

## Използване на Magic formula за описване характеристиките на автомобилите

Росен Иванов, Руси Русев, Донка Иванова

**Magic formula use for vehicle performance modelling:** *The paper presents an investigation on Magic formula factors' influence on the character and form of the obtained curve. Some graphical results are given. The possibilities for use the Magic formula for experimental data and characteristic modelling are studied.*

**Key words:** Magic Formula, Experimental Data Modelling.

### ВЪВЕДЕНИЕ

При много случаи, в изследователката практика се налага използването на методи и средства за описване на различни зависимости. Теоретичните модели изискват повече време за извеждане на зависимостта и не винаги дават добра точност [1]. От друга страна, чисто емпиричният подход е по-лесен за уточняване параметрите на модела, но изисква множество експерименти за получаване на опитни данни. Често пъти се налага да се комбинират тези два подхода и да се получават полумемпирични модели [1].

При изследване на динамиката на автомобила един от най-важните проблеми е описването на характеристиките на гумите и взаимодействието на гумата с пътя. Известни са различни подходи и са получени различни формули за тази цел [2,3]. Един от най-известните подходи за описване на зависимостта на силите в надлъжна и напречна посока и преплъзването на гумата е полумемпиричният модел, наречен Magic Formula (Магическа формула), предложена от професор Пацейка от университета в Делфт Холандия [3].

Целта на тази работа е да се изследват влиянието на отделните параметри на Magic Formula и възможностите за описване на различни по характер опитни данни с тази формула.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

Моделът наречен Magic Formula е разработен в средата на 80-те години от Техническия университет в Делфт Холандия и компанията Волво. В последствие е претърпяла редица модификации. В основата и е моделирането на връзката между преплъзването и надлъжната сила, действаща на колелото от физична гледна точка.

Общият вид на Magic Formula за определени стойности на нормалното натоварване и страничния наклон е

$$y = D \sin \{ C \arctan [ B x - E ( B x - \arctan B x ) ] \}, \quad (1)$$

където  $y$  е изходящата величина (например надлъжната сила  $F_x$ , напречната сила

$F_y$  или стабилизиращ момент  $M_z$ );

$x$  – входната величина (например преплъзването  $s$  или увеличането  $\tan \delta$ );

$B$  – фактор на коравината на гумата;

$C$  – фактор на формата на кривата;

$D$  – пиковата стойност на кривата;

$E$  – фактора на кривина на кривата.

Тъй както формулата е доста сложна, тригонометрична, не може видимо да се прецени влиянието на отделните фактори. За целта е проведено изследване и числен експеримент. За фиксирани стойности на останалите фактори е изменяя само единият и са построени получените графиките за изменението на относителната надлъжната сила  $F_x$  от преплъзването на гумата  $s$ . Резултатите за влиянието на факторите  $B$ ,  $C$  и  $E$  са показани на фиг.1-3.

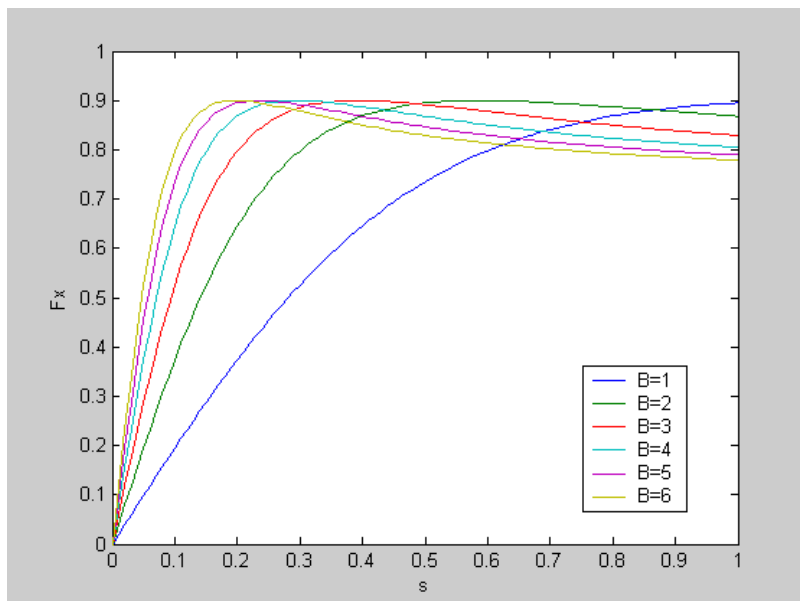
Вижда се (фиг.1), че фактора  $B$  влияе на наличието и положението на максимума на кривата. При по-големите стойности максимумът е по-отчетлив и се получава при по-малки стойности на преплъзването  $s$

Факторът  $C$  определя формата и кривината на зависимостта (фиг.2). С увеличаване на стойността му кривите от монотонни стават с все по-изразен максимум и плавно спадане след това.

