

УДК 629.3.017.3

ОЦЕНКА ПРЕДЕЛЬНЫХ ПО СЦЕПЛЕНИЮ КОЛЕС С ДОРОГОЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОВОРОТЛИВОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ **Бобошко А.А.**

Рассматривается методика, позволяющая на стадии проектирования производить оценку показателей поворотливости автомобиля.

Известно [1,2], что устойчивость автомобиля на поворотах оценивается показателями статической и динамической поворотливости. Статическая поворотливость характеризуется минимальным радиусом поворота машины, а динамическая – временем поворота машины на 180^0 , т.е. угловой скоростью поворота. Примем угловую скорость поворота в качестве критерия поворотливости и проведем с его помощью оценку предельных по сцеплению колес с дорогой возможностей автомобиля. Анализ произведем на примере упрощенной двухколесной модели машины (“велосипедная” схема) с передним управляемым и задним ведущим колесом в режиме установившегося поворота с постоянным радиусом R_2 и линейной скорости движения V_{x1} (в направлении продольной оси автомобиля). Это означает, что автомобиль поворачивает с постоянной угловой скоростью $\omega = V_{x1}/R_2 = \text{const}$. Поскольку представляют интерес предельные по сцеплению показатели поворотливости, то углы увода передней и задней осей принимаем равными и имеющими незначительную величину. Это позволит несколько упростить решение задачи. В этом случае радиус поворота точки, лежащей на середине задней оси равен

$$R_2 = L \cdot \text{ctga} , \quad (1)$$

где L – продольная колесная база автомобиля; a – средний угол поворота передних управляемых колес.

При принятых условиях и допущениях реакции на колесах, действующие в плоскости дороги, можно определить как

$$R_{d2} = m \cdot V_{x1}^2 \cdot \frac{a}{L^2} \cdot \text{tga} ; \quad (2)$$

$$R_{d1} = m \cdot V_{x1}^2 \cdot \frac{a}{L^2} \cdot \text{tga} \cdot \sec a + R_{k1} \cdot \text{tga} ; \quad (3)$$

$$R_{k2} = \frac{R_{k1}}{\cos a} . \quad (4)$$

где m – общая масса автомобиля; a – расстояние до передней оси до проекции центра масс на горизонтальную плоскость; $R_{\delta 1}$, $R_{\delta 2}$ – боковые

реакции на колесах передней и задней осей; R_{k1} , R_{k2} – касательные реакции на колесах передней и задней осей.

В случае, когда суммарные реакции плоскости дороги на переднем и заднем колесах превышают предельные силы по сцеплению, возможно скольжение колес по опорной поверхности. Это приводит к потере устойчивости (скольжение задней оси). В любом случае при скольжении колес ухудшается управляемость автомобиля.

Условие отсутствия скольжения передней оси состоит в следующем

$$R_{d1}^2 + R_{k1}^2 - j^2 R_{z1}^2 \leq 0, \quad (5)$$

где φ – коэффициент сцепления колес с дорогой; R_{z1} – вертикальная реакция дороги на переднем колесе, $R_{z1} = R_{k1}/f$.

Из выражения (5) получим

$$R_{d1} \leq R_{k1} \sqrt{\frac{j^2}{f^2} - 1}, \quad (6)$$

где f – коэффициент сопротивления качения.

Подставляя (3) в (6), получаем после преобразований предельное значение линейной скорости движения машины по условию скольжения переднего колеса

$$V_{x1} \leq \sqrt{gfL \operatorname{ctga} \left(\sqrt{\frac{j^2}{f^2} - 1} \cdot \cos a - \sin a \right)}, \quad (7)$$

или

$$v = \frac{V_{x1}}{L \cdot \operatorname{ctga}} \leq \sqrt{\frac{gf}{L} \left(\sqrt{\frac{j^2}{f^2} - 1} - \operatorname{tga} \right) \cdot \sin a}, \quad (8)$$

где g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Условие отсутствия скольжения задней оси записывается в виде

$$R_{d2}^2 + R_{k2}^2 - j^2 R_{z2}^2 \leq 0, \quad (9)$$

где R_{z2} – вертикальная реакция дороги на заднем колесе.

