

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВТОМОБИЛЯ С ДОРОГОЙ

Характеристики поверхности дороги и движение автомобилей

Взаимодействие автомобиля и дороги представляет собой сложный процесс, анализ которого позволяет оценить устойчивость автомобиля, влияние внешней среды на условия движения и механические воздействия на дорожную одежду.

Взаимодействие можно характеризовать следующими основными показателями:

- размером нагрузки;
- средним давлением по площади отпечатка колеса;
- частотой приложения нагрузки;
- прогибом дорожной одежды;
- сопротивлением качению;
- сцеплением колеса с покрытием, ровностью покрытия и его состоянием.

На дорогу от колес автомобиля передаются статические нагрузки при остановке автомобилей (рис. 2.1, *а*) и кратковременные или динамические при движении (рис. 2.1, *б*).

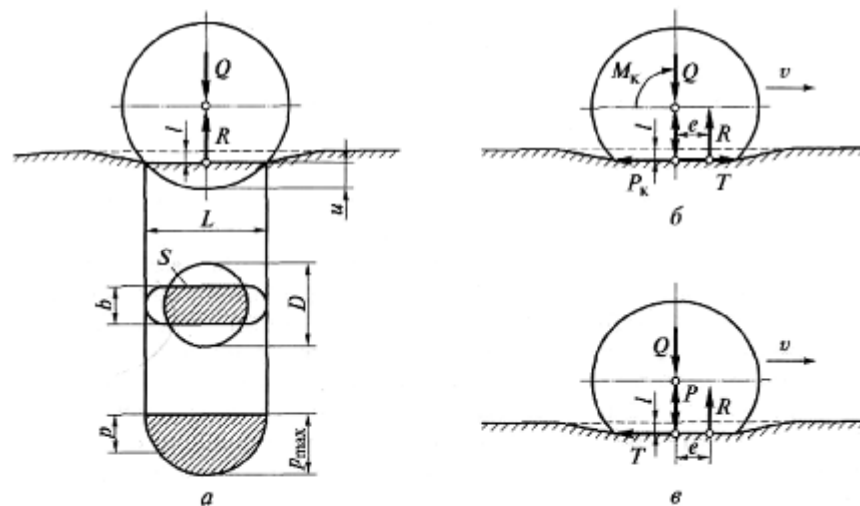


Рис. 2.1. Схема сил, передаваемых на покрытие от колес:

а — неподвижного; *б* — ведущего; *в* — ведомого; ρ — удельное давление на покрытие от колеса автомобиля; ρ_{max} — максимальное удельное давление на покрытие от колеса автомобиля; u — сжатие автомобильной шины; l — прогиб дорожной одежды под колесом автомобиля; e — смещение точки приложения реакции R ; D — условный диаметр круга отпечатка, заменяющего эллипс в зоне контакта шины с покрытием; P_k — сила тяги на ободу колеса автомобиля; T — сила трения; F — сила сопротивления качению

Нормальная реакция дороги $R = Q$ приложена в центре следа колеса. В этом случае взаимодействие автомобиля с дорогой можно характеризовать колесной нагрузкой Q , площадью отпечатка пневматического колеса S , средним контактным давлением $\rho = Q/S$.

Различают площадь отпечатка колеса по контуру в форме эллипса и по выступам протектора. Для упрощения в расчетах принимают площадь отпечатка не в форме эллипса, а в форме круга с приведенным по площади отпечатка диаметром

$$D = 1,13 \sqrt{\frac{Q}{\rho}}.$$

Эти две основные характеристики ρ и D или их произведение $\rho \times D$ определяют

взаимодействие автомобилей с дорогой и зависит от грузоподъемности автомобиля и степени загрузки.

$$D = 18 \div 35 \text{ см}$$
$$S = 250 \div 1000 \text{ см}^2$$
$$\rho = 0,3 \div 0,85 \text{ МПа}$$

Контактное давление ρ приблизительно можно рассчитать в зависимости от внутреннего давления воздуха $\rho_в$ в шине

$$\rho = K_{ж} \times \rho_в$$

$K_{ж}$ – коэффициент, учитывающий ее жесткость и равный 1,1 – 1,3.

Под действием вертикальной нагрузки шина колеса деформируется, при этом величина сжатия u пропорциональна величине колесной нагрузки:

$$u = K'_{ж} \times Q$$

где $K'_{ж}$ — коэффициент, учитывающий упругость шины колеса.

Чем выше u , тем больше площадь отпечатка и меньше удельное давление.

При движении ведущего колеса на него, кроме нагрузки Q и нормальной реакции R , действует крутящий момент M_k , вызывающий в плоскости следа окружную силу (силу тяги) P_k направленную в сторону, обратную движению:

$$P_k = \frac{M_k}{r_k},$$

где r_k — радиус качения шины колеса.

Сила P_k вызывает горизонтальную реакцию $T = P_k$, вследствие чего происходит движение (рис. 2.1, б). Это *реактивная сила*, или *сила трения*.