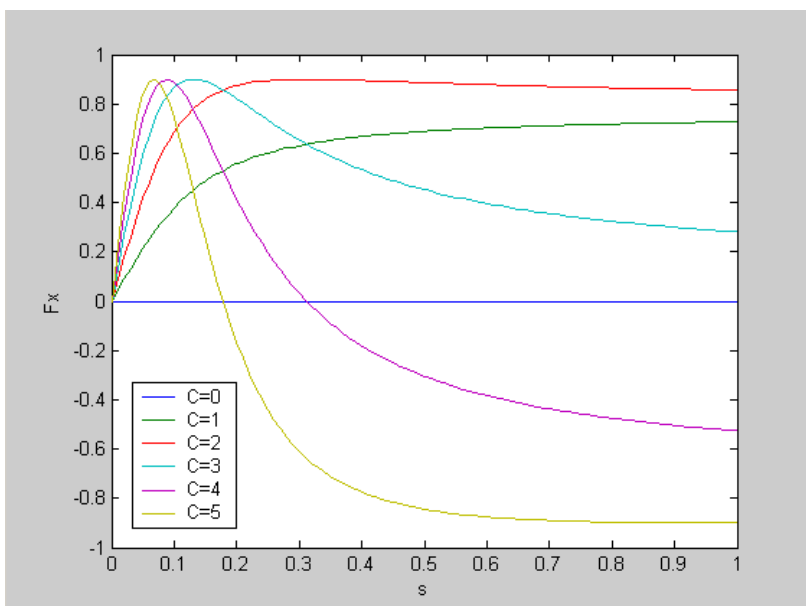
Факторът  $E$  определя положението на максимума и стръмността на кривата (фиг.3). С увеличаването му максимумът се изтегля към по-малките стойности на преплъзването и стръмността нараства.

Факторът  $D$  има по-чсен смисъл – той определя максималната стойност, която се достига (виж формула 1).

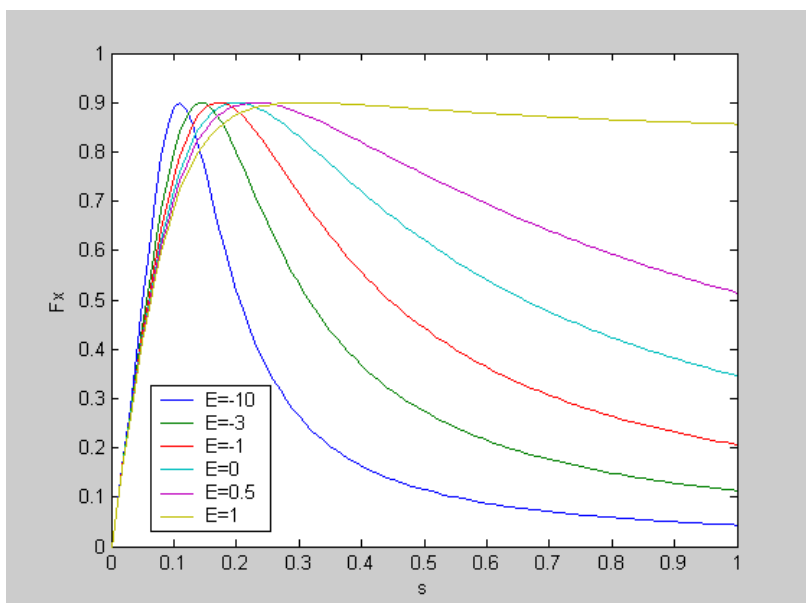
В хода на изследването бе установено, че при някои комбинации от стойности на факторите се получават сложни графики с по няколко екстремума (фиг.4). Следователно тази формула може да се използва за описване и на широк спектър сложни графични зависимости и процеси в техниката, различни от първоначалното и предназначение.



