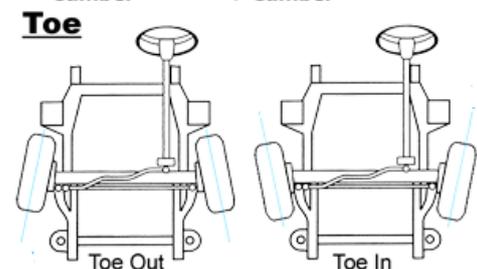
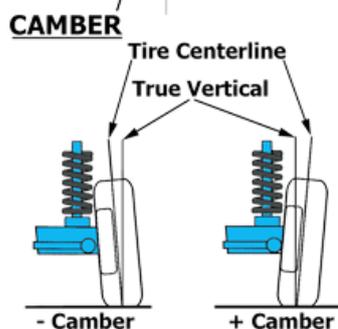
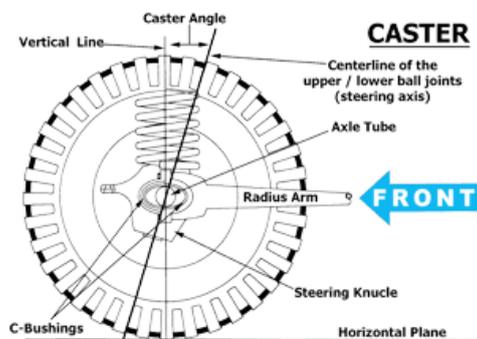


Учебное пособие Базовые понятия геометрии ходовой части и рулевого управления



Пособие представлено
Титаренко Дмитрием Н.

Санкт-Петербург
2012

1. Кинематика подвески

1.1. Основные сведения

Для обеспечения надежного управления между проезжей частью, колесом и кузовом транспортного средства должна соблюдаться согласованность перемещений. В обеспечении надежного сцепления колеса с дорожной поверхностью немаловажное значение при­дается согласованным перемещениям колеса относительно кузова (рамы) транспортного средства (см. рис 1.1 и 1.2).

Относительные перемещения между колесом и кузовом могут появляться в результате воздействия движущих сил, сил торможения и боковых сил, причиной которых являются упругие деформации элементов конструкций (см. рис.1.3).

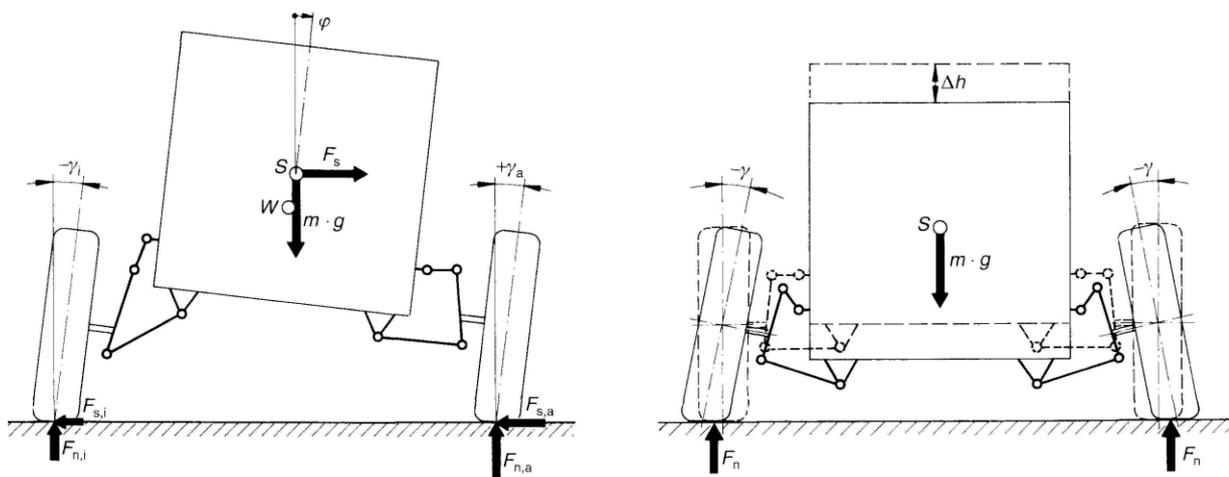


Рис. 1.1: В зависимости от конструктивных особенностей подвесок под действием внешних сил изменяется относительное положение колес и кузова автомобиля

Справа: При одинаковом прогибе пружин подвесок одной оси, вызванный дополнительной вертикальной нагрузкой, изменения положения кузова и колес симметричны.

Слева: При различном прогибе, вызванном боковой силой, происходит встречное изменение положения колес относительно кузова.

γ = развал колеса (угол наклона плоскости вращения колеса к вертикали)

Источник: Vogel

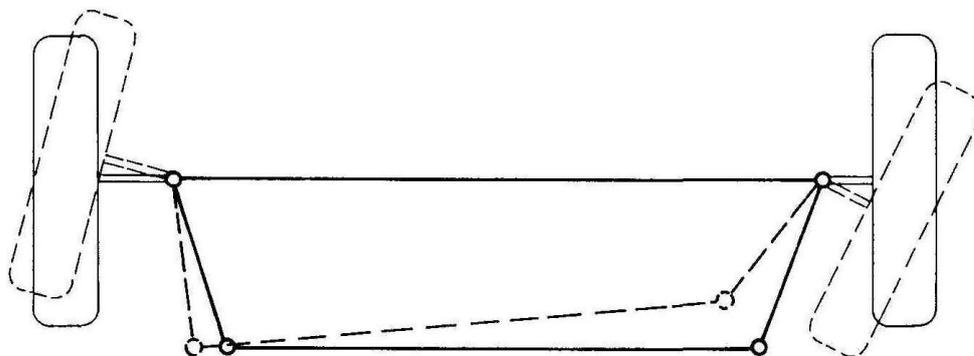


Рис. 1.2: Управление автомобилем производится преднамеренным изменением относительного положения между колесами управляемой оси и кузовом. Установка оси поворота колеса (шкворня) под углом к кузову вызывает перемещение управляемого колеса при его повороте в плоскости, наклонной к дорожному полотну (см. рис 1.15); Источник: Vogel

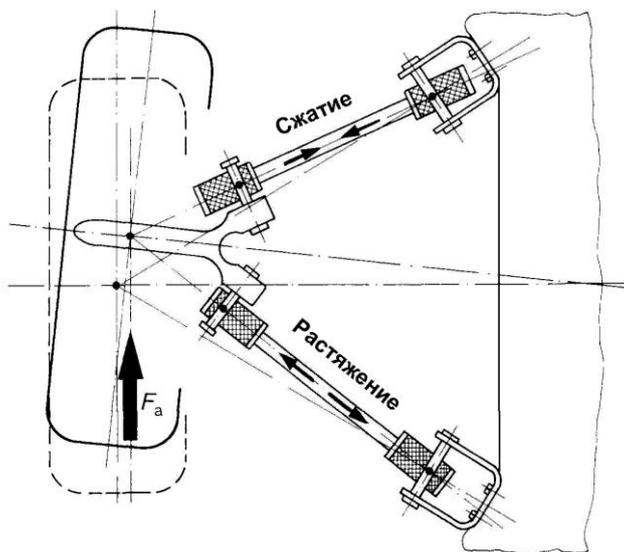


Рис. 1.3: Движущая сила F_a вызывает упругие деформации элементов подвески. В результате деформации элементов подвески возникает поворот колеса относительно кузова, который следует учитывать при проектировании автомобиля; Источник: Vogel

Описанием перемещений колеса относительно кузова автомобиля занимается раздел теории механизмов машин, в которой изучается движение звеньев механизма независимо от приложенных к ним сил. В связи с возможным изменением взаимного положения элементов конструкций в результате приложения к ним внешних сил, последние десятилетия описанием согласованных перемещений колеса относительно кузова и опорной поверхности занимается новый раздел теории механизмов машин, именуемый эластокинематикой.

Связанная система между колесом и кузовом, образующих между собой кинематические пары, называется кинематической цепью. Кинематической парой называют соединение звеньев механизма, допускающее их относительное движение, а кинематической цепью – связанные системы звеньев механизмов, образующих кинематические пары.

Подвеска колес (осей) автомобиля представляет собой кинематическую цепь, так как колесо обладает возможностью связанных перемещений относительно кузова автомобиля.

При подвешивании колес или осей различают зависимую и независимую подвеску. Различие заключается в возможности взаимных перемещений колес относительно кузова. Если два колеса одной оси соединены через жесткую ось, подвеску называют зависимой. Независимой подвеской называют такую подвеску колес одной оси, при которой перемещение одного колеса данной оси не зависит от перемещения другого колеса этой же оси.

Подвешивание колес может происходить непосредственно к кузову автомобиля, либо через вспомогательные рамы, именуемые подрамниками, либо к поперечным балкам оси.

Крепление системы рулевых тяг и рычагов, производящих поворот управляемых колес, представляет собой звено отдельной кинематической цепи, которая оказывает существенное влияние на перемещение колеса относительно кузова и поверхности проезжей части.

1.2 Мгновенный центр крена, ось поперечного крена кузова, полюс продольного крена.

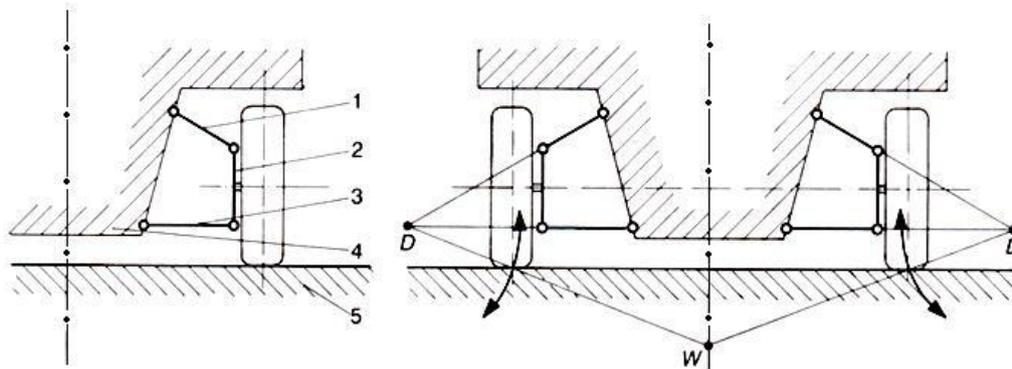


Рис. 1.4: Центр поперечного крена W определяется кинематикой подвески колеса.

Каждое колесо перемещается относительно кузова автомобиля вокруг мгновенного полюса поворота D . Если придать колесу вертикальное перемещение относительно кузова, то нетрудно заметить, что в каждый момент времени колесо займет относительно поверхности дороги точку, определяемую длиной рычагов и расположением шарниров этих рычагов на кузове и колесе автомобиля. Мгновенный полюс поворота D определяется взаимным положением рычагов и лежит в точке пересечения осей, проходящих через рычаги подвески. Центр крена W находится в средней плоскости автомобиля, на пересечении этой плоскости с прямой, соединяющей мгновенный полюс поворота со средней точкой отпечатка шины на проезжей части.

1 верхний поперечный рычаг подвески; 2. Поворотная цапфа и колесо; 3. нижний поперечный рычаг подвески; 4. Кузов автомобиля; 5. Дорожное полотно.

Источник: Vogel

Каждая подвеска колеса имеет мгновенную ось вращения, именуемую центром крена. Центр поперечного крена – это точка, расположенная в вертикальной плоскости, которая проходит через центры площадок соприкосновения колес с дорожным полотном (см. рис 1.4 справа), и при крене автомобиля в каждый момент времени остается неподвижной. В теории механизмов машин такая точка называется мгновенным центром поворота. Таким образом, центр крена W есть точка, лежащая на вертикали, проходящей через середину линии, соединяющей центры площадок соприкосновения колес с дорожным полотном, относительно которой кренился кузов при воздействии на него боковой силы.

Линия, соединяющая мгновенные центры крена передней и задней оси, определяет положение оси крена кузова автомобиля (см. рис. 1.5).

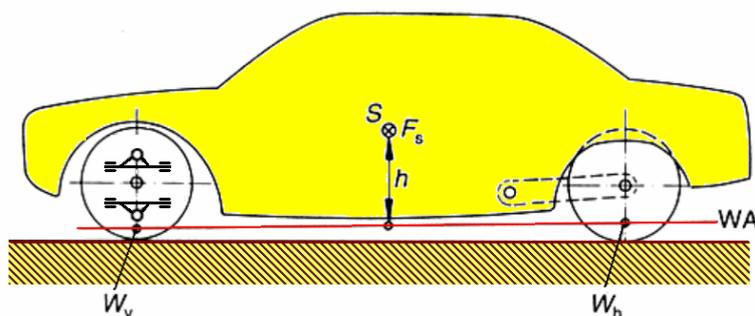


Рис. 1.5: так как каждая из подвесок имеет свои мгновенный центр крена W_v и W_h , продольная линия WA , соединяющая эти точки, является осью поперечного крена кузова; Источник: Vogel

Кузов под действием боковой силы, приложенной к центру тяжести, получает поперечный крен, вращаясь вокруг продольной оси WA крена кузова. Под действием боковой силы F_s возникает момент, величина которого определяется произведением $F_s * h$. Если боковая сила F_s будет приложена к центру тяжести, расположенному на продольной оси крена WA , то поперечного крена кузова наблюдаться не будет.

