механизмы поглощают потенциальную энергию автомобиля. Некоторая часть кинетической и потенциальной энергии затрачивается на компенсацию работы сил и моментов сопротивлений движению автомобиля.

Автомобиль должен иметь несколько *тормозных систем,* выполняющих различные функции: рабочую, стояночную, вспомогательную и запасную.

Рабочая тормозная система является основной тормозной системой, обеспечивающей процесс торможения в нормальных условиях функционирования автомобиля. Тормозными механизмами рабочей тормозной системы являются колесные тормоза. Управление этими механизмами осуществляется посредством педали.

Стояночная тормозная система предназначена для удержания автомобиля в неподвижном состоянии. Тормозные механизмы этой системы располагают либо на одном из валов трансмиссии, либо в колесах. В последнем случае используются тормозные механизмы рабочей тормозной системы, но с дополнительным приводом управления стояночной тормозной системы. Управление стояночной тормозной системой ручное.

Вспомогательная тормозная система предназначена для торможения автомобиля на затяжных спусках. В этой системе используются специальные тормоза-замедлители — моторные и трансмиссионные. Управление тормозами-замедлителями автоматизированное или ручное.

Запасная тормозная система используется при отказе рабочей тормозной системы. У некоторых автомобилей функции запасной выполняет стояночная тормозная система.

Различают следующие *виды торможений:* экстренное (аварийное), служебное, торможение на уклонах.

Экстренное торможение осуществляется посредством рабочей тормозной системы с максимальной для данных условий интенсивностью. Количество экстренных торможений составляет, 5... 10 % от общего числа торможений.

Служебное торможение применяют для плавного снижения скорости автомобиля или остановки в заранее намеченном месте. Замедление автомобиля при этом в 2...3 раза меньше, чем при экстренном, и не превосходит 1,5...2 м/с2.

Торможение *на уклонах дороги* предназначено для обеспечения постоянной безопасной скорости движения. В горных условиях с длинными спусками эффективное торможение можно обеспечить лишь тормозами-замедлителями, рассчитанными на длительную непрерывную работу. Тормозные механизмы рабочей тормозной системы на такие режимы не рассчитаны. В горных условиях они быстро перегреваются, изнашиваются и преждевременно выходят из строя.

2. Оценочные показатели тормозных свойств автомобиля

Существующими стандартами [14, 15] предусмотрены следующие *показатели тормозных свойств* автомобиля:

- установившееся замедление $a_{туст}$, соответствующее движению автомобиля при постоянном усилии на тормозную педаль;
- тормозной путь s_T — расстояние, проходимое автомобилем от момента нажатия на педаль тормоза до остановки;

- время срабатывания тормозного привода $t_{ср}$ — время от момента начала нажатия на педаль тормоза до достижения $a_{T\ уст}$;

- установившаяся скорость на спуске $v_{Т.УСТ}$ при торможении тормозом-замедлителем;

- максимальный уклон h_{Tmax}, на котором автомобиль удерживается стояночным тормозом;

- замедление, обеспечиваемое запасной тормозной системой.

Нормативы показателей тормозных свойств АТС, предписываемые стандартом [21], приведены в табл. 1. Обозначения категорий АТС:

M — пассажирские: M_x — легковые автомобили и автобусы не более 8 мест, M_2 — автобусы более 8 мест и полной массой до 5 т, $M_ъ$ — автобусы полной массой более 5 т; *N* — грузовые автомобили и автопоезда: N_x — полной массой до 3,5 т, N_2 — свыше 3,5 т, N_3 — свыше 12 т; *O* — прицепы и полуприцепы: O_1 — полной массой до 0,75 т, 0_2 — полной массой до 3,5 т, Оз — полной массой до 10 т, O_4 —полной массой свыше 10 т.

Таблица 1. Нормативы эффективности рабочей тормозной системы автотранспортных средств категорий M и N и автопоездов

АТС	Категория	Начальная скорость, км/ч	Усилие на педали, Н	Тормозной путь, м (замедление, м/с^2) на испытаниях		
				типа «ноль»	типа I	типа II
Пассажирские автомобили, автобусы	M_1	80	500	43,2 (7,0)	52,1 (5,6)	–
	M_2	60	700	32,1 (6,0)	38,0 (4,8)	–
	M_3					39,8 (4,5)
Пассажирские автопоезда	M_1	80	500	50,7 (5,8)	61,7 (4,6)	–
	M_2					–
	M_3	60	700	33,9 (6,0)	39,8 (4,8)	41,6 (4,5)
Грузовые автомобили	N_1	80	700	61,2 (5,0)	73,5 (4,0)	–
	N_2					–
	N_3	60	700	36,7 (5,0)	43,6 (4,0)	45,9 (3,7)
Грузовые автопоезда	N_1	80	700	63,6 (5,0)	75,9 (4,0)	–
	N_2					–
	N_3	60	700	38,5 (5,0)	45,4 (4,0)	47,7 (3,7)

Испытания по определению эффективности рабочей тормозной системы разделяют на три типа: «ноль», **I** и **II**. ***Испытания типа «ноль»*** проводят при «холодных» тормозах, когда температура вблизи поверхности трения тормозного барабана или диска менее 100 °С. ***Испытания типа*** **I**проводят при «горячих» тормозах. Нагрев осуществляют путем предварительных торможений. Испытаниям «ноль» и I подвергаются все типы АТС.

