

Основные положения, термины и определения

История автомобиля насчитывает около 150 лет. За это время уже всё было придумано и опробовано. И даже несмотря на то, что уже все описано и неоднократно сделано до нас, тем не менее такие темы как подвеска всё ещё остаются достаточно непонятной областью в настройке шасси. В последнее время появилось очень много статей по настройке радиоуправляемых моделей, причём иногда там описывается практическое применение теоретических основ (**самый раскрученный сайт в нашей стране – www.orion-team.ch, но если поискать подольше – много полезного есть и на www.autozine.com и на www.rqriley.com – всё написано немного другими словами, но теория автомобиля одна. Так что нечего удивляться, если у нас даже картинки совпадают – сразу говорю – ничего нового я не придумал**). Недостатком таких статей можно назвать простой перевод на русский язык, не адаптируя его под наши термины и определения, прописанные ГОСТами.

Как ни странно, но самые разбирающиеся в этих вопросах люди – автоспортсмены – практически никогда не делятся своими знаниями в этом вопросе – во-первых, очень сложно сразу передать свой опыт на словах; а во-вторых, от правильных настроек шасси очень часто зависит победа в соревнованиях, а конкуренция очень высока – иногда от победы отделяют доли секунды.

Основные параметры шасси современного автомобиля

Автомобиль передвигается благодаря силам трения, возникающим в пятне контакта шины с дорожным покрытием. Силы трения ограничивают максимально возможные продольные и поперечные ускорения автомобиля.

Сила трения выражается следующей формулой:

$$F_{тр} = \mu N$$

где μ – коэффициент трения, N – сила реакции опоры.

Различают следующие силы трения – покоя, скольжения и качения. В автомобиле они присутствуют все.

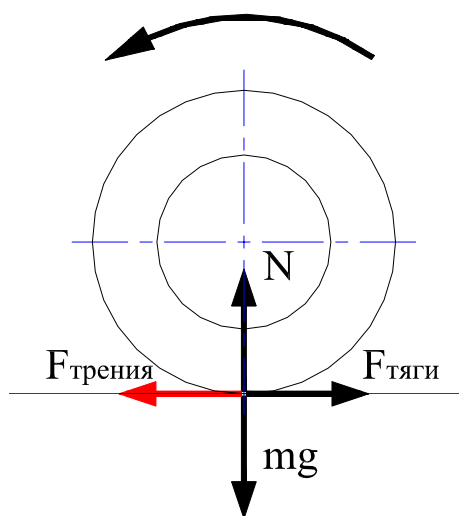


Рисунок 1. Схема сил, действующих на колесо

Трение покоя возникает всегда, когда пятно контакта колеса неподвижно относительно дорожного покрытия или при качении по поверхности без проскальзывания. При этом сила, возникающая в результате передачи колесу крутящего момента двигателя и по своей величине не превышает силы трения покоя.

Если резко увеличить скорость вращения колеса, то оно начнёт вращаться с проскальзыванием и сила трения покоя перейдёт с силу трения скольжения.

Трение качения никак не участвует в удержании автомобиля на трассе, оно всего лишь выражает количественно энергию <...>

Схождение колёс

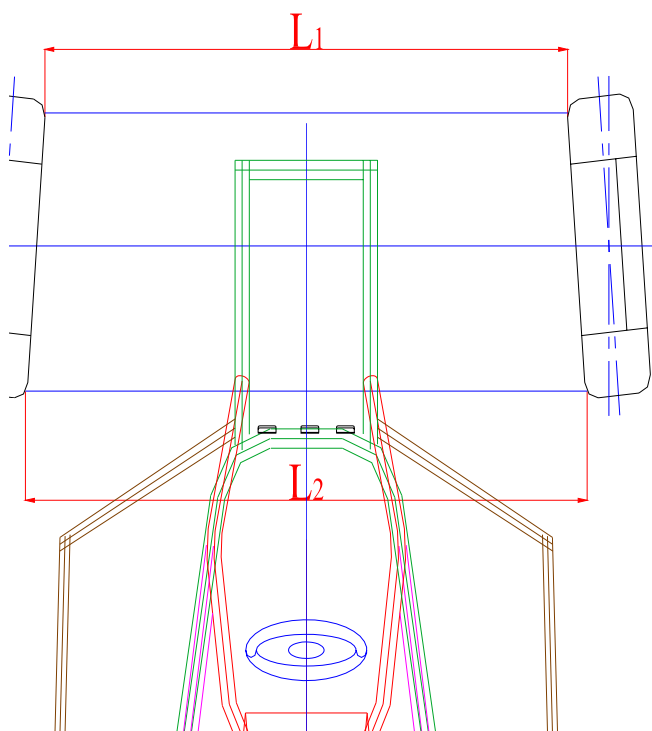


Рисунок 2. Схождение колёс.

У любого автомобиля передние колёса установлены так, как на рисунке 2. На самом деле на рисунке показан большой угол – для наглядного понимания этого явления. На современных автомобилях схождение составляет 2...5 мм. Схождение колёс нужно для того, чтобы боковые силы, возникающие при движении стремились поставить колёса в прямолинейное положение (ещё одно полезное свойство – все шарниры нагружаются и зазоры сводятся к минимуму). Расхождение колёс (когда L_1 больше L_2) на современных автомобилях практически не применяется. На рисунке 3 показаны оба случая – пример, когда автомобиль движется не прямолинейно, а под небольшим углом к прямолинейному движению под действием некоторой боковой силы (например, в повороте). При наличии схождения боковая сила на правом переднем колесе увеличивается, а на левом колесе – уменьшается. Сумма сил не равна нулю и появляется эффект стабилизации, благодаря которому автомобиль стремится выровниться в прямолинейное положение. При наличии расхождения боковая сила, которая возникает на переднем левом колесе больше боковой

силы на правом колесе. Разница этих сил стремится ещё больше дестабилизировать положение автомобиля.

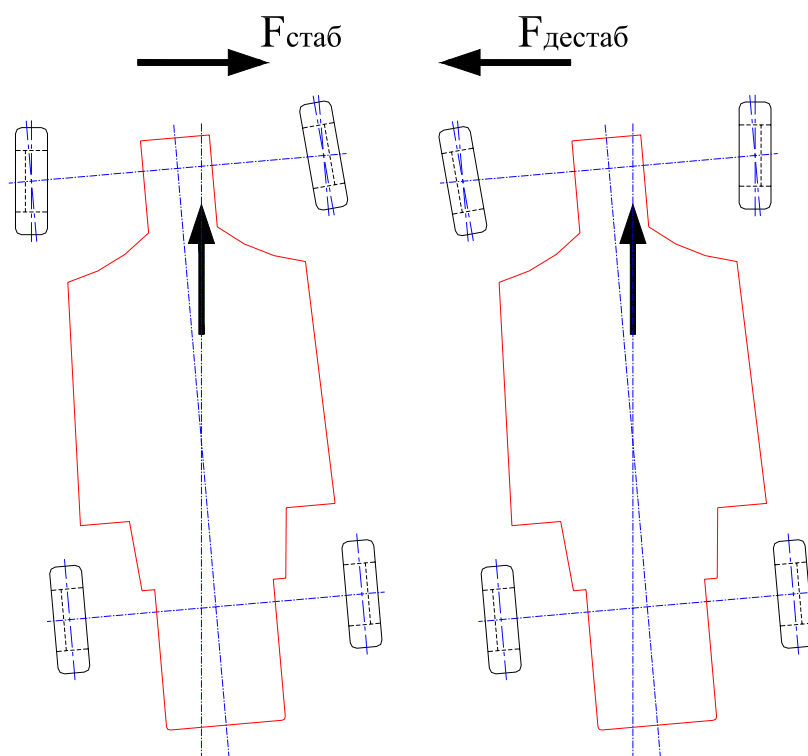


Рисунок 3. Стабилизация автомобиля.

Таким образом, можно влиять на снос передней оси в повороте, т.е. при наличии схождения снос передней оси возникает позже, чем при других настройках. При наличии полностью независимой подвески всех колёс можно установить схождение на всех колёсах. Но при этом автомобиль будет иметь высокую устойчивость при движении на прямых участках дороги. Но будет неохотно входить в повороты и будет стремиться продолжить прямолинейное движение – радиус поворота будет больше. Реакция на управление передних колёс будет вялой.

Для извилистых трасс с минимальными прямыми участками часто применяют такую настройку – на передней оси применяют минимальное (иногда даже нулевое) по сравнению с задней осью схождение, или в некоторых случаях небольшое расхождение, то автомобиль очень чутко, иногда даже агрессивно (зависит от настроек) отзывается на управление в поворотах, но при этом на прямых участках автомобиль управляется гораздо хуже.

Развал колёс

Угол развала колеса – угол между вертикалью и плоскостью вращения колеса. Развал применяется для улучшения сцепления колёс с поверхностью трассы при прохождении поворотов. В основе этого явления лежит эффект качения конуса. Развал может быть как положительным (плоскость колеса наклонена наружу), так и отрицательным. Как правило, применяется только отрицательный или нулевой развал. На переднеприводных автомобилях наблюдается другое распределение нагрузок, из-за этого развал делают положительным. На полноприводных автомобилях на передних и задних колесах развал может быть от 30' до 0°.

Для лучшей управляемости развал задних колёс делают более отрицательным, чем передних. На спортивных багги угол развала может быть до $+2^\circ$. Увеличение отрицательного развала (по модулю) улучшает, а увеличение положительного развала ухудшает сцепление колёс в повороте.

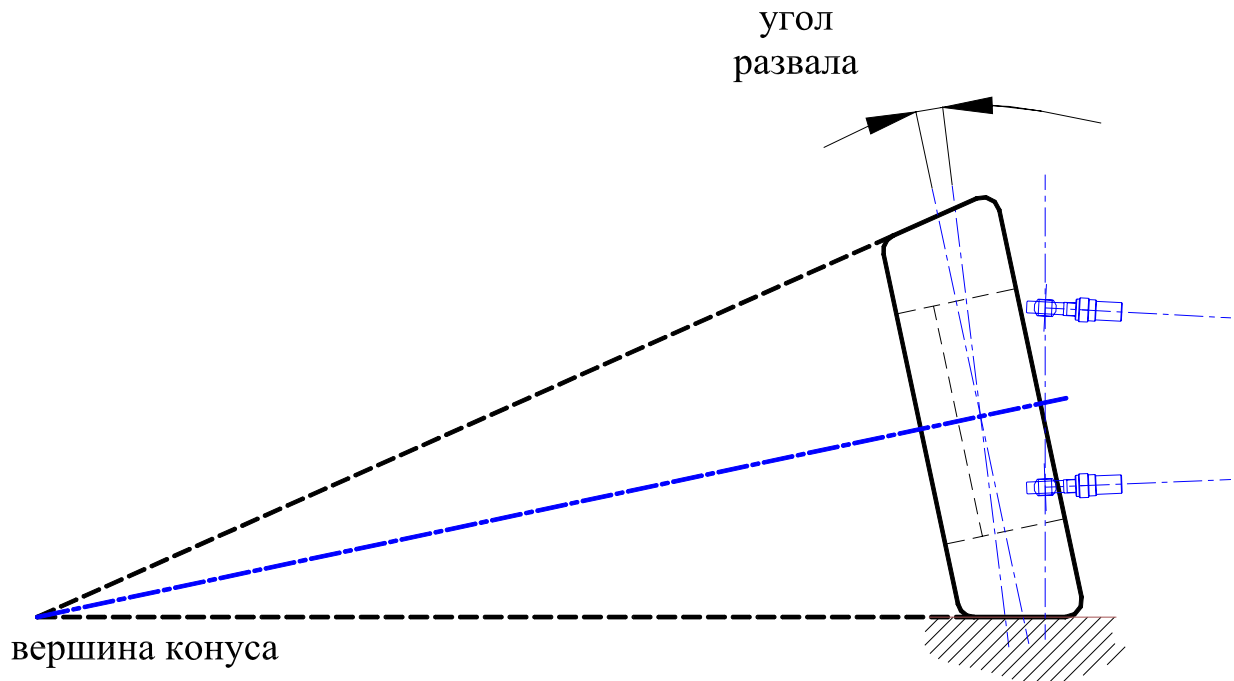


Рисунок 4. Качение конуса.

