

## **РЕГРЕСИОНЕН АНАЛИЗ НА МЕХАНИЧНИТЕ ЗАГУБИ НА ПРАЗЕН ХОД В ТРАКТОРНА ТРАНСМИСИЯ**

Веселин Петров

*Regression analysis of the mechanical idle running losses in tractor transmission: Experimental investigation of the mechanical losses in tractor transmission is implemented. The influence of rotation frequency, of numbers of switched on gear and of engine oil level in the transmission gear on the idle running losses is determined. Regression analysis is made. Adequate regression models for cases of the switched on and of the switched off shafts for power leading off are received.*

**Key words:** regression analysis, tractor transmission, idle running losses

### **ВЪВЕДЕНИЕ**

Връзката между управляемите фактори и величините, с които се описват реакциите (параметри или отклици) на обекта, породени от външните въздействия, се описва и анализира математически с помощта на методите на регресионния анализ [1,2] .

Построяването на регресионните модели включва следните основни етапи:

- избор на общия вид на регресионния модел и определяне на неговата пригодност (адекватност);
- определяне на коефициентите на регресия и тяхната значимост, с което окончателно да се уточнява вида на модела;
- извършване на анализ на остатъците, с което се проверява спазването на предпоставките на регресионния анализ.

В съвкупност тези етапи образуват същността на регресионния анализ – в случая многофакторен регресионен анализ.

Редица научни колективи са работили по въпроса за изследване на загубите в механични трансмисии. Анализът на тези работи показва, че в основата си почти всички изследват загубите в трансмисията като цяло. Не са достатъчно изучени проблемите за влиянието на номера на включената предавка и на честотата на въртене върху загубите, независещи от натоварването (загуби на празен ход). Възниква необходимостта от провеждането на експериментални изследвания. Такива са проведени по отразената в [3,4] методика.

### **ИЗЛОЖЕНИЕ**

Обект на изследване е тракторна трансмисия за колесен земеделски трактор [3]. Тя се състои от два клона, единият от които задвижва колелата, а вторият предава движението към задния и страничен вал за отвеждане на мощност (ВОМ). С помощта на опитна уредба са извършени експериментални изследвания на загубите на празен ход чрез отчитане на съпротивителния момент  $M_c$ . На нея е възможно възпроизвеждане на всички режими на работа без натоварване. Извършен е многофакторен експеримент. Опитите са правени при различни варианти на състоянието на отделните агрегати и на условията на работа, които да разкрият количественото влияние на:

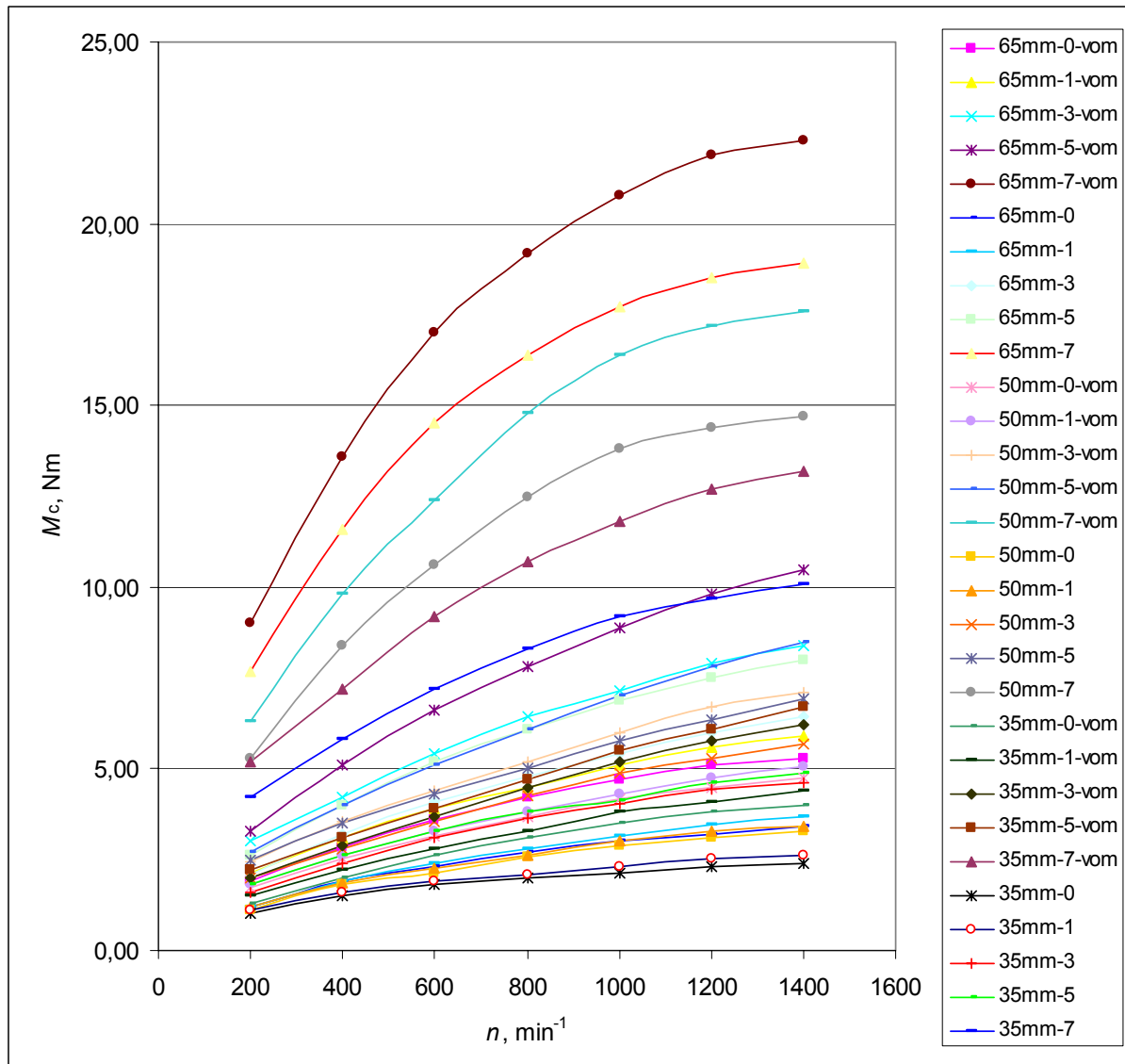
- честотата на въртене на двигателя;
- ниво на маслото в предавателната кутия;
- номера на включената предавка;
- включен и изключен заден и страничен ВОМ.

При изследване на механичните загуби на празен ход в тракторна трансмисия са избрани следните входни независими променливи (управляеми фактори):  $x_1$  – честота на въртене на електродвигателя,  $\text{min}^{-1}$ ;  $x_2$  – ниво на маслото в

предавателната кутия, mm;  $x_3$  – номер на включената предавка. Стойностите на нивата на вариране на входните фактори са: за  $x_1$  – 200, 400, 600, 800, 1000, 1200 и 1400  $\text{min}^{-1}$ , за  $x_2$  – 35, 50, 65 mm и за  $x_3$  – изключена (означена с “0”) предавка и при включени първа, трета, пета и седма предавки.

Механичните загуби се оценяват чрез съпротивителния момент  $M_c$  на трансмисията.

Получени са значителен по обем данни. На фиг. 1 са представени графичните зависимости за загубите на празен ход в изследваната тракторна трансмисия.



Фиг. 1. Експериментални зависимости на съпротивителния момент  $M_c$  в тракторна трансмисия от честотата на въртене на двигателя, нивото на маслото, номера на включената предавка и състоянието по BOM

При този тип многофакторен експеримент полиномиалният модел от втора степен има вида

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2,$$

където  $b_i$  са коефициентите на регресия, а изходния параметър на модела е  $Y = M_c$ .

Резултатите от регресионния експеримент са получени чрез използване на софтуерния продукт за статистическа обработка "STATISTIKA".

