

УЛУЧШЕНИЕ ТОРМОЗНЫХ СВОЙСТВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПРИ ДВИЖЕНИИ НА ПОВОРОТЕ

Дафир Рашид, ст. гр. А-48-18

Научный консультант: Волков В.П., проф., д.т.н.

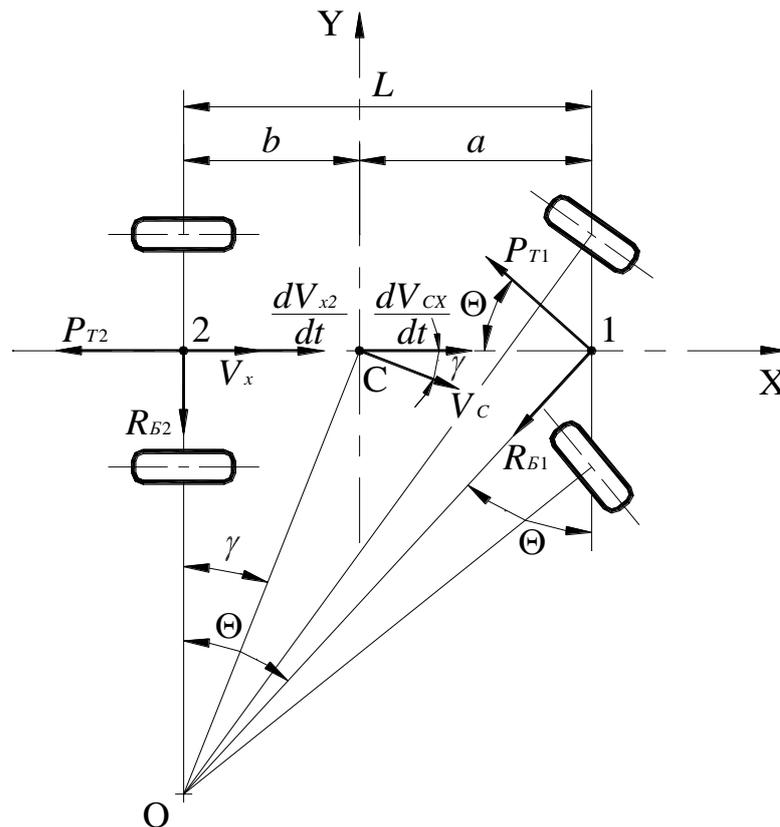
Введение. Расширение сети автомобильных дорог и улучшение их качества сопровождается ростом конструктивных скоростей движения и количества транспортных средств [1]. Это влечет за собой увеличение числа дорожно-транспортных происшествий, связанных с недостаточной эффективностью торможения, потерей устойчивости и управляемости [2]. При движении на повороте происходит увеличение тормозного пути, поскольку часть сцепного веса ТС используется для создания боковых реакций на колесах, препятствующих боковому смещению передней и задней осей. Пропускная способность дороги зависит от интервала между двумя последовательно движущимися ТС [3]. Основную часть минимально допустимого интервала между ТС составляет величина тормозного пути. Поэтому на повороте интервал между ТС должен увеличиваться. Если интервал на повороте увеличить нельзя, то необходимо снизить скорость движения ТС. Исследованию тормозных свойств ТС при движении на повороте посвящены работы ряда исследователей [4, 5].

Результаты исследования. Известно, что траектория движения ТС всегда является криволинейной с непрерывно изменяющейся во времени кривизной. Современные автомагистрали имеют закругления различных радиусов, обеспечивающие движение ТС с высокой скоростью. При движении на повороте даже в процессе служебного торможения возможна блокировка и скольжение колес ТС, поскольку в контакте колес с дорогой действуют боковые реакции, снижающие максимально допустимые тормозные силы.

В работе [4] приведены результаты исследования динамики торможения ТС на криволинейном участке дороги при входе в поворот, определены силы, действующие на переднюю и заднюю оси.

Однако в указанной работе не определены тормозной путь и замедление ТС при движении на повороте. В работе [5] получены зависимости для расчета тормозного пути при движении на повороте в случае равного и регулируемого распределения тормозных сил между бортами ТС. Однако в работе [5] не учитывалось, что передние управляемые колеса повернуты на определенный угол, в связи с чем возникают дополнительные силы и моменты. Поэтому уравнения тормозного пути и замедления, полученные в указанной работе [5] более корректно использовать при торможении ТС на прямолинейном участке дороги при действии боковой силы, приложенной в центре масс.

Для определения тормозного пути и замедления ТС рассмотрим процесс торможения ТС при движении на повороте (рис. 1).