Дорожные испытания по определению показателей тормозных свойств проводят при тех же условиях, что и при определении тягово-скоростных свойств, за исключением того, что плотность воздуха не контролируется. Испытаниям подвергаются автомобили с полной нагрузкой. Выход автомобиля из коридора шириной 3,5 м и блокирование колес при торможении недопустимы. При торможении водитель не должен подправлять траекторию движения АТС с помощью рулевого управления, если этого не требует безопасность движения. В процессе испытаний посредством специальной аппаратуры измеряют и регистрируют скорость и замедление автомобиля, тормозной путь и время.

Испытаниям типа ***II*** подвергаются АТС категорий *Мз* и Nз, а также грузовые автопоезда, тягачами которых являются автомобили категорий N_2 и N_3.

Эти испытания проводятся при «горячих» тормозах, аналогично испытаниям I, и предназначены для определения эффективности рабочей тормозной системы после движения на затяжных спусках. Прогрев тормозных механизмов осуществляется на спуске длиной 6000 м с уклоном h = 0,06 при скорости 36 + 5 км/ч.

Время срабатывания тормозного привода рабочей тормозной системы $t_{ср}$ не должно превышать 0,6 с.

Вспомогательная тормозная система должна обеспечивать поддержание постоянной установившейся скорости при затяжном спуске $v_{Т\ уст}$ = 30+2 км/ч на уклоне h = 0,07. Протяженность спуска — 6 км. При торможении двигателем в этих же условиях

$V_{т.уст}$ = 30±5 км/ч.

Испытания запасной тормозной системы проводят при тех же начальных скоростях, что и рабочей. Замедление легковых автомобилей должно быть не менее 2,9 м/с2, автобусов — 2,5 м/с2, грузовых автомобилей и автопоездов — 2,2 м/с2.

Стояночная тормозная система должна удерживать автомобиль в покое на уклоне $h_{T\ max}$ не менее 0,25 для пассажирских автомобилей; 0,20 — для грузовых автомобилей; 0,18 —для автопоездов.

3. Уравнение движения автомобиля при торможении

На рис. 1 показана схема сил и моментов, действующих на автомобиль при торможении. Сравним ее со схемой для тягового режима (см. рис. 6.12). При торможении на колеса автомобиля вместо движущего момента $M_к$ в действуют тормозные моменты $M_{кт1}$ и $M_{кт2}$, направленные противоположно моменту $M_{кв}$. Продольные реакции дороги тормозящих и ведущих колес R_x также противоположны изображенным на рис. 6.12. При торможении автомобиль движется замедленно, поэтому сила инерции F_{jn} и инерционные моменты колес M_{jk1}, M_{jk2} становятся движущими. Заменим в уравнении движения автомобиля на тяговом режиме (6.51) момент Мкв = Мд*u*трηтр на суммарный момент тормозящих колес $M_{к\ т} = M_{кт1} + M_{кт2}$, принимая во внимание, что направления моментов $M_{кт}$ и $M_{кв}$ противоположны. В результате получим ***уравнение движения автомобиля при торможении***

$$\delta_{п.м}\, m_a \frac{dv}{dt} = -\left(\frac{M_{к.т}}{r_{к0}} + m_a g\psi + k_w A_л v^2 \right) =$$

