

Лекция 2

Об основах взаимодействия колес с автодорогой

План:

1. Показатели взаимодействия автомобилей с дорогой. Силы, передаваемые на дорогу колесом автомобиля, и схема этих сил.
2. Тяговая динамичность автомобиля. Безопасность движения при различных дорожных условиях

Показатели взаимодействия автомобилей с дорогой. Силы, передаваемые на дорогу колесом автомобиля, и схема этих сил

Взаимодействие автомобиля и дороги представляет собой сложный процесс, результатом которого является движение автомобиля. Это 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.

В движении автомобиль многократно повторяет определенный набор состояний: стоянка или остановка, разгон, режим тяги или выбега (свободного качения), режим торможения и т.д.

Каждое из этих состояний характеризуется свойственным ему сочетанием таких показателей, как скорость движения, ускорение (положительное или отрицательное), крутящий момент на валу двигателя, угловая скорость вращения колес и др. Для горизонтального участка дороги эти показатели представлены в табл. 1.

Таблица 1

Динамические показатели режима работы автомобиля

| Режим работы автомобиля | Динамические показатели | | | |
|-------------------------|-------------------------|-----------|-----------------|---------------------------------|
| | Скорость движения | Ускорение | Крутящий момент | Угловая скорость вращения колес |

| | | | | | |
|--|----|---------|------------|------------|----------|
| | ия | | | | |
| Остановка или стоянка | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Трогание места и разгон | В | В | В | В | |
| Выбег (свободное качение) | | У | у; п | 0 | У |
| Качение пробуксовыванием (при разгоне) | с | у; п; в | у; п; в; 0 | у; п; в | У; п; в |
| Полное пробуксовывание (автомобиль неподвижен) | | 0 | 0 | у; п; в; 0 | У; п; в; |
| Торможение: скольжения без | | У | у; п; | у; п | У |
| с проскальзыванием | | У | у; п; | у; П | У |
| скольжение без качения (полная блокировка) | | У | у; п; | 0 | 0 |

Примечание, у — уменьшается; п — постоянное; в — возрастает; 0 — равно нулю.

В реализации любого режима движения и состояния автомобиля участвует автомобильная дорога, от транспортно-эксплуатационного состояния и характеристик которой зависит эффективность реализации режимов и состояний автомобиля.

На дорогу от колес автомобиля передаются статические нагрузки при остановке автомобилей и кратковременные или динамические при движении. При статическом загрузении (остановка автомобиля) колесо передает на покрытие нагрузку Q (рис. 1. а). 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 $p = Q : S$.