Противодействие крену кузова оказывают пружины подвески и стабилизаторы поперечной устойчивости.

Ось поперечного крена кузова должна лежать параллельно проезжей части, чтобы получить приблизительно равные изменения нагрузки колес в передней и задней оси. Кроме того, неравные по высоте мгновенные центры крена подвесок передней и задней оси заставляют кузов автомобиля поворачиваться одновременно вокруг двух осей, вызывая скручивание кузова.

Чтобы уменьшить боковой крен кузова ось поперечного крена должна лежать как можно выше. Однако высокое расположение оси поперечного крена кузова при независимой подвеске колес автомобиля приводит к значительному изменению ширины колеи в ходе сжатия/отбоя подвески. Современная тенденция в автомобилестроении склоняется к применению низкорасположенной оси продольного крена автомобиля.

На виде сбоку можно определить положения мгновенных осей продольного крена подвески (O_v и O_h). Условно считается, то к этим точкам прилагаются продольные силы, действующие между мостами и кузовом, а также моменты, обусловленные действием тяговой F_a и тормозной F_b силы. Подвеска левого и правого колеса, как правило, симметричны, следовательно указанные центры продольного крена, определяемые мгновенным положением рычагов подвески, имеют одинаковое расположение с обеих сторон. Это предположение позволяет считать, что существуют передняя O_v и задняя O_h оси продольного крена подвесок.

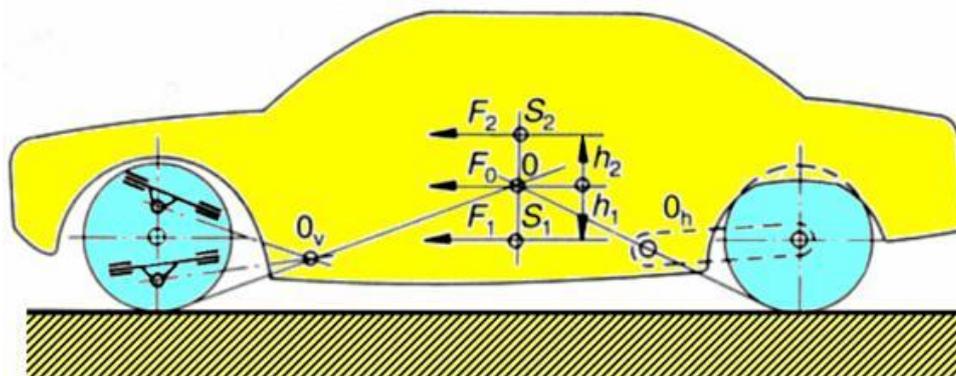


Рис.1.6: В процессе торможения в передней подвеске осуществляется ход сжатия, а в задней подвеске – ход отбоя, то есть передняя часть кузова опускается, а задняя приподнимается. Каждая подвеска колеса имеет полюс продольного крена O_v (передняя ось) и O_h (задняя ось). Продольный крен – это поворот кузова автомобиля вокруг поперечной оси.

Точка пересечения двух линий, соединяющих средние точки отпечатков шин передней и задней оси с соответствующими центрами продольного крена O_v и O_h этих осей, является полюсом продольного крена кузова автомобиля.

F_2 = спереди – сжатие пружин подвески, сзади – обратный ход пружины (отбой подвески);

F_1 = Спереди – отбой подвески (обратный ход пружин), сзади – сжатие пружин подвески;

F_0 = отсутствие продольного крена кузова.

Источник: Vogel

Если ось O_v находится позади передней оси, то во время торможения механизмом, расположенном на колесе, происходит отжатие вверх передней части кузова. Ось O_h , расположенная перед задней осью, обеспечивает притягивание вниз поднимающейся части кузова.

Расположение этих осей продольного крена подвесок определяют положение оси продольного крена кузова автомобиля относительно дорожного полотна (см. рис. 1.6).

Кузов получает продольный крен, вращаясь вокруг оси продольного крена под влиянием момента $F * h$, который возникает при торможении или разгоне.

Противодействие продольному крену оказывают упругие элементы подвески и моменты, образованные тормозными механизмами на колесах передних и задних осей (это явление носит название поддрессоривания).

1.3 Ширина колеи, колесная база (расстояние между осями)

Размеры ширины колеи b_v (спереди) и b_h (сзади) оказывают важное влияние на поворачиваемость транспортного средства и угол его крена. Под поворачиваемостью автомобиля подразумевают его свойства изменять траекторию движения (радиус поворота) при изменении скорости движения. Различают нейтральную, избыточную и недостаточную поворачиваемость.

Для снижения угла крена ширина колеи должна быть по возможности большая (рис. 1.7). Колесная база (рис. 1.7) имеет не менее важное влияние. Чем больше колесная база, тем меньшей склонностью к продольным колебаниям имеет транспортное средство. Однако увеличение колесной базы сопровождается увеличением радиуса поворота автомобиля.

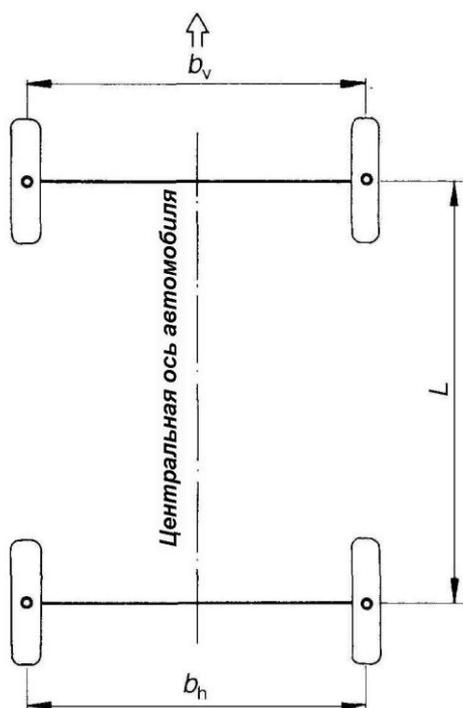


Рис. 1.7: Колесная база и ширина колеи у транспортного средства

L = Колесная база (расстояние между осями транспортного средства)

b_v = Ширина колеи (спереди)

b_h = Ширина колеи (сзади)

Источник: Vogel

Для независимых подвесок характерным свойством является то, что в ходе сжатия и отбоя подвески ширина колеи может изменяться. Для улучшения ходовых качеств автомобиля желательно было бы получить постоянство ширины колеи независимо от хода подвески.

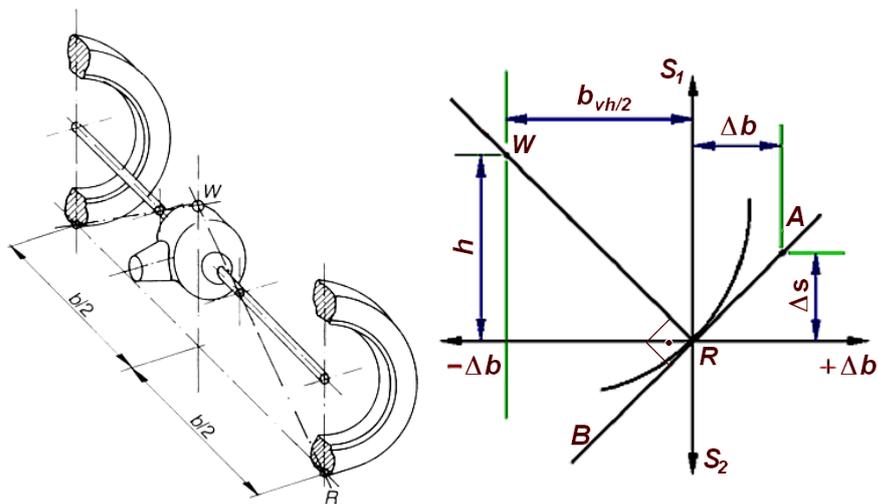


Рис. 1.8: Если известна траектория изменение ширины колеи в зависимости от упругого прогиба подвески, то мгновенный центр поперечного крена W подвески колеса может быть определен графически; Источник: Vogel.

Изменения ширины колеи (рис. 1.8) повышают сопротивление качению (увеличивается износ шины) и приводят к ухудшению управляемости при выходе из поворота на прямолинейный участок дороги, а также переходе из тягового режима к движению по инерции.

Применение жестких (неразрезных) осей приводят к креновой поворачиваемости автомобиля. Это вызвано собственным поворотом жесткой оси, возникающим при различном прогибе подвески справа и слева (см. рис. 1.19).

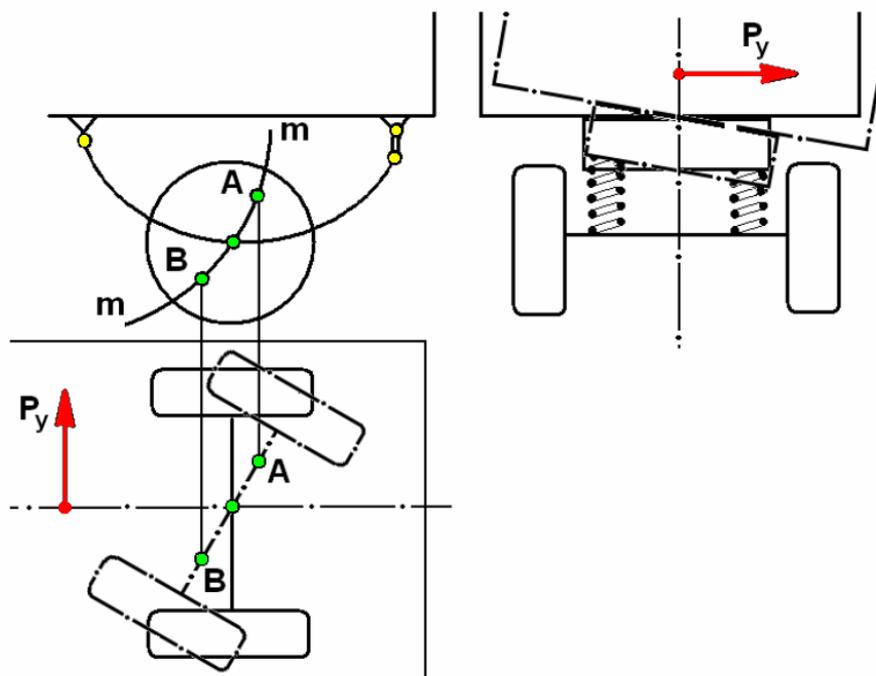


Рис. 1.9: Односторонний упругий прогиб подвески балки жесткого моста вызывает изменение колесных баз слева и справа, это вызывает поворот жесткой оси под автомобилем, вызывая появление недостаточной поворачиваемости автомобиля

Изменению ширины колеи тесно связано с расположением мгновенного центра поперечного крена W подвески (см. главу 1.2).

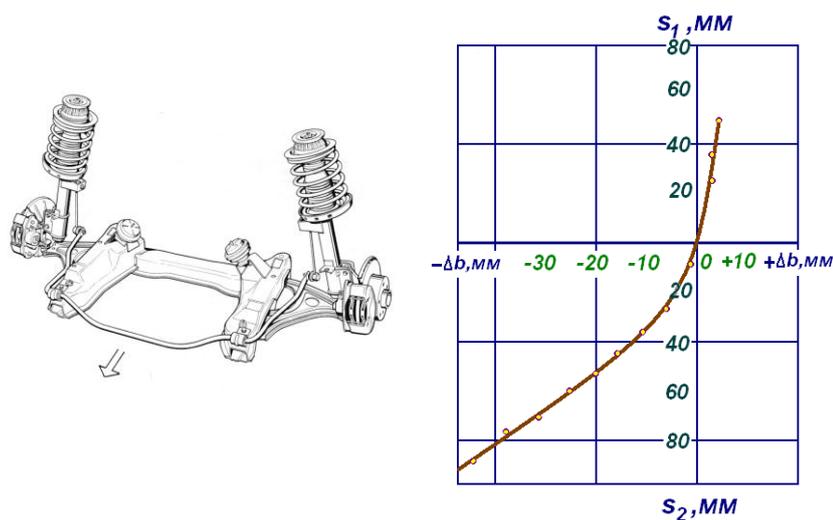


Рис. 1.10: На рисунке представлена подвеска с телескопическими амортизаторными стойками, которую принято называть именем её создателя McPherson. Справа приведен график изменения ширины колеи в ходе сжатия/отбоя подвески; Существенным недостатком подвески такой конструкции является значительное изменение колеи в ходе отбоя подвески. Источник: Vogel

Для наиболее распространенной подвески McPherson способ нахождения мгновенного центра крена отличается от рассмотренного ранее способа нахождения центра крена подвески с двумя поперечными рычагами.

