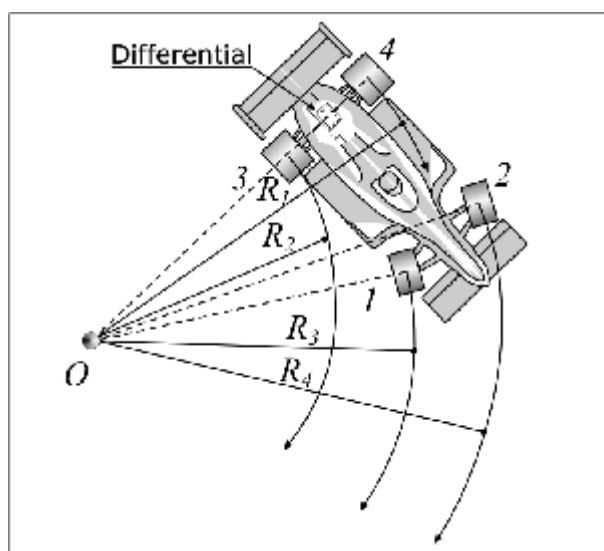


Движение карта в повороте без подвески и дифференциала

«Карт – это микроавтомобиль» - такое определение относительно карта очень часто можно встретить в различного рода литературе, посвященной картингу. Однако можно с уверенностью утверждать, что это определение не соответствует действительности!

Да, действительно, карт, как и автомобиль, имеет четыре колеса и двигатель, рулевое колесо и сидение для водителя. Однако есть принципиальные отличительные особенности карта от автомобиля – это неразрезная задняя ось (без дифференциала) и отсутствие упругой подвески колес. Но так ли значительны эти отличия?

Рассмотрим простейшее шасси автомобиля, как четырехколесную тележку. Она со-



стоит из четырех подрессоренных колес, два из которых (передние) управляемые, а два задние – неуправляемые, ведущие и расположены на одной оси.

Крутящий момента от двигателя передается на ведущие колеса. На ведущей оси автомобиля есть дифференциал. Этот механизм позволяет ведущим колесам вращаться с разными угловыми скоростями (см. рис. 1).

Понятие «подрессоренные колеса» означает, то что при движении автомобиля в нормальных условиях при наличии не ровностей на дороге его все четыре колеса постоянно находятся в контакте с дорогой.

Рис.1. Схема движения автомобиля в повороте.

Наиболее сложным движением такой четырехколесной тележки будет в повороте. Упругая подвеска обеспечивает постоянный (в допустимых пределах) контакт всех колес автомобиля с поверхностью дороги. Каждое колесо катится без проскальзывания и без бокового скольжения по своей траектории (дуге вокруг точки поворота O) с соответствующими радиусами R_1, R_2, R_3, R_4 . Внутренние к повороту колеса 1 и 3 описывают разные и меньшие дуги, а наружные 2 и 4 – соответственно тоже разные, но большие. При этом все колеса проходят разное расстояние, а значит, вращаются с разными угловыми скоростями.

Это обстоятельство особенно важно для ведущих колес, так как они соединены приводными валами. Вращаться с разными угловыми скоростями позволяет им наличие в силовом приводе колес такого устройства, как дифференциал.