В Таблица 1 и Таблица 2 са показани следните величини:  $R^2 = R^2$  е коефициент на определеност,  $R$  – коефициент на корелация,  $B$  – коефициенти на регресия,  $F$  – критерий на Фишер,  $p$  – равнище на значимост за критерия на Фишер,  $t$  – критерий на Стюдънт,  $p$ -level – равнище на значимост за критерия на Стюдънт.

Таблица 1. Коефициенти на регресия, коефициент на определеност и критерий на Фишер за параметъра  $Y$  при изключени BOM

Regression Summary for Dependent Variable: Y (bezVOM.sta)						
R= ,96638354 R <sup>2</sup> = ,93389715 Adjusted R <sup>2</sup> = ,92912684						
F(7,97)=195,77 p<0,0000 Std.Error of estimate: 1,0736						
	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(97)	p-level
N=105						
Intercept			2,87179	0,460302	6,2389	0,000000
x3	-1,68650	0,152558	-2,64268	0,239052	-11,0548	0,000000
x12	0,40167	0,092466	0,00007	0,000016	4,3440	0,000034
x13	0,50338	0,065552	0,00077	0,000100	7,6792	0,000000
x23	0,96531	0,113821	0,02817	0,003321	8,4809	0,000000
x11	-0,26782	0,084377	-0,00000	0,000001	-3,1740	0,002015
x22	-0,20655	0,057062	-0,00067	0,000186	-3,6197	0,000471
x33	1,18830	0,096949	0,25888	0,021122	12,2569	0,000000

Таблица 2. Коефициенти на регресия, коефициент на определеност и критерий на Фишер за параметъра  $Y$  при включени BOM

Regression Summary for Dependent Variable: Y (sVOM.sta)						
R= ,96180987 R <sup>2</sup> = ,92507823 Adjusted R <sup>2</sup> = ,92129430						
F(5,99)=244,48 p<0,0000 Std.Error of estimate: 1,3029						
	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(99)	p-level
N=105						
Intercept			3,30546	0,343620	9,6195	0,000000
x3	-1,73336	0,134879	-3,12790	0,243394	-12,8512	0,000000
x13	0,55308	0,068124	0,00097	0,000120	8,1187	0,000000
x23	0,87784	0,075378	0,02950	0,002533	11,6458	0,000000
x11	0,10976	0,042562	0,00000	0,000000	2,5789	0,011384
x33	1,25126	0,102166	0,31393	0,025633	12,2474	0,000000

Коефициентите на определеност са  $R^2 = 0,933$  при изключени BOM и  $R^2 = 0,925$  при включени BOM, от което следва, че 93 % от изменението на  $Y = M_c$  се дължи на управляемите фактори и 7 % - на неуправляемите, което е незначително. В Таблица 1 и Таблица 2 са показани само значимите коефициенти  $B$ , за които  $p$ -level <  $\alpha$  ( $\alpha = 0,05$  е равнище на значимост). След изключване на членовете с незначими коефициенти уравнението на регресия за  $M_c$  има вида:

- при изключени BOM

$$M_c = 2,8179 - 2,64268x_3 + 0,00007x_1x_2 + 0,00077x_1x_3 + 0,02817x_2x_3 - 0,000002x_1^2 - 0,00067x_2^2 + 0,25888x_3^2,$$

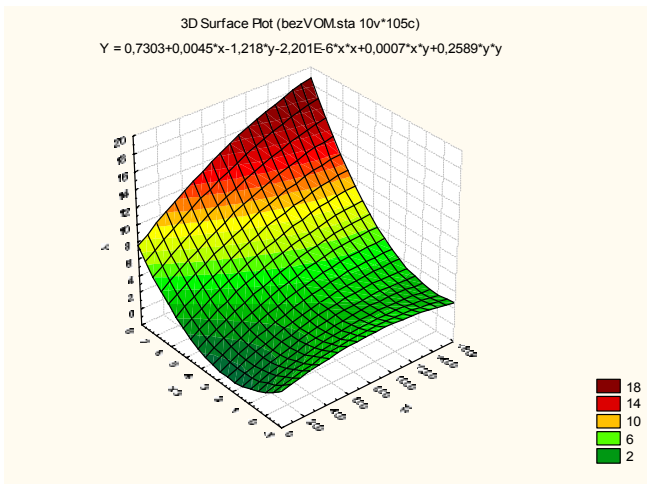
- при включени BOM

$$M_c = 3,30546 - 3,1279x_3 + 0,00097x_1x_3 + 0,0295x_2x_3 + 0,0000008x_1^2 + 0,31393x_3^2.$$

