

Проблема, вызванная гонками

Управление автомобилем настолько быстро насколько это возможно (в гонке) заключается только лишь в поддержании наивысшего среднего ускорения в определенном направлении.

Питер Г. Райт. Технический директор. Команда Lotus.

Главная техническая цель в гонках это создание конфигурации автомобиля, допустимой правилами, которая может преодолевать данную трассу за минимальное время (или с максимальной средней скоростью) управляемую напрямую пилотом, в соответствии с его возможностями. Подходящие границы производительности должны быть доступны для того чтобы справляться с трафиком, внешними факторами, такими как ветер, погодные условия, усталость водителя и непредвиденными обстоятельствами.

Максимально упрощённо гоночный трек может рассматриваться как набор сегментов, каждый из которых состоит из поворота, прямой и поворота. На рис. 1.1 показан график скорости по дистанции для восьми таких сегментов. Например, в точке А автомобиль достигает апекса поворота и начинает ускоряться к прямой. В точке В начинается сильное торможение, и скорость падает перед поворотом С. Кривизна графика в поворотах связана с торможением и ускорением. Падение ускорения на больших скоростях, на прямых, связано с увеличением аэродинамического сопротивления и использования высших передач трансмиссии.

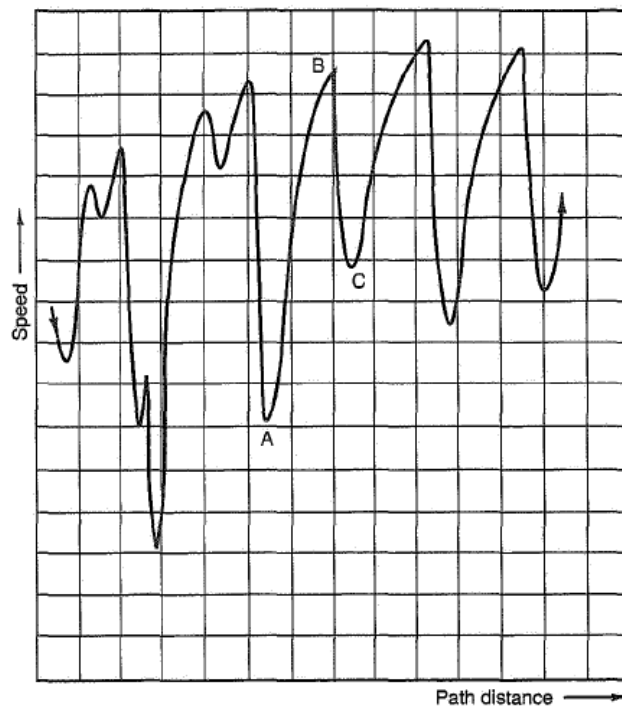


Figure 1.1 Circuit simulation results.

Важный принцип кольцевых гонок, который показан на Рис. 1.1 состоит в том, что скорость должны быть постоянной только по причине сохранения изношенных компонентов, трафика, безопасности или достижения максимальной скорости автомобиля. Вы должны увеличивать скорость с максимальным ускорением на выходе из каждого поворота и до точки, когда с максимальным замедлением нужно затормозить, чтобы войти в следующий поворот на

максимально возможной скорости. В идеале торможение должно продолжаться до апекса и сменяться там, через небольшой промежуток времени ускорением.

В инженерии скорость это векторная¹ величина поскольку она обладает и величиной (скорость) и направлением. Она может быть представлена как стрелка, чья длина, с некоторым масштабом, соответствует скорости, а направление стрелки указывает на направление движения. Используя вектор скорости, производительность гоночного автомобиля на каждом сегменте может быть показана графически (рис 1.2.) Направление вектора направлено касательно² пути движения центра тяжести автомобиля, а длина каждого вектора пропорциональна скорости этой точки. Рис. 1.2 показывает, что вариации вектора скорости это результат изменения и модуля и направления.