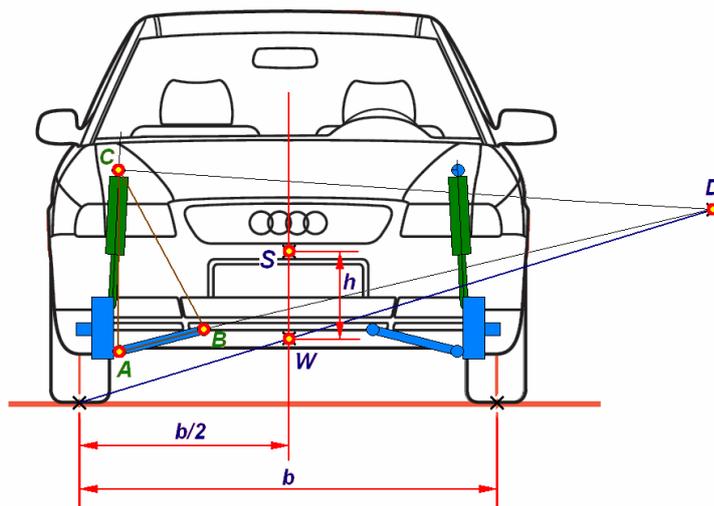


Рис: 1.11: Мгновенный полюс D поворота рычагов подвески находится в точке пересечения линии AD , являющейся продолжением нижнего рычага AB , и линии CD , построенной перпендикулярно к оси штока амортизаторной стойки из средней точки её верхней опоры. Мгновенный полюс крена W находится в средней плоскости в точке её пересечения с линией, соединяющей мгновенный полюс D поворота рычагов подвески со средней точкой отпечатка шины на проезжей части

1.4 Углы установки колес

1.4.1 Схождение

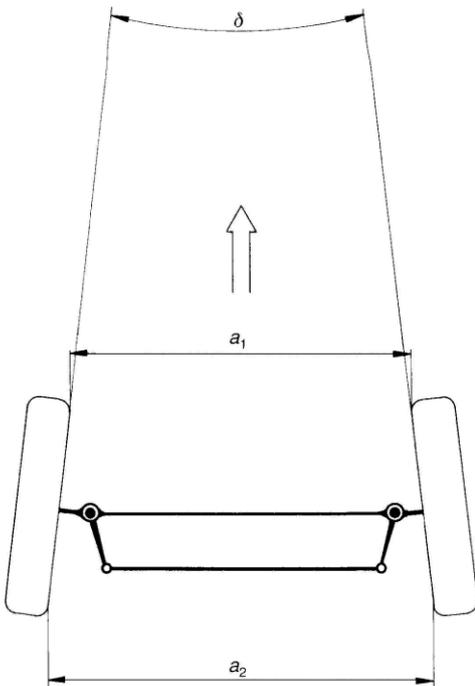


Рис. 1.12: Схождение колес - это разница между краями ободьев сзади и спереди колес одной оси. Схождение считается положительным, если расстояние между краями ободьев впереди оси меньше расстояния между аналогичными точками ободьев колес позади оси

δ = угол схождения колес, выраженный в угловой мере (градусах, угловых минутах);

$a_2 - a_1$ = схождение колес, выраженное в линейной мере (миллиметрах)

Источник: Vogel

При наличии схождения колеса автомобиля катятся с уводом. Наименьший износ шины происходит в случае прямолинейного движения колес, однако во время свободного качения в пятне контакта колеса с дорогой возникает направленная назад продольная сила сопротивления качению F_R или сила торможения F_{Br} . Эта сила на плече r образует момент, воспринимаемый тягами рулевого управления.

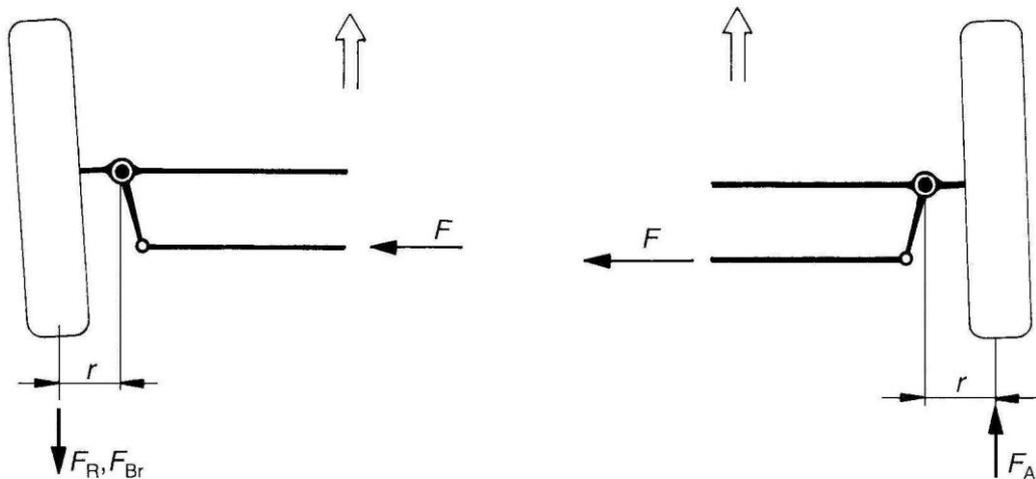


Рис.1.13: Сила сопротивления качению F_R , тормозная сила F_{Br} , или тяговая сила F_A , приложенная к середине отпечатка шины на проезжей части может оказать влияние на схождение колес. Изменения колеи колес (положительное, или отрицательное) возникает из-за упругой деформации шарниров и тяг рулевого управления.

F_R = Сопротивление качению

F_{Br} = Сила торможения

F_A = Тяговая сила

Вследствие имеющейся податливости (особенно в опорах рычагов подвески и рулевых тягах) этот момент слегка отжимает колесо назад, поэтому для получения в процессе качения прямолинейного положения, в статическом положении колеса устанавливают со сходимением.

Применение привода на передние колеса тяговые силы F_A стремятся свести колеса, уменьшив значение сходимения, поэтому в таких автомобилях предпочтительней может оказаться отрицательное схождение. Однако при переходе от тягового режима к режиму торможения двигателем происходит резкая перекладка колес, что является явно выраженным недостатком перенеприводных автомобилей.

Правильная регулировка сходимения колес на автомобиле в статическом положении необходима, но ещё важнее то, что происходит со сходимением в процессе движения, то есть, сохранится ли предписанное схождение в ходе сжатия/отбоя подвески. Во избежание повышенного сопротивления качению (и соответствующего увеличения износа шин) не должно быть никакого изменения сходимения колес, как в процессе сжатия подвески, так и в процессе её отбоя.

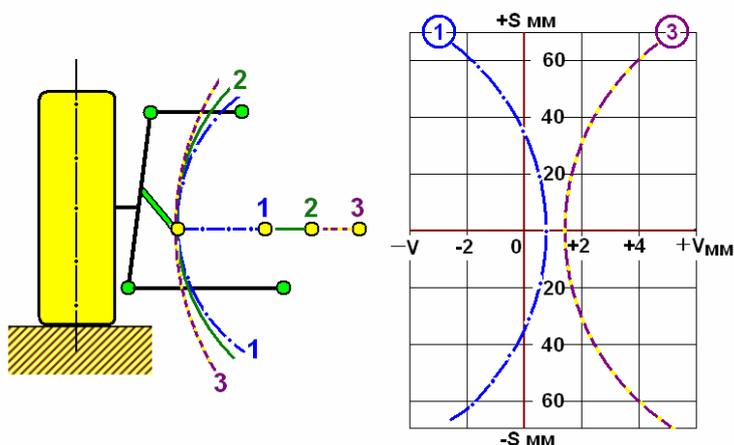
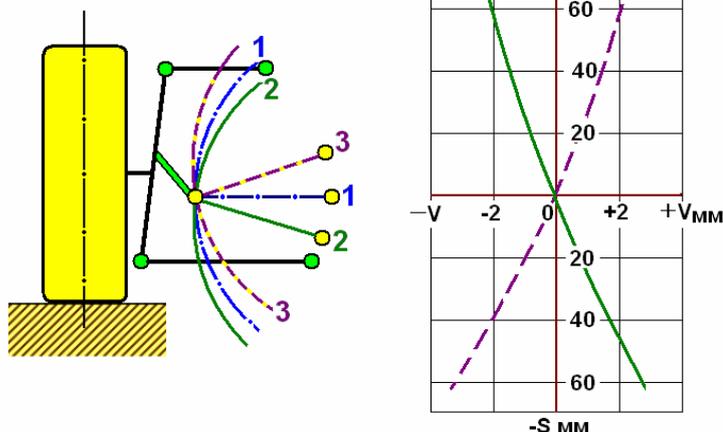


Рис. 1.14: Изменение сходимения может быть следствием несоответствия длины рулевых тяг или их расположения. Если предположить, что поворотные рычаги и рулевые тяги расположены позади оси передних колес, можно на примере подвески с двойными поперечными рычагами пояснить влияние различия в длине рулевых тяг. Слишком короткие тяги «разводят» колеса, поворачивая их в сторону положительного сходимения, и наоборот.

Источник: Vogel

Рис. 1.15: Если при правильно выбранной длине рулевой тяги её внутренний шарнир расположен слишком высоко, то при ходе отбоя задняя часть колеса подтягивается внутрь и возникает отрицательное схождение. При ходе сжатия колесо, наоборот, поворачивается в направлении положительного сходимения;

Источник: Vogel



Два приведенных выше рисунка показывают, насколько важно соблюдать технологию регулирования сходимения колес. Кроме того, скрытые повреждения, которые могут возникнуть при аварии или наезде на препятствие, например, бордюрный камень, способны сместить рулевой механизм с вытекающими отсюда последствиями.

Водитель будет ощущать неадекватное поведение автомобиля при проезде неров-

ностей. Например, при переезде через трамвайные пути будет наблюдаться рывок автомобиля в сторону.

1.4.2 Развал (угол наклона плоскости вращения колеса к вертикали)

Ранее в литературе сообщалось, что положительный развал колеса предназначен для устранения зазора в подшипниках и шкворнях и должен составлять $2...3^\circ$. Однако это справедливо только для сельскохозяйственных машин. Современные легковые и грузовые автомобили двигаются с высокими скоростями, имеют высокую маневренность, поэтому наличие каких-либо зазоров между деталями подвески привело бы не только к появлению ударных нагрузок, но и уменьшению устойчивости прямолинейного движения.

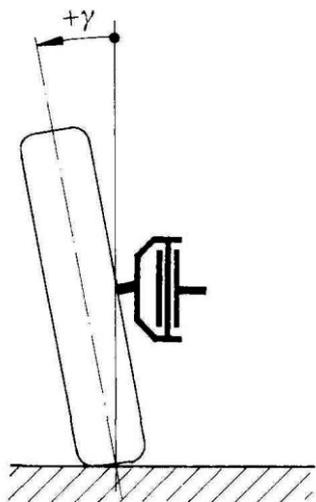


Рис. 1.16: Развалом называют угол наклона плоскости вращения колеса с вертикалью.

Позитивным развалом считают такой наклон плоскости вращения колеса, при котором верхняя часть колеса наклонена от кузова автомобиля.

Колесо с развалом стремится катиться по боковой поверхности образовавшегося конуса. Следовательно, на колесо с развалом действует боковая сила, стремящаяся отклонить его траекторию движения от прямолинейной траектории, то есть, колесо катится с уводом.

Боковая сила возникает только при движении автомобиля, причем с увеличением скорости движения эта сила увеличивается.

$$\gamma = \text{Развал}$$

Источник: Vogel

На передних колесах легковых автомобилей при нагрузке, равной $2...3$ чел., целесообразно иметь небольшой положительный развал, чтобы шины по возможности катились перпендикулярно к слегка выпуклой дорожной поверхности и имели бы равномерный износ. Исследования показывают, что наиболее равномерное изнашивание шин происходит при развале $5...10'$ (угловых минут). Большой развал приводит к увеличенному изнашиванию наружной плечевой зоны, а отрицательный – внутренней зоны.

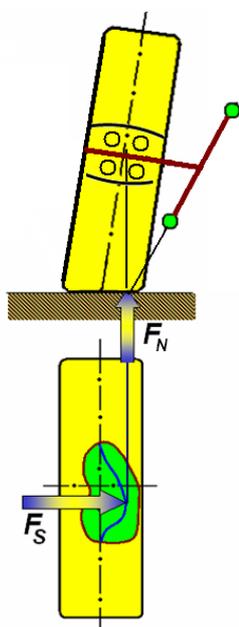


Рис. 1.17: У современных транспортных средств развал колеса в нагруженном состоянии, как правило, принимает отрицательные значения. Это позволяет улучшить восприятие боковых сил шинами автомобиля. В силу высокой податливости радиальной шины в поперечном направлении, пятно контакта шины с дорогой у внешней к центру поворота, наиболее нагруженной шины, смещается в направлении к кузову. Крен автомобиля на повороте вызывает появление на внешнем колесе отрицательного, а на внутреннем колесе – положительного развала. Вектор вертикальной нагрузки, приложенный к центру пятна контакта, в этом случае проходит через середину двурядного сферического подшипника, благоприятно сказываясь на условиях его работы.

Отрицательный развал колес улучшает управляемость автомобиля, особенно при прохождении поворотов на высоких скоростях. Подвеска колеса с отрицательным развалом широко используется в конструкции современных автомобилей. Довольно часто можно увидеть, что в ходе сжатия/отбоя угол наклона плоскости вращения колеса принимает значения от нулевого до отрицательного, и крайне редко получает положительное значение.

Схождение колеса и развал тесно связаны между собой.