$$= -\left(\frac{M_{к.т} + M_f}{r_{к0}} + F_h + F_w \right). \qquad (1)$$

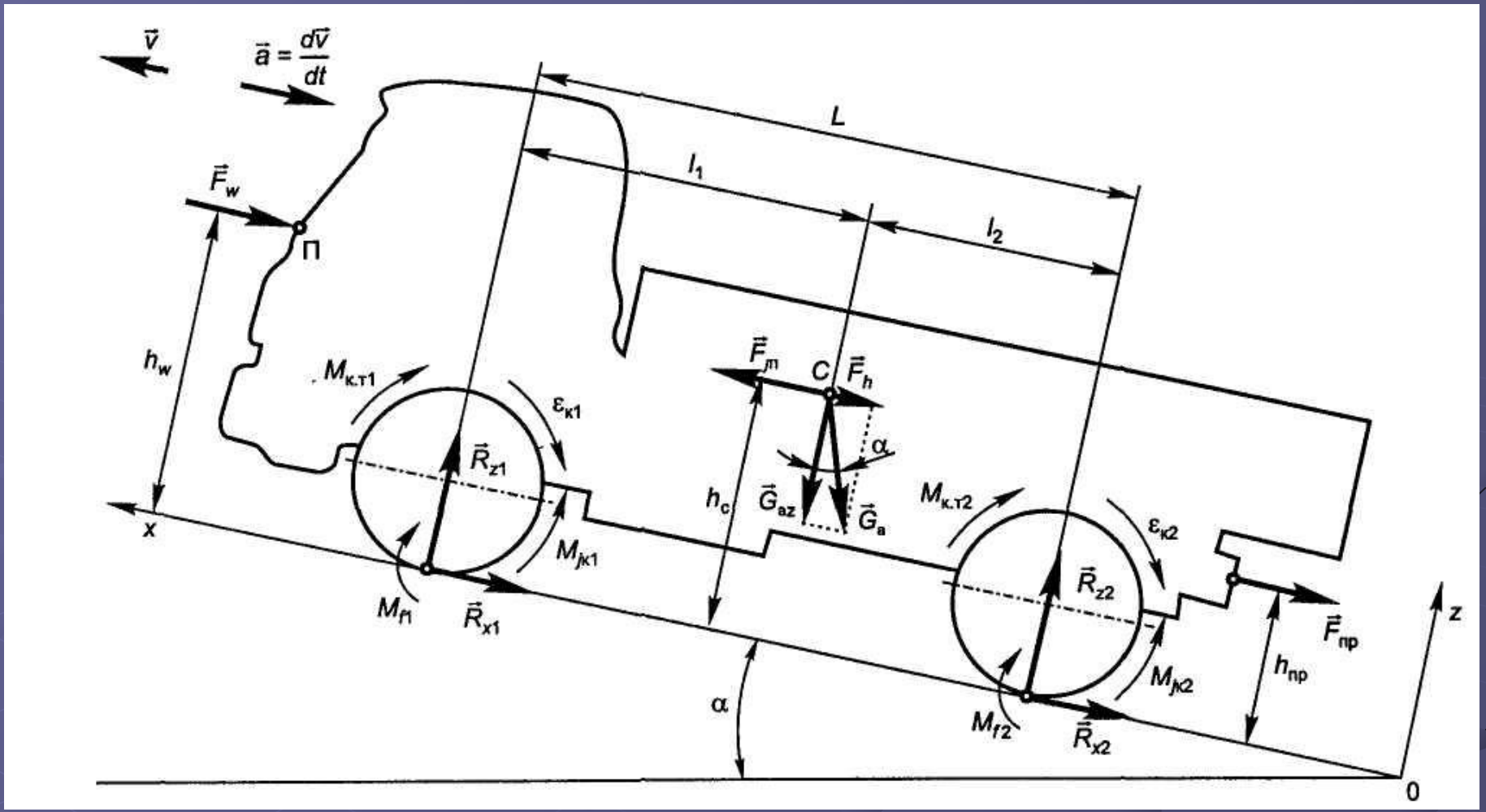

Рис. 1. Воздействия на автомобиль при торможении

Из уравнения (1) следует, что при торможении все внешние силы и моменты оказывают сопротивление движению и направлены на увеличение модуля замедления $|a_T| = \left|\frac{dv}{dt}\right|$. Исключение составляет лишь сила $F_h = m_{agh}$: при движении на подъем она положительна и способствует замедлению, а на спуске отрицательна, т.е. становится движущей силой и уменьшает замедление.

Замедление автомобиля при торможении. Замедление при торможении на горизонтальной дороге определяется по формуле

$$|a_т| = \frac{(M_{к.т} + M_f)/r_{к0} + F_w}{\delta_{п.м}\, m_a}. \qquad (2)$$

Суммарный тормозной момент $M_{КТ}$ может включать моменты тормозных механизмов M_m м и тормозной момент двигателя M_{ma}. Если при движении автомобиля, не отсоединяя двигатель от трансмиссии, освободить педаль акселератора, то двигатель перейдет на тормозной режим (режим принудительного холостого хода). В этом случае энергия передается от ведущих колес автомобиля к двигателю и затрачивается на преодоление сил трения в механизмах двигателя и компенсацию компрессионных потерь.

Рассмотрим торможение автомобиля рабочими тормозными механизмами. Максимальный момент, реализуемый тормозящим колесом, ограничен его сцеплением с дорогой и определяется выражением:

$$M_{\varphi} = M_{к.т.\ max} = (\varphi_x - f)\, R_z\, r_{k0}$$

Предположим, что все колеса автомобиля находятся в одинаковых дорожных условиях, и найдем ***максимально*** *возможное замедление* ***автомобиля.*** Оно достигается, если все тормозные механизмы будут развивать предельные тормозные моменты. Для этого необходимо обеспечить строгое согласование значений тормозных моментов $M_{кTi}$ с нормальными реакциями дороги R_{zi}. Определим сумму моментов $M_{кт} + M_f$ приняв $M_{кт} = M_{\varphi}$:

$$M_{к.т} + M_f = \varphi_x m_a g r_{k0}.$$

Подставим это значение в формулу (2):