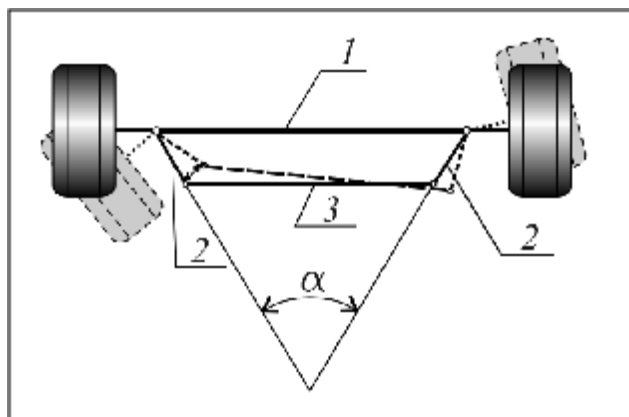


Рис 2. Трапеция в рулевом приводе

Для того чтобы описать разные по радиусу дуги, передние колеса должны быть повернуты на разные углы – внутреннее на больший угол, внешнее - на меньший. Это обеспечивается применением в рулевом приводе такого конструктивного элемента, как *рулевая трапеция* (рис.2). Ось передних колес (1), рычаги поворотных кулаков (2), и поперечная тяга (3) образуют трапецию. Рычаги поворотных кулаков расположены между собой под углом α . Этот угол называют

углом Аккермана.

При повороте управляемых колес рычаги поворотных кулаков описывают разные по длине дуги. Поэтому управляемые колеса поворачиваются на разные углы. Внутреннее колесо поворачивается на больший угол, чем наружное. Этот угол тем больше, чем больше угол α между рычагами.

При конструировании автомобиля угол Аккермана рассчитывается с учетом колеи передних колес, базы автомобиля (расстояния между передней и задней осями) и других параметров так, чтобы при повороте автомобиля управляемые колеса поворачивались на требуемые углы и автомобиль поворачивал без скольжения колес.

Постоянный контакт между каждым колесом автомобиля и дорогой позволяет ему проходить поворот без проскальзывания колес и отсутствия сил, препятствующих такому повороту.

Другое дело карт. Кинематика движения его передних колес ничем не отличается от движения передних колес автомобиля. Поэтому они будут поворачивать так же, как и в автомобиле. Однако задняя приводная ось карта цельная (неразрезная) без дифференциала. Поэтому при повороте карта его задние колеса будут стремиться сохранять равные угловые скорости и проходить равные пути. Поэтому карт будет стремиться сохранить прямолинейное движение.

Рассмотрим, какие силы при этом будут действовать на карт. Для упрощения рассуждений примем, что вес пилота и карта распределяется равномерно на все четыре колеса. Тогда при повороте карта на передние колеса будут действовать силы трения, которые заставляют карт поворачивать в сторону поворота колес. Максимально возможная сила трения зависит от силы веса, приходящегося на одно колесо. При этом колеса могут свободно катиться каждое по своей траектории.

Сложнее обстоит дело с задней осью. На каждое колесо карты действуют вертикально силы веса P (рис. 3). Эти силы веса вызывают опорные реакции колес A и B .

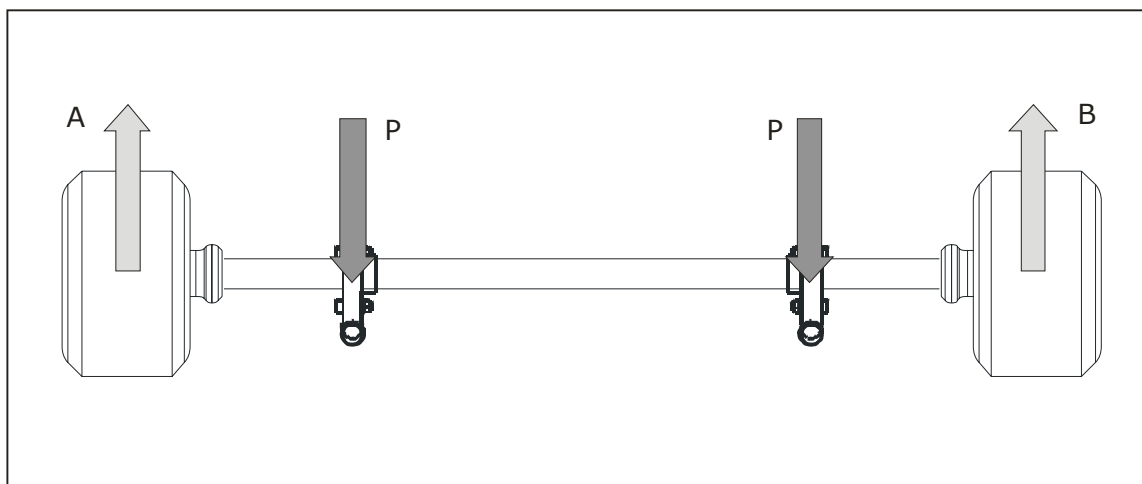


Рис. 3. Силы, действующие на заднюю ось карта

В пятне контакта каждого колеса возникают силы трения F_t . Они зависят от величины опорных реакций колес и коэффициента трения между колесами и опорной поверхностью. Эти силы трения позволяют карте создавать силу тяги для движения карты вперед и тормозить.