Продольный и поперечный углы наклона шкворня (оси шаровых)

Несмотря на то, что шкворни уже давно не применяются на легковых автомобилях, термин остался. Ось поворота наклоняется в двух направлениях – в продольном и в поперечном – относительно оси автомобиля.

Продольный угол служит для стабилизации колеса относительно вертикальной оси и прогрессивного изменения развала при повороте управляемых колёс. Этот угол очень часто, особенно в последнее время, называют кастор – castor.

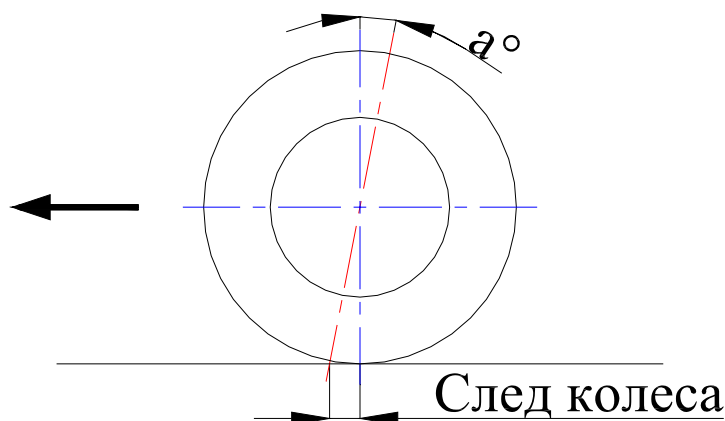


Рисунок 5. Продольный угол наклона оси шаровых.

Для мотоциклов указывается помимо наклона вилки и след колеса. Чем больше след, тем выше устойчивость на высоких скоростях и тем ниже манёвренность на малых скоростях (и наоборот). Для автомобилей, как правило, указывают только лишь величину наклона в градусах. На рисунке 5 показан положительный угол, отрицательные углы для передних управляемых колёс не применяются.

При положительном угле наклона оси шаровых пятно контакта шины с покрытием лежит немного сзади оси поворота. При отклонении колеса от прямолинейного движения возникает боковая ила, которая стремится повернуть колесо в исходное положение. При этом возникает стабилизация колеса. Благодаря наклону оси поворота колеса внешнее колесо имеет необходимый отрицательный развал, по мере увеличения отклонения колёс в сторону поворота внешнее колесо приобретает ещё больший отрицательный развал, а отрицательный развал внутреннего колеса уменьшается (в некоторых случаях даже становится положительным – это зависит от первоначальной величины развала, углов наклона оси шаровых). Таким образом увеличивается сцепление управляемых колёс в повороте.

При повороте управляемых колёс одно из колёс стремится приподнять шасси, а второе само приподнимается. При этом тратится некоторое количество энергии на подъём кузова. Благодаря подъёму кузова водитель может лучше чувствовать автомобиль.

При поперечном наклоне оси шаровых появляется ещё один параметр, влияющий на управляемость – радиус обката. Он получается, если ось шаровых геометрически не пересекает центр колеса. На рисунке 6 показан положительный радиус; может быть отрицательным. Данный параметр влияет на управляемость следующим образом – если одно из колёс имеет меньшее сцепление с дорогой, чем другое, то при торможении из-за неравенства тормозных сил возникает момент, стремящийся развернуть автомобиль относительно вертикальной оси. В случае отрицательного радиуса обкатки колесо, имеющее лучший контакт с поверхностью, стремится повернуться в сторону, обратную направлению разворота, тем самым стабилизируя автомобиль. Точно такой же эффект стабилизации наблюдается при разгоне на передне- и полноприводных автомобилях.

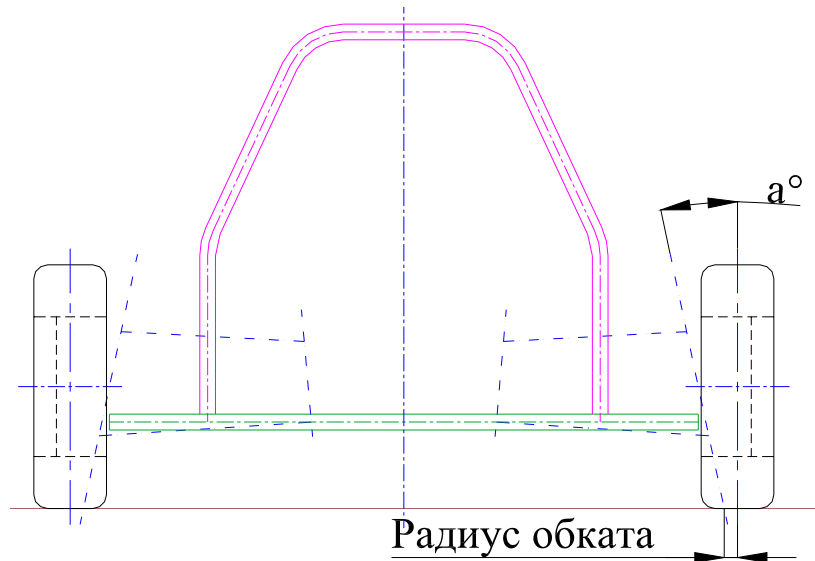


Рисунок 6. Радиус обката.

Угол Акерманна

Двигаясь в повороте с постоянным радиусом управляемые колёса стремятся описать окружности с разными радиусами (см. рисунок 7). В связи с этим колёса должны быть повернуты на разные углы. Внутреннее колесо должно быть повернуто на больший угол, чем наружное. Разность углов называется углом Акерманна. Этот угол растёт при уменьшении радиуса поворота. Чтобы обеспечить эти углы необходимо из точки поворота колеса провести виртуальную линию до пересечения задней оси и оси автомобиля. Но с учётом того, что у нас для багги применяются не жёсткие шины, а шины с достаточно высоким профилем шины, необходимо приблизить точку пересечения внутрь базы из-за податливости шин. Расстояние от оси управляемых колёс до этой точки составит примерно 0,95 базы автомобиля.

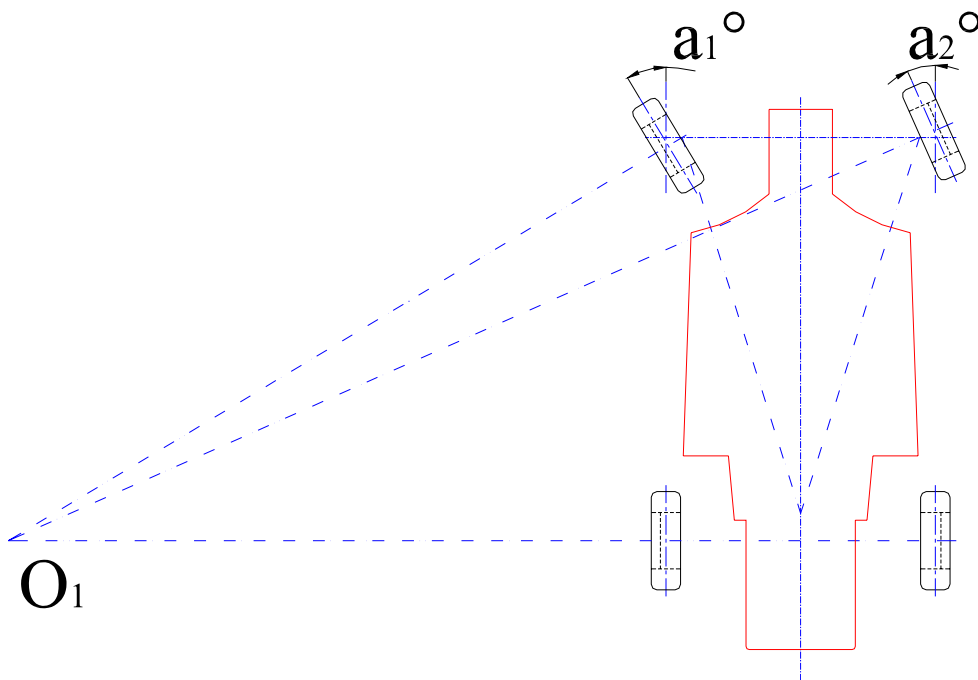


Рисунок 7. Углы Акерманна.

На некоторых автомобилях есть возможность менять положение рулевых тяг таким образом, чтобы расстояние до пересечения линий меняло своё положение.

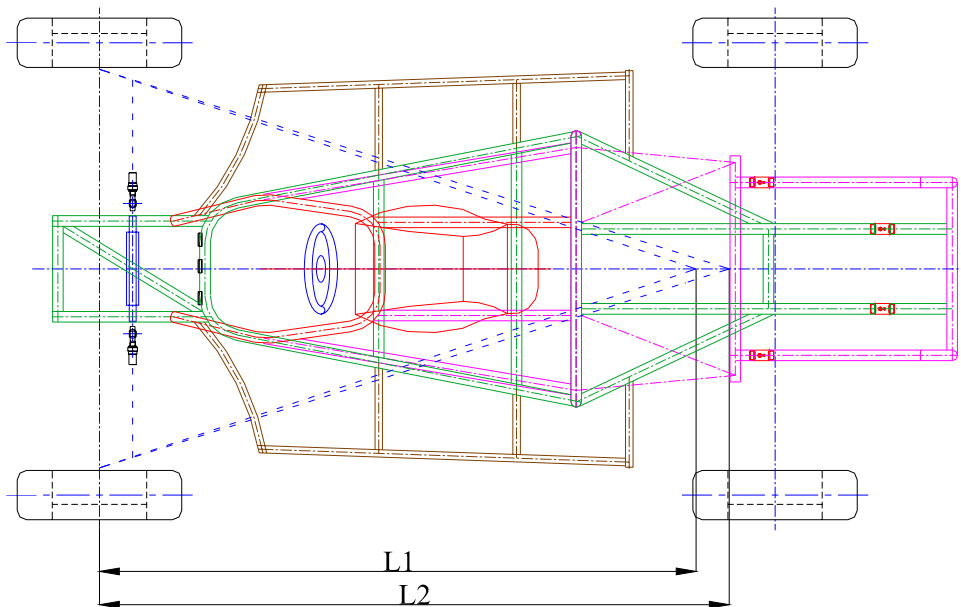


Рисунок 8. Определение углов Акерманна.