$$|a_{т\,max}| = \frac{\varphi_x m_a g + F_w}{\delta_{п.м} m_a}. \qquad (3)$$

При интенсивном торможении скорость автомобиля очень быстро уменьшается, поэтому влиянием сопротивления воздуха на замедление можно пренебречь. При торможении автомобиля только тормозными механизмами при отсоединенном от трансмиссии двигателе коэффициент приведенной массы $\delta_{ПМ}$ не превышает 1,05, согласно выражению

$$\delta_{п.м} = \frac{1 + (\delta_1 + \delta_2 u_{к.п}^2) m_a}{m},$$

Поэтому примем $F_w = 0$, $\delta_{ПМ} = 1$. Тогда максимально возможное замедление можно определить по приближенной зависимости

$$|a_{т\,max}| = \varphi_x g. \qquad (4)$$

Так как $\varphi_x < 1$, то из выражения (4) следует, что максимальное замедление автомобиля, обеспечиваемое колесными тормозными механизмами, не может превышать ускорение свободного падения g = 9,81 м/с2.

У спортивных и гоночных автомобилей применяют специальные аэродинамические средства, которые создают дополнительную силу, прижимающую автомобиль к дороге.

При этом коэффициент сцепления φ_x может достигать значений больше единицы, а $|aT_{max}|>g$.

Тормозная диаграмма. Процесс торможения во времени описывается зависимостями $|a_T| = f(t)$ = ( )

Эти зависимости называют ***тормозной диаграммой*** (рис. 2).

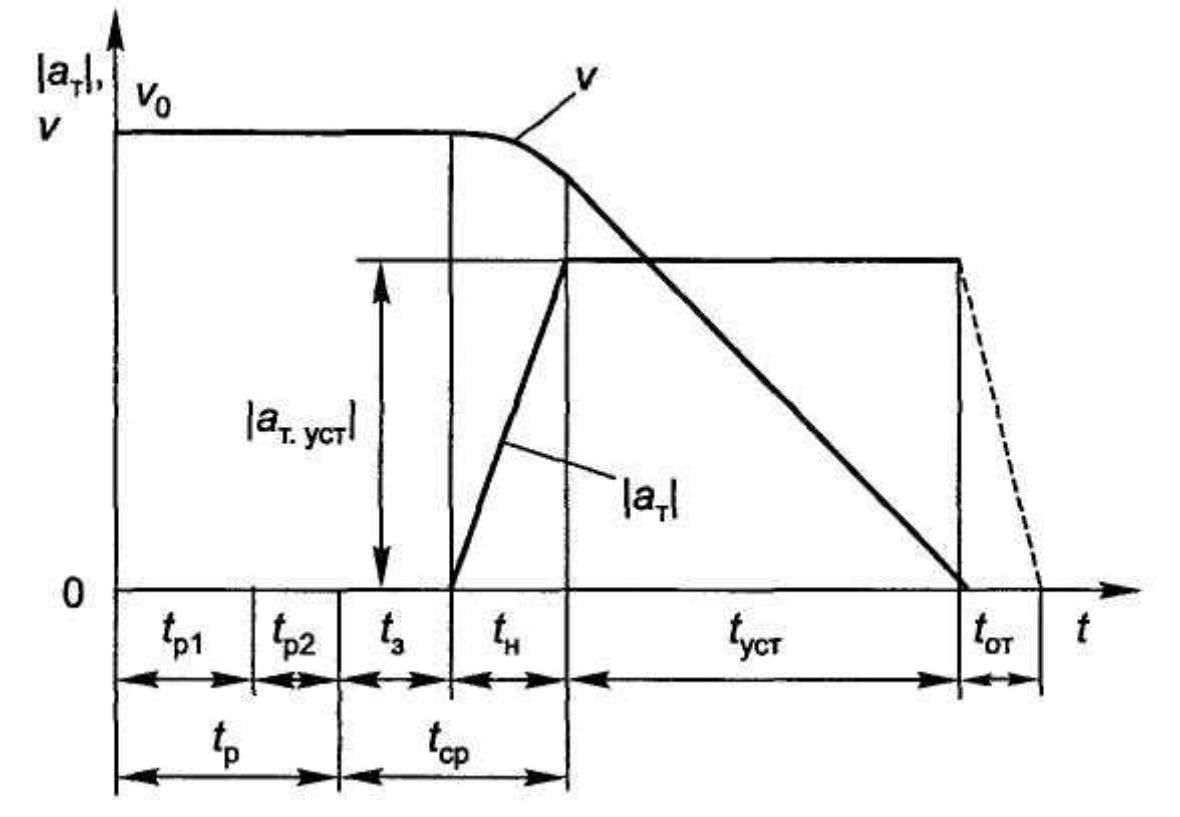

Рис. 2. Тормозная диаграмма автомобиля

Начало координат t = 0 соответствует моменту возникновения ситуации, вынуждающей водителя тормозить. Общее время процесса торможения включает следующие составляющие:

- время реакции водителя $t_p = t_{pl} + t_{p2}$, где t_{pl} — время психической реакции водителя (оценка обстановки и принятие решения о необходимости торможения), t_{p2} — время физической реакции водителя (перенос ноги с педали акселератора на педаль тормоза);

- время срабатывания тормозного привода $\mathbf{f_{ср}} = t3 + t_n$, где t_3 — время запаздывания тормозного привода (выбор свободного хода в системе привода тормозных механизмов); t_H — время нарастания замедления (зависит от интенсивности нажатия на педаль тормоза, типа и конструктивного исполнения тормозной системы);

- время торможения с установившимся замедлением $t_{УСТ}$;

время оттормаживания $t_{от}$.