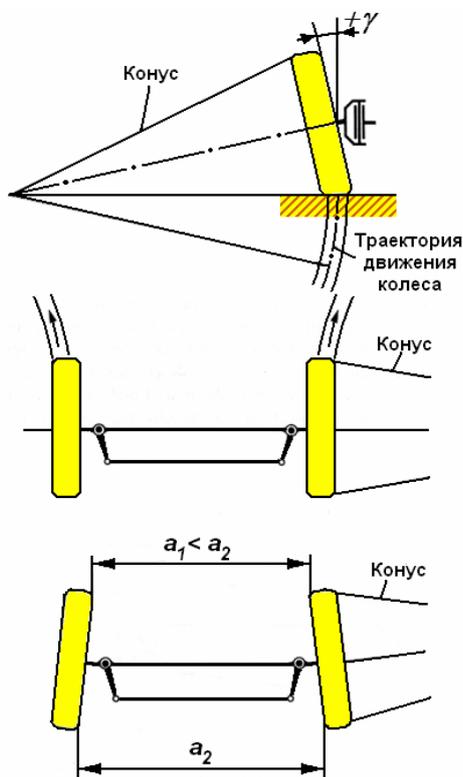


Рис. 1.18: Установленное с положительным развалом колесо, катящееся по боковой поверхности конуса, стремилось бы укатиться наружу. Снабженное положительным схождением колесо катилось бы внутрь.

Наложение обоих движений колеса приводит к получению прямолинейного движения при отсутствии тяговых или тормозных сил (движущегося по инерции).

Это утверждение в последние десятилетия подвергается пересмотру, так как на современных автомобилях можно увидеть отрицательный развал с положительным схождением, и наоборот. Для достижения минимального сопротивления качению при высоких качествах управляемости находят другие, более совершенные методы, которые заложены в конструкции подвесок колес современных автомобилей.

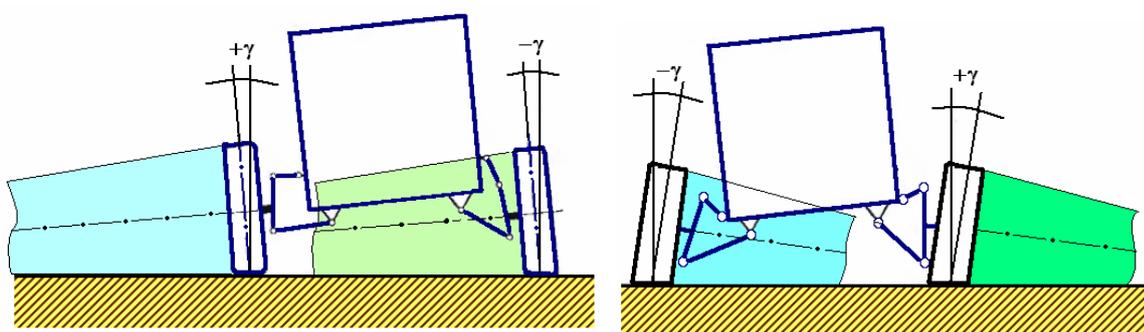


Рис. 1.19: Обеспечение избыточной (слева) и недостаточной (справа) поворачиваемости автомобиля применением независимой подвески задней оси различной конструкции. На схемах показаны автомобили, катящиеся от наблюдателя и поворачивающие направо

Независимая подвеска задних колес автомобиля проектируется в зависимости от организации тягового привода. У переднеприводного автомобиля, обладающего явно выраженной недостаточной поворачиваемостью, компенсировать это свойство можно, организовав избыточную поворачиваемость задней оси. Одним из способов организации избыточной поворачиваемости является обеспечение положительного развала на внешнем колесе, и отрицательного развала на внутреннем колесе (см. рис 1.19 слева). Боковые силы, возникающие при крене кузова, вызывают увод левой и правой шин задней оси от центра

поворота, что и позволяет компенсировать недостаточную поворачиваемость всего автомобиля с приводом на передние колеса.

Автомобиль с приводом на задние колеса обладает избыточной поворачиваемостью. Для компенсации этого свойства необходимо снизить стремление колес задней оси выкатиться наружу (от центра поворота автомобиля). При крене кузова, вызванного центробежной силой, независимая подвеска задних колес позволяет получить на внешнем колесе отрицательный развал, а на внутреннем – положительный развал (см. рис. 1.19 справа). Боковые силы, возникающие на катящихся с развалом колесах, снижают увод шин задней оси.

1.4.3 Углы, отвечающие за формирование стабилизирующего момента на управляемых колесах автомобиля

Если бы на передние колеса автомобиля не действовал стабилизирующий момент, то достаточно было бы небольшого усилия, чтобы повернуть управляемые колеса автомобиля. Однако при выходе из поворота пришлось бы с усилием вращать колесо в обратном направлении, так как само бы оно в исходное положение, соответствующее прямолинейному движению, не вернулось.

Для автомобиля с задними ведущими колесами в связи с неустойчивостью их движения, в целях обеспечения стабильного прямолинейного движения должны быть установлены такие параметры передней подвески, которые приводили бы к появлению заметного стабилизирующего момента.

Автомобили с приводом на передние колеса, у которых приложение тяговых сил обеспечивает устойчивое движение, нуждаются в формировании стабилизирующего момента в меньшей степени, чем автомобили с приводом на задние колеса, или с полным приводом.

Для обеспечения возврата рулевого колеса после выполнения поворота существуют следующие возможности, связанные с тем, что силы, действующие в контакте колеса с опорной поверхностью силы (вертикальная F_N , боковая F_S или продольная F_A , F_{Br} , F_R), имея плечи действия, образуют моменты:

- ☞ ML_1 , обусловленный действием боковой силы F_S и величиной её сноса (стабилизирующий момент шины) (см. рис. 1.20);

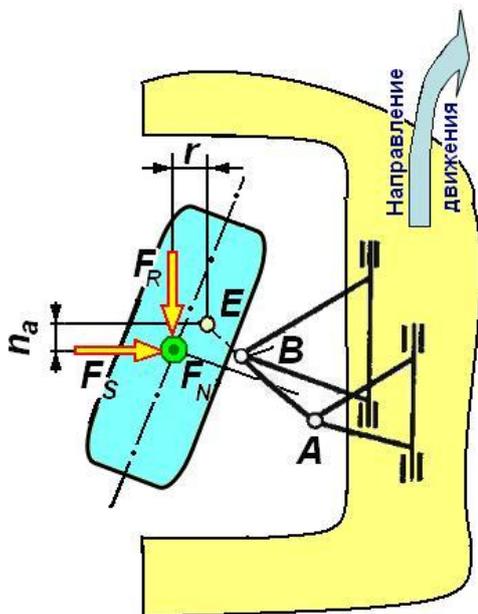


Рис. 1.20: Стабилизирующий момент стремится вернуть управляемое колесо в положение, соответствующее прямолинейному движению.

Это происходит в силу наличия момента силы сопротивления качению FR , действующего на плече обкатки r .

Боковая сила, которая в стационарном положении равна нулю, и возрастает с увеличением скорости движения, образует возвратный момент на плече n_a , именуемом выносом оси поворота управляемого колеса.

При проектировании и в процессе последующей эксплуатации предписанное значение плеча обкатки r и вылет оси поворота не должны нарушаться. Предписанные значения этих параметров при измерении геометрии подвески непосредственно измерить невозможно, но эти значения вытекают из вылета колесного диска, углов наклона шкворневой оси и типоразмера шины.

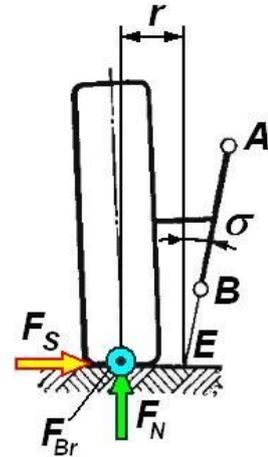


$ML2$, обусловленный действием вертикальной силы F_N и наличием плеча обкатки r и углом σ поперечного наклона оси поворота (весовая стабилизация) (см. рис. 1.22);

Рис. 1.21: Вертикальная сила F_N на плече обкатки r образует стабилизирующий момент при повороте управляемого колеса только в том случае, если ось поворота AB имеет угол наклона σ .

Стабилизирующий момент $ML2$ образует так называемую весовую стабилизацию, величина которой зависит от вертикальной нагрузки F_N , величины и значения плеча обкатки r и величины поперечного угла наклона σ оси поворота управляемого колеса.

Вертикальная сила F_N , называемой иногда нагрузкой колеса, зависит не только от стационарной нагрузки, приходящейся на данное колесо, но и дополнительной нагрузки, которая прилагается к этому колесу в результате крена кузова, действия центробежной силы, силы инерции при разгоне и торможении автомобиля.



$ML3$, обусловленной действием продольной силы F_R (F_{Br} , F_A) и наличием плеча обкатки r (см. рис. 1.22);

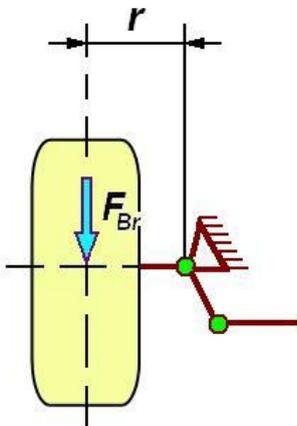


Рис. 1.22: Как правило, тормозной механизм установлен на колесе автомобиля. Тормозная сила F_{Br} , действующая со стороны дороги и приложенная к центру отпечатка шины на проезжей части, образует момент $ML3 = F_{Br} * r$, который стремится отжать колесо в направлении, соответствующем отрицательному сходимости, и вызывает появление сил на рулевом приводе.

Тормозная сила F_{Br} зависит от силы нажатия на педаль тормоза и ограничена коэффициентом сцепления шины с дорожной поверхностью. Значение плеча обкатки современных автомобилей может принимать как положительное, так и отрицательное значение, поэтому направление стабилизирующего момента зависит от знака плеча обкатки.



$ML4$, обусловленной действием боковой силы F_S и величиной выноса точки опоры по отношению к точке пересечения продолжения шкворневой оси с опорной поверхностью (см. рис 1.23);

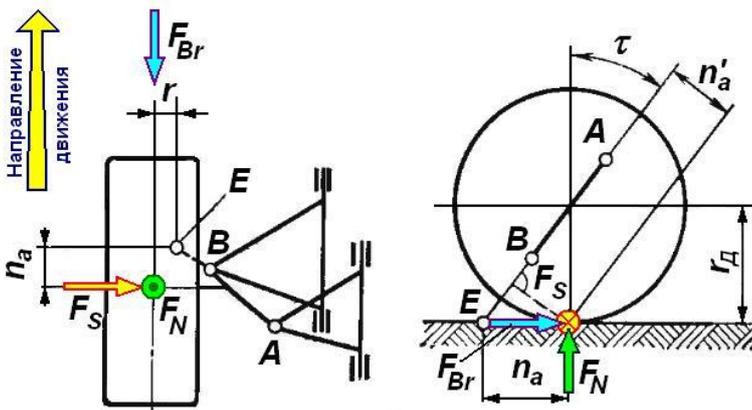
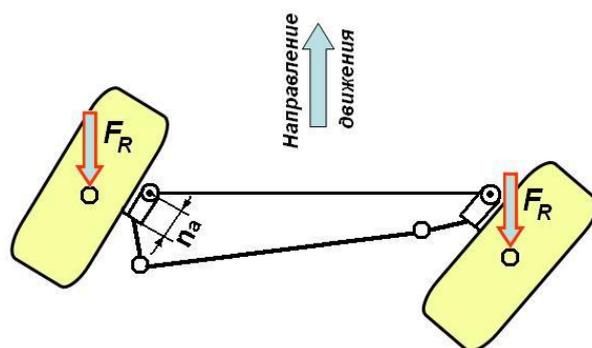


Рис. 1.23: Если продолжение оси поворота управляемого колеса пересекает плоскость дороги впереди середины отпечатка шины на дорожном полотне, то колесо как бы отстает от этой точки пересечения. Возникающий при этом вылет оси поворота n_a служит плечом боковой силы F_S , наличие которых обуславливает появление на управляемом колесе стабилизирующего момента.

☞ *ML5*, обусловленной действием продольной силы и вылетом оси поворота n_a (см. Рис. 1.24).

Рис. 1.24: Вылет оси поворота n_a совместно с силой сопротивления качению стремится вернуть колеса в положение, соответствующее прямолинейному движению. Направление силы F_R сопротивления качению, так же как и сила торможения F_{Br} при движении автомобиля всегда совпадает с продольной осью автомобиля. Продольная сила должна быть разложена на две составляющие, одна из которых будет действовать на плече n_a , а вторая, на плече обкатки r .



1.4.3.1 Плечо обката управляемого колеса

Выше достаточно подробно приведены факторы, обеспечивающие появление стабилизирующего момента на управляющих колесах автомобиля. Внешние силы, действующие на колесо в стационарном состоянии или при движении автомобиля, способны возбудить момент только при наличии плеча. Необходимые плечи сил получают с помощью углов установки колес и оси поворота управляемого колеса автомобиля. Так для получения расчетного плеча обкатки управляемого колеса предусмотрена его установка под углом к вертикальной плоскости, и, кроме того, установка оси поворота колеса с поперечным наклоном.