В автоспорте можно пожертвовать шинами на гонках в угоду лучшей управляемости. Но на гражданских автомобилях всегда пытаются найти некий компромисс между идеальным углом Акерманна и более долгой жизнью колёс. Увеличение угла Акермана ведёт

к смягчению реакции на поворот управляемых колёс. Автомобиль стремится плавнее войти в поворот и быть более устойчивым.

Для багги при базе 2500 мм, колее передних колёс 1700 мм, радиусе поворота 5000 мм получились такие крайние положения колёс – левое 31° , правое - 24° . В принципе, нормальные параметры для автомобиля.

Углы скольжения

Движение в повороте можно описать как движение по кругу с заданным радиусом и заданной скоростью. Это допущение принимается только лишь для того, чтобы было проще понимать что происходит с автомобилем. Угол скольжения – это угол между тем положением, которое должно быть при обычном движении и тем положением, которое занимают колёса при скольжении.

Допустим, что все четыре угла скольжения равны нулю и автомобиль едет по заданной траектории.

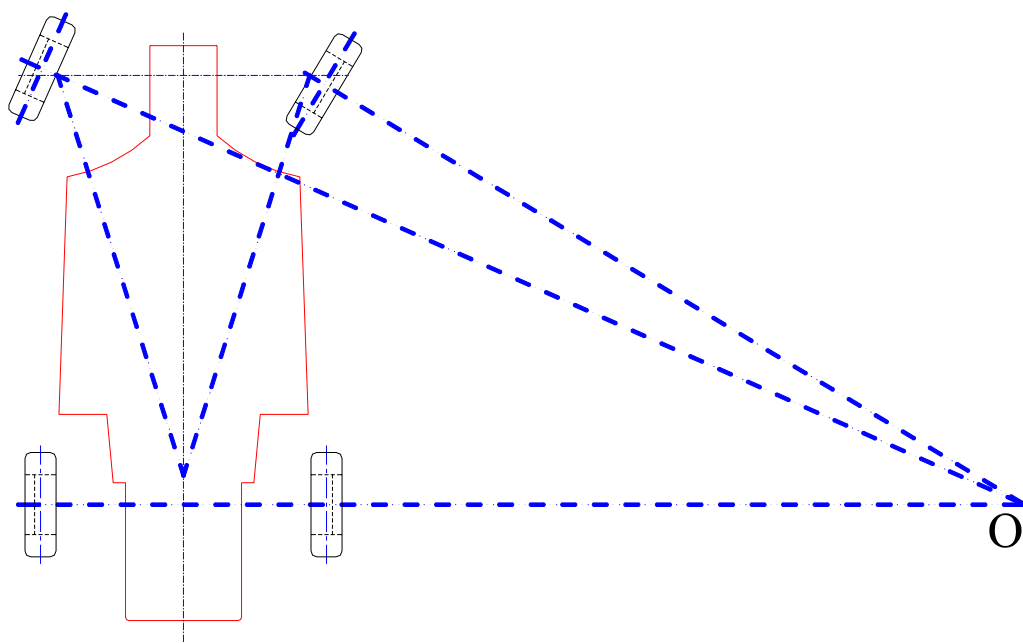


Рисунок 9. Принцип Акерманна.

Если автомобиль движется с малыми скоростями, нет уводов шин и нет скольжения – принцип Акерманна соблюдается в полной мере и все линии пересекаются в одной точке. Вокруг этой точки автомобиль описывает окружность.

Чаще всего наблюдается недостаточная поворачиваемость. Это наблюдается в том случае, когда на передних колёсах недостаточный вес (недостаточная загрузка колёс) и колёса начинают проскальзывать относительно дорожного покрытия. Графически эта разница выражается углом между синей и красной линией.

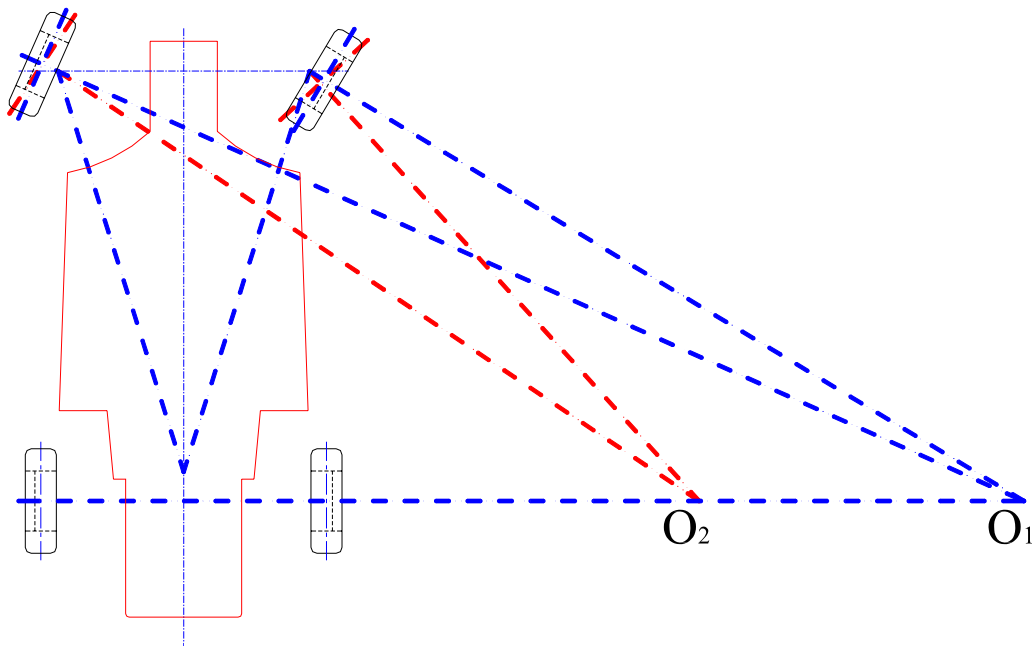


Рисунок 10. Недостаточная поворачиваемость.

Фактически, автомобиль поворачивает не вокруг ожидаемой точки, а вокруг точки, в которой пересекаются красные линии – в точке O_2 . Из-за этого автомобиль вынужден описывать больший радиус, чем ожидается. Это явление называется недостаточной поворачиваемостью.

Другое явление, которое можно наблюдать – избыточная поворачиваемость. Это явление возникает при следующих условиях – большее нагружение задних колёс, при которых они начинают скользить и автомобиль стремится повернуть по меньшему радиусу, чем ожидается. Как только задние колёса начинают проскальзывать, переднее внутреннее колесо также начинает скользить.

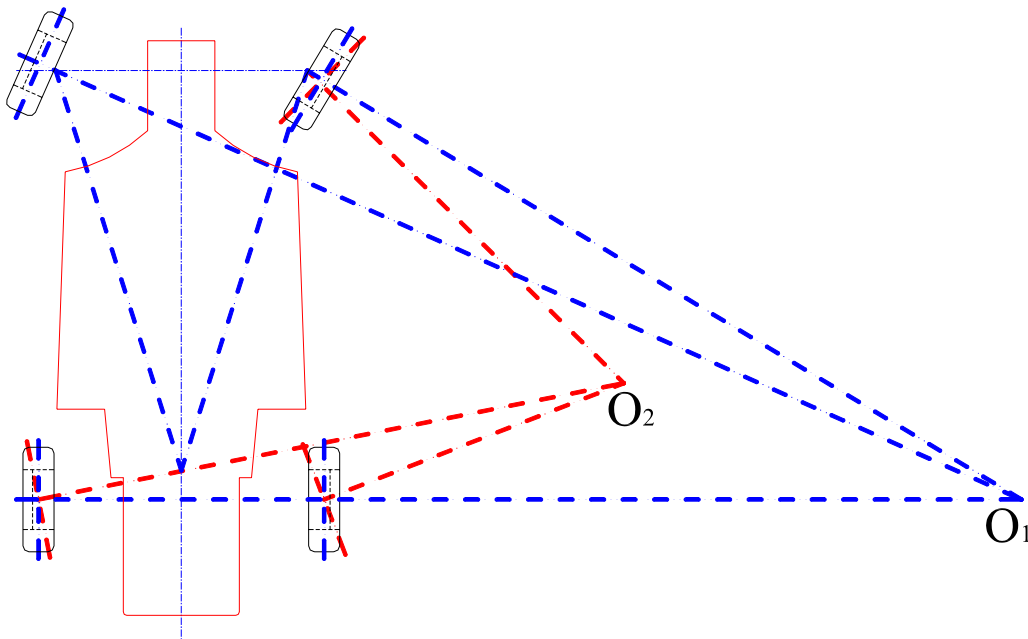


Рисунок 11. Избыточная поворачиваемость.

В этот момент автомобиль стремится повернуть относительно двух точек (центров поворота) одновременно. Точка O_2 геометрически занимает положение недалеко от центра автомобиля и делает переднюю ось более послушной. Автомобиль поворачивает более чётко и реакция на руле становится более острой, чем ожидалось.

Ещё один случай, который имеет место быть – противоскольжение. Оно возникает в том случае, когда передние колёса повёрнуты влево, а автомобиль поворачивает направо. Задние колёса скользят с экстремальным углом. Данная техника требует достаточного мастерства водителя – многие используют этот приём для прохождения поворота с управляемым заносом.

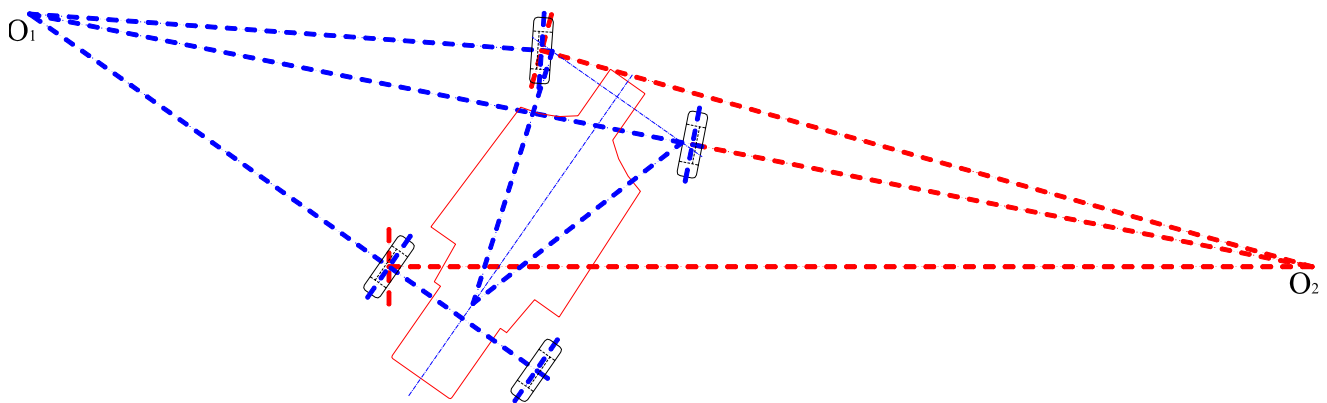


Рисунок 12. Управляемый занос.