Время реакции водителя зависит от его индивидуальных особенностей и квалификации и находится в пределах 0,4...1,5 с.

При экстренном торможении *t3* не должно превышать 0,2 с, а t_H — 0,4 с. В течение времени t_H замедление автомобиля увеличивается от нуля (начало действия тормозов) до максимального установившегося значения $a_{туст}$, затем в течение времени $t_{уст}$ оно остается практически постоянным.

Тормозной путь. Различают тормозной путь автомобиля $s_т$ и остановочный путь $s_{ост}$. *Тормозной путь* автомобиля складывается из пути, проходимого автомобилем за время запаздывания тормозного привода $t_з$, время нарастания замедления $t_н$ и время торможения с установившимся замедлением $t_{уст}$,

$$S_т = S_з + S_н + S_{уст} \quad (5)$$

Остановочным путем $s_{ост}$ называют весь путь, проходимый автомобилем от момента обнаружения препятствия до полной остановки автомобиля. Для его определения к $s_т$ необходимо добавить путь $s_р$, проходимый автомобилем за время реакции водителя $t_р$,

$$S_{ост} = S_т + S_р = S_р + S_з + S_н + S_{уст}. \quad (6)$$

В течение времени $t_р$ и $t_з$ автомобиль движется с постоянной начальной скоростью v0, поэтому путь за это время

$$S_р + S_з = v_0(t_р + t_з). \quad (7)$$

Нарастание замедления в течение времени $t_н$ выбирается по линейной зависимости $a_т = \frac{a_{т.уст}\, t}{t_н}$.

Поскольку $a_т = \frac{dv}{dt}$, то движение на интервале времени $t_н$ описывается дифференциальным уравнением $dv = \frac{a_{т.уст} t}{t_н} dt$. Проинтегрируем это уравнение по переменной v в пределах от v_0 до *v*, а по переменной *t* — от 0 до *t* (где v и *t* — текущие значения скорости и времени):

$$v = v_0 + \frac{a_{т.уст} t^2}{2 t_н}.$$

Скорость $v_н$ в конце периода нарастания замедления до $a_{т.уст}$ найдем, подставив в уравнение (8) $t = t_н$:

$$v_н = v_0 - 0{,}5 |a_{т.уст}| t_н. \qquad (9)$$

Для определения пути $s_н$ за время $t_н$ составим дифференциальное уравнение, учитывая, что $v = \frac{ds}{dt}$, и используя выражение (8):

$$ds = \left(v_0 + \frac{a_{т.уст} t^2}{2 t_н} \right) dt.$$

Интегрируя это уравнение, получаем

$$s_н = v_0 t_н - \frac{a_{т.уст} t_н^2}{6}. \qquad (10)$$

В выражении (10) учтено, что $a_{туст}$ отрицательное, поэтому его значение принято по абсолютной величине и умножено на (—1). Для определения пути торможения за время $t_{уст}$ представим ускорение следующим образом:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{ds}\frac{ds}{dt} = v\frac{dv}{ds} = -|a_{т.уст}|.$$

Полученное выражение преобразуем в вид

$$ds = -\frac{v}{|a_{т.уст}|}dv.$$

Проинтегрируем это дифференциальное уравнения по s от 0 до $s_{уст}$, а по v от $v_Н$ до $v_К$:

$$s_{уст} = \frac{0{,}5(v_н^2 - v_к^2)}{|a_{т.уст}|}, \qquad (11)$$

где v_K — скорость в конце процесса торможения.

Так как движение при этом равнозамедленное, то конечная скорость $v_к = v_н - |a_{т.уст}| t_{уст}$. При торможении до остановки автомобиля $v_K = 0$, тогда

$$s_{уст} = \frac{v_н^2}{2|a_{т.уст}|}, \quad (12)$$

$$t_{уст} = \frac{v_н}{|a_{т.уст}|}. \quad (13)$$

Подставим в формулу (12) значение $v_Н$ из формулы (9):

$$s_{уст} = \frac{(v_0 - 0{,}5|a_{т\ уст}| t_н)^2}{2|a_{т\ уст}|}. \quad (14)$$

При полном использовании сцепных возможностей всех колес автомобиля вместо $a_{туст}$ |в формулу (14) следует подставить значение $a_{т\ max}$, определяемое по формуле (4):

$$s_{уст} = \frac{(v_0 - 0{,}5\ \varphi_x g t_н)^2}{2\varphi_x g}. \quad (15)$$

Остановочный путь в этом случае равен

$$s_{ост} = v_0(t_р + t_з + 0{,}5\,t_н) + \frac{0{,}5v_0^2}{(\varphi_x g)} - \frac{\varphi_x g t_н^2}{24}. \quad (16)$$