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

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

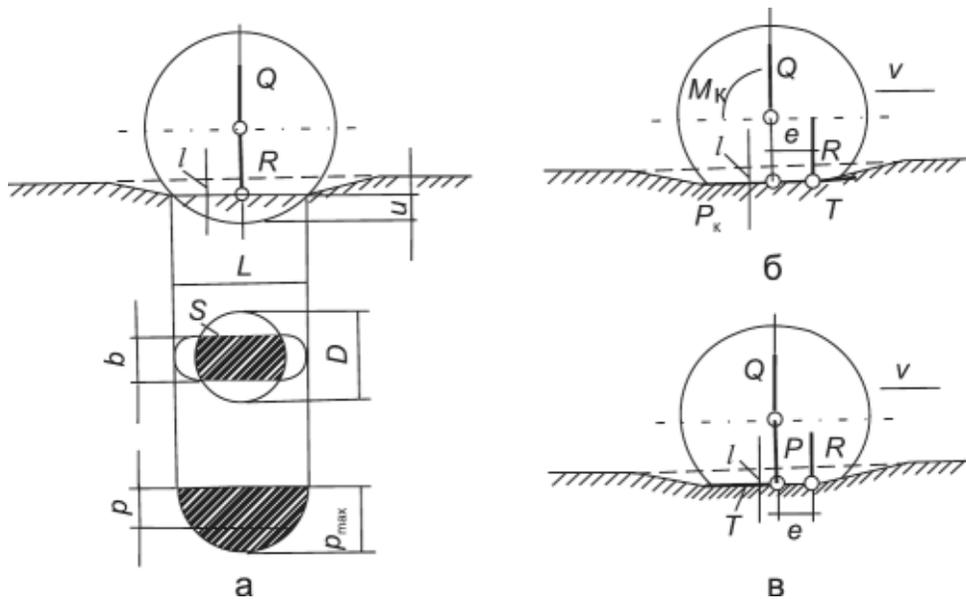


Рис. 1. Схема сил, передаваемых на покрытие от колес: а — неподвижного; б — ведущего; в — ведомого; p — удельное давление на покрытие от колеса автомобиля; p_{max} — максимальное удельное давление на покрытие от колеса автомобиля; l — сжатие автомобильной шины; l — прогиб дорожной одежды под колесом 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 ободе колеса автомобиля; T — сила трения; P — сила сопротивления качению.

Эти две основные характеристики p и D или их произведение pD определяют взаимодействие автомобилей с дорогой.

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

$$U = K'_{\text{ж}} Q, \quad (10.1)$$

где $K_{ж}$ — коэффициент, учитывающий упругость шины колеса (радиальную жесткость).

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:

$$P_k = \frac{M_k}{r_k}, \quad (10.2)$$

где r_k — радиус качения шины колеса.

Сила P_k вызывает горизонтальную реакцию $T = P_k$, вследствие чего происходит движение (рис. 1. б). Это *реактивная сила*, или *сила трения* [13-

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

Показателем сопротивления качению считается коэффициент сопротивления качению $f = P : Q$. Эту величину можно определить следующим образом (рис. 10.1 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

$$f = \frac{l}{r_k}, \quad (10.3)$$

где l — смещение точки приложения нормальной реакции.

Величина f зависит от колесной нагрузки Q , давления воздуха в шинах $p_в$, 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

$$f_v = f_{20} + K_f (v - 20), \quad (10.4)$$

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.

Тип покрытия, его прочность, ровность и шероховатость, наличие разрушений, трещин, влаги, пыли и грязи, снега и гололеда существенно влияют на коэффициент сопротивления качению колеса автомобиля и коэффициент сцепления его с покрытием. На малопрочном покрытии сопротивление качению возрастает за счет деформирования поверхности качения.

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

Одна из причин снижения скорости — рост сопротивления качению, которое может возрасти на неровных покрытиях в 1,5—2 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

$$f = 0,01 + 1,2 \cdot 10^{-8} S_c v^2, \quad (10.5)$$

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:

$$f = f_0 (1 + 0,05 h_{\text{в}}), \quad (10.6)$$

где f_0 — коэффициент сопротивления качению сухого покрытия;

$h_{\text{в}}$ — 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.

Тяговая динамичность автомобиля

Тяговая динамичность характеризует способность автомобиля производительно выполнять транспортные функции. Чем динамичнее автомобиль, тем он способен быстрее разогнаться и двигаться с более высокой скоростью в разнообразных условиях движения. Повышение тяговой динамичности возможно за счет увеличения удельной мощности двигателя и улучшения его приемистости, что достигается уменьшением массы автомобиля, улучшением его обтекаемости, совершенствованием конструкции двигателя, трансмиссии и ходовой части. Автомобиль, обладающий относительно более высокой тяговой динамичностью, в реальных дорожных условиях обладает большим запасом мощности, который может расходоваться на преодоление дорожных сопротивлений и на разгон.

Тяговые свойства (тяговая динамика) автомобиля определяют его способность интенсивно увеличивать скорость движения. От этих свойств во многом зависит уверенность водителя при обгоне, проезде перекрестков. Особенно важное значение тяговая динамика имеет для выхода из аварийных ситуаций, когда тормозить уже поздно, маневрировать не

позволяют сложные условия, а избежать ДТП можно, только опередив события.

Так же как и в случае с тормозными силами, сила тяги на колесе не должна быть больше сцепления с дорогой, в противном случае оно начнет пробуксовывать. Предотвращает это противобуксовочная система (ПБС). При разгоне автомобиля она подтормаживает колесо, скорость вращения которого больше, чем у остальных, а при необходимости уменьшает мощность, развиваемую двигателем.

