

Глава 11. Торможение

Недавно я помогал команде Марка Торнтон на Гран при Silver State в Неваде. Марк построил прекрасную машину с теоретической максимальной скоростью 320 км/ч для 92 мильной гонки от Ланд до Хико. Марк никогда раньше не управлял на таких скоростях и спросил меня как физика смогу ли я предположить, как будет выглядеть торможение на скорости 320 км/ч. В этой главе я приведу расчеты на обратной стороне конверта для торможения, которые я сделал в полевых условиях.

Есть несколько способов рассмотрения этой проблемы. Суть работы тормозов это преобразование кинетической энергии движения в тепло. Преобразование энергии из «полезных» видов энергии (движение, электричество, химическая энергия и т.п.) в тепло в целом называется диссипация, этот термин подразумевает то, что нет простого способа преобразовать эту энергию обратно. Если мы предположим что тормоза могут преобразовывать энергию с постоянной скоростью то можно заключить, что торможение с 320 км/ч займет в 4 раза больше времени, чем торможение со 160 км/ч, поскольку кинетическая энергия возрастает как квадрат скорости и движение с удвоенной скоростью означает возрастание кинетической энергии в $4 = 2^2$ раза. Полная формула для кинетической энергии $\frac{1}{2}mv^2$. Где m это масса тела а v его скорость. Это было полезно для Марка поскольку торможение на скорости 160 км/ч было ему знакомо по гонкам.

Это достаточно просто, но правильно ли? Рассеивают ли тормоза энергию с постоянной скоростью. Моё предположение как физика - «вероятно нет». Эффективность торможения будет зависеть от характера трения между колодками и дисками. Это взаимодействие изменяется в зависимости от температуры. Большинство колодок имеют такой состав, чтобы тормозить лучше с увеличением температуры, но только до определенной точки. Тормоза плавут, когда колодки и диски перегреваются. Если вы будете продолжать тормозить система нагреется ещё больше, тормозная жидкость начнет закипать и тормоза пропадут вообще. Функция тормозной жидкости это транспортировка посредством гидравлики давления ноги на педали в давление колодок на тормозной диск. Если тормозная жидкость закипит, то давление ноги на педаль будет уходить большей частью в сжатие пузырьков газа в тормозной жидкости, а не в давление колодок на диски. Соответственно тормозить машина не будет.

Сейчас мы достигли второго взгляда на проблему торможения. Давайте предположим, что тормоза хорошие настолько, что торможение у нас ограничено не взаимодействием колодок и дисков, а взаимодействием резины и дороги. Другими словами давайте, допустим, что тормоза у нас лучше резины. Для того чтобы рассуждать достаточно просто и оставаться в пределах обратной стороны конверта предположим, что шины могут дать постоянное замедление:

$$1G = a = 9.8 \text{ м/сек}^2$$

Время t необходимое для остановки со скорости v можно рассчитать по формуле $t = v/a$ которая следует из определения ускорения. Имея время торможения, мы можем сосчитать расстояние x опять исходя из определений ускорения и скорости.

$$x = vt = \frac{1}{2}at^2$$

Итак, произведем расчеты и сведем их в таблицу.

Табл. Длительность торможения и тормозной путь при торможении до остановки с разных скоростей

Начальная скорость, км/ч	Длительность торможения, сек.	Тормозной путь, м
50	1,4	9,8

100	2,8	39,4
150	4,3	88,6
200	5,7	157,5
250	7,1	246,0
300	8,5	354,3
350	9,9	482,3

Мы видим в таблице (и конечно по формулам) что тормозной путь возрастает в квадратичной зависимости, а время торможения в линейной зависимости от начальной скорости.

Числа в таблице согласуются с теми числами которые публикуются по результатам тестов высокоскоростных автомобилей. Поэтому я предположил, что этот способ рассмотрения проблемы торможения более верный. Другими словами допущение, что тормоза лучше резины, до тех пор, пока тормоза не перегреваются, вероятно, верно, а допущение что тормоза рассеивают энергию с постоянной скоростью вероятно ошибочно, поскольку оно ведет нас к выводу, что торможение будет занимать больше времени, чем на самом деле.

В конце концов, я посоветовал марку оставлять очень много места. Из таблицы видно, что тормозной путь со скорости 350 км/ч составит больше четверти мили даже при замедлении в $1g$!