Если карт свободно катится и поворачивает по дуге с радиусом R_0 , то его оба задних колеса карты должны вращаться с одинаковой угловой скоростью, соответствующей радиусу поворота этой точки (рис. 4).

Однако, радиус поворота наружного колеса R_1 больше чем радиус R_0 . Поэтому наружному колесу необходимо пройти большее расстояние, чем то, на которое оно прокрутится. Радиус поворота внутреннего колеса R_2 меньше, чем радиус R_0 . Этому

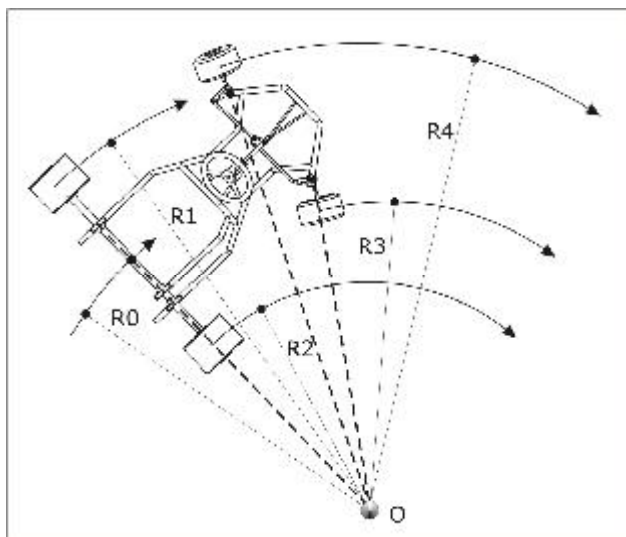


Рис. 4. Схема поворота карта

колесу необходимо пройти меньшее расстояние.

Это значит, что если внутреннее колесо пройдет путь меньший, чем расстояние, на которое оно прокрутится, то значит колесо пробуксует. А если наружное колесо пройдет больший путь, чем длина окружности, соответствующей его прокручиванию, то значит его придется протянуть какое-то расстояние «юзом». Если колесо тянут «юзом», то оно тормозит. Сила торможения $F_{ум}$ будет равна силе веса, с которой колесо прижимается к поверхности

трека умноженной на коэффициент трения. Соответственно, если колесо буксует, то возникает сила $F_{ут}$, идентичная силе тяги, также равная силе веса, приходящейся на колесо умноженной также на силу трения. Все это происходит в шасси карта по причине отсутствия дифференциала.

В науке такое явления называется циркуляция мощности. Действительно для того, чтобы протянуть колесо «юзом» необходимо выполнить какую-то работу. При буксовании колеса также выполняется дополнительная работа. Если эти работы выполняются в одно и то же время и тратятся сами на себя, то мощность (работа в единицу времени) используется сама на себя – циркулирует. А так как при этом происходит трение, как торможения так и буксования, то эта мощность тратиться впустую – «летит на ветер».

Главное что эти обе силы и буксования и торможения равны. Каждая из этих сил является реакцией одна на другую. Они «вызывают» друг друга. Вместе они создают пару сил ($F_{ум}$ и $F_{ут}$), которая стремится повернуть весь карт в сторону, обратную повороту руля (рис. 5). При этом, чем меньше радиус поворота, тем больше будет момент этих сил и тем труднее будет повернуть карт.