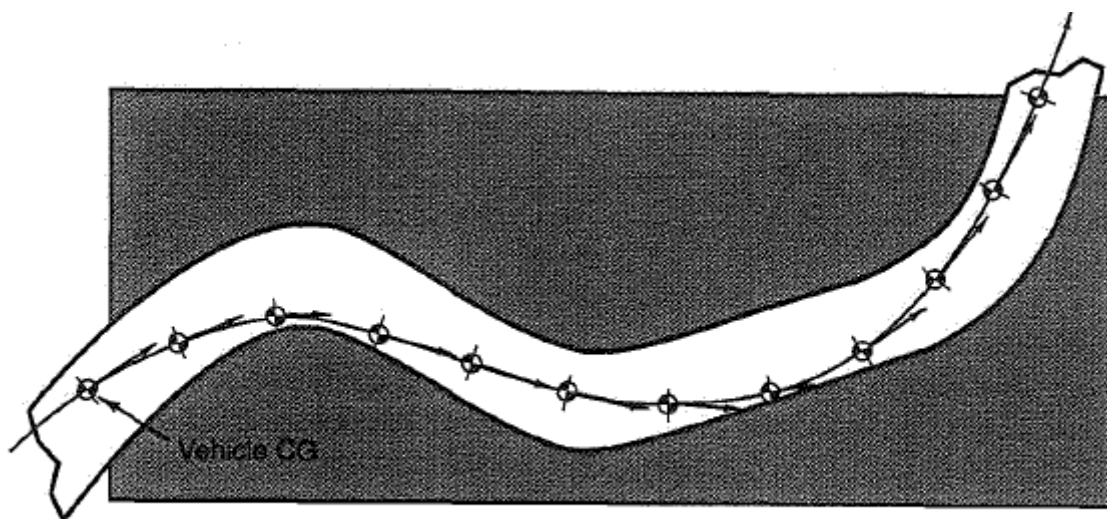


Figure 1.2 Vector velocity representation of race car performance.

По некоторым причинам, которые теперь стали очевидны, требования к гоночному автомобилю лучшим способом могут быть выражены через ускорение. Этого можно было ожидать, поскольку, как мы отметили, в гонках вектор скорости постоянно меняется, а ускорение это, по определению, изменение вектора скорости со временем.

Для непрофессионала, ускорение это мера изменения скорости со временем на прямой, например ускорение со светофора, это изменение длины вектора скорости. Непрофессионал также думает, что ускорение будет отрицательным при торможении, то есть замедлением. Настоящий пилот знает, что есть дополнительный вид ускорения, называющийся ускорением в повороте. Это ускорение связано с изменением направления вектора скорости со временем. Для пояснения компонентов ускорения рассмотрим следующий пример:

Рис. 1.3(а) это график вектора скорости. Вектор скорости V_1 показан в повороте к точке А, а вектор V_2 к точке В, небольшое расстояние между этими точками – S. В этом случае показано, что изменяется и скорость движения автомобиля, и его направление. Время движения от точки А к В – t.

¹ В этой книге векторные величины это скорость, ускорение и сила.

² Не следует путать это направление с направлением оси автомобиля. Направление оси автомобиля это угол между осью автомобиля и его траекторией, измеренной в центре тяжести автомобиля.