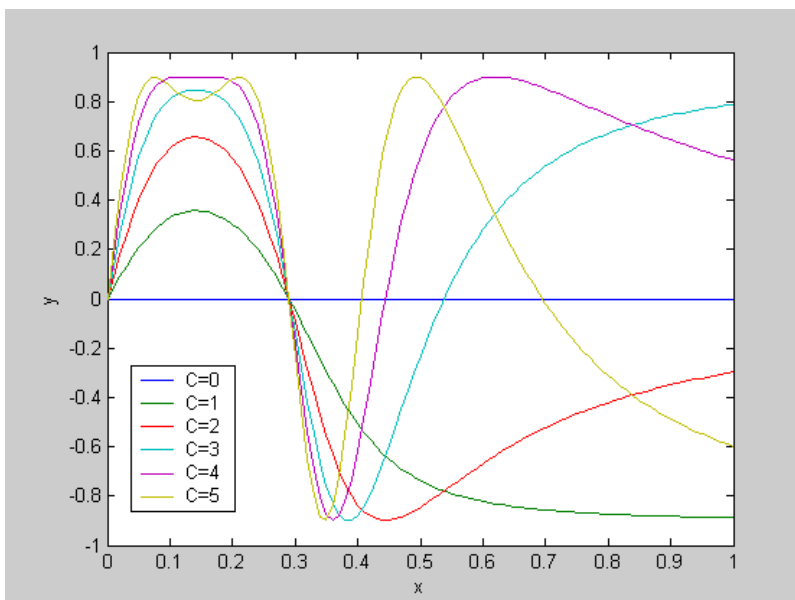
Фиг.1. Влияние на фактора  $B$  при стойности на другите величини съответно  $D=0.9$ ;  $C=2.2$ ;  $E=1$



Фиг.2. Влияние на фактора С при стойности на другите величини съответно  $D=0.9; B=5; E=1$



Фиг.3. Влияние на фактора Е при стойности на другите величини съответно  $D=0.9; B=5; C=2$



Фиг.4. Сложни криви, получени при стойности на другите величини съответно  $D=0.9; B=3; E=5$

Формулата може да се модифицира като се въведат и отрези по осите, при което се получава асиметрична крива, не минаваща през началото на координатната система. В този случай зависимостта изглежда като

$$Y(X) = y(x) + S_Y \tag{2}$$

$$X = x - S_X, \tag{3}$$

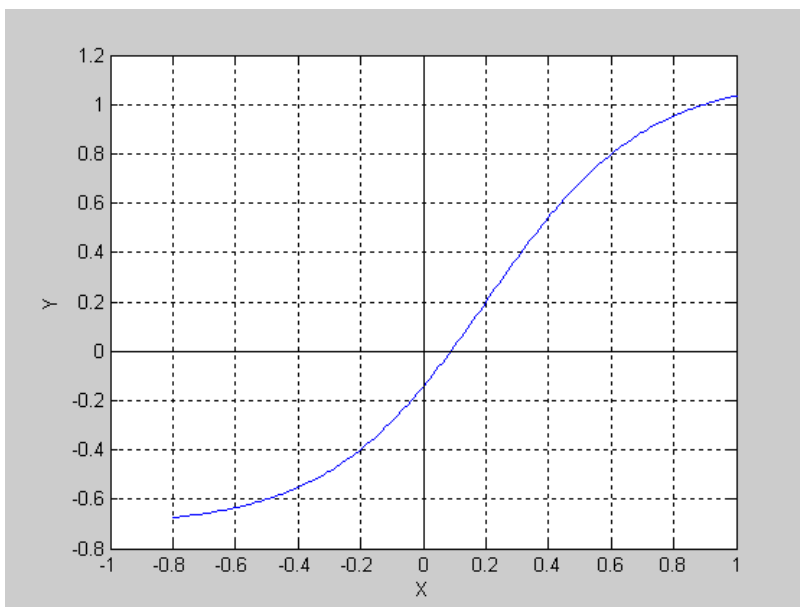
където  $y$  и  $x$  са от зависимост (1).