Углы Акерманна и их смысл

Данные углы были осмыслены Рудольфом Акерманном в 1810 году. Мало кому известно, но Эрасмус Дарвин применил подобный принцип в 1758 году, тем не менее, принято считать, что этот принцип разработал и применил Акерманн относительно рулевого управления карет. Рулевые сошки пересекаются в одной точке и позволяют поворачивать колёса на разные углы.

2.1. Подвеска транспортного средства. Основные положения, термины и определения

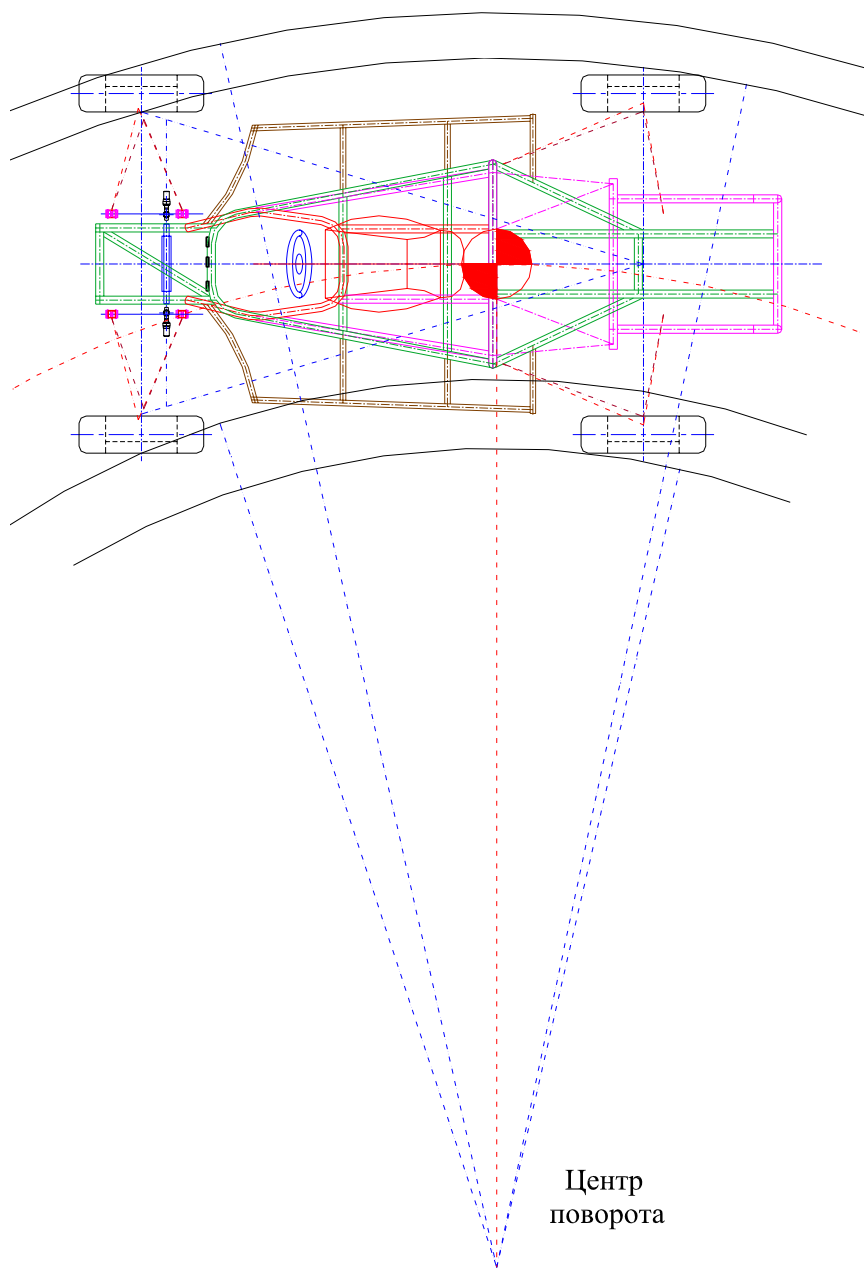


Рисунок 13 а. Схема поворота автомобиля.

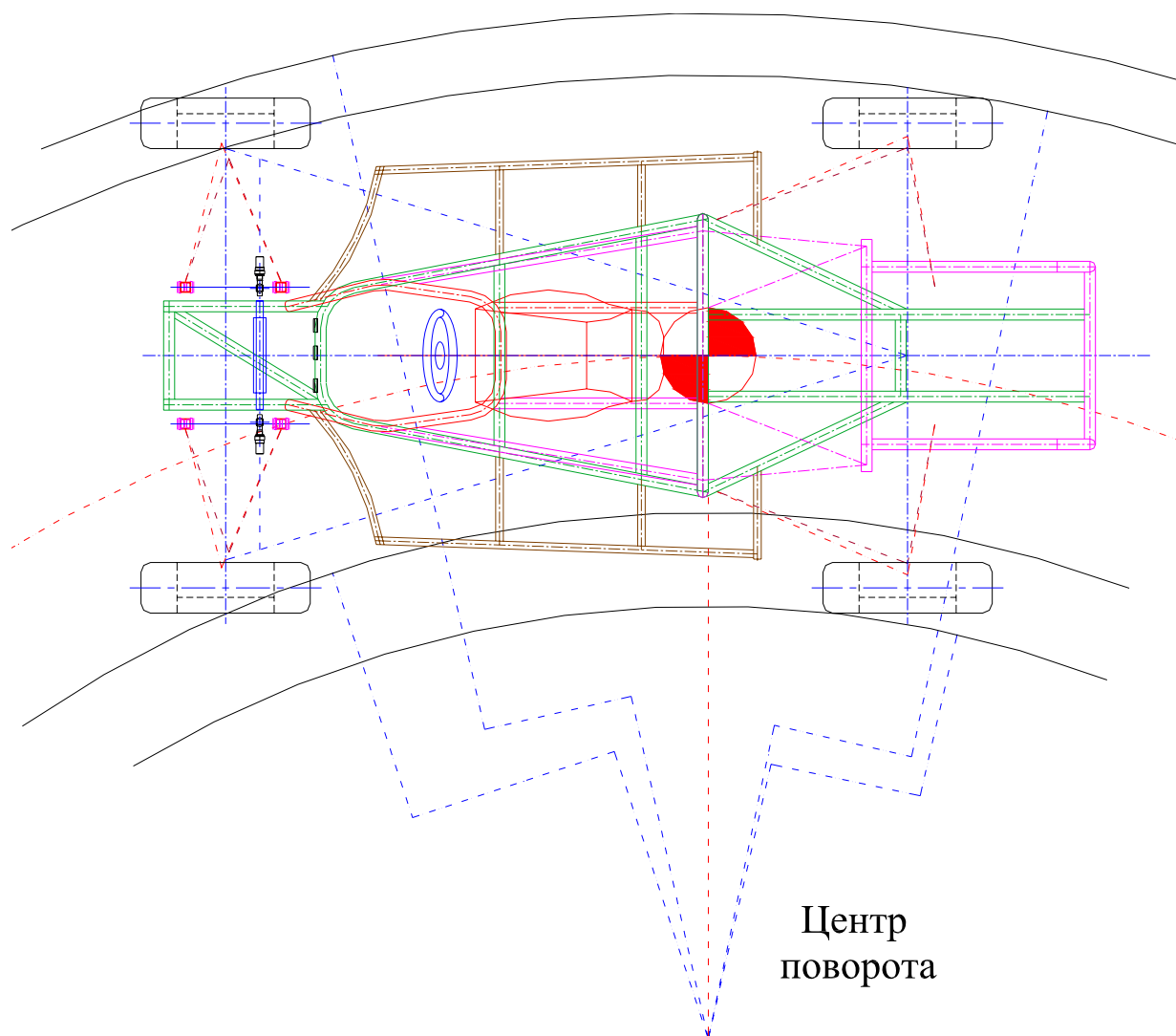


Рисунок 13 б. Схема поворота автомобиля.

Фактически, если понять физику явления, то можно обратить этот принцип себе на пользу. Прежде всего необходимо рассмотреть автомобиль как тело, сосредоточенное в одной точке – центре тяжести. Мы прикладываем все нагрузки к этой точке и смотрим как данное тело ведёт себя при движении по заданной траектории. Так как автомобиль занимает более развитое пространственное положение по сравнению с телом, сосредоточенным в точке, то можно увидеть, что задние колёса тоже могут поворачиваться в сторону поворота, причем в зависимости от положения центра тяжести центр поворота должен смещаться вперед или назад. Автомобиль представляет из себя набор компромиссов, поэтому конструкторы выбирают некоторую среднюю настройку. Рудольф Акерманн придумал положение точек пересечения осей сошек на пересечении оси транспортного средства и оси

задних колёс. Любой автомобиль быстрее кареты, также у автомобиля появляется больше нюансов, которые необходимо учитывать – деформация и увод шин, перераспределение веса автомобиля и проч. Поэтому конструкторы используют два механизма влияния на поворачиваемость автомобиля – смещение точки пересечения сошек и уменьшение задней колеи.