После подстановок (2), (4) в (9) и учитывая, что при равномерном движении можно принять

$$R_{z2} \cong mg \frac{a}{L}; \quad (10)$$

$$R_{k1} \cong mg \frac{b}{L} f, \quad (11)$$

получаем условие отсутствия скольжения задней оси в установившемся режиме поворота

$$V_{x1} \leq \sqrt{gfLctga} \sqrt{\frac{j^2}{f^2} - \frac{b^2}{a^2} \sec^2 a} ; \quad (12)$$

или

$$v \leq \sqrt{\frac{g \cdot f}{L}} \sqrt{\frac{j^2}{f^2} - \frac{b^2}{a^2} \sec^2 a} \cdot tga , \quad (13)$$

где b – расстояние от задней оси до проекции центра масс на горизонтальную плоскость.

Сравнивая выражения (7) и (12), можно сделать вывод о том, что предельные по условиям скольжения передних и задних колес скорости движения машины отличаются друг от друга. Это означает, что при повороте машины первыми могут начать скольжение либо передние, либо задние колеса. С точки зрения обеспечения управляемости машины целесообразно, чтобы скольжение задних колес происходило при более высокой скорости, чем скольжение передних. Сравнивая правые части неравенств (7) и (12), определим условие опережающего скольжения передних колес:

$$\begin{aligned} & \sqrt{gfLctga} \sqrt{\frac{j^2}{f^2} - \frac{b^2}{a^2} \sec^2 a} \geq \\ & \geq \sqrt{gfLctga} \left(\sqrt{\frac{j^2}{f^2} - 1} \cdot \cos a - \sin a \right) . \end{aligned} \quad (14)$$

Преобразовав (14), получим

$$\begin{aligned} & \frac{\frac{j^2}{f^2} \cos^2 a - \frac{b^2}{a^2}}{\left(\sqrt{\frac{j^2}{f^2} - 1} \cdot \cos^2 a - \frac{1}{2} \sin 2a \right)^2} \geq 1 . \end{aligned} \quad (15)$$

Если выполняется условие статической поворотливости, то в условии (7) получим $V_{x1} \geq 0$. Поворот машины при отсутствии скольжения задней оси возможен, если в соотношении (12) правая часть будет больше нуля. Это возможно в случае

$$a \leq \arccos \left(\frac{bf}{aj} \right) . \quad (16)$$

Преобразовав (15), учитывая, что $b=L-a$, получим область значений относительно положения центра масс в пределах колесной базы, попадание в которую обеспечивает опережающее скольжение передних колес:

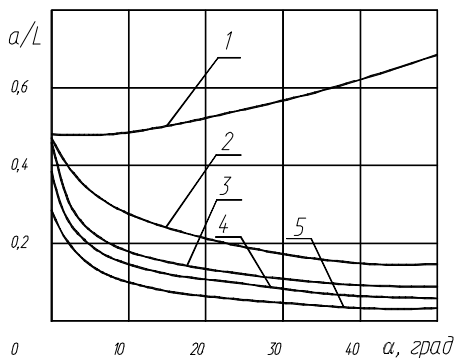


Рисунок 1 - Области опережающего скольжения передних колес (находится выше соответствующих кривых) при j/f равном:
1 – 1; 2 – 10; 3 – 20; 4 – 30; 5 – 40

$$\frac{a}{L} \geq \frac{1}{1 + \cos \alpha \cdot \sqrt{\frac{j^2}{f^2} \sin^2 \alpha + \cos 2\alpha + \sin 2\alpha} \sqrt{j^2}} \quad (17)$$

На рисунке 1 изображена графическая интерпретация условия (17). предпочтительные значения a/L находятся выше соответствующих определенному соотношению ϕ/f кривых. Эти значения для реальных дорожных покрытий находятся в пределах от 3 до 40. Для сравнения показана кривая, соответствующая $\phi/f=1$.

Анализ кривых, изображенных на рисунке 1 показывает, что машины, имеющие центр масс, смещенный к передней оси, при задних ведущих и передних неведущих управляемых колесах обладают недостаточной

устойчивостью при $\alpha < 10^\circ$. При больших углах поворота управляемых колес зона опережающего скольжения передних колес заполняет практически все поле возможных значений a/L .

Предложенная методика позволяет конструкторам на стадии проектирования производить оценку показателей поворотливости автомобилей (и других колесных машин) и своевременно вносить в документацию

Библиография

- 1 Закин Я.Х. Маневренность автомобиля и автопоезда – М.: Транспорт, 1986. – 136 с.
- 2 Тракторы: Теория / В.В.Гуськов, Н.Н.Велев, Ю.Е.Атаманов, Н.Ф.Бочаров; Под ред. В.В.Гуськова — М.: Машиностроение, 1988. — 376 с.

Поступила в редакцию 06.12.2001 г.