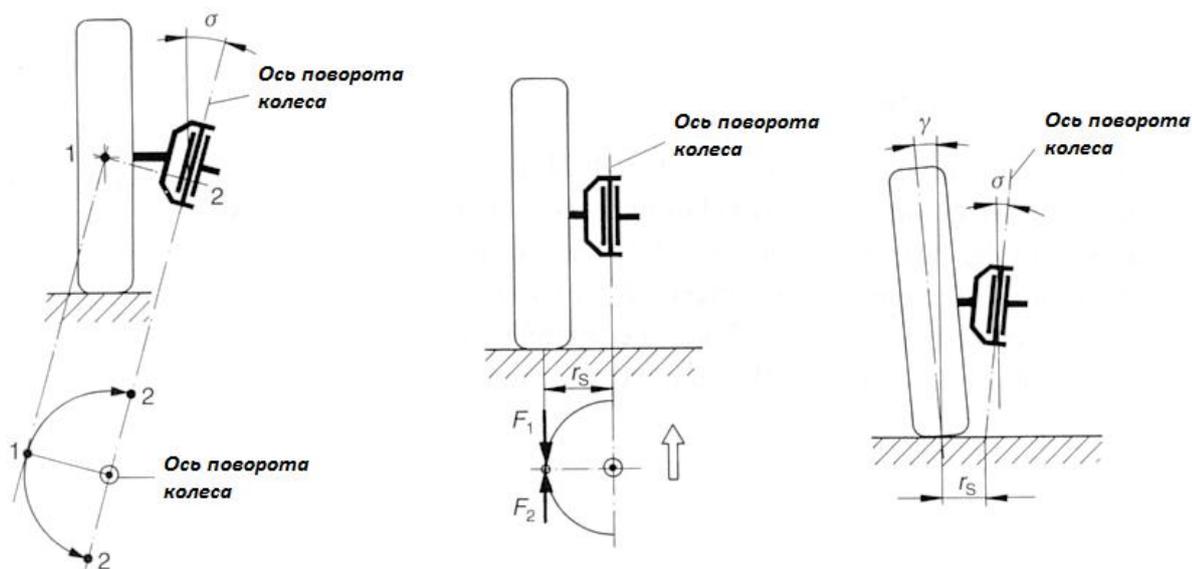


Рис. 1.25: Ось поворота управляемого колеса и плечо обката управляемого колеса

Если посмотреть на управляемое колесо спереди несложно убедиться, что вращение управляемого колеса вокруг оси поворота (шкворневой оси), имеющей поперечный наклон шкворня σ , вызывает изменение положения оси вращения колеса относительно неподвижного кузова. При повороте управляемого колеса вправо или влево колесо будет опускаться. Если автомобиль установить на опорную поверхность, то поворот управляемого колеса будет сопровождаться подъемом кузова. Плечо обката снижает усилие, необходимое для поворота управляемых колес автомобиля. Маленькое плечо обкатки r при ударах о неровности дороги формирует маленькую возмущающую силу; Источник: Fogel

У транспортных средств, оснащенных ABS, возникают различные тормозные силы справа и слева при срабатывании системы предотвращения блокировки. Так как колесо, склонное к блокировке, на короткий момент времени прекращает торможение, тормозная сила на противоположном колесе той же оси будет стремиться ввести автомобиль в занос. На автомобилях, оснащенных ABS плечо обкатки необходимо подобрать так, чтобы его значение было близким к нулю, или имело отрицательное значение. Отрицательное значение плеча обкатки при торможении вызывает поворот управляемого колеса в сторону, противоположную возникающему заносу автомобиля при торможении одним из колес, что компенсирует стремление автомобиля войти в занос.

Как было сказано выше, измерить плечо обкатки управляемого колеса достаточно трудно и при контроле углов установки колес и осей автомобиля это измерение не производят, хотя плечо обкатки является основным параметром геометрии подвески. Вместо прямого измерения величины плеча обкатки производят контроль угла наклона плоскости вращения колеса (его развала) и угла поперечного наклона оси поворота управляемого колеса (шкворневой оси).

На рисунке 1.22 было показано образование стабилизирующего момента за счет тормозной силы F_{Br} и плеча обкатки r . Но в приведенном примере рассмотрен только случай получения стабилизирующего момента при торможении автомобиля. Аналогичным образом будет побуждаться стабилизирующий момент и при действии силы сопротивления качению, так как этот вектор силы однонаправлен с вектором силой торможения. Для автомобилей с приводом на передние колеса наличие большого плеча обкатки r будет вызывать значительные силы, прилагаемые к рулевому приводу.

1.4.3.2 Выбег управляемого колеса

Выбегом управляемого колеса называют расстояние от точки пересечения оси поворота (шкворневой оси) до средней линии площадки контакта шины с дорожным полотном. Величина выбега определяется на боковой проекции управляемого колеса и его оси поворота (шкворневой оси).

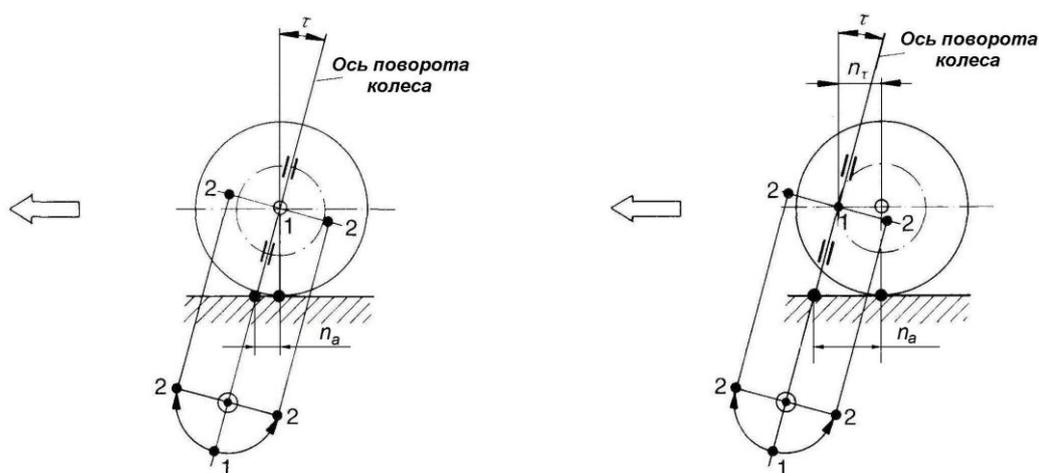


Рис. 1.26: Выбег n_a колеса получается в результате продольного наклона оси поворота (шкворня) и выноса оси поворота управляемого колеса относительно его оси вращения.

При повороте управляемого колеса вокруг шкворня, колесо, находящееся на внутренней кривой (ближнему к центру поворота), поднимается вверх, что приводит к опусканию к соответствующей передней части кузова автомобиля.

n_τ = Смещение оси поворота управляемого колеса (вынос оси вращения)

τ = Угол продольного наклона шкворня;

n_a = Выбег управляемого колеса

Источник: Fogel

На рисунках 1.25 и 1.26 показано, что для получения плеч действия боковых сил ось поворота управляемого колеса устанавливается с наклоном от вертикали: на виде сбоку под углом τ , а на виде сзади – под углом σ . Угол продольного наклона оси поворота τ обуславливает появление в плоскости дороги вылета оси поворота n_a , являющегося плечом действия боковой силы. Однако угол σ поперечного наклона оси поворота (шкворневой оси) можно рассматривать только совместно с плечом обкатки r_s .

Величина боковой силы ограничивается коэффициентом сцепления μ_s , а продольная сила F_R (F_{Br} , F_A) зависит от величины сопротивления качению, тяговых сил и величины замедления в процессе торможения.

О развале и способах его получения мы коротко рассказали в пункте 1.4.2, в этом пункте мы поговорим о поперечном угле наклона оси поворота управляемого колеса (Поперечный наклон шкворня).

1.4.3.3. Поперечный наклон шкворня

С помощью поперечного наклона оси вращения колеса обеспечивается возвратный стабилизирующий момент.

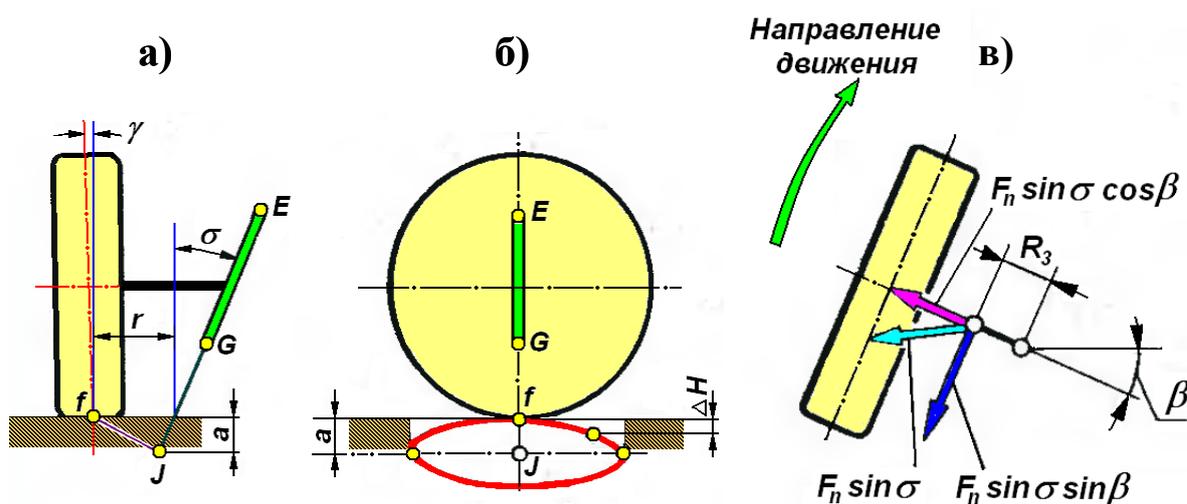


Рис. 1.27. Схема поворота управляемого колеса.

$E-G$ – ось поворота (шкворневая ось); R_3 – плечо действия вертикальной силы F_n ; f – средняя точка пятна контакта (точка приложения сил к колесу); J – проекция точки приложения сил на ось поворота колеса; a – высота смещения проекции; ΔH – высота поднятия передней части автомобиля при повороте управляемого колеса; r – плечо обкатки; β – угол поворота управляемого колеса; σ – угол поперечного наклона оси поворота (шкворневой оси); Источник: Й.Раймпель

Если управляемое колесо автомобиля установлено с плечом обкатки r , а шкворень установлен с поперечным наклоном под углом σ , вращение управляемого колеса вокруг шкворневой оси EG будет вызывать подъем передней части автомобиля на величину, определяемую углом поворота управляемого колеса. На рисунке 1.27б (средний рисунок) показано максимальное значение подъема передней части кузова ΔH .

Таким образом, транспортное средство при поперечном наклоне шкворня (см. рис 1.27б) приподнимается при повороте управляемого колеса, и стремится вернуться в положение, соответствующее прямолинейному движению (возвращается в базу).

Плечо обкатки может быть уменьшено поперечным наклоном шкворня (см. рис. 1.27а).

Из представленной на рисунке 1.27в схеме приложения вертикальной силы F_n можно понять, что значение плеча обкатки r оказывает существенное влияние на высоту поднятия передней части автомобиля при повороте управляемого колеса, и, следовательно, оказывает существенное влияние на весовую стабилизацию управляемых колес.

1.4.3.4 Продольный наклон шкворня и вынос оси вращения колеса

Выносом оси вращения колеса (n_τ) будем считать смещение оси вращения колеса по отношению к оси его поворота в плоскости, параллельной опорной поверхности

Установка оси поворота колеса с продольным наклоном и выносом оси поворота колеса вперед по отношению к центру колеса оказывает стабилизирующее действие, восстанавливая прямолинейное движение автомобиля. Продольная сила F_R , имеющая примерно одинаковую величину для обоих колес, стремится вернуть колеса в положение, соответствующее прямолинейному движению, что обусловлено различной величиной плеч слева и справа. На внешнее колесо действует больший возвратный момент, чем на внутреннее колесо, то есть $F_R * e_1 > F_R * e_2$ (см. рис. 1.29). Боковая сила F_s , возникающая при движении автомобиля в повороте и приложенная к середине пятна контакта, так же стремится вернуть колеса на прямолинейную траекторию.

Продольный наклон шкворня совместно с выносом оси вращения управляемого колеса (см. рис. 1.26) в результате приложения сил сопротивления движению к середине пятна контакта стремятся к ориентации колеса в направлении движения автомобиля (эффект рояльного колесика).

Правильно подобранный вынос оси вращения управляемого колеса и угол наклона оси его поворота (кастер) формирует выбег управляемого колеса (n_a). Совместно с формируемым развалом колеса и поперечным наклоном оси поворота управляемого колеса плечом обката (r_s), уменьшают склонность к колебательным движениям при движении.

При движении в повороте на управляемом колесе формируется стабилизирующий момент, который стремится повернуть управляемое колесо в положение, соответствующее прямолинейному движению. Водитель получает информацию о положении управляемых колес при движении автомобиля по ответной реакции рулевого колеса на формируемый стабилизирующий момент, который передается по кинематической цепи на рулевое колесо (см. рис. 1.27в).

Существенным недостатком вноса (n_τ) оси поворота управляемого колеса, и формируемого совместно с кастером выбега (n_a), является то, что при возникновении боковых сил, особенно, если они носят знакопеременный (периодический) характер, и воздействуют на управляемые колеса, передавая усилия на систему рычагов и тяг, возбуждаются колебательные движения управляемых колес и ответное «биение» руля.