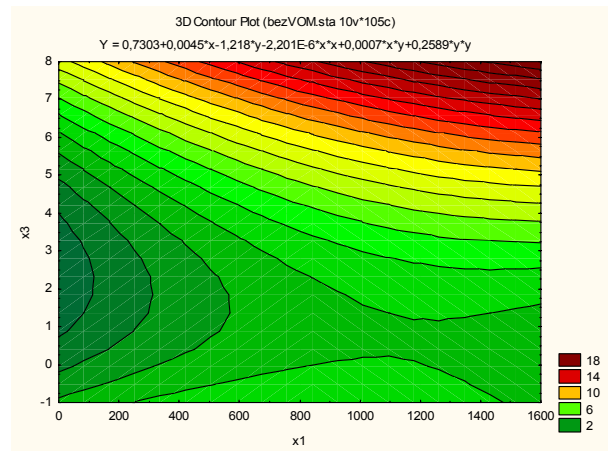
Критериите на Фишер  $F(7,97) = 195,77$  и  $F(5,99) = 244,48$  и съответната им вероятност  $p < 0,0000$  е  $< 0,05$  показват, че моделите са адекватни.

Интерес представлява определяне на влиянието на отделните фактори върху изходния параметър  $M_c$ . Това се извършва чрез последователно изключване на факторите един по един и отразяването на това върху коефициента на определеност  $R^2$ . При изключване на най-силния фактор,  $R^2$  получава най-малка стойност. При сравняване на стойностите се оказва, че най-силно влияние върху  $M_c$  оказва параметъра  $x_3$ , тъй като при неговото изключване  $R^2$  има най-малка стойност ( $R^2 = 0,185036$  при изключени BOM и  $R^2 = 0,234293$  при включени BOM). Най-слабо влияние върху  $M_c$  оказва  $x_2$ , тъй като при неговото изключване коефициентът  $R^2$  има най-голяма стойност (съответно  $R^2 = 0,822545$  и  $R^2 = 0,833861$ ). При изключване на фактора  $x_1$  получаваме  $R^2 = 0,771614$  и  $R^2 = 0,73598246$ .

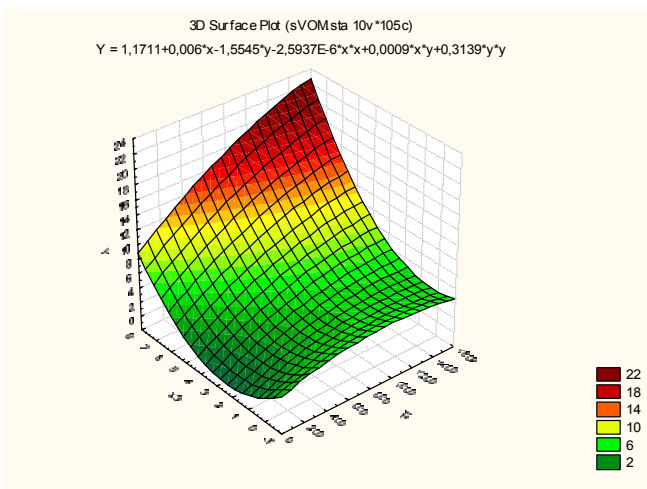
Използвайки получените резултати за факторите с най-силно влияние  $x_1$  и  $x_3$  са построени повърхнината на отклика  $Y=f(x_1, x_3)$  (фиг. 2 и фиг. 4) и линиите на еднакъв отклик (фиг. 3 и фиг. 5).