ХСУ – система координат; С – центр масс ТС; R_{B1} , R_{B2} – боковые силы, действующие на переднюю и заднюю оси; Θ – угол поворота управляемых колес; О – центр поворота;

V_C – линейная скорость центра масс; V_x – проекция вектора V_C на ось СХ

Рис. 1 - Схема сил, действующих на ТС при торможении на повороте:

При проведении анализа примем следующие допущения:

- рассматривается ТС с «жесткими» в боковом направлении колесами, т.е. углы увода передних и задних колес равны нулю;
- перераспределение вертикальных реакций между колесами внутреннего (по отношению к центру поворота ТС) и наружного бортов отсутствуют, т.е. фактически рассматривается двухколесная «велосипедная» схема;
- угол поворота управляемых колес остается постоянным в течение времени торможения;
- время запаздывания включения тормозной системы и время нарастания тормозной силы равны нулю;
- торможение происходит без бокового скольжения колес ТС.

Ускорение центра масс ТС в направлении оси СХ

$$\frac{d^2 x_C}{dt^2} = \frac{dV_{CX}}{dt} = \frac{(-P_{T2} - P_{T1} \cos \Theta - R_{B1} \sin \Theta)}{m_a}. \quad (1)$$

В работе [5] определена боковая реакция, действующая на передней оси ТС при движении на повороте. В тормозном режиме при принятых нами ранее допущениях её можно определить как

$$R_{B1} = m_a \sec \Theta \left(\operatorname{tg} \Theta \frac{b^2 + i_z^2}{L^2} \cdot \frac{dV_{x2}}{dt} + V_x^2 \operatorname{tg} \Theta \frac{b}{L^2} \right) + P_{T1} \operatorname{tg} \Theta, \quad (2)$$

где i_z – радиус инерции ТС относительно вертикальной оси; m_a – общая масса ТС; $\frac{dV_{x2}}{dt}$ – компонента линейного ускорения точка 2 (середины задней оси), направленная по оси СХ.

После подстановки выражения (2) в (1) получим соотношение

$$\frac{dV_{CX}}{dt} = -\frac{P_{T2} + P_{T1} \sec \Theta}{m_a} - \frac{\operatorname{tg}^2 \Theta}{L^2} \left[(b^2 + i_z^2) \frac{dV_{x2}}{dt} + bV_x^2 \right]. \quad (3)$$

Компоненты линейных ускорений точек 2 и С связаны между собой известным соотношением

$$\frac{dV_{CX}}{dt} = \frac{dV_{x2}}{dt} - \omega^2 b, \quad (4)$$

где ω – угловая скорость поворота ТС, которая может быть определена как

$$\omega = V_x \frac{\operatorname{tg} \Theta}{L}. \quad (5)$$

Преобразовав выражение (3) с учетом уравнений (4) и (5), получим

$$\frac{dV_{CX}}{dt} = -\frac{P_{T2} + P_{T1} \sec \Theta}{m_a \left(1 + \frac{b^2 + i_z^2}{L^2} \operatorname{tg}^2 \Theta \right)} - V_x^2 \frac{b}{L^2} \operatorname{tg}^2 \Theta. \quad (6)$$

Замедление это есть вектор, равный ускорению, но направленный в противоположную сторону. Таким образом

$$j_{CX} = \frac{P_{T2} + P_{T1} \sec \Theta}{m_{np}} + V_x^2 \frac{b}{L^2} \operatorname{tg}^2 \Theta, \quad (7)$$

где m_{np} – приведенная масса ТС, учитывающая влияние кинетической энергии его вращательного движения,

$$m_{np} = m_a \left(1 + \frac{b^2 + i_z^2}{L^2} \operatorname{tg}^2 \Theta \right); \quad (8)$$

$$V_x = V_{CX}.$$

Из уравнения (8) видно, что с увеличением b , i_z , Θ происходит увеличение приведенной массы, приводящее к уменьшению замедления ТС. С увеличением базы ТС L приведенная масса уменьшается. Замедление ТС зависит от квадрата линейной скорости ТС V_x^2 . Зная замедление ТС можно определить функцию изменения скорости V_C центра масс ТС и тормозной путь S_T . Если пренебречь составляющей нормального ускорения точки С, направленной вдоль оси СХ, то тангенциальное ускорение центра масс автомобиля при движении по кривой

$$a_C^{\tau} = \frac{dV_C}{dt} \cong \frac{dV_{CX}}{dt} \sec \gamma = \frac{dV_{CX}}{dt} \sqrt{1 + \frac{b^2}{L^2} \operatorname{tg}^2 \Theta}. \quad (9)$$

Линейная скорость центра масс ТС

$$V_C = V_x \sec \gamma = V_x \sqrt{1 + \frac{b^2}{L^2} \operatorname{tg}^2 \Theta}. \quad (10)$$

Уравнение (6) после подстановок соотношений (8), (9) примет следующий вид

$$\frac{dV_C}{dt} = -\frac{P_{T2} + P_{T1} \sec \Theta}{m_{np}} \sqrt{1 + \frac{b^2}{L^2} \operatorname{tg}^2 \Theta} - V_C^2 \frac{\frac{b}{L^2} \operatorname{tg}^2 \Theta}{\sqrt{1 + \frac{b^2}{L^2} \operatorname{tg}^2 \Theta}}. \quad (11)$$