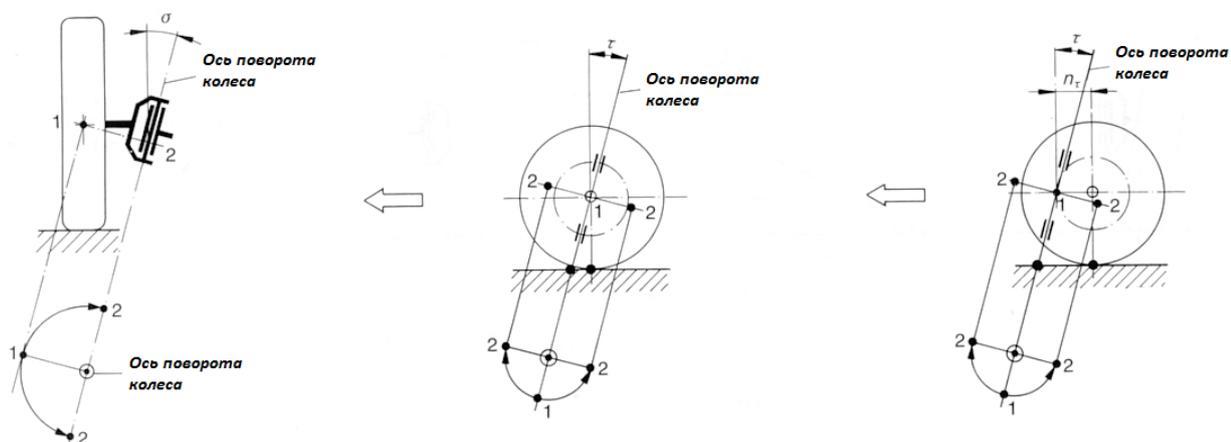


Рис. 1.28: Влияние поперечного и продольного наклона оси поворота управляемого колеса, а так же выноса оси поворота управляемого колеса на формирование стабилизирующего момента

σ = Угол поперечного наклона шкворня

n_τ = Смещение оси поворота управляемого колеса

τ = Угол продольного наклона шкворня

n_a = Выбег управляемого колеса

Источник: Fogel

Наличие выноса оси вращения (n_t) управляемого колеса оказывает существенное влияние на подбор угла продольного наклона оси поворота (кастера) (см. рис. 1.28).

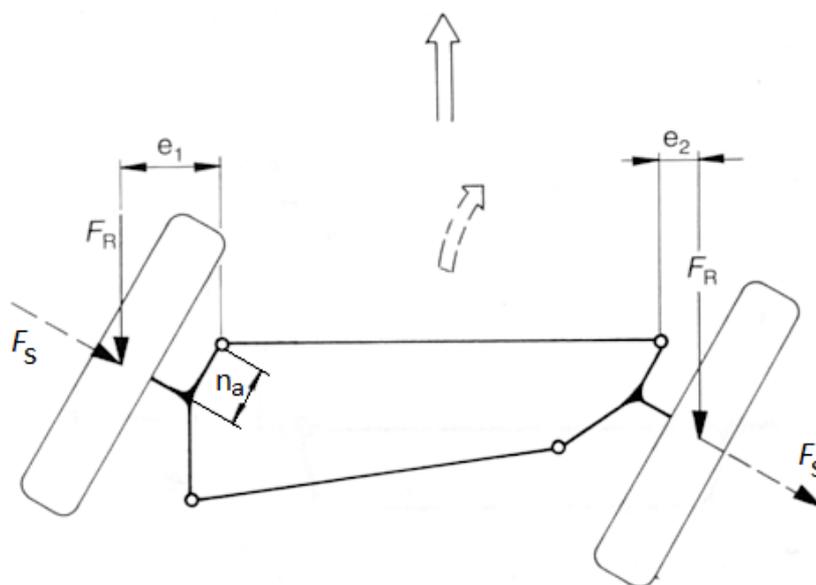


Рис. 1.29: Формирование стабилизирующего момента, действующего на управляемые колеса автомобиля

F_R – продольная сила, действующая на управляемые колеса поворачивающего автомобиля;

F_S – боковая сила, возникающая, как реакция на центробежную силу, прилагаемую к центру масс автомобиля;

n_a – выбег управляемого колеса;

e_1 и e_2 – фактические значения плеч приложения продольных сил

Источник: Fogel

При выбеге колеса действие продольной силы F_R вызывает смещение управляемого колеса в положение, соответствующее прямолинейному движению, так как $F_R * e_1 > F_R * e_2$

При движении на повороте в результате действия центробежной силы F_S возникает стабилизирующий момент $F_S * n_a$

Плечо обкатки

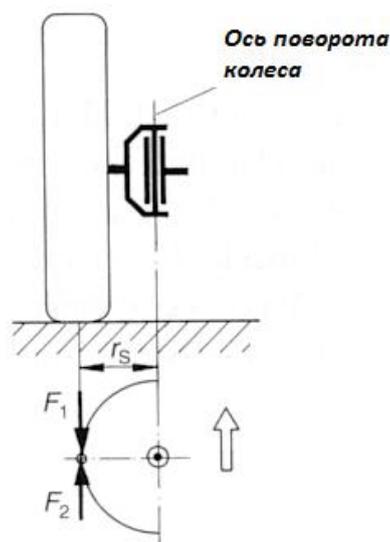


Рис. 1.30: Плечо обката – расстояние между плоскостью вращения колеса и точкой пересечения продолжения оси поворота управляемого колеса с опорной поверхностью

F_1 = Тормозная сила или сила сопротивления качению

F_2 = Сила тяги

r_s = Плечо обкатки

Источник: Fogel

Уменьшение плеча обкатки (картина 1.31) уменьшает усилие на ободу рулевого колеса. Малое плечо обкатки снижает отклики на удары управляемого колеса о неровности дороги.

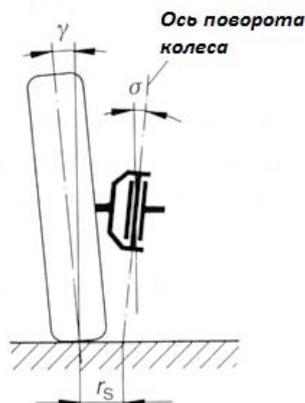


Рис. 1.31: Уменьшение плеча обката r_s установкой положительного развала γ колеса
 σ = угол поперечного наклона оси поворота управляемого колеса
Источник: Fogel

При торможении (см. рис. 1.30) расположенным на колесе тормозным механизмом возникает продольная сила F_1 , которая образует момент $F_1 \cdot r_s$. Этот момент приводит к появлению силы на рулевой тяге и при положительном размере плеча обкатки r_s отжимает колесо в направлении, соответствующем отрицательному схождению.

У транспортного средства, оборудованного ABS при её работе возникают различные по величине продольные силы, приложенные к правому и левому колесу, которые в виде толчков передаются на рулевое колесо. В этом случае плечо обкатки должно быть равным нулю, но лучше, как было сказано выше, если плечо обкатки будет иметь отрицательное значение.

Подвеску колес любого типа можно рассматривать как консольно-установленное колесо относительно кузова автомобиля, поэтому при торможении возникает продольная сила, стремящаяся повернуть это колесо, причем колесо всегда будет стремиться повернуть передней частью наружу, то есть в сторону отрицательного схождения. Установка отрицательного плеча обкатки позволит получить момент продольной силы, который будет направлен в противоположную сторону моменту, стремящемуся повернуть колесо в сторону отрицательного схождения. У большинства автомобилей, не оборудованных FBS, контуры тормозных систем имеют диагональную схему соединения, плечо обкатки, как правило – отрицательное значение. Любое некорректное изменение, внесенное в конструкцию транспортного средства, таких, как установка дисков с повышенным вылетом, возникающее при желании установить широкие шины, или установка проставки между ступицей и диском колеса недопустимо. Изменение плеча обкатки может оказать отрицательное влияние на устойчивость прямолинейного движения, особенно при торможении, и потерю управляемости на повороте.

1.5 Рулевое управление

1.5.1 Принцип Аккермана и поворачиваемость автомобиля

По теории Аккермана управление автомобилем должно происходить по схеме, представленной на рисунке 1.32.

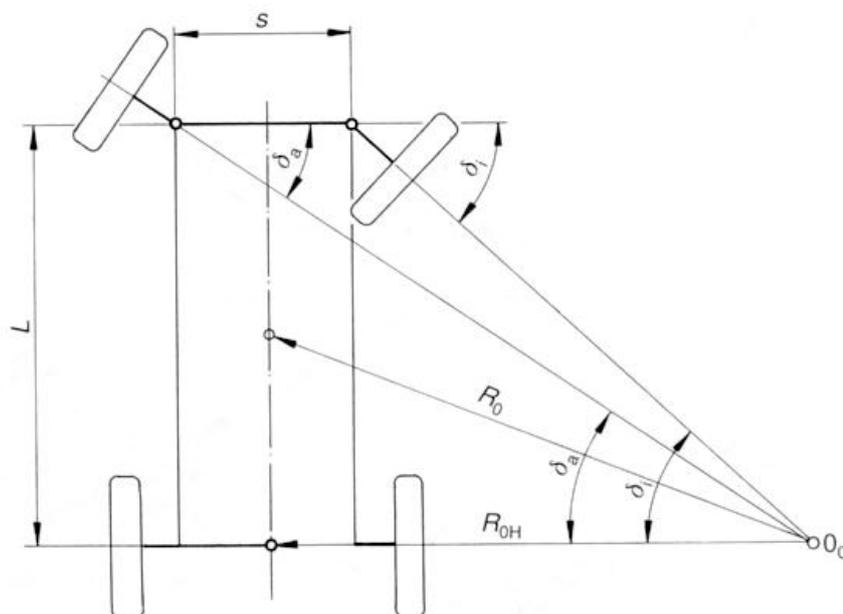


Рис. 1.32: Геометрия рулевого управления по теории Аккермана (Ackermann) в статическом состоянии транспортного средства

L = Колесная база

s = Расстояние между поворотными цапфами

R_{0H} = Статический радиус поворота колес задней оси

R_0 = Статический радиус поворота средней точки автомобиля

Источник: Fogel

Между углом поворота δ_a внешнего колеса и углом поворота внутреннего колеса δ_i существует зависимость:

$$\delta_a = \arccos\left(\delta_i - \frac{s}{L}\right)$$

При малой скорости движения автомобиля на повороте только тогда кинематически точно, когда продолжение осей всех четырех колес пересекаются в одной точке O_0 , называемой центром поворота. Как видно на схеме, угол поворота наружного колеса δ_a меньше угла поворота внутреннего колеса δ_i . Величины этих углов связаны между собой правилом Аккермана, которое устанавливает следующую зависимость:

$$\delta_i = \arctg\left(\delta_a - \frac{s}{L}\right)$$

Где:

δ_i – угол поворота внутреннего колеса, рад;

δ_a – угол поворота наружного колеса, рад;

s – расстояние между поворотными цапфами управляемой оси.

L – колесная база (расстояние между осями автомобиля).

Осуществление поворота управляемых колес показано на рисунке 1.33 (при жесткой балке передней оси) и рисунке 1.34 (при независимой подвеске управляемых колес).

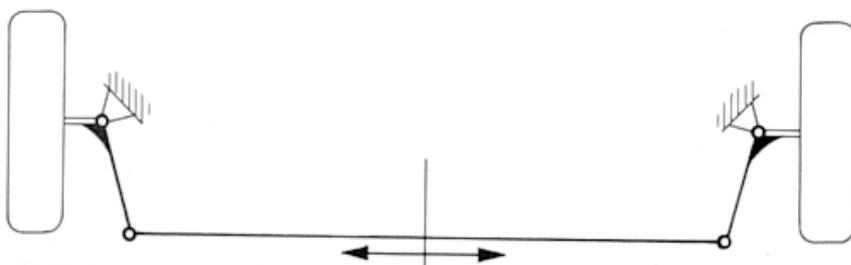


Рис. 1.33: Схематическое изображение рулевой трапеции при жесткой балке передней управляемой оси

Источник: Fogel

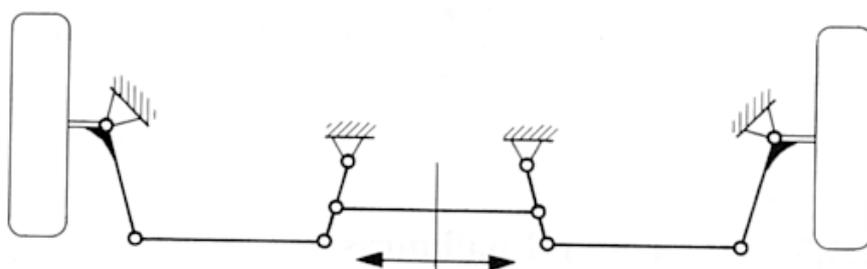


Рис. 1.34: При независимой подвеске управляемых колес схема рулевого управления состоит из двух симметрично расположенных рулевых трапеций

Источник: Fogel

Выполнение «Условий Аккермана» с помощью вышеупомянутых конструктивных схем рулевого управления может происходить только приближенно.

Возникающие погрешности рулевой трапеции, то есть отклонения от идеального угла поворота управляемых колес, зависят от угла поворота управляемых колес, и представлены на рисунке 1.35.