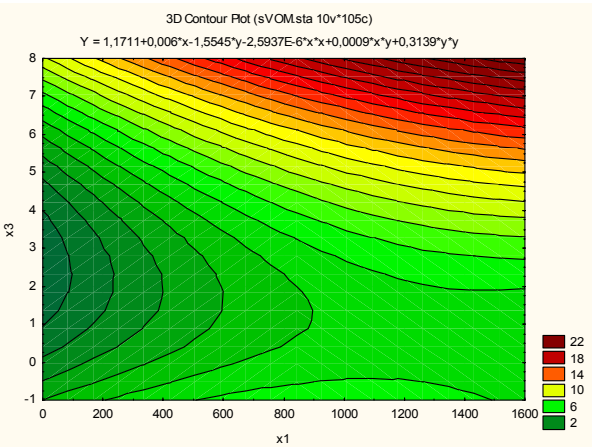
Фиг. 2. Повърхнина на отклика  $Y=f(x_1, x_3)$  при изключени VOM



Фиг. 3. Линии на еднакъв отклик  $Y=f(x_1, x_3)$  при изключени VOM

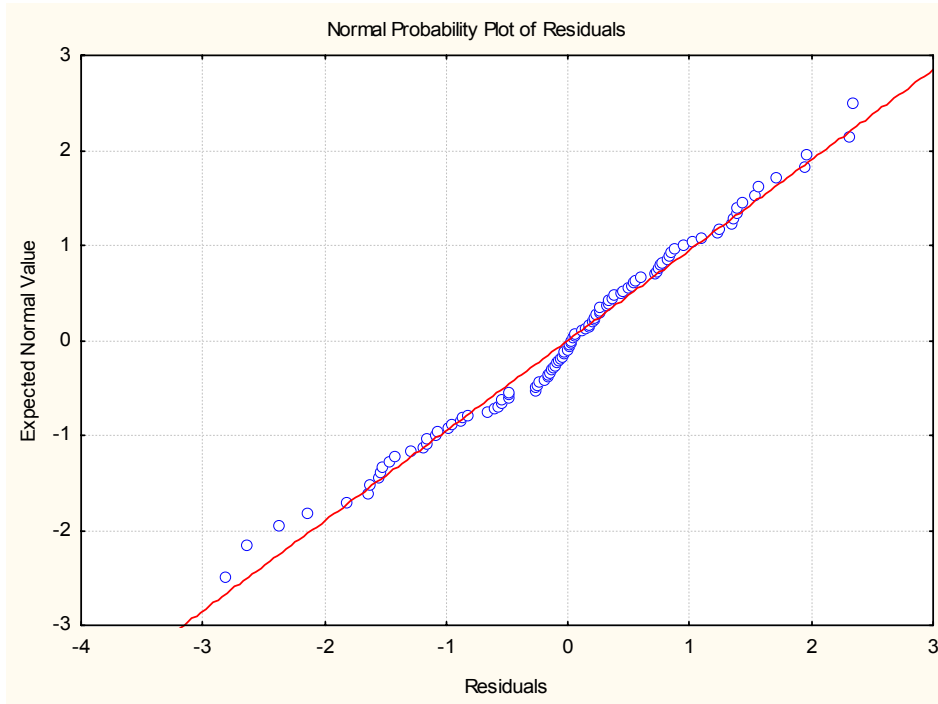


Фиг. 4. Повърхнина на отклика  $Y=f(x_1, x_3)$  при включени VOM

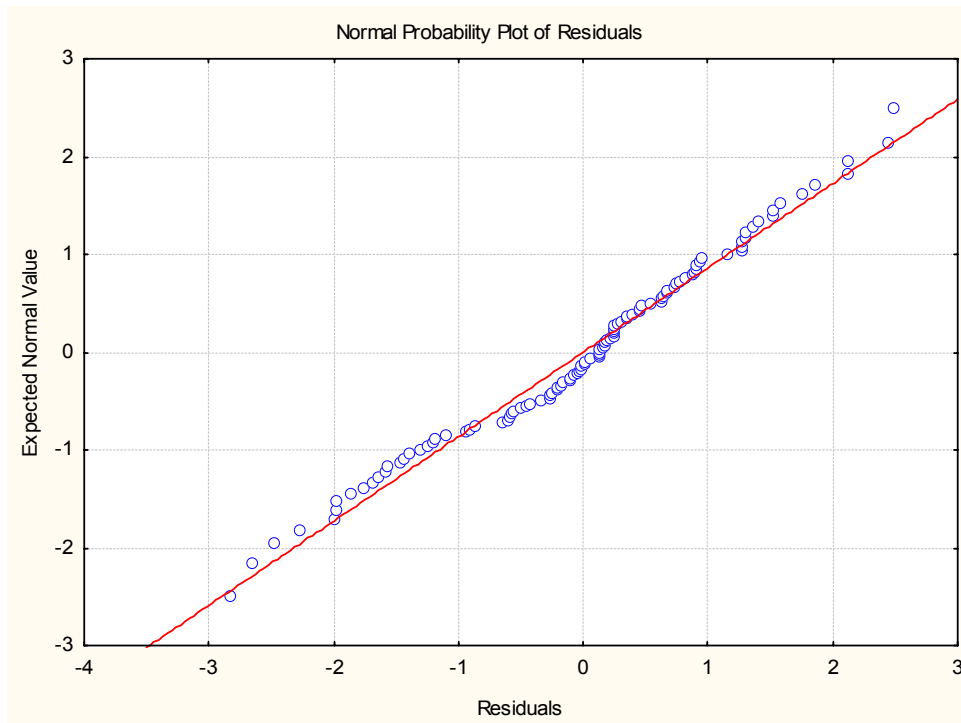


Фиг. 5. Линии на еднакъв отклик  $Y=f(x_1, x_3)$  при включени VOM

Смята се, че коректно проведенят регресионен анализ трябва да завършва с анализ на остатъците. С помощта на пакета STATISTICA са получени нормалните вероятностни графики за моделите от втора степен на параметъра  $M_c$ , включващи и трите фактора – фиг. 6 и фиг. 7. Доколкото точките се разполагат по права линия, дотолкова остатъците имат нормално разпределение и можем да считаме, че предпоставките на регресионния анализ са изпълнени. На фиг. 6 и фиг. 7 въпросните точки се разполагат близо до права линия, т.е. можем да приемем, че остатъците имат нормално разпределение.



Фиг. 6. Нормална вероятностна графика на остатъците за модела на  $M_c$  при изключени BOM



Фиг. 7. Нормална вероятностна графика на остатъците за модела на  $M_c$  при включени BOM

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В резултат на проведения анализ могат да се направят следните изводи:

1. Получени са адекватни регресионни модели за  $M_c$  за случаите на изключени и включени валове за отвеждане на мощност.
2. По степен на влияние изследваните фактори се подреждат в следната последователност: номер на предавката, честота на въртене и ниво на маслото.