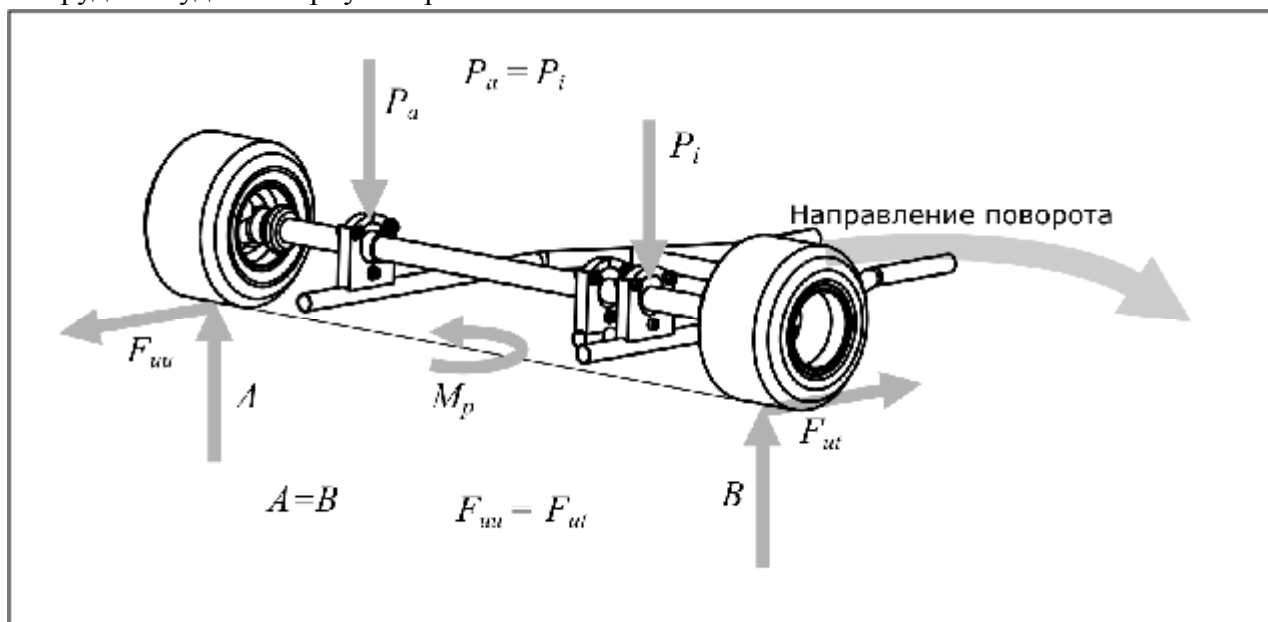


Рис. 5. Силы в задней оси, противодействующие повороту карта

**На практике явление противодействия карта повороту можно наблюдать, когда толкают свободно катящийся карт с вывернутыми колесами. Так как на его заднюю ось приходится немного больше веса, то его оба задних колеса находятся в контакте с опорной поверхностью и вращаются с одинаковой угловой скоростью. Передние его колеса вынуждены при этом скользить. Поэтому карт движется прямо, а не по траектории повернутых колес.*

Однако карт в повороте все-таки поворачивает. Как и почему это происходит?

Посмотрим, что будет, если силы, прижимающие колеса задней оси карта перераспределять, т. е. одну силу веса уменьшать, а вторую увеличивать на ту же величину.

Это может быть возможным, если на раму карта будет действовать момент силы M_z , который будет действовать так, что внутреннее колесо карта будет разгружаться (рис. 6). Этот момент возникает от действия центробежной силы в повороте и его параметры будут более подробно рассмотрены далее при исследовании сил, действующих на карт в повороте.