Следует отметить, что тяговая динамичность автомобиля зависит от его конструктивных параметров и качества дороги.

Из конструктивных факторов наибольшее значение имеют:

о форма скоростной характеристики двигателя,

о КПД трансмиссии,

о передаточные числа трансмиссии,

о масса автомобиля,

о обтекаемость автомобиля.

Форма скоростной характеристики. Карбюраторный двигатель имеет более выпуклую характеристику, чем дизель, что обеспечивает ему больший запас мощности при той же скорости. Следовательно, будет больше преодолеваемое сопротивление или развиваемое ускорение.

КПД трансмиссии. КПД трансмиссии оценивает величину непроизводительных потерь энергии. Уменьшение КПД, вызванное ростом потерь энергии на трение, приводит к уменьшению силы тяги на ведущих колесах. В результате снижается максимальная скорость автомобиля и максимальный коэффициент сопротивления дороги.

Применение в холодное время года летних трансмиссионных масел, имеющих большую вязкость, приводит к увеличению крутящегося момента, особенно заметному во время трогания автомобиля с места.

Передаточные числа трансмиссии. От передаточного числа главной передачи в большой степени зависит максимальная скорость автомобиля. От передаточного числа первой передачи зависит величина максимального

сопротивления дороги, преодолеваемого при равномерном движении. Передаточные числа промежуточных ступеней подбирают таким образом, чтобы обеспечить максимальную интенсивность разгона.

Увеличение числа передач в коробке улучшает тяговую динамичность автомобиля. Хотя динамические факторы на первой и последних передачах в обоих случаях одинаковы, однако, сравнивая максимальные скорости на различных дорогах, видим преимущества четырехступенчатой коробки. Так, на дороге, характеризуемой коэффициентом сопротивления максимальная скорость автомобиля характеризуемых штриховой кривой, что вызывает ухудшение динамичности и топливной экономичности автомобиля.

Масса автомобиля. Повышение массы автомобиля приводит к увеличению силы инерции и сил сопротивления качению и подъему и, как следствие, к ухудшению динамичности автомобиля.

Обтекаемость автомобиля. Для современных легковых автомобилей характерны строгие прямолинейные очертания с плавными переходами, однако нередко зарубежные фирмы в рекламных целях выпускают автомобили с кузовами вычурной формы, имеющими необычный внешний вид и создающими повышенное сопротивление воздуха.

Для уменьшения сопротивления воздуха ветровое стекло автомобиля располагают наклонно, а выступающие детали устанавливают так, чтобы они не выходили за внешние очертания кузова. У гоночных автомобилей число выступающих частей уменьшают до минимума, а заднюю часть кузова делают вытянутой, добиваясь плавного обтекания ее воздухом.

Силу сопротивления воздуха у грузовых автомобилей можно уменьшить, закрыв грузовую платформу брезентом, натянутым между крышей кабины и задним бортом, или используя специальные щитки (обтекатели), уменьшающие завихрения воздуха.

Тяговая динамика автомобиля имеет важнейшее значение для повышения его производительности и снижения затрат на перевозки. Чем более динамичен автомобиль, тем быстрее он перевозит пассажиров и грузы, тем выше его средняя скорость. Условия движения автомобиля непрерывно меняются, что приводит к изменению его скорости. Для обеспечения безопасности необходимо, чтобы скорость движения в любой момент времени соответствовала дорожным условиям и психофизиологическим возможностям водителя.

Во время дорожного движения происходят события, нарушающие это соответствие и влекущие за собой отрицательные последствия. Тяжесть этих последствий, как правило, возрастает с увеличением скорости. Таким образом, для дорожного движения характерно наличие двух тенденций. С одной стороны, желательно увеличить скорость транспортного потока, так как это сокращает время доставки грузов и пассажиров, повышает производительность подвижного состава, с другой стороны - с ростом скорости движения увеличивается вероятность возникновения ДТП и тяжесть их последствий. Поэтому повышение скорости автомобилей возможно лишь при одновременном обеспечении безопасности их движения.