Значение последнего члена выражения (16) небольшое, поэтому им можно пренебречь. Тогда остановочный и тормозной пути будут равны

$$s_{ост} = v_0(t_р + t_з + 0{,}5\,t_н) + \frac{v_0^2}{2\varphi_x g}, \quad (17)$$

$$s_т = v_0(t_з + 0{,}5\,t_н) + \frac{v_0^2}{2\varphi_x g}. \quad (18)$$

4. Способы торможения автомобиля

Служебное торможение автомобиля может осуществляться различными способами:

- только тормозными механизмами рабочей тормозной системы (применяется в хороших условиях сцепления колес с дорогой при необходимости остановки автомобиля в намеченном месте);

- тормозными механизмами и двигателем (применяется наиболее часто для снижения скорости, в особенности на скользких участках дороги с целью предотвращения блокировки колес тормозными механизмами и исключения заноса автомобиля);

- двигателем.

Рассмотрим *совместное торможение тормозными механизмами и двигателем.* В этом случае уравнение движения автомобиля (1) принимает вид

$$\delta_{\text{п.м}}\, m_{\text{а}} \frac{dv}{dt} = -\left(\frac{M_{\text{т.м}} + (M_{\text{т.д}}\, u_{\text{тр}})/\eta_{\text{тр}} + M_f}{r_{\text{к0}}} + F_h + F_w \right), \qquad (19)$$

где $M_{\text{тм}}$ — суммарный момент тормозных механизмов;

$\delta_{\text{пм}}$ — коэффициент приведенной массы автомобиля.

Представим эту ф виде:

$$\delta_{\text{п.м}} = \delta_{\text{к}} + \frac{J_{\text{д}}\, u_{\text{тр}}^2}{\eta_{\text{тр}}\, r_{\text{к0}}^2\, m_{\text{а}}},$$

где $\delta_{\text{к}} = 1 + \frac{J_{\text{ка}}}{r_{\text{к0}}^2\, m_{\text{а}}}$ - коэффициент учета относительного движения колес.

С учетом этого выражения формулу (6.46) для определения приведенной силы инерции автомобиля представим в виде

$$F_{j\,a} = \delta_{\text{п.м}} m_a |a_т| = \delta_к m_a |a_т| + \frac{J_д u_{тр}^2 |a_т|}{r_{к0}^2 \eta_{тр}}; \qquad (20)$$

Подставим это значение в уравнение (19), перенеся второе слагаемое в правую часть:

$$|a_т| = \frac{1}{\delta_к m_a}\left[\frac{M_{т\,м} + M_f}{r_{к0}} + \left(M_{т.д} - \frac{J_д u_{тр} |a_т|}{r_{к0}}\right)\frac{u_{тр}}{r_{к0}\eta_{тр}} + F_h + F_w\right]. \qquad (21)$$

Из уравнения (21) следует, что совместное торможение тормозными механизмами и двигателем эффективно при условии, если выражение в круглых скобках больше нуля, т.е. если

$$M_{т.д} > \frac{J_д u_{тр} |a_т|}{r_{к0}}.$$

При большом замедлении, характерном для экстренного торможения, а также при торможении на низших передачах это условие не выполняется. В таких случаях двигатель при торможении необходимо отсоединять от трансмиссии посредством выключения сцепления.

На дороге с низким коэффициентом сцепления целесообразно применять торможение только двигателем или тормозом-замедлителем. При симметричном межколесном дифференциале это обеспечивает одинаковые продольные реакции дороги на левое и правое колеса, вследствие чего снижается вероятность их бокового скольжения.

Совместное торможение двигателем и тормозными механизмами предотвращает блокировку колес. Это повышает устойчивость прямолинейного движения автомобиля, так как уменьшается вероятность заноса при действии боковых сил, возникающих вследствие неровностей опорной поверхности или бокового уклона дороги. Этим обусловлена целесообразность такого способа торможения на скользкой дороге.

Торможение только тормозными механизмами рабочей тормозной системы или только двигателем является частным случаем рассмотренного выше совместного торможения.

5. Распределение тормозных моментов между мостами автомобиля

Момент $M_{тм}$, который может развивать тормозной механизм, пропорционален усилию нажатия на педаль тормоза $F_{П.Т.}$ $M_{т.м.} = к_{т.п.} F_{пед}$, Коэффициенты пропорциональности $к_{тп}$ для тормозных механизмов передних и задних колес обычно различны, поэтому отличаются и развиваемые ими моменты. Степень различия оценивается *коэффициентом распределения тормозных моментов*

$$\beta_т = \frac{M_{т.м1}}{M_{т.м1} + M_{т.м2}}. \qquad (22)$$

Если в приводе тормозов не используются специальные регулирующие устройства, то соотношение между моментами тормозных механизмов переднего и заднего мостов $M_{тм1}$ и $M_{тм2}$ постоянно, т.е. $\beta_т$ = const. Однако возможности тормозных механизмов не всегда могут быть реализованы колесами автомобиля, так как продольная реакция дороги R_x не может превосходить своего предельного значения по сцеплению, определяемого формулами (6.28) и (6.29).