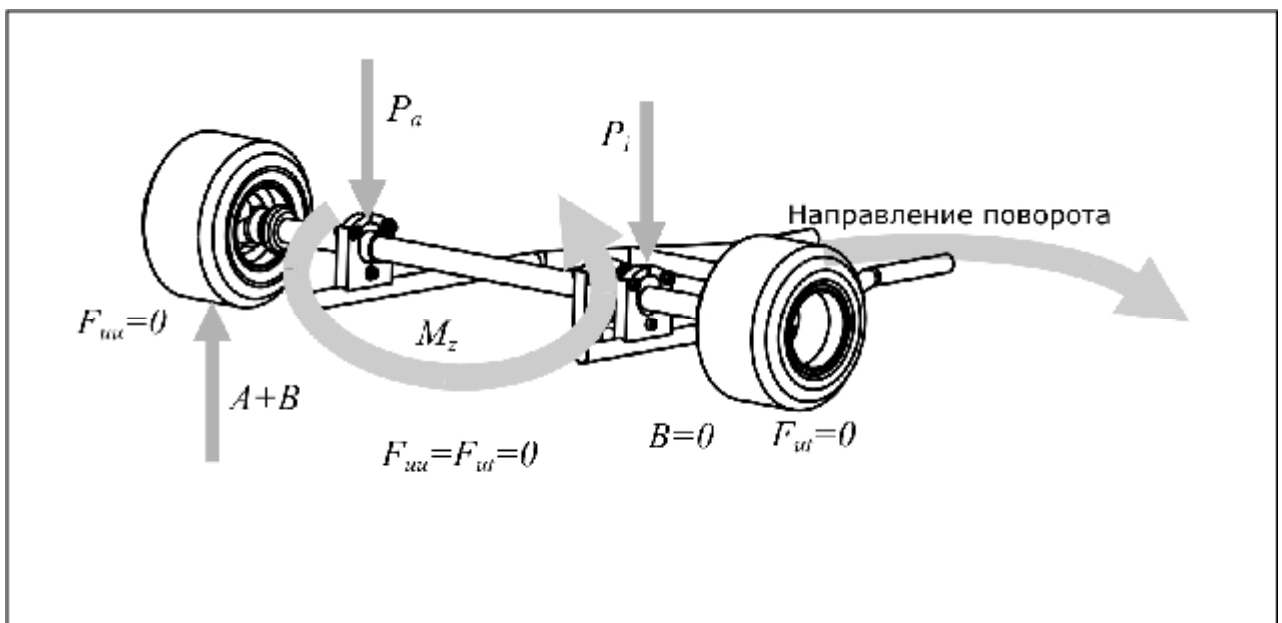


Рис. 6. Разгрузка заднего внутреннего колеса карта при повороте

Как только сила веса, приходящаяся на одно из колес задней оси (в данном случае – наружное) станет больше, увеличится значение силы трения в пятне контакта этого колеса. Под воздействием этой силы колесо начнет катиться, а второе колесо увеличит скорость буксования. Однако сила тяги, которая будет возникать при буксовании уменьшится, так как уменьшится сила трения из-за снижения силы прижатия этого колеса к треку. А так как сила торможения будет всегда равна силе тяги от буксования, то момент этой пары сил уменьшится. Уменьшится и «сопротивление» карта повороту. Если мы полностью перенесем всю часть веса карта с пилотом с внутреннего колеса на наружное (рис. 6), то внутреннее колесо станет свободно вращаться, а наружное – свободно катиться.

Сила веса, приходящаяся на внутреннее колесо станет равна нулю. Сила трения исчезнет (станет равна нулю). Это означает, что и сила F_{ui} , вызванная буксованием внутреннего колеса, станет равна нулю. А так как сила торможения вызывается силой, с которой колесо буксует, то и сила торможения F_{ui} также станет равна нулю. Циркуляция мощности исчезнет.

На рисунке 7 показана такая ситуация, полученная на модели карта при условии,

что его рама является абсолютно жесткой. В повороте внутреннее колесо вывесилось и карт поворачивает на трех колесах.