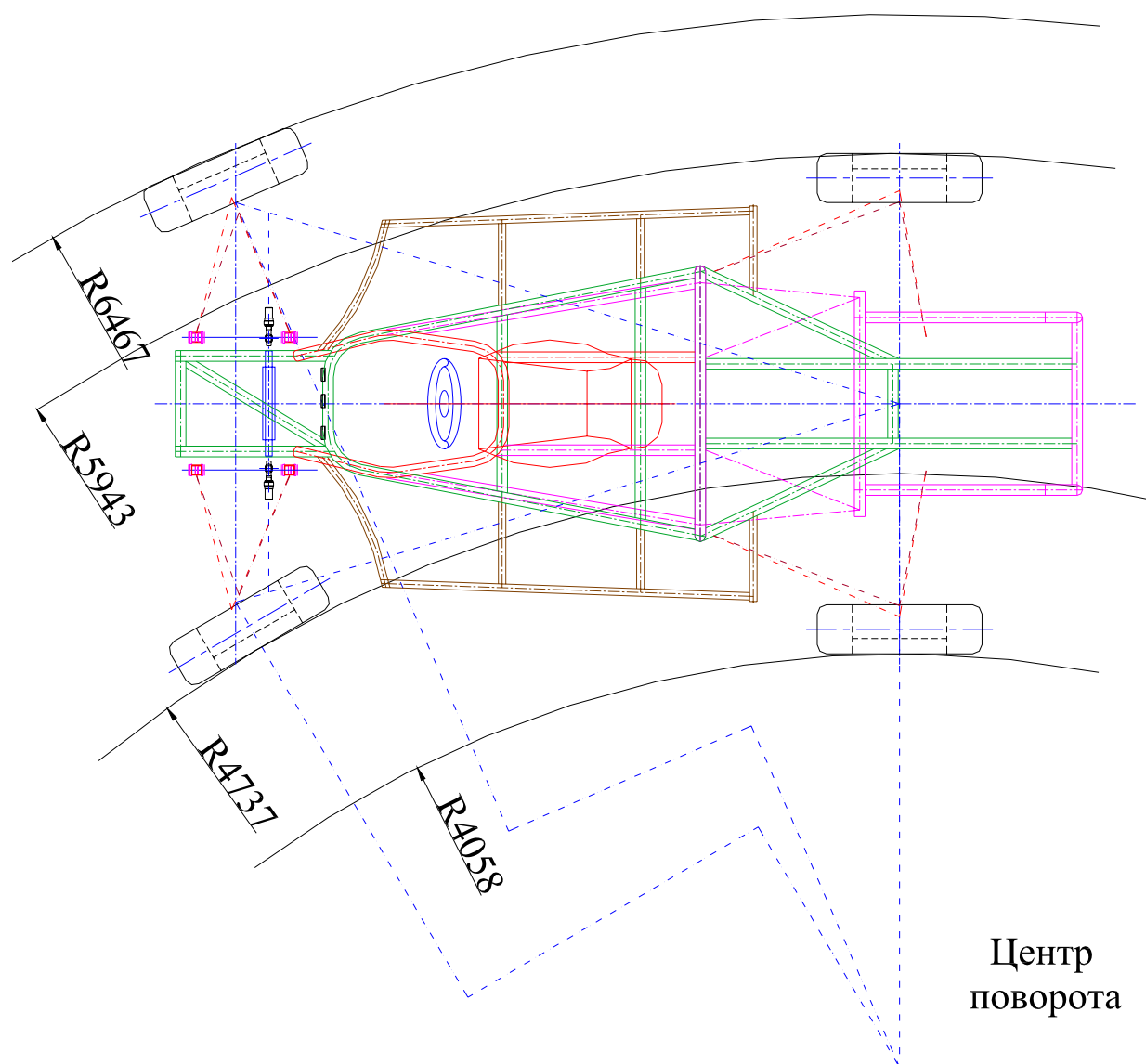


Рисунок 14. Принцип Акерманна.

На рисунке 14 показаны радиусы поворота колёс при применении принципа рулевого управления Акерманна. На рисунке 15 показан автомобиль со смещённой точкой пересечения. Расстояние до точки пересечения сошек – примерно 0,9...0,95 длины базы. Как

видно, радиусы немного изменились в меньшую сторону. Это смещение также благоприятно сказывается на поворачиваемости с учётом увода шин.

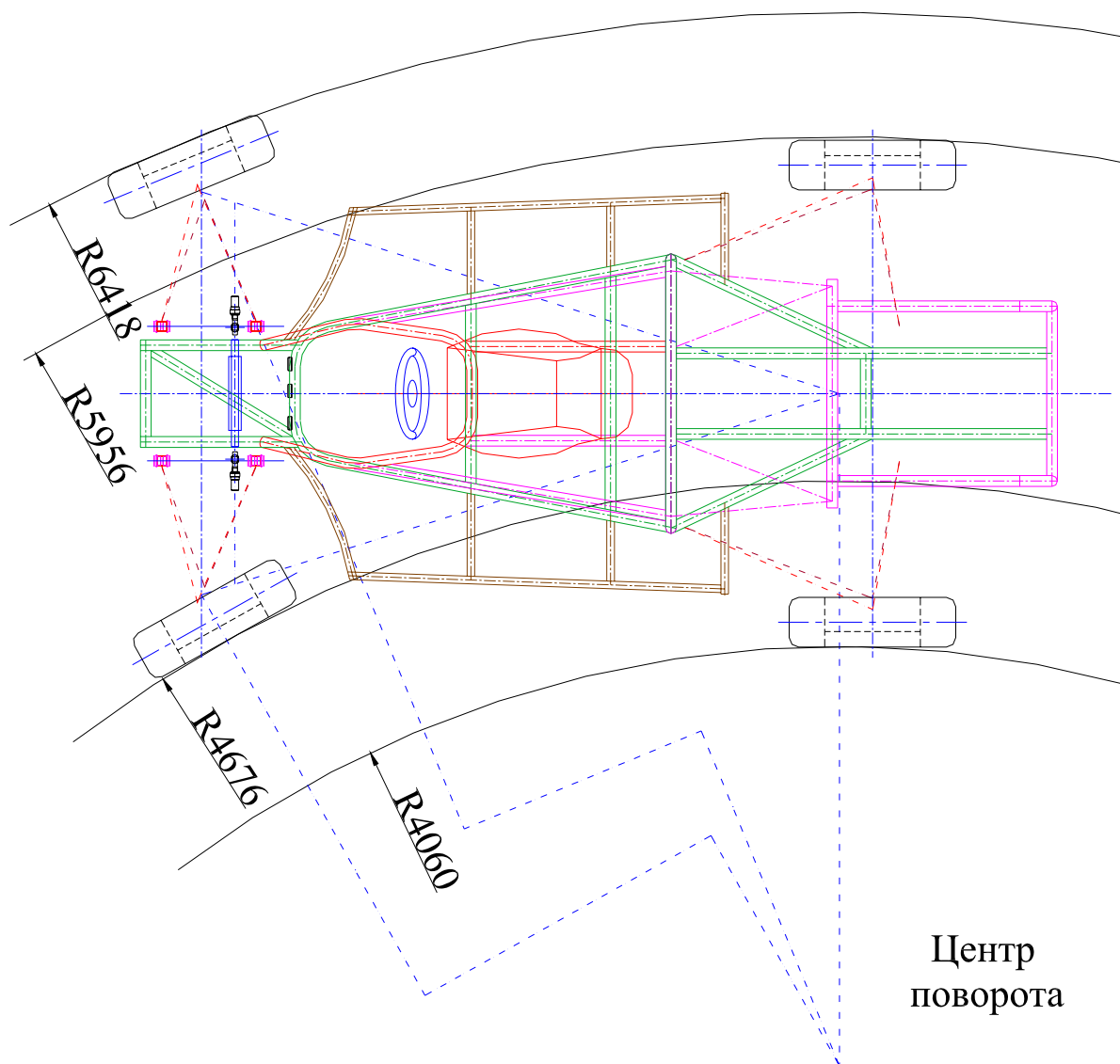


Рисунок 14 а. Принцип Акерманна со смещением точки пересечения осей сошек (расстояние 0,95 длины базы).

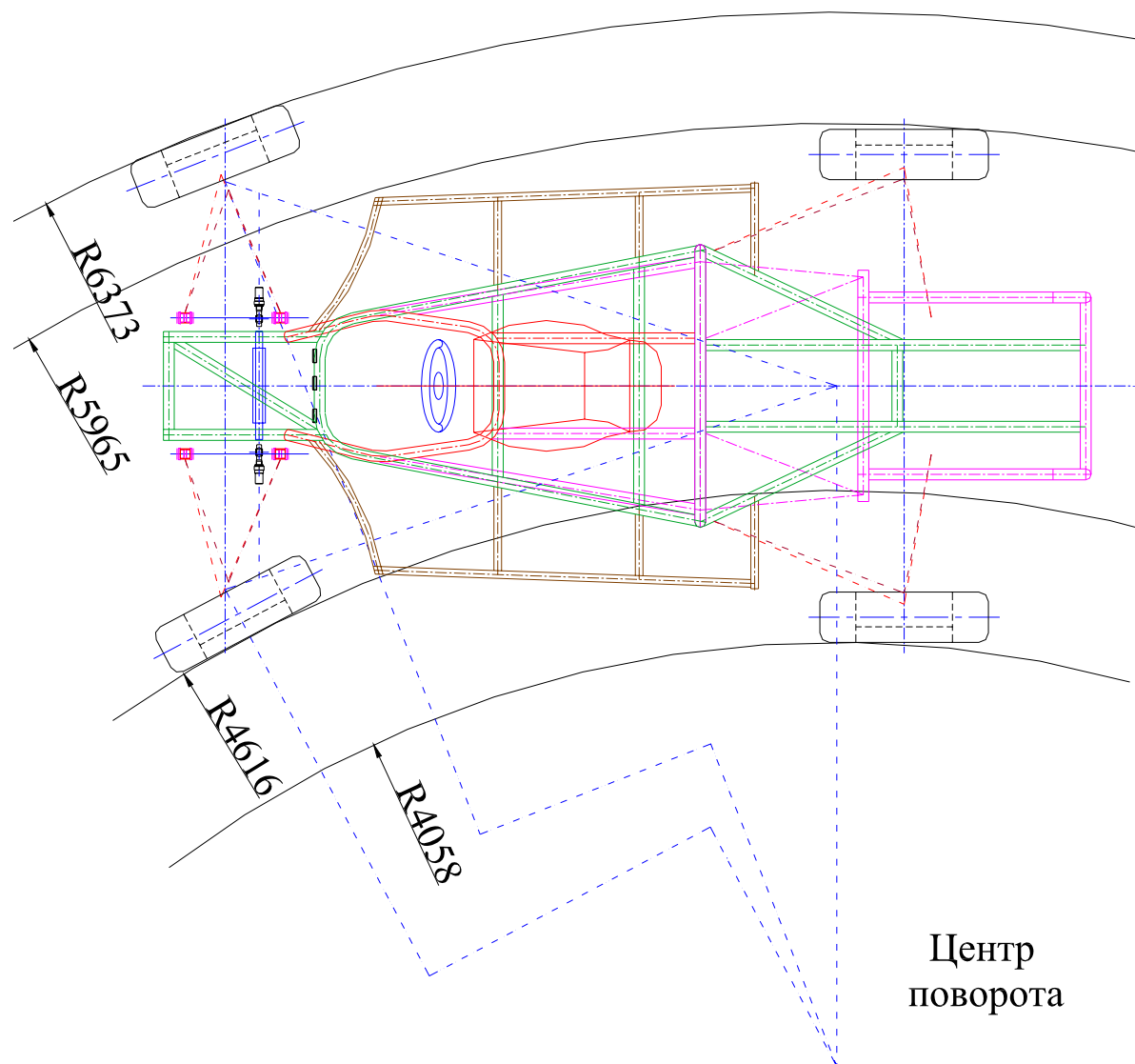


Рисунок 14 б. Принцип Акерманна со смещением точки пересечения осей сошек (расстояние 0,9 длины базы).