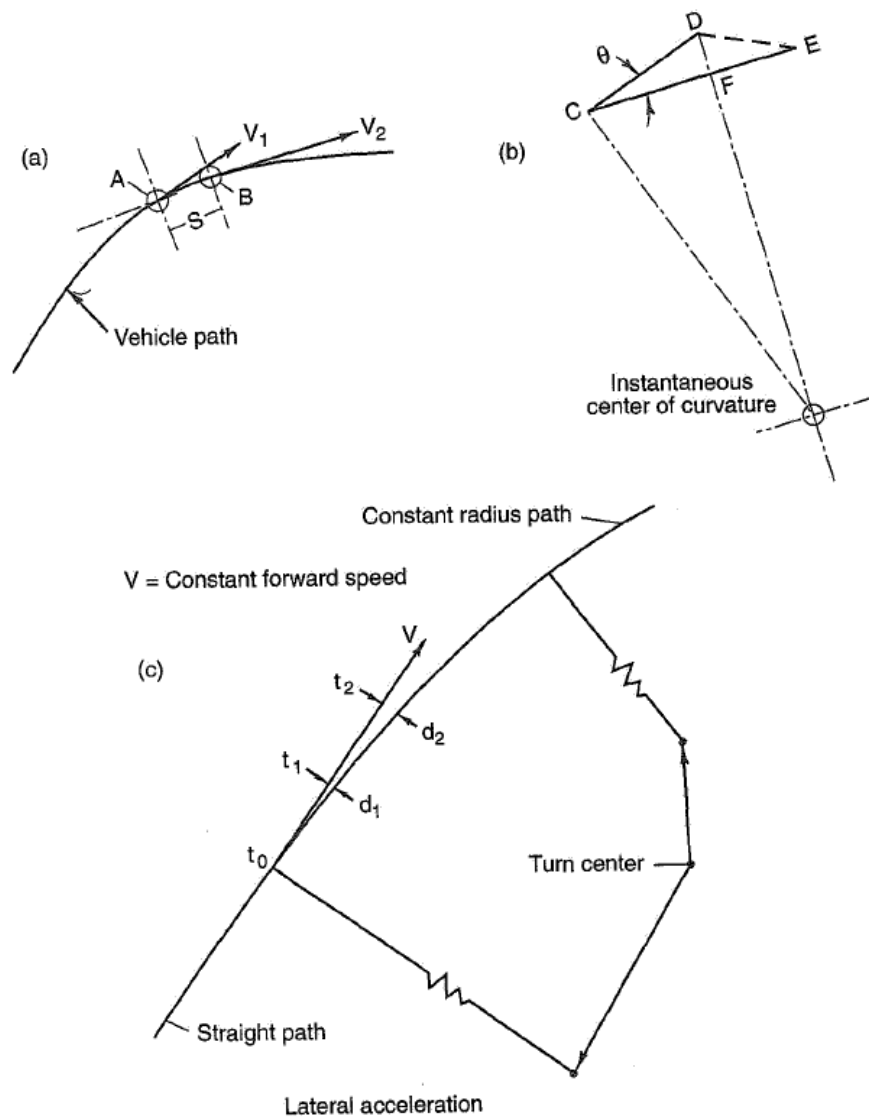


Figure 1.3 Acceleration components.

Рисунок 1.3(b) – диаграмма расстояния. Если бы автомобиль, начинающий движение из точки C, продолжал это движение на скорости, показанной вектором V_1 (без ускорения) он бы достиг за время t точки D, но на самом деле попадет в точку E (CD будет параллельна V_1 и CE будет параллельна V_2). Таким образом, за время t скорость автомобиля должна измениться в направлении вовнутрь (к центру кривизны) на DF/t . Это повернет вектор V_1 на градус θ . В течение того же времени должно произойти изменение скорости в направлении FE, величиной FE/t . Это называется нормальным (или центростремительным) и касательным компонентами ускорения. По отношению к водителю это будут поперечные и продольные ускорения, выражаемые в изменении длины и вращении вектора скорости от V_1 до V_2 за время t . Общий вектор ускорения (ускорение, как и скорость, имеет величину и направление) это DE/t , который лежит вдоль прерывистой линии на рисунке. **Нужно выделить, что для удержания искривленного пути по трассе автомобиль должен двигаться и продольно и поперечно, и поперечное ускорение это единственный путь для того чтобы этого достичь.**

Концепция поперечного ускорения более сложна для понимания, чем ускорение по прямой, хотя она и явно очевидна для пилота. Как следствие продольного ускорения, человека в машине вжимает назад в сиденье при увеличении скорости и толкает вперед при торможении; при изменении поперечной скорости человека будет толкать к центру поворота. Поскольку понимание поперечного ускорения так важно в гонках рассмотрим процесс, когда автомобиль будет следовать по криволинейному пути с постоянным радиусом.

На рис. 1.3 (с) (следующая диаграмма расстояния) автомобиль начинает поворот в точке t_0 (начало отсчета). В этой точке автомобиль имеет скорость V , показанную вектором, начинающимся в точке t_0 . Допустим, что поворот проходится на постоянной скорости. Через короткий промежуток времени, скажем, 1 секунду, после начала поворота автомобиль достигнет точки t_1 , а через 2 секунды точки t_2 . Вопрос таков: насколько автомобиль должен сместиться поперечно, чтобы оставаться на искривленной траектории. В точке t_1 автомобиль должен сдвинуться поперечно на расстояние d_1 . Это потребует наличия поперечной скорости $d_1/1$ сек. В точке t_2 автомобиль должен сдвинуться поперечно на расстояние d_2 , которое визуальным образом примерно в три раза больше чем поперечное смещение в точке t_1 . Поперечная скорость для того чтобы сдвинуться в точке d_2 будет $d_2/2$ сек. Это больше чем поперечное смещение в точке t_1 на величину $\frac{d_2/2 \text{ сек.}}{d_1/1 \text{ сек.}} = \frac{d_2}{d_1} \times \frac{1}{2} = 1.5$.

Таким образом, поперечная скорость увеличивается со временем. Увеличение скорости со временем это и есть ускорение, в данном случае поперечное ускорение.

Физически, то, что описано выше получается, потому что искривленная траектория постоянно и нелинейно отклоняется от направления мгновенного вектора скорости.

Поперечное ускорение можно определить по отношению V^2/R где V – скорость вдоль траектории в м/с и R – мгновенный радиус траектории в м. Ускорение тогда измеряется в м/с². Продольное ускорение будет $\Delta V/\Delta t$, где ΔV изменение скорости за маленький промежуток времени Δt ; ΔV в м/с и Δt в сек. Общепринято выражать ускорение в единицах измерения g , ускорениях свободного падения. За каждую секунду свободного падения тело дополнительно ускоряется на 9.8м/с (при отсутствии сопротивления воздуха). Поэтому ускорение свободного падения будет 9,8м/с², это называется ускорение в 1g. Поперечное ускорение тогда будет V^2/gR а продольное $\Delta V/g\Delta t$, здесь оба ускорения в единицах измерения g . Для примера ускорение в 2g означает, что скорость изменяется с темпом 18.6 м/с за каждую секунду.