Сопротивление качению. На горизонтальном участке основная часть силы тяги расходуется на преодоление сил сопротивления качению F , которые оцениваются затратой энергии на деформирование l дорожной конструкции и сжатие шины колеса u .

Показателем сопротивления качению считается коэффициент сопротивления качению $f = F/Q$. Эту величину можно определить следующим образом (рис. 2.1, в). Ввиду того что шина колеса обладает эластичностью, точка приложения нормальной реакции R смещена вперед по ходу движения. Это смещение характеризует сопротивление качению. Коэффициент сопротивления качению может быть вычислен по формуле

$$f = \frac{e}{r_k}$$

где e – смещение точки приложения нормальной реакции.

Величина f зависит от колесной нагрузки Q , давления воздуха в шинах $\rho_в$, размеров колес и эластичности шины, скорости движения, прочности одежды, ровности покрытий и является важной характеристикой взаимодействия автомобиля с дорогой.

При низких скоростях движения величина f почти не меняется и для скоростей до 20 км/ч ее можно принять постоянной.

Дальнейшее увеличение скорости вызывает повышение коэффициента f , так как шина в зоне контакта с покрытием не успевает полностью распрямиться и колесу возвращается меньшая доля энергии, затраченной на деформирование шины.

Кроме того, при увеличении скорости деформации возрастает внутреннее трение в шине. Значение коэффициента сопротивления качению для любой скорости может быть определено по формуле

$$f_v = f_{20} + K_f(v - 20),$$

где f_{20} — коэффициент сопротивления качению при скорости 20 км/ч; K_f — коэффициент повышения сопротивления качению, зависящий от скорости движения автомобиля. Для легковых автомобилей $K_f = 0,00025$, для грузовых $K_f = 0,0002$; v — скорость, для которой определяют коэффициент сопротивления качению, км/ч.

Одна из причин снижения скорости — рост сопротивления качению, которое может возрасти на неровных покрытиях в 2 — 3 раза. Увеличение шероховатости покрытия приводит к росту коэффициента сопротивления качению в среднем на 4 % на 1 мм высоты неровностей шероховатости на асфальтобетонных покрытиях и на 13 % на цементобетонных.

По данным А. К. Бируля, коэффициент сопротивления качению при движении автомобиля по неровной поверхности

$$f = 0,01 + 1,2 \cdot 10^{-8} S_c v^2,$$

где S_c — показатель ровности по толчкомеру, см/км; v — средняя скорость автомобиля, км/ч.

Наличие воды на покрытии приводит к увеличению сопротивления качению примерно на 5 % на каждый миллиметр ее толщины:

$$f = f_0(1 + 0,05h_n),$$

где f_0 — коэффициент сопротивления качению сухого покрытия; h_n — толщина слоя воды и грязи на покрытии, мм.

Несмотря на большое влияние сопротивления качению на режим движения автомобиля, расход топлива, себестоимость перевозок и даже на назначение продольного уклона дороги, в руководящих документах до сих пор не разработаны требования к допустимому размеру коэффициента сопротивления качению для покрытий.

Тип покрытия	Коэффициент сопротивления качению при покрытии (в числителе f_{20} , в знаменателе f_{60})				
	Цементобетонное и асфальтобетонное	$\frac{0,01 - 0,02}{0,02 - 0,03}$	$\frac{0,03 - 0,035}{0,035 - 0,045}$	$\frac{0,04 - 0,10}{0,05 - 0,12}$	$\frac{0,08 - 0,12}{0,09 - 0,13}$
То же с поверхностной обработкой	$\frac{0,02}{0,03}$	$\frac{0,03 - 0,035}{0,035 - 0,045}$	$\frac{0,04 - 0,10}{0,05 - 0,12}$	$\frac{0,08 - 0,12}{0,09 - 0,13}$	$\frac{0,02 - 0,04}{0,03 - 0,05}$
Холодный асфальтобетон, черное щебеночное, черное гравийное	$\frac{0,02 - 0,025}{0,03 - 0,04}$	$\frac{0,03 - 0,045}{0,04 - 0,05}$	$\frac{0,04 - 0,10}{0,05 - 0,12}$	$\frac{0,08 - 0,12}{0,09 - 0,13}$	$\frac{0,02 - 0,04}{0,03 - 0,05}$
Щебеночное, гравийное	$\frac{0,035}{0,045}$	$\frac{0,04 - 0,06}{0,05 - 0,07}$	$\frac{0,04 - 0,10}{0,05 - 0,12}$	$\frac{0,08 - 0,12}{0,09 - 0,13}$	$\frac{0,03 - 0,04}{0,04 - 0,05}$
Грунтовая дорога	$\frac{0,03}{0,04}$	$\frac{0,05 - 0,15}{0,06 - 0,16}$	$\frac{0,06 - 0,10}{0,07 - 0,12}$	$\frac{0,08 - 0,12}{0,09 - 0,13}$	$\frac{0,03 - 0,05}{0,04 - 0,06}$
	эталонном (сухом)	мокром, загрязненном	с ровным слоем плотного снега	с рыхлым снегом толщиной 20-40мм	гололеде

СЦЕПНЫЕ КАЧЕСТВА ПОКРЫТИЯ.