Есть один способ улучшить поворачиваемость – немного уменьшить заднюю колею автомобиля. Если посмотреть на геометрические параметры автомобилей, то это будет ясно видно.

Очень часто возникает вопрос по рулевой рейке, которая расположена спереди. При этом возникает соблазн поменять кулаки местами. При этом точка пересечения сошек зеркально отражается спереди. Если до этого внутреннее колесо (по отношению к повороту) поворачивается на меньший угол, то теперь оно будет поворачиваться на больший угол. Внутреннее колесо будет тормозить автомобиль, так как будет поворачиваться на больший угол.

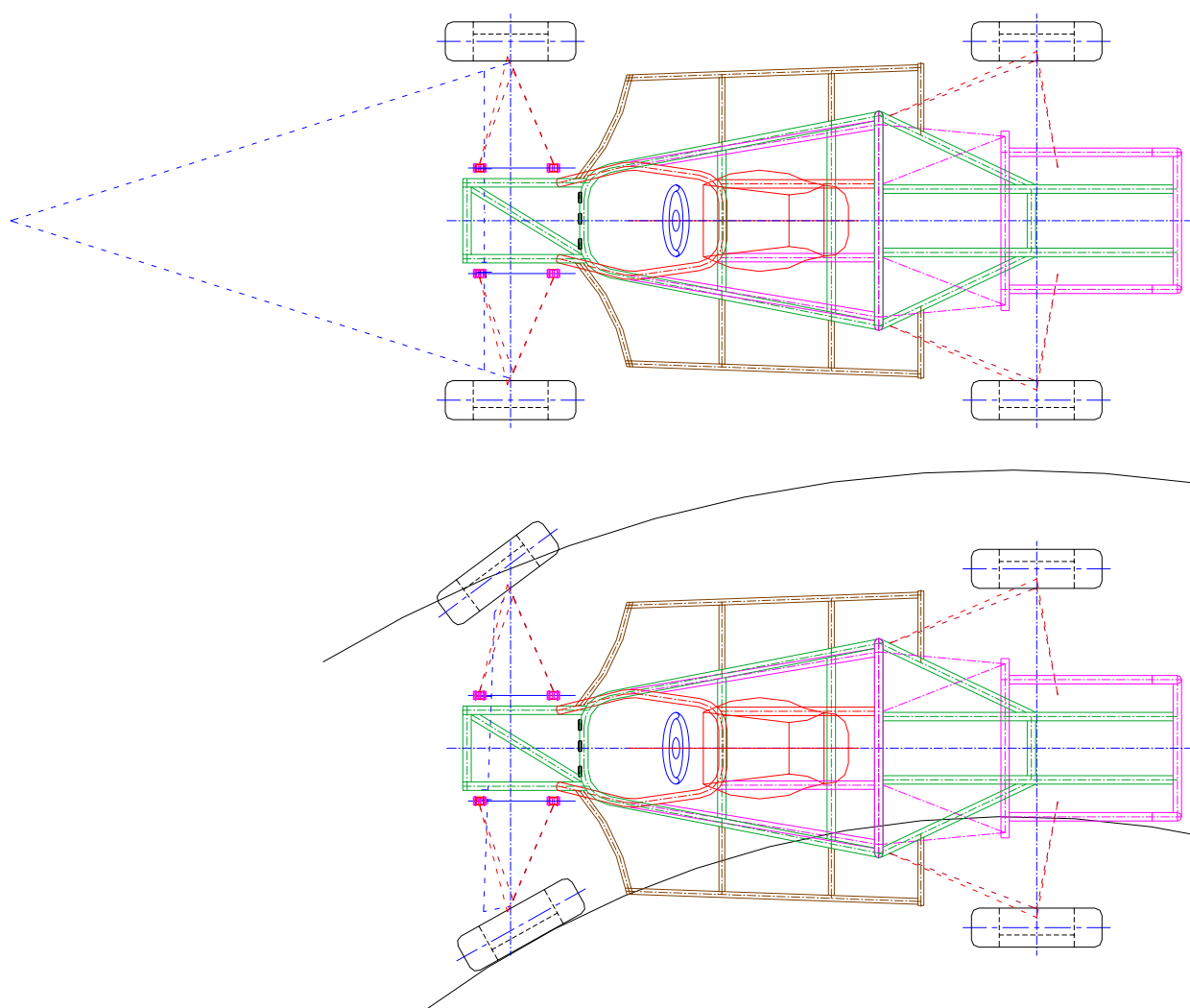


Рисунок 15. Отрицательные углы Акерманна.

Чтобы этого не произошло, можно сделать следующее – на следующем рисунке показаны оба варианта размещения рулевой рейки при соблюдении углов Акерманна – на верхнем рисунке оси сошек продляются вперёд сама рейка размещается спереди. В этом случае компоновочно не получается сделать длинные сошки, так как точки крепления рулевой тяги и сошки приближаются к тормозному диску или диску колеса. Единственный выход из этой ситуации – укорачивание длины сошки и изменение передаточного отношения рейки. Всё остальное – как при обычном рулевом управлении.

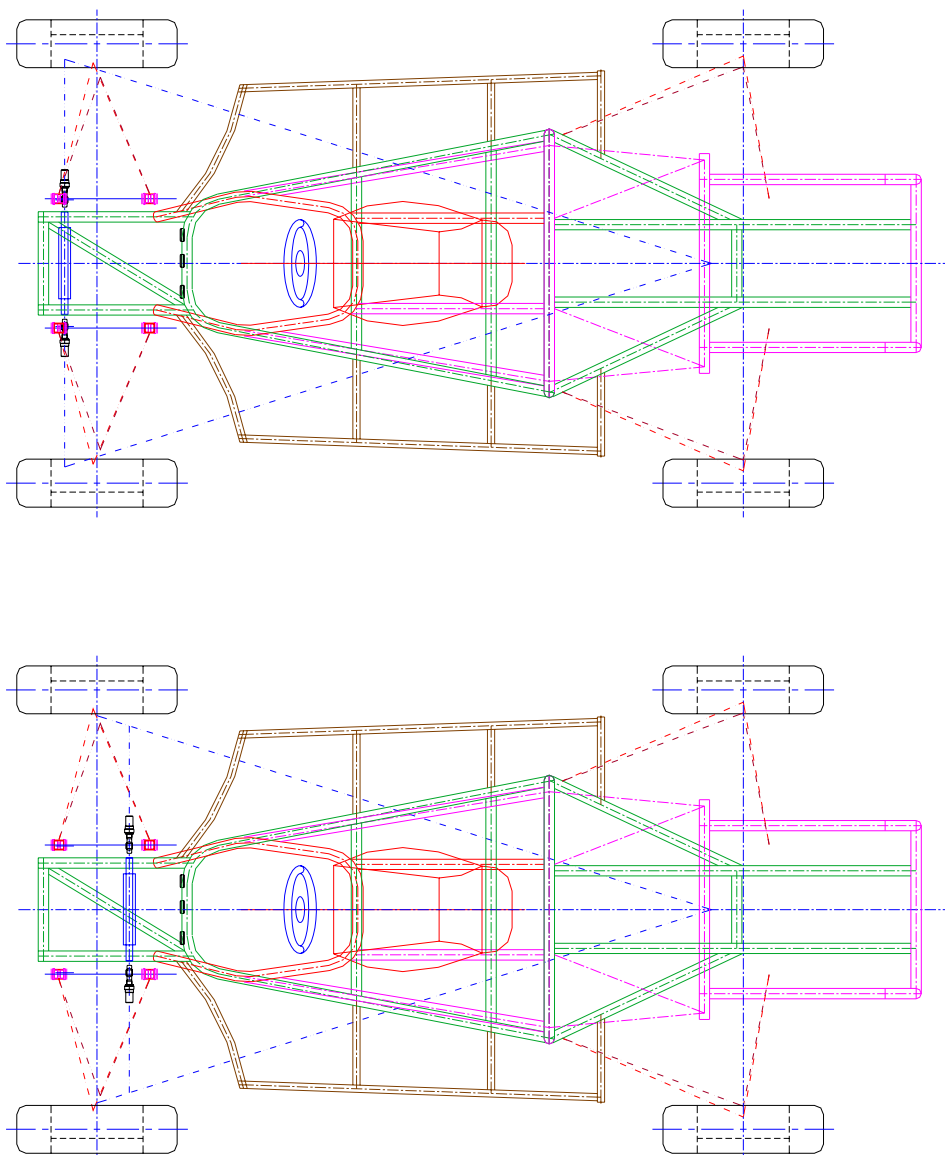


Рисунок 16. Компонвка рулевого управления.

Центр крена

Для того, чтобы понять, что происходит с автомобилем в повороте при боковых ускорениях необходимо понять, что такое центр крена.

Геометрически его достаточно просто определить – необходимо продлить оси рычагов до их пересечения. Эта точка называется мгновенный центр. Из этой точки проводим линию до пересечения с центральной точкой колеса в пятне контакта, центр крена – некая точка, которая лежит на оси автомобиля и нижней линии.

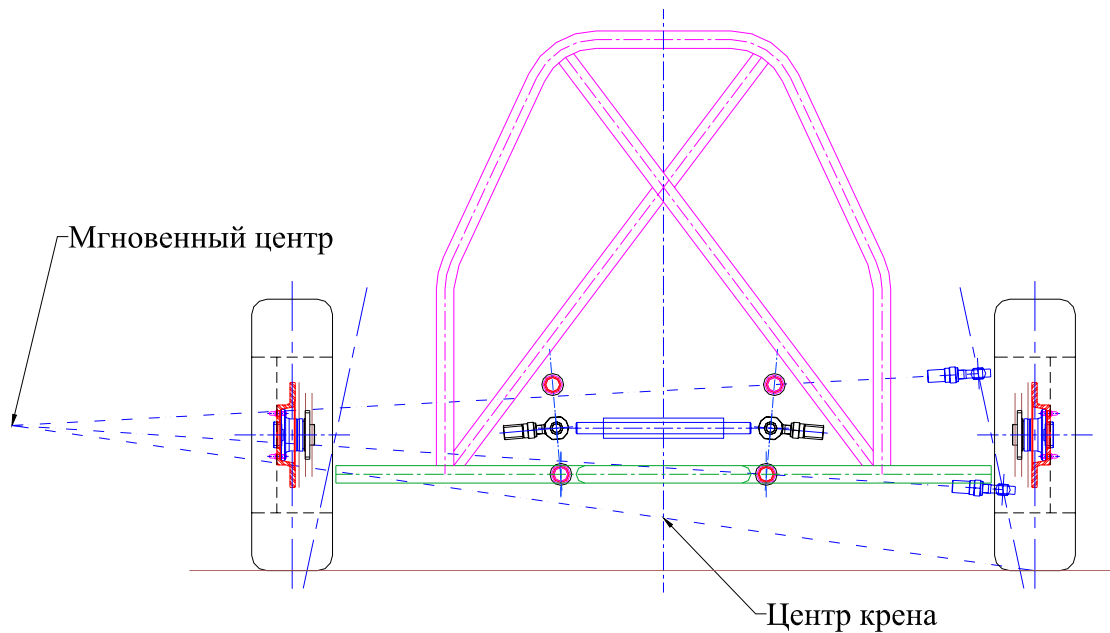


Рисунок 17. Нахождение центра крена.