Примерное отношение для поперечного ускорения будет:

$$a(g) = \frac{V(\text{км/ч})}{130 R(\text{м})}$$

Если V будет 130 км/ч и R будет 150 метров, поперечное ускорение будет $130^2/(130*150) = 0,85g$

Вернемся к кольцевой производительности³ гоночного автомобиля. Рис 1.2 может быть перерисован с использованием векторов ускорений, как показано на рис 1.4. Результирующие ускорения получены путем сложения векторов методом параллелограмма, изображенном на

³ На русский язык сложно перевести термин *gase performance*, это что-то вроде «эффективность в гонках», здесь и далее буду это называть производительность автомобиля

рисунке снизу. Отметим отрицательные (торможение/замедление) и положительные (ускорение) направления результирующих векторов.

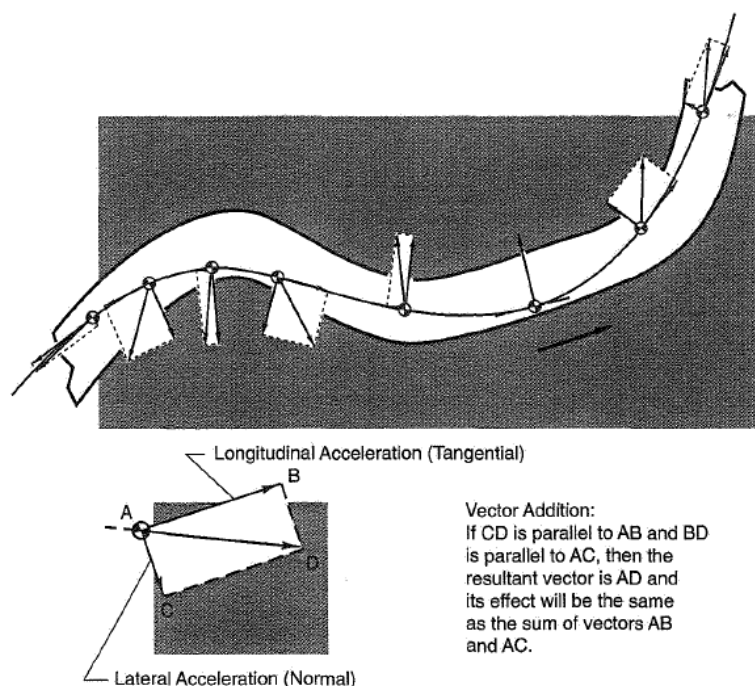


Figure 1.4 Vector acceleration representation of race car performance.

Поворот и изменение длины результирующего вектора ускорений при движении автомобиля по трассе привело к концепции “g-g” диаграммы. Записывая данные продольного и поперечного акселерометров (устройства для измерения ускорения) установленных на машине можно построить график производительности пилота/автомобиля. Рис 1.5(a, b и c) показывают реальные данные полученные при помощи таких измерений у трех пилотов мирового класса на одном и том же автомобиле Гран-При 1977 года на трассе Поль Рикар. Эти данные показывают уровень ускорения и комбинации продольного и поперечного ускорений, которые использует каждый пилот при преодолении тех же частей трассы на гоночных скоростях. Изучение этих фигур показывает, что эти пилоты большую часть времени ускорялись и использовали некоторые различные техники пилотирования, такие как прохождение поворотов или комбинированное прохождение поворотов с продольным ускорением. Тем не менее, пилоты были очень ограничены в маневрах гоночной производительностью автомобиля. Все данные для этих трех пилотов были вынесены на рис 1.5(d).. Поскольку мы знаем, что эти пилоты были способны достигнуть пределов автомобиля точки на графике можно обвести границей (показана сплошной линией) как возможной областью для маневров этого автомобиля с идеальным пилотом.

Таким образом, проблема вызванная гонками может быть подытожена как нахождение автомобиля настолько долго насколько это возможно на границе возможностей на “g-g” диаграмме⁴. Из этого следует, что основные требования в разработке гоночного автомобиля (и качественно те же для любого околоспортивного автомобиля):

⁴ Потенциал автомобиля на “g-g” диаграмме будет постоянно меняться. Продольное ускорение будет зависеть от характеристик двигателя, трансмиссии и на низких скоростях от сцепления. Части границы отвечающие за торможение и повороты будут зависеть главным образом от коэффициента сцепления шин,

- Предоставление наибольших границ “g-g” для маневров
- Предоставление характеристик управляемости и стабильности, которые позволят опытному пилоту вести машину на пределе этих характеристик ускорения.

Исторически, каждое значительное улучшение в конструкции автомобиля выражалось в расширении границ на “g-g” диаграмме и их использовании за счет улучшенной управляемости или техники пилотирования. Очень яркий пример этого это аэродинамическая прижимная сила.

Последующие разделы этой книги посвящены основам технологий которые влияют на эти параметры (требования) гоночного автомобиля.