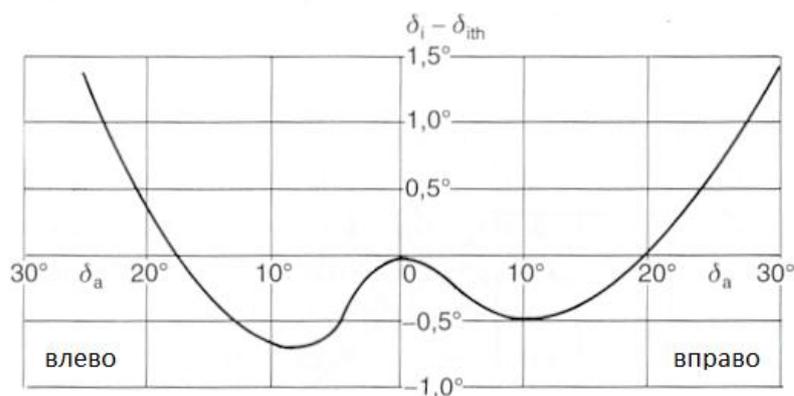


Рис. 1.35: Графическое отображение погрешностей рулевого управления, возникающего вследствие эластичности шин и элементов подвески; Источник: Fogel

При движении на повороте возникает центробежная сила F_s .

Слагаемые центробежной силы приведены к середине пятна контакта колеса с дорогой (средней точкой отпечатка шины).

Каждая из слагаемых формирует угол бокового увода передних колес δ_v и δ_h (рис. 1.36)

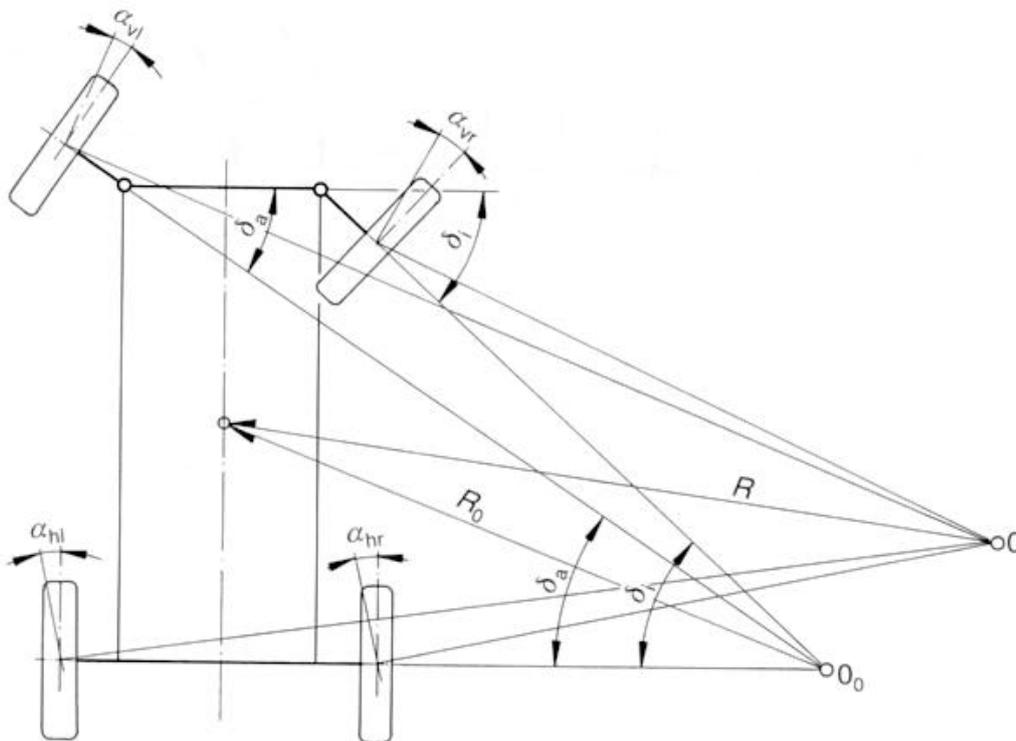


Рис. 1.36: Изменение радиуса поворота автомобиля, вызванного боковым уводом шин передних и задних колес автомобиля; Источник: Fogel

Статический R_0 и динамический R радиус поворота автомобиля

Источник: Fogel

Боковой увод передних колес изменяет и радиус поворота с R_0 на R

Эта «Особенность управления», именуемая «Поворачиваемостью», становится больше при увеличении скорости транспортного средства и, вместе с этим, увеличением центробежной силы. Рисунок 1.36 показывает зависимость радиуса поворота R автомобиля от разницы углов бокового увода δ_v и δ_h

При угле поворота δ_a теоретическое значение угла поворота δ_{ith} должно придерживаться указанной графической зависимости.

Однако, в связи с применением двух рулевых трапеций устанавливается фактическое значение δ_i .

Разница углов бокового увода может быть как положительна, так и отрицательна

$\delta_v = \delta_h$ = Нейтральная поворачиваемость

$\delta_v > \delta_h$ = Недостаточная поворачиваемость

$\delta_v < \delta_h$ = Избыточная поворачиваемость

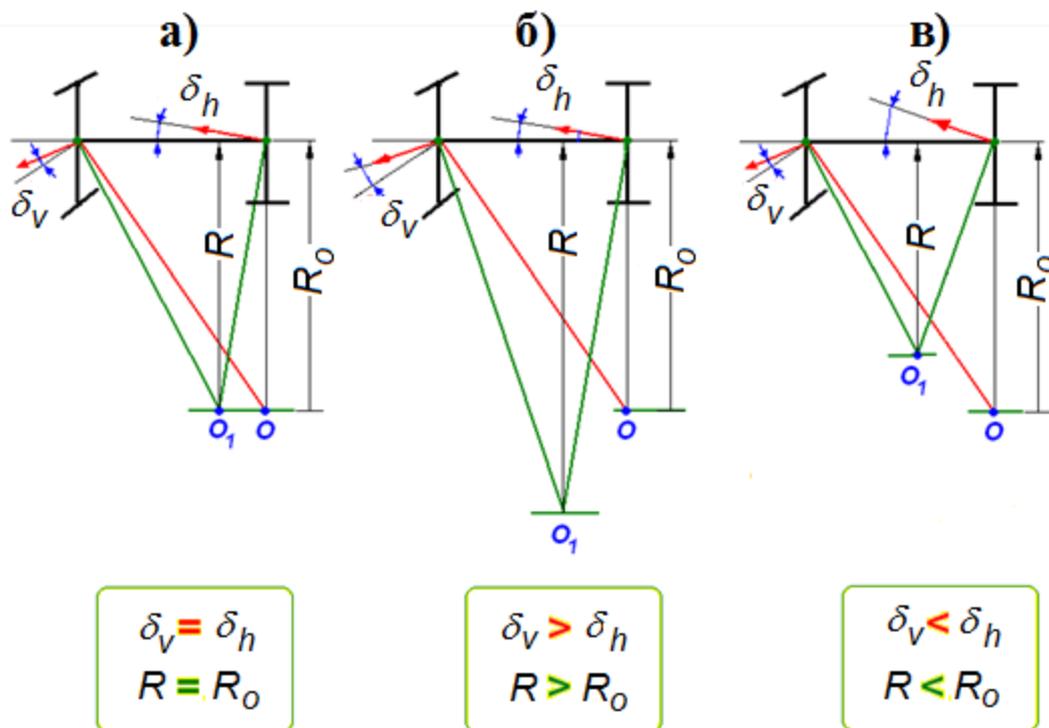


Рис: 1.37: Схематическое пояснение, объясняющее происхождения поворачиваемости

На рисунке а) угол увода δ_v колес передней оси равен углу увода δ_h колес задней оси. В этом случае кривизна траектории поворота не изменяется $R_0 = R$; Это явление носит название нейтральной поворачиваемости;

На рисунке б) угол увода колес передней оси δ_v больше угла увода δ_h колес задней оси. В этом случае радиус кривизны траектории поворота увеличивается, то есть $R_0 < R$; Это явление носит название недостаточной поворачиваемости;

На рисунке в) угол увода δ_v передней оси меньше угла увода δ_h колес задней оси, В этом случае радиус кривизны траектории поворота уменьшается, то есть $R_0 > R$; Это явление носит название избыточной поворачиваемости

Поворачиваемость автомобиля зависит не только от свойств шин, но и в немалой мере зависит от конструкции подвески колес автомобиля.

1.5.2 Принцип Аккермана и схождение управляемых колес

1.5.2.1 Углы рассогласования

Принцип Аккермана, как это было указано выше, определяет разницу углов поворота ближнего к центру поворота по отношению к дальнему от центра поворота транспортного средства колеса. Принцип Аккермана справедлив для любых транспортных средств, и гарантирует наилучшую в пределах физических возможностей управляемость транспортного средства при прохождении поворота или движения по кривой.

До открытия закономерностей, положенных в основу принципа Аккермана, транспортные средства, естественно, с конной тягой, снабжались рулевым приводом с параллельно расположенными рулевыми рычагами, и, как следствие, при поворотах одно из колес транспортного средства волочилось по поверхности полу-бокком. Рудольф Аккерман (1764 – 1834) разработал принцип использования наклонных рулевых рычагов, который устраняет эту проблему рулевого управления в транспортных средствах.

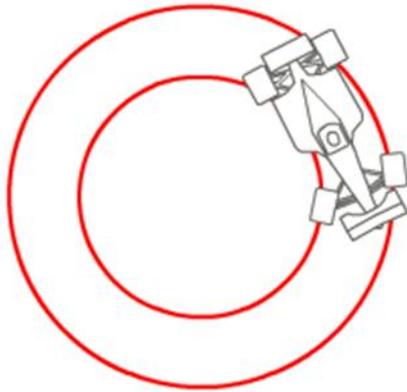


Рис. 1.38: Рисунок изображает автомобиль (для лучшего отображения угла поворота колес автор выбрал гоночный автомобиль), совершающий поворот (в указанном случае, поворот будем считать бесконечно длинным). Красные линии изображают траектории движения колес

Нетрудно заметить, что внутренние колеса автомобиля следуют по окружности меньшего диаметра, чем внешние колеса.

Если оба колеса повернуты на одинаковую величину, внутреннее колесо будет катиться по дороге с боковым проскальзыванием, что приведет к дополнительному расходу энергии и снизит эффективность рулевого управления. Вынужденное скольжение колеса может быть устранено с помощью поворота внутреннего колеса на угол, больший, чем угол поворота внешнего колеса.

Источник: www.rctek.com «Information & Resources for Model Car Racer»

Причину необходимости поворота внутреннего и наружного по отношению к центру поворота колес мы рассматривали в пункте 1.5.1 этого учебного пособия. Различие внутреннего (R_{is}) и внешнего радиуса (R_{os}) зависят от ряда факторов, включая геометрические размеры автомобиля, в частности: ширину колеи и базу автомобиля, а также от радиуса поворота отрезка пути, который собирается пройти автомобиль.

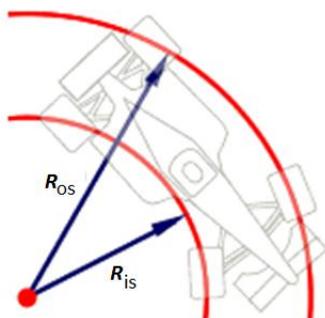


Рис. 1.39: Колеса автомобиля, совершающего поворот, описывают различные траектории, обусловленные различными радиусами этих траекторий.

Для обозначения этих радиусов примем:

R_{is} (inside) = радиус траектории движения внутреннего к центру поворота колеса;

R_{os} (outside) = радиус траектории движения наружного от центра поворота колеса

Источник: rstek

Очевидно, что при повороте автомобиля ближе к центру поворота колесо будет отклоняться от прямолинейного положения на угол, больший, чем произойдет отклонение от прямолинейного положения дальнего от центра поворота колеса. Эта разность углов поворота колес называется рассогласованием углов поворота управляемых колес. Вместе с тем, управляемые колеса должны будут стоять параллельно, если автомобиль движется по прямой. Рудольф Аккерман заметил, что для обеспечения этой зависимости, необходимо, чтобы рассогласование углов поворота управляемых колес возрастало от нулевого значения, когда колеса транспортного средства занимают позицию, соответствующую прямолинейному движению, до максимальной величины, при которой колеса транспортного средства будут повернуты на максимальный угол поворота. Необходимо так же обеспечить, чтобы углы рассогласования при одинаковом повороте левого и правого колеса, принимали одинаковое значение.

1.5.2.2 Рулевая трапеция

Создание рассогласования колес достигается путем комбинации угла и длины рулевых рычагов. Ниже вы сможете увидеть несколько рисунков, которые приводят примеры использования параллельных и наклонных рулевых рычагов, для демонстрации того, почему необходимо использовать принцип Аккермана в рулевом управлении.

Если рулевой привод сделать в виде параллелограмма?

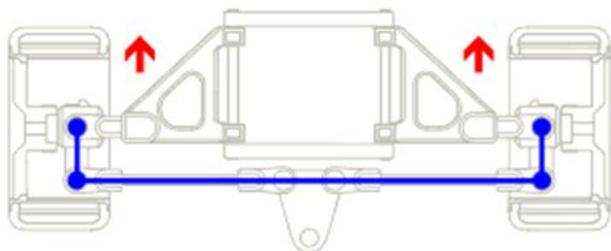


Рис. 1.40: Рулевые рычаги в приводе управляемых колес установлены параллельно; Источник: rstek

Если рычаги привода управляемых колес автомобиля установить параллельно боковым сторонам автомобиля, перемещение поперечно расположенной рулевой тяги приведет к равному повороту управляемых колес на равные углы.