Тип покрытия, его прочность, ровность, шероховатость и состояние существенно влияют на коэффициент сопротивления качению колеса автомобиля и коэффициент сцепления его с покрытием.

Поверхность покрытия всегда имеет неровности, которые оказывают большое влияние на условия движения автомобилей и водителей и как результат - на скорость.

Коэффициент трения и коэффициент сцепления колеса автомобиля с покрытием

Реализация силы тяги T ведущим колесом зависит от значения трения между шиной колеса и поверхностью дороги:

$$T = \varphi \times R \text{ или } T = \varphi \times Q,$$

где φ – коэффициент трения протектора шины по дорожной поверхности.

Сила трения при торможении колеса может быть определена через площадь контакта шины с покрытием:

$$T = S\varphi_{\text{т}}K_{\text{ж}}p_{\text{в}},$$

где T — сила трения колеса с покрытием; S — площадь контакта колеса с покрытием; $\varphi_{\text{т}}$ — коэффициент трения протектора шины с покрытием; $K_{\text{ж}}$ — коэффициент жесткости шины; $p_{\text{в}}$ — давление воздуха в шине.

В дорожной практике вместо понятия коэффициента трения применяют понятие коэффициента сцепления:

$$\varphi = \frac{T}{Q_{\text{к}}}.$$

Коэффициентом сцепления называют отношение реактивной силы, действующей на колесо автомобиля в плоскости его контакта с покрытием, к вертикальной нагрузке, передаваемой колесом на покрытие. По физической сущности коэффициент сцепления представляет собой коэффициент трения пары резина протектора автомобильной шины — покрытие проезжей части дороги.

Зависимость коэффициента сцепления φ от скорости v может быть выражена формулой:

$$\varphi_v = \varphi_{20} - \beta_{\varphi}(v - 20),$$

где φ_{20} – коэффициент сцепления при скорости измерения 20 км/ч; β_{φ} – коэффициент изменения сцепных качеств при изменении скорости, зависит от типа и состояния покрытия. В нормативных документах обычно приведены значения коэффициента сцепления при скорости 60 км/ч. Чтобы перейти к другой скорости, эти значения нужно пересчитывать по формуле:

$$\varphi_v = \varphi_{60} - \beta_{\varphi}(v - 60).$$

покрытие	φ ₆₀ и β _φ для гладкой шины на покрытии					
	эталонном (сухом)		мокрое, чистое		мокрое, грязное	
	φ ₆₀	β _φ	φ ₆₀	β _φ	φ ₆₀	β _φ
Цементобетонное	0,45-0,55	0,002	0,35-0,40	0,003	0,20-0,30	0,0025
Асфальтобетонное с шероховатой обработкой	0,40-0,50	0,003	0,30-0,40	0,003	0,20-0,30	0,003
Горячий асфальтобетон без шероховатой обработкой	0,45-0,55	0,002	0,25-0,35	0,003	0,15-0,25	0,0025
Холодный асфальтобетон	0,30-0,40	0,0035	0,20-0,30	0,003	0,15-0,20	0,0025
Черное щебеночное и черное гравийное	0,25-0,35	0,003	0,20-0,30	0,0035	0,10-0,20	0,0025
Щебеночное и гравийное	0,30-0,35	0,003	0,15-0,25	0,0035	0,10-0,20	0,0025

В начальной стадии эксплуатации дороги коэффициент (φ) сцепления на всем

протяжении автомагистрали при измерениях со скоростью $V=60$ км/ч на мокрых покрытиях должен быть $\varphi \geq 0,45$, а на участках со сложными условиями движения (переходно-скоростные полосы, рампы пересечений в разных уровнях, участки разделения и слияния потоков) - $\varphi \geq 0,5$. При этом снижение коэффициента сцепления с увеличением скорости с 60 до 80 км/ч не должно превышать 0,05 на основном протяжении автомобильной дороги и 0,10 на участках со сложными условиями движения. Коэффициенты сцепления в процессе эксплуатации автомобильной дороги (включая покрытия остановочных полос) должны быть $\varphi \geq 0,4$ при измерениях на скорости $V=60$ км/ч и мокром покрытии. Вне зависимости от числа полос движения и средних скоростей транспортных потоков сцепные качества покрытия в поперечном профиле должны быть одинаковыми [2]. Разница коэффициентов сцепления не должна превышать $(0,05 \div 0,10)$ в пределах проезжей части и $(0,10 \div 0,15)$ на краевых укрепленных полосах по сравнению с проезжей частью. Сцепные качества покрытий в основном определяются шероховатостью, которая должна обеспечивать высокие коэффициенты сцепления (φ) в продолжение всего срока службы покрытия, быстрый сток воды с проезжей части, минимальные изменения коэффициента (φ) сцепления по сезонам года, по ширине проезжей части, наименьший износ протектора шин и оптимальный уровень шума. Этому комплексу требований в наибольшей степени удовлетворяют покрытия, поверхность которых имеет среднюю высоту выступов $\geq 1,5$ мм.