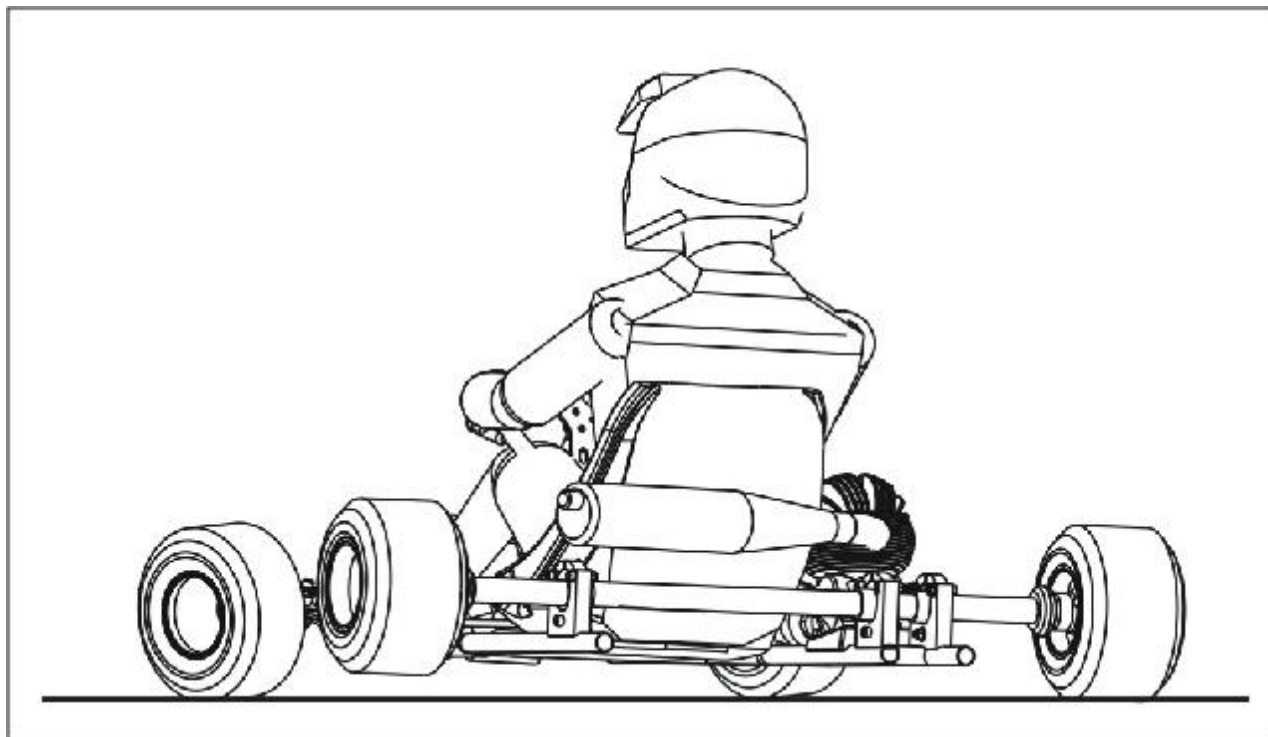


Рис. 7. Вывешивание заднего внутреннего колеса кarta в повороте

В реальной жизни также можно наблюдать полное вывешивание внутреннего заднего колеса кarta в повороте. На фото отчетливо видно, что в повороте колесо кarta вывесилось.



Полное вывешивание заднего внутреннего колеса кarta в повороте

Вот почему поворачивает карт! Оказывается, при повороте у кarta заднее внутреннее колесо разгружается, приподнимаясь или даже отрываясь от опорной поверхности трека. Карт поворачивает на трех колесах – двух передних и одном заднем (наружном от поворота). Никаких сил, препятствующих повороту, в шасси кarta не возникает.

Как это происходит? Что заставляет карт в повороте поднять внутреннее заднее колесо? Какие еще есть принципиальные отличия карта от автомобиля? Что нужно делать с картом, чтобы он поворачивал наилучшим образом как на малых так и на больших скоростях? Что и как влияет на управляемость карта?

На эти и еще многие другие вопросы мы постараемся получить ответы при рассмотрении теоретических аспектов управляемости карта.