С модифицираната зависимост, като се вземат отделни участъци може да описват зависимости, които не започват от началото на координатната система (например к.п.д. на трансмисията и др.)

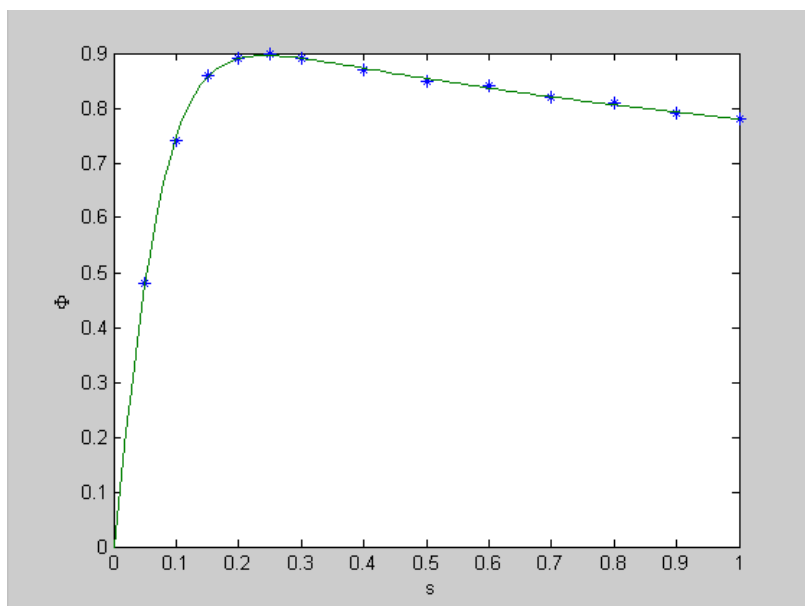
Един пример, илюстриращ възможностите за асиметрия, е показан на фиг. 5.

Проблемът е как да се използват богатите възможности на тази зависимост за описване на опитни данни и зависимости. За намиране на стойностите на параметрите на формулата по експериментални данни може да се използва MATLAB. От оптимизационния пакет, след като са въведени стойностите, за които се търси описание с Magic Formula и е написан видът на формулата, се използва функцията *Isqcurvefit*. Тя връща стойностите на факторите  $B, C, D, E$  на формулата, като регресионни коефициенти, определени по МНК.

Този подход е използван за описанието на опитно получени стойности за зависимостта “коэффициент на сцепление  $\phi$  - преплъзване  $s$ ”. Резултатите от фиг.6 показват, че макар и сложна зависимостта е описана много точно. Определени са стойности на факторите съответно  $B=5,8892; C= 2,0078; D=0,8956; E=0,9342$ . Грешката при описването е 0.4%



Фиг.5. Асиметрична крива с отместване по осите, получена при  $D=0.9; B=1; C=2; E=1;$   
 $S_x=0.2 S_y=0.2$



Фиг.5. Резултат от описването на опитни данни с помощта на Magic Formula:  
 \*\*\* - опитни данни; — - стойности, получени с Magic Formula при определените  
 $B=5,8892; C= 2,0078; D=0,8956; E=0,9342$

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Зависимостта, известна като Magic Formula, има големи възможности за описване на различни като характер зависимости и процеси в техниката, не само за описване на взаимодействието между гумите и пътя.

Демонстрираният подход с помощта на MATLAB, позволява лесно и бързо да се определят стойностите на факторите във формулата по експериментални данни и така лесно да се получава модел, описващ данните.

### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] El-Gindy M., Palkovics, L. Possible application of artificial neural networks to vehicle dynamics and control. Int. J of Vehicle Design, vol.14, nos. 5/6, pp. 592-614, 1993
- [2] Raimpel J. The Automotive Chassis. SAE, Warrendale, 2001..
- [3] Pacejka H. Tire and Vehicle Dynamics. SAE, Warrendale, USA, 2002.

### **Благодарности**

Авторите изказват своята благодарност на ФНИ на Русенския университет за оказаната финансова помощ.

### **За контакти:**

Доц. д-р Росен Иванов, Катедра "Автомобили, трактори и кари", Русенски университет "Ангел Кънчев", Тел.: 082 888 528, E-mail: [rossen@ru.acad.bg](mailto:rossen@ru.acad.bg).

**Докладът е рецензиран.**