Дифференциальное уравнение (11) является уравнением с разделяющимися переменными

$$\frac{dV_C}{\frac{P_{T2} + P_{T1} \sec \Theta}{m_{np}} \sqrt{1 + \frac{b^2}{L^2} \operatorname{tg}^2 \Theta} + V_C^2 \frac{\frac{b}{L^2} \operatorname{tg}^2 \Theta}{\sqrt{1 + \frac{b^2}{L^2} \operatorname{tg}^2 \Theta}}} = -dt. \quad (12)$$

Решение уравнения (12) после преобразований имеем в виде (с учетом краевых условий: при $t=0$, $V_C=V_{C0}$). Время торможения ТС от начальной скорости V_{C0} до нуля получим из уравнения (11)

$$T = L \operatorname{ctg} \Theta \sqrt{\frac{m_{np}}{b(P_{T2} + P_{T1} \sec \Theta)}} \operatorname{arctg} \left[\frac{\operatorname{tg} \Theta}{L} V_{C0} \sqrt{\frac{m_{np} b}{(P_{T2} + P_{T1} \sec \Theta) \left(1 + \frac{b^2}{L^2} \operatorname{tg}^2 \Theta\right)}} \right]. \quad (13)$$

Тормозной путь ТС

$$S_T = \int_0^T V_C dt. \quad (14)$$

Подставляя (13) в (14) и проводя интегрирование с последующими преобразованиями, получим

$$S_T = \frac{L^2 \operatorname{ctg}^2 \Theta}{b} \sqrt{1 + \frac{b^2}{L^2} \operatorname{tg}^2 \Theta} \ln \left| \cos \left(\sqrt{\frac{b(P_{T2} + P_{T1} \sec \Theta)}{m_{np}}} \cdot \frac{\operatorname{tg} \Theta}{L} T \right) + \right. \\ \left. + V_{C0} \frac{\operatorname{tg} \Theta}{L} \sqrt{\frac{m_{np} b}{(P_{T2} + P_{T1} \sec \Theta) \left(1 + \frac{b^2}{L^2} \operatorname{tg}^2 \Theta \right)}} \sin \left(\sqrt{\frac{b(P_{T2} + P_{T1} \sec \Theta)}{m_{np}}} \cdot \frac{\operatorname{tg} \Theta}{L} T \right) \right|. \quad (15)$$

Подставив уравнение (13) в соотношение (15), получим после преобразований

$$S_T = \frac{L^2 \operatorname{ctg}^2 \Theta}{2b} \sqrt{1 + \frac{b^2}{L^2} \operatorname{tg}^2 \Theta} \ln \left| 1 + \frac{m_{np}}{P_{T2} + P_{T1} \sec \Theta} \cdot \frac{\frac{b^2}{L^2} \operatorname{tg}^2 \Theta}{1 + \frac{b^2}{L^2} \operatorname{tg}^2 \Theta} V_{C0}^2 \right|. \quad (16)$$

Полученные зависимости позволяют производить расчеты замедления и тормозного пути при движении ТС на повороте. Это позволит в дальнейшем производить нормирование тормозных свойств ТС при торможении на повороте. При $\Theta=0$:

$$V_C = V_{C0} - \frac{P_{T2} + P_{T1}}{m_a} t; \quad (17)$$

$$T = \frac{V_{x0} m_a}{P_{T2} + P_{T1}}; \quad (18)$$

$$S_T = \frac{m_a V_{x0}^2}{2(P_{T2} + P_{T1})}, \quad (2.32)$$

Выводы. При движении на повороте на работу тормозного управления накладываются дополнительные ограничения, вызванные необходимостью сохранения ТС устойчивости и управляемости. Эффективность торможения на повороте даже при максимальном использовании сцепных возможностей ТС ниже, чем при торможении на прямой. В действующих нормативных документах не регламентируется проверка, тормозных свойств ТС при движении на криволинейных

участках дороги. Предложенное уравнение тормозного пути позволяет производить оценку тормозных свойств ТС при движении на повороте.

Известные законы идеального распределения тормозных сил как между осями, так и между бортами учитывают только величину боковой силы, приложенной в центре масс ТС. При торможении на повороте с уменьшением скорости движения ТС происходит уменьшение боковой силы, что должно сопровождаться постоянным изменением распределения тормозных сил между осями и бортами.

Литература

1. Абрамов А.Б. Оценка эффективности регулятора тормозных сил. // Автомобильный транспорт. – Киев: Техніка. – 1971. – Вып. 8. – с. 93 - 98.
2. Бегишев Д. Кабельное торможение // Motor News. – 2001. - №9. – с. 36 - 37.
3. Бегишев Д. Шифровка ESP / Motor News. – 1998. №11. – с. 70 - 71.
4. Генбом Б.Б., Демьянюк В.А., Гутта А.И. и др. Об оценке возможности криволинейного движения автомобиля при торможении // Автомобильная промышленность. – 1972. №1. – с. 26 - 28.
5. Вопросы динамики торможения и теории рабочих процессов тормозных систем автомобилей. / Генбом Б.Б., Гудз Г.С., Демьянюк В.А., Кизман А.М., Кобылянский В.Н. – Львов: Вища школа, 1974. – 274 с.