Максимальный тормозной момент по сцеплению M_{φ} реализуется при R_y = О и коэффициенте скольжения колес относительно дороги $\lambda = \lambda^*$ (см. рис. 6.11). Значение M определяется по формуле (6.32). Если после достижения равенства $M_{тм} = M_{\varphi}$ продолжать увеличивать усилие на педали тормоза, то произойдет быстрое снижение угловой скорости колеса и оно будет заблокировано тормозом.

При блокировке задних колес незначительная боковая сила может вызвать занос заднего моста, и автомобиль начнет разворачиваться в плоскости дороги, создавая аварийную ситуацию. Поэтому блокировка задних колес недопустима. Блокировка передних колес приводит к потере управляемости. В этом случае автомобиль не реагирует на повороты рулевого колеса, а продолжает прямолинейное движение в сторону вектора скорости центра масс. Очевидно, что блокировка передних колес менее опасна, чем блокировка задних. Эффективность торможения при блокировке колес значительно снижается в связи с уменьшением φ_x.

Наибольшее замедление при торможении обеспечивается, если колеса переднего и заднего мостов одновременно достигают условий предела блокировки, т.е. когда $M_{тм} = M_{\varphi 1}$ и $M_{тм2} = M_{\varphi 2}$ при $\lambda = \lambda'$.

Это возможно лишь при условии строгого согласования соотношений между моментами M_{TMj} и нормальными реакциями дороги R_{zi}.

При $\beta_т$ = const это условие не выполняется, так как при торможении происходит перераспределение нормальных реакций R_{zl} и R_{z2}. Для определения R_{zl} и R_{z2} можно воспользоваться формулами (6.55) и (6.56), заменив в них знак приведенной силы инерции F_{ja} на противоположный (при торможении движение замедленное, а формулы получены для ускоренного движения). Согласно этим формулам, сила F_{ja} при торможении увеличивает нормальные реакции дороги на передние колеса и уменьшает нормальные реакции на задние. Так как R_{z1} и R_{z2} постоянно изменяются, то изменяются и моменты колес по сцеплению $M_φ$.

Определим, как должен изменяться коэффициент $\beta_т$, чтобы обеспечивалось оптимальное распределение тормозных моментов $M_{т1}$ и $M_{т2}$ между мостами автомобиля. Пренебрежем сопротивлением качению и примем $h_w = h_c$, a = 0. Тогда для двухосного автомобиля без прицепа

$$R_{z1} = \frac{l_2 m_a g - h_c (F_w - F_{ja})}{L},$$

$$R_{z2} = \frac{l_1 m_a g + h_c (F_w - F_{ja})}{L}.$$

Для определения силы инерции воспользуемся уравнением (3), согласно которому $F_{ja} = \delta_{п.м}.m_a \left|a_{T\max}\right| = \varphi_x m_a g + F_w$. В результате получаем значения нормальных реакций, обеспечивающих условия достижения одновременной блокировки колес,

$$R_{z1} = \frac{m_a g (l_2 + h_c \varphi_x)}{L}, \qquad (23)$$

$$R_{z2} = \frac{m_a g (l_1 - h_c \varphi_x)}{L}. \qquad (24)$$

Подставим R_a и R_{z2} в формулу (6.32) и найдем для данного случая моменты сцепления колес с дорогой

$$M_{\varphi 1} = \frac{r_{к0}\, m_a g\, (\varphi_x - f)(l_2 + h_c \varphi_x)}{L}, \qquad (25)$$

$$M_{\varphi 2} = \frac{r_{к0} m_a g (\varphi_x - f)(l_1 - h_c \varphi_x)}{L}. \qquad (26)$$

Выражения (23)...(26) позволяют определить соотношение тормозных моментов, при котором достигается полное использование сцепных возможностей всех колес двухосного автомобиля. При одинаковых коэффициентах сцепления всех колес с дорогой оптимальное распределение тормозных моментов обеспечивается, если они будут изменяться пропорционально нормальным реакциям дороги, т.е. при

$$\frac{M_{T1}}{M_{T2}} = \frac{R_{z1}}{R_{z2}}$$

Принимая $M_{т1} = M_{\varphi 1}$, $M_{т2} = M_{\varphi 2}$ в формуле (22), найдем оптимальный коэффициент распределения тормозных моментов

$$\beta_{т\varphi} = \frac{M_{\varphi 1}}{M_{\varphi 1} + M_{\varphi 2}} = \frac{R_{z1}}{R_{z1} + R_{z2}} = \frac{l_2 + h_c \varphi_x}{L}. \qquad (27)$$