3. Остатъците имат нормално разпределение и предпоставките на регресионния анализ са изпълнени.

## **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] Митков А. Теория на експеримента. Университетски издателски център при Русенски университет "А. Кънчев", Русе, 2010.
- [2]. Митков А., Д. Минков. Статистически методи за изследване и оптимизиране на селскостопанската техника. София, Земиздат, 1989.
- [3]. Петров В., Р. Иванов, Н. Станчева, Д. Станчев. Експериментално изследване на загубите в тракторна трансмисия. Сборник доклади на XV научно-техническа конференция с международно участие "Транспорт, екология - устойчиво развитие"- Варна, т.16, 2009, 132-141.
- [4]. Петров В., Р. Иванов, Н. Станчева, Д. Станчев. Относно влиянието на конструктивните и експлоатационни фактори върху загубите в тракторни механични трансмисии. Сборник научни трудове на Международна конференция по Общо машиностроително конструиране, Русе, 2009, 181-185.

Изследванията са подкрепени по договор № BG051PO001-3.3.04/28, „Подкрепа за развитие на научните кадри в областта на инженерните научни изследвания и иновациите”. Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси” 2007-2013, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз“.

### **За контакти:**

гл. ас. Веселин Петров, катедра „Техническа механика”, Русенски университет „А. Кънчев”, тел.: 082/888 622, e-mail: [vepetrov@uni-ruse.bg](mailto:vepetrov@uni-ruse.bg)