Направление и величина крена зависят от положения центра тяжести автомобиля относительно центра крена и жёсткости амортизаторов. Автомобиль стремится повернуться относительно оси крена, которая проходит через передний и задний центры крена. Если центр тяжести расположен выше центра крена, то направление крена будет из поворота и наоборот.

Необходимо также рассмотреть следующие случаи:

- верхние и нижние рычаги подвески параллельны друг другу, то центр крена находится очень низко и мы наблюдаем большой крен автомобиля в повороте;
- верхние и нижние рычаги подвески пересекаются таким образом, что центр крена находится недалеко от центра тяжести – в этом случае момент, который заставляет наклониться автомобиль в повороте мал.

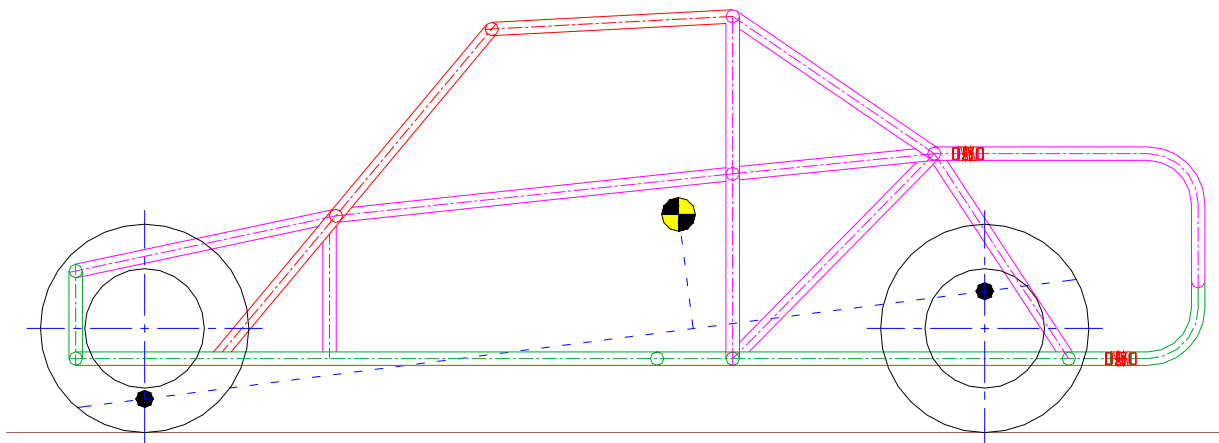


Рисунок 18. Нахождение оси крена.

Также необходимо на виде сбоку указать ось поворота и из центра тяжести автомобиля провести перпендикуляр до этой оси. Длина этого перпендикуляра – плечо на котором действует боковая сила.

В зависимости от того, как относительно центра тяжести проходит ось крена автомобиль может крениться внутрь поворота, или наружу. При этом одна сторона автомобиля поднимается, а другая опускается. В случае, если центр тяжести лежит ниже центра крена, отрицательный развал внешнего колеса увеличивается, а отрицательный развал внутреннего уменьшается. Вследствие этого увеличивается сцепление с дорогой. Для задней оси желательно иметь более высокий центр крена – для предотвращения раннего сноса.

Настройки шасси требуют очень большого терпения и времени. Необходимо учитывать изменения всех параметров и смотреть как эти изменения влияют на управляемость. Найти золотую середину очень трудно – потому, что в зависимости от трассы некоторые параметры нужно изменять как в одну сторону, так и в другую. Если попытаться располагать рычаги при разных расположениях рычагов, то можно увидеть, как меняется положение центров кренов и при каком положении шасси автомобиля может крениться сильнее при неизменном положении центра тяжести.

Высокий центр крена – малый крен в повороте:

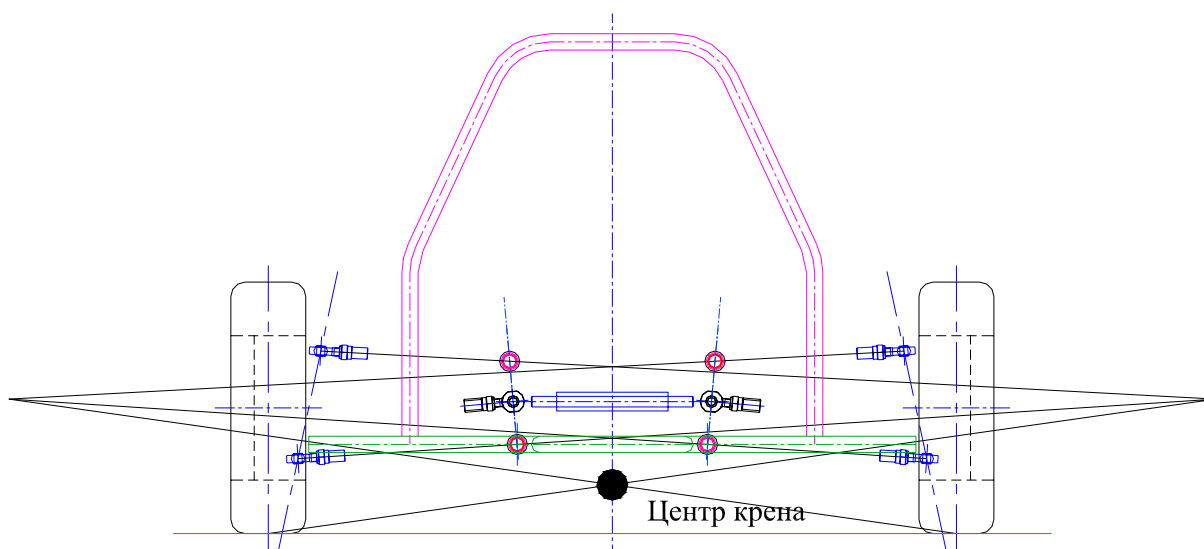


Рисунок 19 а. Нахождение центра крена.

Низкий центр крена при неизменном положении центра тяжести – большой крен в повороте:

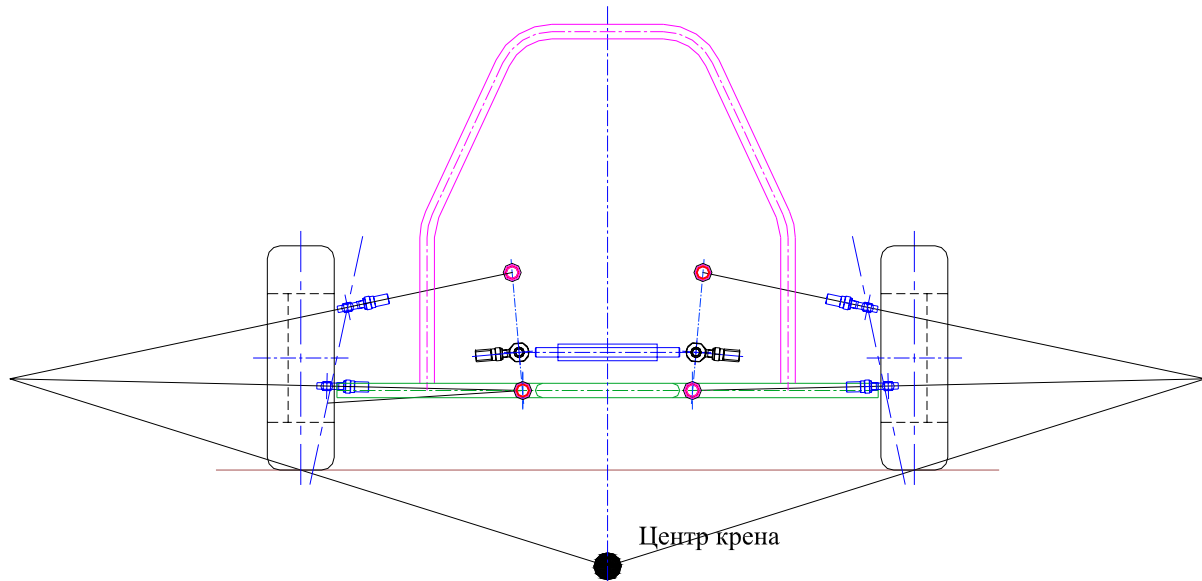


Рисунок 19 б. Нахождение центра крена.

Если взглянуть на подвеску передних колёс автомобиля Волга, то можно увидеть, что рычаги параллельны. Центр крена в этом случае определяется таким образом:

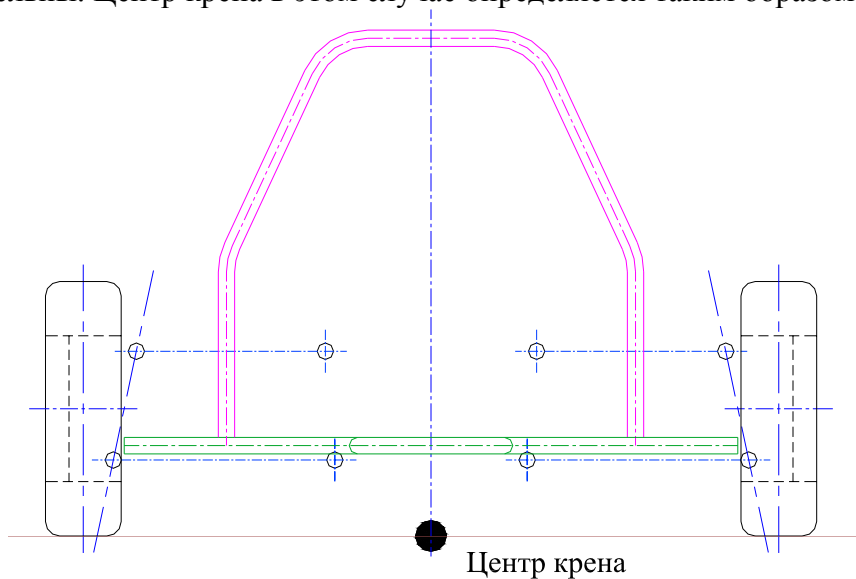


Рисунок 19 в. Нахождение центра крена.

За время существования автомобиля были опробованы различные технические решения подвесок. Геометрические параметры определяются на некоторых других типах подвесок аналогичным образом.