Из выражения (27) следует, что оптимальное значение коэффициента $\beta_{т\varphi}$ зависит от координат центра масс автомобиля l_2, h_c, коэффициента сцепления φ_x и базы автомобиля L. Так как эти параметры переменны, то $\beta T\varphi$ также должен быть переменным. Координаты l_2, h_c зависят от степени загрузки автомобиля, расположения груза в кузове или пассажиров в салоне. Коэффициент сцепления φ_x также изменяется в широких пределах (0,15...0,80). В процессе торможения он может в различные моменты времени оказаться разным для всех тормозящих колес. Поэтому при $\beta_т$ = const экстренное торможение неизбежно приводит к блокировке каких-либо колес. Значение $\beta_т$ определяется для автомобиля с номинальной нагрузкой при $\varphi_x = \varphi_0$ в соответствии с рекомендациями Правил № 13 ЕЭК ООН, согласно которым первыми должны достигать условий блокировки колеса переднего моста при следующих интервалах изменения φ_x : для легковых автомобилей φ_x = 0,15...0,8; для грузовых — φ_x = 0,15...0,3. В практике проектирования автомобилей значение φ_0 принимают равным 0,8 для легковых автомобилей, 0,35...0,45 — для грузовых.

6. Снижение эффективности тормозной системы при постоянном распределении тормозных моментов

Исходя из того, что уровень нагрузки автомобиля и дорожные условия изменяются в широких пределах, при $\beta_т$ = const во многих случаях значительно снижается эффективность тормозной системы. Это обусловлено тем, что распределение тормозных моментов между мостами не соответствует нормальным реакциям, изменяющимся во время торможения. Для определения коэффициентов перераспределения нормальных реакций при торможении используем выражения (6.58), подставив в них значения R_{z1} и R_{z2} из формул

$$k_{R1} = \frac{1 + \varphi_x h_c}{l_2}; \quad k_{R2} = \frac{1 - \varphi_x h_c}{l_1}.$$

(23) и (24):

При φ_x = 0,4...0,7 значения этих коэффициентов при экстренном торможении: для легковых автомобилей k_{R1} = 1,2...1,4; k_{R2} = 0,6...0,8; для грузовых — k_{R1} = 1,4...1,6; k_{R2} = 0,65...0,8.

Значительные пределы их изменения приводят к тому, что фактическое замедление оказывается меньше максимально возможного, определяемого по формуле (4), а тормозной путь превышает значение, получаемое по формуле (18)-. Для учета этого вводят *коэффициент эффективности торможения кэ,* который учитывает степень использования теоретически возможной эффективности тормозной системы. В этом случае формулы для определения показателей тормозных свойств принимают вид

$$a_{т.уст} = \frac{\varphi_x g}{k_э}; \qquad (28)$$

$$s_т = v_0(t_з + 0{,}5\, t_н) + \frac{k_э v_0^2}{2\varphi_x g}. \qquad (29)$$

На основании опытных данных принимают: для легковых автомобилей
$к_э$ = 1,1…1,2; для грузовых автомобилей и автобусов — $к_э$ = 1,3...1,4. При φ_x < 0,3...0,4 можно принимать $к_э$ = 1 для всех автомобилей, так как в этом случае перераспределение нормальных реакций невелико.

Эффективность тормозной системы уменьшается в процессе эксплуатации. Поэтому правилами дорожного движения установлены требования проверки наибольшего допустимого тормозного пути St.max и наименьшего допустимого замедления *ат.max* для автомобилей в снаряженном состоянии при торможении с начальной скоростью 40 км/ч на горизонтальном участке дороги с ровным, сухим, чистым асфальтобетонным покрытием. Эти значения, регламентируемые стандартом [15], приведены в табл. 2. Они значительно отличаются от нормативных показателей, предписываемых стандартом [21], который используется в конструкторской практике при создании и испытаниях новых автомобилей. Нормативы, приведенные в табл. 2, применяются при эксплуатационной проверке технического состояния автомобилей, производство которых начато с 1981 г.

Таблица 2. Нормативы эффективности рабочей тормозной системы при проверке технического состояния АТС

Автотранспортные средства	Категория	Усилие на педали, Н	Тормозной путь $S_{T\,max}$, м	Замедление $a_{T\,min}$, м/с^2
Пассажирские автомобили, автобусы	M_1	500	12,2	6,8
	M_2	700	13,6	6,8
	M_3	700	16,8	5,7
Пассажирские автопоезда	M_1	500	13,6	5,9
	M_2	700	15,2	5,7
	M_3	700	18,4	5,5
Грузовые автомобили	N_1	700	15,1	5,7
	N_2	700	17,3	5,7
	N_3	700	16,0	6,2
Грузовые автопоезда	N_1	700	17,7	4,6
	N_2	700	18,8	5,5
	N_3	700	18,4	5,5