Показателями тяговой динамики автомобиля являются максимальные скорость и ускорение, минимальные время и путь разгона.

Повышение этих показателей должно сопровождаться повышением конструктивной безопасности автомобиля, улучшением дорожных условий и организации движения.

Безопасность движения при различных дорожных условиях

При управлении автомобилем в туман, или в условиях ограниченной видимости, в обязательном порядке необходимо снизить скорость движения до уровня, позволяющего совершить экстренное торможение автомобиля перед возможным неожиданным препятствием.

Кроме этого, необходимо включить дополнительные световые приборы, или противотуманные фары, а в качестве дополнительного источника привлечения внимания, включить аварийную сигнализацию, которая привлечет внимание других участников движения и создаст дополнительную зону безопасности.

Категорически не рекомендуется при движении автомобиля в условиях ограниченной видимости, использование дальнего света фар в качестве источника дополнительного освещения, ведь в данном случае, дальний свет, не только ухудшает видимость, но и приводит к повышенной утомляемости зрения водителя автомобиля.

Сильный дождь, вносит свои коррективы в любое движение, так, при управлении автомобилем в дождливую погоду, необходимо снизить скорость движения и, увеличить дистанцию до впереди идущего автомобиля.

Следует избегать резких перестроений, ускорений, и торможения, стараясь максимально прямолинейно управлять автомобилем, а при возникновении

эффекта аквапланирования вызванного резким ухудшением контакта автомобильных покрышек с дорожным покрытием, необходимо плавно и постепенно отпустить педаль газа, осуществляя таким образом мягкое торможение, и возобновление контакта шин с покрытием.

Неплохим решением, будет включение дополнительных источников света, а в случае очень сильного дождя и аварийной сигнализации.

При движении на автомобиле в гололед, и в условиях сильного снегопада, следует учитывать увеличенную тормозную дистанцию, поэтому, расстояние до впереди идущего автомобиля должно быть максимально большим.

Категорически запрещаются резкие ускорения, торможения и перестроения, все эти маневры совершаемые в гололед и в снегопад, даже на ровной дороге, неизбежно приводят к потере сцепления с покрытием, и последующим срывом автомобиля в занос.

Скоростной режим движения необходимо выбирать не только, исходя из общей скорости транспортного потока, но, и с учетом индивидуальных свойств автомобиля, а также, типа установленных автомобильных покрышек.

Необходимо тщательно следить за работой двигателя и режимом движения, при этом, желательно держать обороты двигателя на отметке, близкой к началу уровня максимальной тяги двигателя, - ведь в этом случае, при неожиданном заносе, резким нажатием на педаль газа можно увеличить тягу двигателя до максимальной, и моментально выйти из начинающегося заноса.

Контрольные вопросы

1. Какие показатели характеризуют взаимодействие колес автомобиля с дорогой
2. Что характеризует тяговая динамичность автомобиля
3. Показатели тяговой динамики автомобиля

Список литературы

1. Автомобильные дороги. Строительство, ремонт, эксплуатация / Л.Г. Основина и др. - М.: Феникс, 2015. - 496 с.
- 2.

2. Науменков, Н. К. Постатейный комментарий к Федеральному Закону от 8 ноября 2007 г. № 257-ФЗ "Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты" / Н.К. Науменков. - М.: Деловой двор, 2018. - 448 с.
3. Постатейный комментарий к Федеральному закону в новой редакции "Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности". - Москва: РГГУ, 2015. - 608 с.
4. Рассел, Джесси Классификация автомобильных дорог в России / Джесси Рассел. - М.: VSD, 2016. - 945 с.
5. Садило, М. В. Автомобильные дороги. Строительство и эксплуатация / М.В. Садило, Р.М. Садило. - М.: Феникс, 2018. - 368 с.
6. Васильев А.П., Сиденко В.М. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения : учебник для вузов / под ред. А.П. Васильева. М. : Транспорт, 1990. Бабков В.Ф., Андреев О.В. Проектирование автомобильных дорог : учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. Ч. 1. М. : Транспорт, 1987.
7. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения / под ред. И.И. Леоновича. Минск : Вышэйш. шк., 1988.