Определение геометрических параметров со стойкой Макферсон:

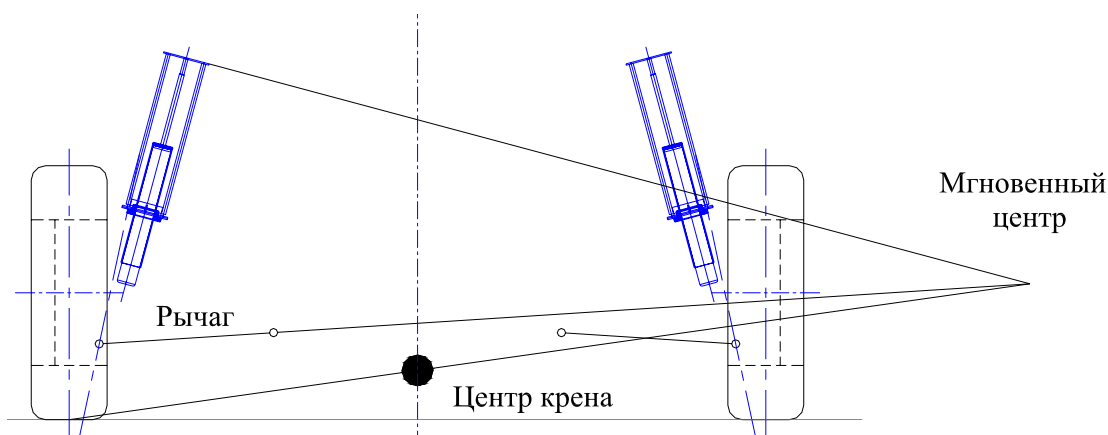


Рисунок 19 г. Нахождение центра крена.

В 20-е годы прошлого века Ханс Ледвинка применил следующее компоновочное решение задней подвески на автомобилях Tatra – полуось имеет карданный шарнир возле коробки передач, колесо вращается в вертикальной плоскости относительно этого шарнира. Центр крена определяется следующим образом – из центра колеса в пятне контакта проводим виртуальную линию, проходящую через шарнир, до тех пор, пока она не пересечёт ось симметрии автомобиля. Линии пересекутся в центра крена. Следует отметить, что эта подвеска называется swing arm – полуось от смещений удерживает продольный рычаг. Передняя опора продольного рычага крепится на поперечном торсионе. Ось качания образует линия, соединяющая ось качания рычага и карданный шарнир.

Эта подвеска получила достаточное распространение на автомобилях VW Beetle, все приписывают её создание Фердинанду Поршу, но он на самом деле её скопировал с автомобилями Tatra, где она была разработана на десятилетие раньше.

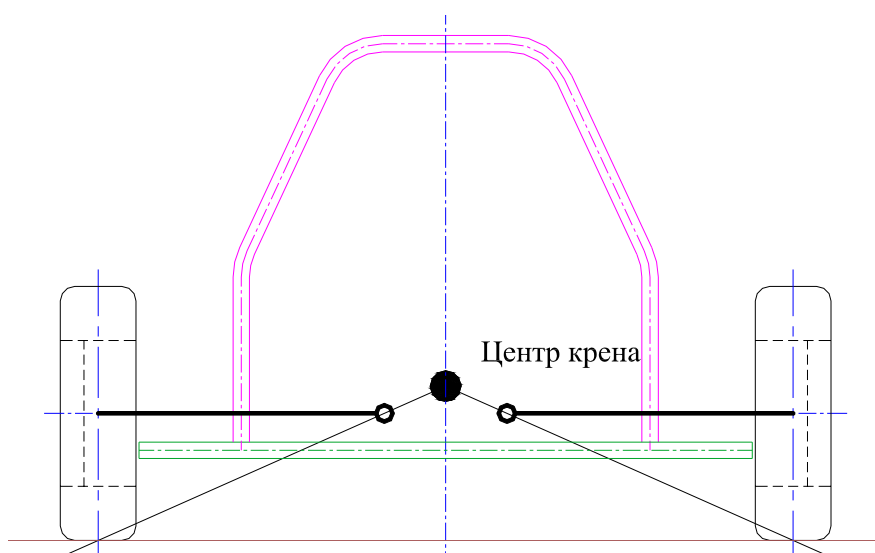


Рисунок 19 д. Нахождение центра крена.

Несмотря на некоторое ухудшение углов установки колёс в повороте, данные подвески получили большое распространение в европейском кроссе. Некоторым ухудшением кинематики жертвуют из-за стремления снизить крены автомобиля в повороте.



Рисунок 20. Задняя подвеска кроссового автомобиля.

Эти подвески применяются не только в карт-кроссе, но в других классах. В последнее время такие подвески применяются даже на полноразмерных багги 3 дивизиона. Видимо произошло очередное переосмысление того, как работает подвеска и такие компоновочные схемы находят большее распространение.

Если посмотреть на заднюю подвеску автомобиля Citroen 2CV, то можно увидеть, что у него подвеска примерно такая же, но с небольшими отличиями. Благодаря этим отличиям немного изменилось нахождение центра крена и поведение автомобиля в повороте будет совершенно другим.

2.1. Подвеска транспортного средства. Основные положения, термины и определения

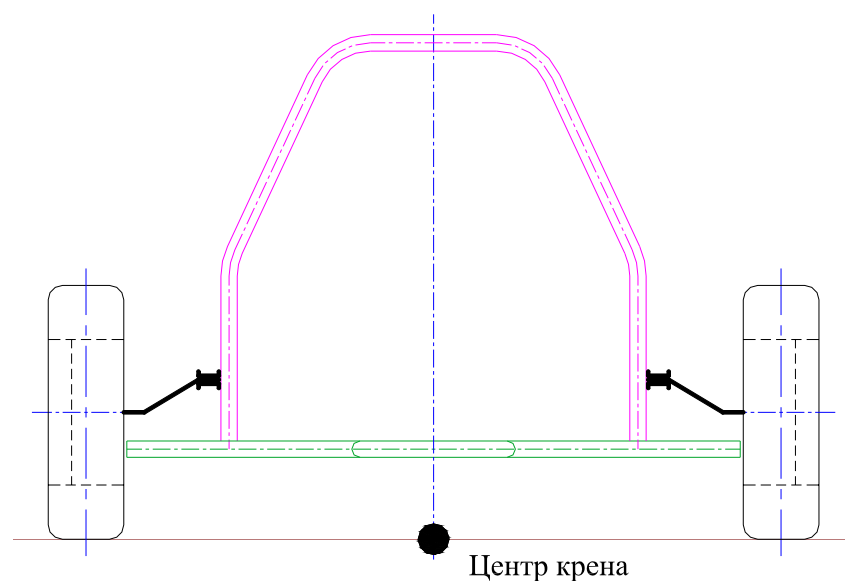


Рисунок 21 а. Нахождение центра крена.

При использовании торсионной подвески с двумя поперечными торсионами нахождение геометрических параметров осуществляется следующим образом:

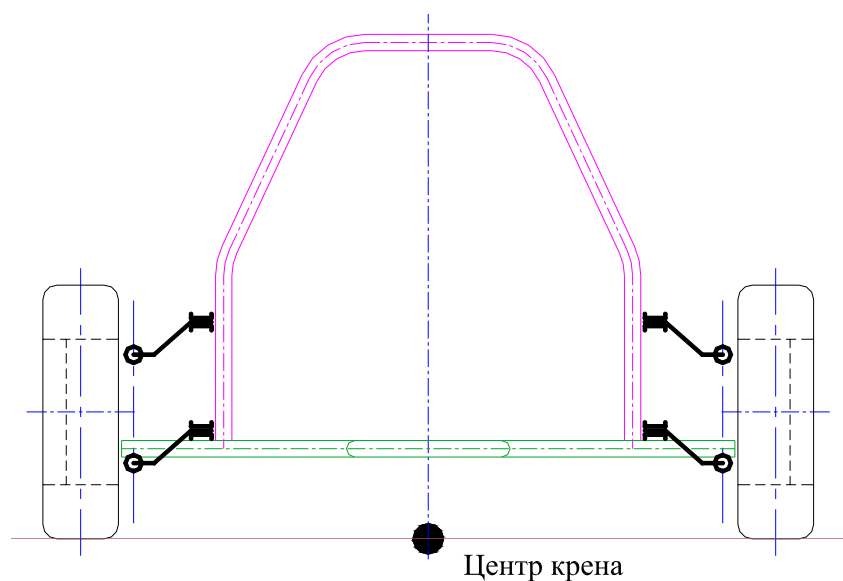


Рисунок 21 б. Нахождение центра крена.

Данные подвески очень популярны в США ввиду того, что доноров ещё хватит не одному поколению баггистроителей, причём не только простых, но и тюнинговых комплектов торсионов и продольных рычагов.

Оглавление

1. Классификация багги
 - 1.1. Определение багги как транспортного средства
 - 1.2. Багги в США
 - 1.2.1. Спортивные багги, грузовики, прераннеры – классификация, примерные бюджеты
 - 1.2.2. Песчаные багги Sandrail
 - 1.2.3. Пляжные багги Dune buggy
 - 1.2.4. Канадские багги
 - 1.2.5. Багги – краулеры
 - 1.3. Багги в России
 - 1.3.1. Спортивные багги
 - 1.3.2. Обзор халявных чертежей
 - 1.3.3. Архив
 - 1.4. Багги в Европе
 - 1.4.1. Обзор машин
 - 1.5. Багги в Латинской Америке
 - 1.6. Багги в Австралии
 - 1.7. Военные багги
 - 1.8. Прототипы Хаммера
2. Подвеска транспортного средства
 - 2.1. Основные положения, термины и определения**
 - 2.2. Определение основных параметров подвески на поперечных А-образных рычагах
 - 2.3. Определение основных параметров подвески на диагональных рычагах
 - 2.4. Определение основных параметров подвески с неразрезной балкой
 - 2.5. Определение основных параметров подвески для триального автомобиля.
 - 2.6. Изготовление поворотных кулаков по американской технологии
 - 2.7. Процесс изготовления подвески для багги на примерах
 - 2.8. Отличие настроек подвески под конкретные трассы
 - 2.9. Негативный эффект при понижении стандартной подвески
 - 2.10. Определение основных параметров подвески на стойке макферсон
 - 2.11. Расчёт витых пружин
3. Повышение мощности поршневого двигателя внутреннего сгорания
 - 3.1. Что такое мощность
 - 3.2. Что такое крутящий момент
 - 3.3. Способы повышения эффективной мощности двигателя
 - 3.4. Отличие европейской и американской школ двигателестроения
 - 3.5. Системы изменения фаз газораспределения. Отличие немецкой и японской школ.
 - 3.6. Роторно-поршневые двигатели внутреннего сгорания
 - 3.7. Система выпуска отработавших газов двухтактного и четырёхтактного двигателей. Расчёт основных параметров
 - 3.8. Десмодромный привод МГР
4. Трансмиссия транспортного средства
 - 4.1. Расчёт передаточных чисел трансмиссии