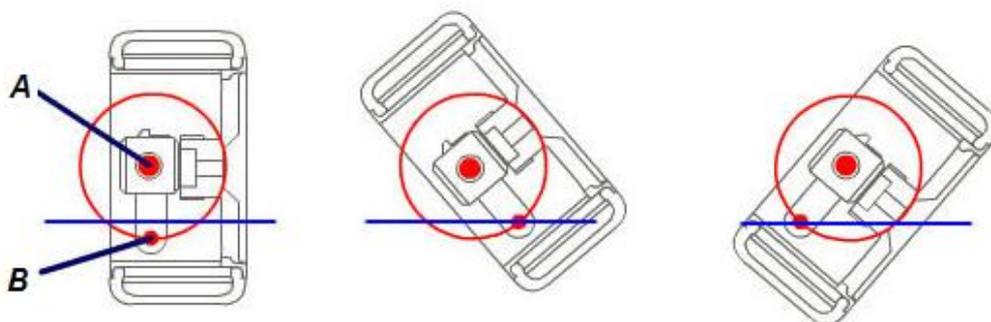


Рис. 1.41: Демонстрация углов поворота управляемых колес в случае применения параллельных рулевых рычагов в приводе управляемых колес автомобиля; Источник: rstek

Почему происходит равное угловое отклонение управляемых колес можно увидеть, последовательно изучив представленные рисунки. На рисунках изображена красная окружность с центром в точке, вокруг которой будет осуществляться поворот управляемое колесо. На рисунке слева шарнир рулевого рычага (B) находится на одной прямой с осью поворота колеса (A), в случае установки колеса в позицию, соответствующую прямолинейному движению. Прочертим перпендикулярную линию, отступив от шарнира (B) на небольшое расстояние в сторону оси поворота (A) управляемого колеса. Повернув управляемое колесо влево и вправо так, чтобы шарнир рулевого рычага оказался на одной проведенной ранее прямой, мы увидим, что колесо при левом и правом повороте отклонится на одинаковый угол.

Если рулевой привод сделать в виде трапеции?

На расположенном ниже рисунке рулевые рычаги установлены под углом к продольной оси автомобиля, причем так, что шарниры рулевых рычагов приближены к продольной оси автомобиля. Поведение управляемых колес при их повороте будет рассмотрено на рисунке 1.43.

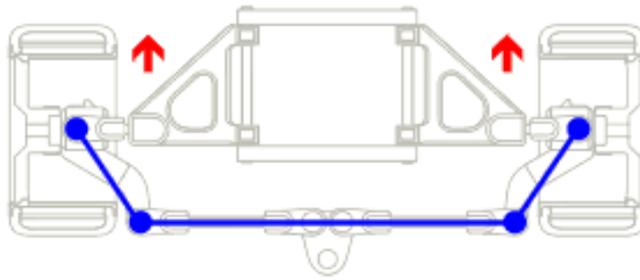


Рис. 1.42: Рулевые рычаги рулевого привода установлены по углом к продольной оси автомобиля; Источник: : rstek

Почему происходит неравное угловое отклонение управляемого колеса можно увидеть на рисунке 1.43, на котором отображено относительное положение шарнира рулевого рычага (В) на окружности красного цвета, представляющую собой траекторию движения шарнира рулевого рычага (В) при вращении управляемого колеса вокруг оси (А) поворота управляемого колеса.

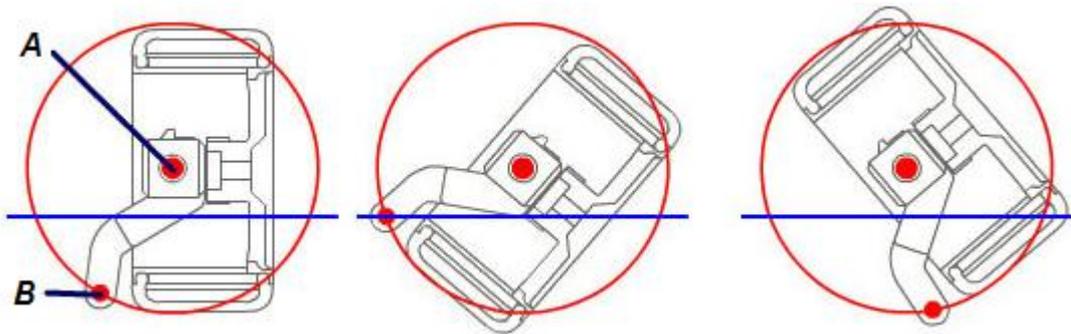


Рис. 1.43: Демонстрация углов поворота управляемых колес в случае применения непараллельных рулевых рычагов в приводе управляемых колес автомобиля; Источник: rstek

Так как рулевой рычаг установлен под углом к продольной оси автомобиля, шарнир (В) рулевого рычага не находится на прямой, параллельной продольной плоскости автомобиля, но находится на окружности, которую будет описывать точка (В) рычага при повороте управляемого колеса.

Рассматривая рисунок 1.43, несложно увидеть, что поворот управляемого колеса на одинаковый угол не вызовет одинакового перемещения шарнира (В) рулевого рычага. Если на крайнем правом рисунке шарнир (В) совместить с горизонтальной линией, то станет очевидным, что колесо повернулось почти на 90°.

Принцип Аккермана состоит в том, что неравное угловое перемещение является экспоненциальным, то есть, чем больше вы поворачиваете колесо, тем больше становится угловое различие между колесами. В противном случае оба колеса никогда не будут указывать прямо вперед, когда автомобиль не поворачивает.

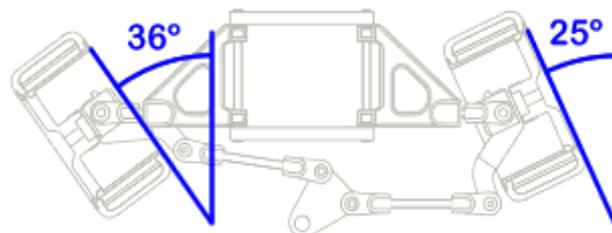


Рис. 1.44: Принцип Аккермана состоит в том, что при повороте одного из колес на заданный угол, угол поворота другого колеса отличен; Источник: rstek

Изложенные выше примеры показывают, что установленные под углом рулевые

рычаги позволяют получить параллельное расположение управляемых колес при прямолинейном движении автомобиля, как при параллельной установке рулевых рычагов, так и при их угловом расположении.

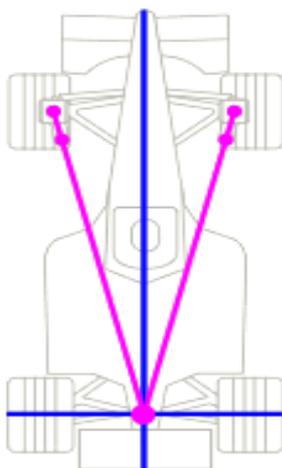


Рис. 1.45: На рисунке изображена **точная** геометрия угла Аккермана в рулевом управлении. Это определяется установкой рулевых рычагов под такими углами, чтобы линии, проведенные через ось поворота колеса и шарнир рулевого рычага, пересекались в точке, принадлежащей осевой продольной линии автомобиля, и линии задней оси; Источник: rstek

Увеличенный, уменьшенный и точный угол Аккермана в рулевом управлении

Это часто употребляемые термины в спортивном автомобилестроении, и они относятся к величине разницы в углах колес относительно точной геометрии угла Аккермана в рулевом управлении.

Точный угол Аккермана - нулевое схождение при повороте

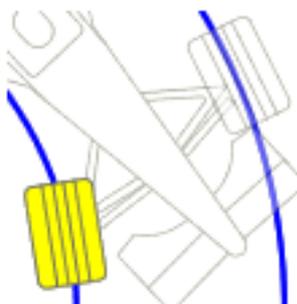


Рис. 1.46: При точном угле Аккермана плоскости вращений обоих передних колес автомобиля принадлежат касательным, построенным в центральных точках пятен контакта передних управляемых колес; Источник: rstek

Так как точный угол Аккермана в рулевом управлении обеспечивает точное следование колес по предназначенным им траекториям. В этом случае отсутствует какое-либо расхождение колес в повернутом положении, хотя внутреннее колесо поворачивает на больший угол, чем это происходит с колесом, дальним от центра поворота автомобиля. Это можно наблюдать на представленном рисунке.

Вернемся к рисунку 1.32. Центр поворота автомобиля лежит на продолжении оси вращения задних колес автомобиля, что в точности совпадает с принципом Аккермана. Зададимся вопросом, будет ли оказывать влияние на углы поворота управляемых колес длины рулевых рычагов?

Одновременное увеличение или уменьшение длин рулевых рычагов не окажет никакого влияния на рассогласование углов поворота управляемых колес, и длина рычагов подбирается конструктором исходя из возможности размещения рулевых тяг в автомобиле. Однако даже незначительное отклонение оси, проведенной через точку вращения управляемого колеса и шарнир рулевого рычага справа или слева по ходу движения автомобиля вызовет смещение точки пересечения осей, проведенных через рулевые рычаги с продольной осевой линией автомобиля, что в принципе – недопустимо.

Рассмотрим, что же будет происходить, если точка пересечения осей рулевых ры-

чагов окажется на продольной осевой линии автомобиля, но в базе автомобиля, то есть ближе к передней его оси.

Увеличенный угол Аккермана - расхождение при повороте

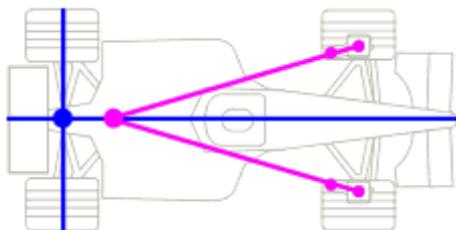


Рис. 1.47: При увеличенном угле Аккермана точка пересечения продолжений осевых линий, проведенных через рулевые рычаги, лежит перед задней осью транспортного средства; Источник: rstek



Рис. 1.48: Боковой увод колес передней и задней осей вызывает смещение мгновенного центра поворота автомобиля вперед. Если боковой увод передних и задних колес автомобиля одинаков, то автомобиль обладает так называемой «нейтральной поворачиваемостью». Это значит, что радиус поворота автомобиля не изменился, хотя и произошло центра поворота вперед; Источник: Racing Car Technology (RCT)

Когда автомобиль совершает поворот на высокой скорости, рулевая геометрия Аккермана существенно модифицируется углами бокового увода, как это показано на рисунке 1.48. При максимальной центробежной силе можно ожидать величину углов бокового увода в диапазоне от 5° до 8° . Шины с малым соотношением высоты к ширине (серии 35...50) могут работать только при малых углах бокового увода. Чем ниже серия шины, тем меньший угол бокового увода обеспечивается шинами, так шины 35 серии могут работать при 2° угла бокового увода. Шины с высоким соотношением высоты к ширине (например, шины для внедорожников) могут работать вплоть до 40° угла бокового увода.

Угол бокового увода шины зависит от вертикальной нагрузке, воспринимаемой шиной, поэтому при высоких скоростях прохождения поворотов переднее колесо, катящееся по траектории наиболее удаленной от центра поворота, нагружается больше, чем шина, катящаяся по траектории, расположенной ближе к центру поворота. Следовательно, углы увода правого и левого переднего колеса будут иметь разные значения.

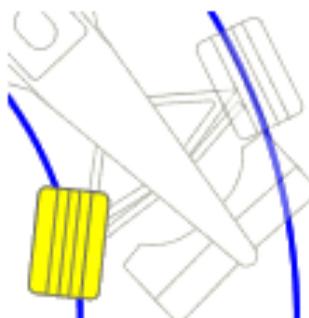


Рис. 1.49: При увеличенном угле Аккермана плоскость вращения дальнего от центра поворота переднего колеса автомобиля принадлежит касательной, построенной в центральной точке пятна контакта переднего управляемого колеса. Ближнее к центру поворота колесо поворачивается на чрезмерный угол, поэтому касательная, построенная в центральной точке пятна контакта, не принадлежит плоскости вращения этого колеса; Источник: rstek

Во избежание чрезмерного износа шин при совершении поворотов необходимо устанавливать колеса со сходимением, причем при нейтральной поворачиваемости и малом уводе шин - схождение колес может быть близким к нулевому значению.

Если же шины, установленные на автомобиль, склонны под действием боковых сил к высокому уводу, то схождение следует устанавливать с положительным значением.

Все автомобили с приводом на передние колеса обладают недостаточной поворачиваемостью. Это значит, что в результате приложения боковой силы колеса задней оси имеют больший угол увода, чем колеса передней оси. Компенсацию недостаточной поворачиваемости производят установкой в задней подвеске системы рычагов, способствующих при крене кузова в повороте небольшому повороту задней оси в направлении от центра поворота.

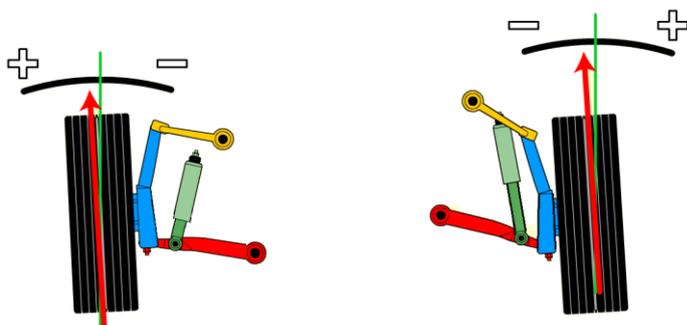


Рис. 1.50: На представленном рисунке показана подвеска задних колес автомобиля, поворачивающего направо. Крен кузова влево вызван центробежной силой, приложенных к центру масс автомобиля

