

Триене и съпротивление при леките коли¹

Л. Херманс

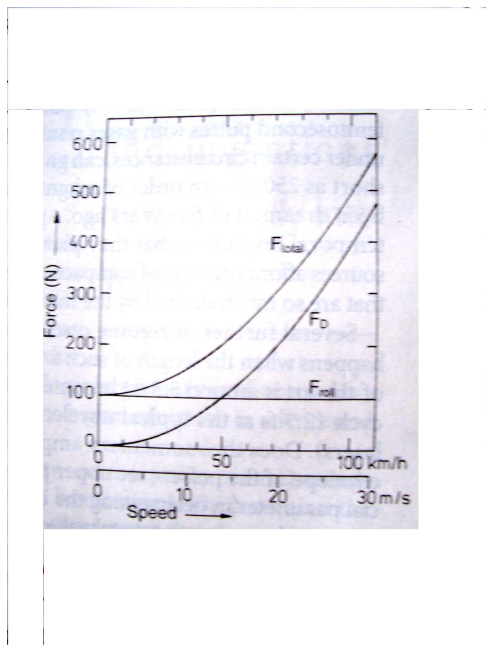
Независимо от това, дали караме велосипед или лека кола, дори върху равен път трябва да преодоляваме съпротивление – това е известно всекиму. Когато обаче нещата опрат до детайлите, се оказва, че не са така прости. И двете съставлящи на общото съпротивление – тази, която се дължи на търкаляне на гумите по пътя и втората, дължаща се на съпротивлението на въздуха, заслужават по-голямо внимание. Нека първо си припомним основната причина за съпротивлението при търкаляне. Ако лагерите на колелата са добре гресирани и в добро състояние, причината не е триенето при търкаляне в тях, а в гумите, които се деформират при допира с пътя. В известен смисъл това може да изглежда изненадващо: деформацията като че ли е еластична, няма остатъчна деформация. Тук обаче има уловка: работата, извършена от механичните сили при свиване на гумата не се компенсира напълно от работата при възстановяване на деформацията и разликата между двете увеличава вътрешната енергия – гумата се загрява (налице е хистерезис, ако така ви харесва повече).

Съответното съпротивление, дължащо се на търкалянето, с добро приближение може да се смята независимо от скоростта (както ще се изясни по-долу). То е пропорционално на теглото mg на колата и можем да го изразим с формулата $F_r = C_r mg$, където C_r е подходящ коефициент. Сега ние, като хора, разбиращи от физика, можем да направим едно обосновано предположение за стойността на C_r . Би ли могла например тази константа да бъде 0,1? Няма начин: това би означавало, че един автомобил (който не е на ръчна спирачка), няма да започне да се движи сам при наклон от 10 %. От опит знаем, че автомобилът тръгва и при най-малък наклон, затова едно предположение, че той се задвижва при наклон 1 % изглежда много по-добро. Наистина! За повечето добре напопани гуми $C_r = 0,01$ представлява стандартна стойност. Между другото: за велосипедните гуми, налягането в които е два пъти по-голямо, C_r може да падне и до 0,005.

Заклучението е, че за една кола с маса 1000 kg съпротивлението при търкаляне е около 100 N.

Какво можем да кажем за съпротивлението на въздуха? Като имаме предвид стойностите на числото на Рейнолдс за случая ($Re \approx 10^6$), трябва да забравим за Стокс. Вместо това трябва да очакваме, че съпротивлението на въздуха F_D ще бъде пропорционално на $\frac{1}{2} \rho v^2$, както изисква законът на Бернули. За една кола с фронтално напречно сечение S можем да напишем $F_D = C_D S (\frac{1}{2} \rho v^2)$. Тук коефициентът C_D е сложна функция на скоростта, но за типичните скорости на автомобилите можем да приемем, че C_D е константа. За повечето коли нейната стойност е между 0,3 и 0,4.

¹ L. J. F. Hermans, Leiden University, The Netherlands, Europhysics News, 35, 4, 2004, p. 130.



На фигурата е показана графика на зависимостта на общото съпротивление от скоростта за средна по големина лека кола ($m = 1000$ kg, $C_r = 0,01$, $C_D = 0,4$ и $S = 2$ m²). Интересно е да се отбележи, че вертикалната скала веднага ни дава консумацията на енергия. Доколкото 1 N = 1 J/m, от графиката виждаме, че при скорост 100 km/h тази кола разходва енергия 500 kJ/km. При 20% КПД на двигателя това съответства приблизително на 7 литра бензин на 100 km. При още по-високи скорости видът на графиката предсказва драматично нарастване на разхода на гориво. За щастие нещата не са толкова зле, тъй като КПД също нараства и отчасти компенсира увеличавения разход на гориво.

Какво може да се каже за мощността на двигателя? Доколкото $P = Fv$, получаваме, че при 100 km/h са необходими около 15 kW. Това е една умерена мощност. Забележете обаче, че при високи скорости, където преобладава съпротивлението на въздуха, мощността нараства като v^3 (тъй като $P = Fv$, а $F \sim v^2$). Затова, ако искаме да караме с 200 km/h, двигателят трябва да развие $2^3 = 8$ пъти по-голяма мощност, т. е. 120 kW. Бих казал, че това вече не е умерена мощност и съм сигурен, че и полицията ще се съгласи с това...