

ДИФЕРЕНЦИАЛНО УРАВНЕНИЕ НА ДВИЖЕНИЕТО НА АВТОМОБИЛА

доцент доктор инж. Борислав Бенчев,
bbenchev@vtu.acad.bg,

гл.ас. инж. Петьо Пискулев
piskulev@vtu.acad.bg

*Висше транспортно училище” Тодор Каблешков”
София 1574, ул. Гео Милев 158, България*

Ключови думи: ходов механизъм, буксуване, регресионен анализ

Резюме: Взаимодействието на ходовия механизъм с пътя, при движението на колесна машина е съпроводено със загуби на енергия, които условно се разделят на загуби от буксуване и загуби от придвижване. За транспортни машини, при движението им по твърд път, основни са загубите от придвижване. Тези загуби се отчитат в диференциалното уравнение на движението, чрез което се изследват и оценяват динамичните качества на транспортната машина.

За получаване на необходимите експериментални данни е създадена подвижна лаборатория за различни пътни условия. На основата на получените данни, чрез използване на регресионния анализ, се определят коефициентите на пълната квадратична форма на целевата функция.

Получено е диференциално уравнение, което отчита изменението на съпротивлението от придвижване, в зависимост от пътните условия и работния режим на машината.

Взаимодействието на ходовия механизъм с пътя, при движението на колесна машина е съпроводено със загуби на енергия, които условно се разделят на загубите за буксуване и загуби за придвижване. За транспортни машини, при движението им по твърд път, основни са загубите от придвижване. Тези загуби се отчитат в диференциалното уравнение на движението, чрез което се изследват и оценяват динамичните качества на транспортната машина.

Загубите от придвижване зависят от много фактори – свойствата на пътя, параметрите на ходовата система, работния режим машината и др. Затова количествена оценка на тези загуби може да се получи само като се приеме планирано, многофакторно, експериментално изследване с отчитане на всички влияещи фактори в реални работни условия.

Целта на настоящата работа е да се получи диференциално уравнение за движението на автомобили, отчитащо промяната на съпротивлението от придвижване, в зависимост от пътните условия и работния режим на машината.

За реализиране на целта е съставен кибернетичен модел на енергетичните загуби в ходовия механизъм на автомобила (фиг.1). За входящи фактори се приемат:

G – общото тегло на изследваната машина (в случая ГАЗ-66);

ρ - налягане на въздуха в гумите;

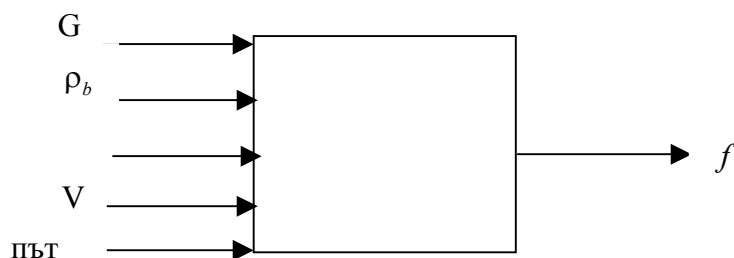
F_k – движеща сила на машината;

V – скорост на движение на автомобила;

M_k – подвеждан въртящ момент;

- видът на пътното покритие.

За целева функция, характеризираща загубите в ходовия механизъм, е приет коефициентът на съпротивление от придвижване f на автомобила.



фиг. 1

Тъй като свойствата на различните видове пътни покрития не са еднакви, създаването на валиден за всички случаи всеобщ математичен модел е невъзможно. Затова трябва да се изведат зависимости за най-характерните видове пътни покрития, по които се движат автомобилите.

За получаване на необходимите експериментални данни е създадена подвижна лаборатория за изследване съпротивлението от придвижване при различни пътни условия. Тя създава възможност за вариране на всички входни фактори.

Експерименталното изследване е реализиране по ОЦК [1] при равномерно движение на автомобила по хоризонтален участък по четири вида пътна настилка (асфалт, паваж, каменно-трошена настилка, сух земен път) в добро състояние. Всеки опит е изпълняван при подходящо съчетаване на входящите фактори по приетия план. Изходящия параметър f е изчисляван по формулата:

$$(1) \quad f = \frac{M_k}{r_k G} - \frac{wV^2 + F_T}{G},$$

където: r_k – радиус по търкаляне на движещите колела;

w - фактор на обтекаемост (за ГАЗ-66) $w=0,0035 \text{ kNs}^2/\text{m}^2$ [2];

$\frac{M_k}{r_k} = F_k$ - движеща сила на автомобила.

По получените експериментални данни чрез регресионен анализ са определени коефициентите на пълната квадратична форма на целевата функция. Значимостта на коефициентите е оценявана по критерия на Фишер, при приета

степен на значимост $\alpha = 0,05$. След отстраняване на незначимите коефициенти са получени следните модели за коефициента на съпротивление от придвижване на изследвания автомобил ГАЗ-66:

За път с асфалтово покритие:

$$(2) \quad f = 0,0108 + 0,000671G - 0,106\rho + 0,280\rho^2 + \\ + 0,00443F_k + 0,0000543F_k^2 + 0,000008V^2 - \\ - 0,00150\rho G - 0,00454\rho F_k$$

За павиран път:

$$(3) \quad f = 0,0221 + 0,00046G - 0,149\rho + 0,193\rho^2 + \\ + 0,00467F_k + 0,000047F_k^2 + 0,0001V + 0,00004V^2 - \\ - 0,00548\rho F_k;$$

За път с каменно-трошена настилка:

$$(4) \quad f = 0,0276 + 0,000335G - 0,159\rho + 0,195\rho^2 + \\ + 0,00489F_k + 0,000039F_k^2 + 0,000008V^2 - \\ - 0,00570\rho F_k;$$

За сух земен път:

$$(5) \quad f = 0,0232 + 0,000398G - 0,08217\rho + \\ + 0,00453F_k + 0,0000454F_k^2 + 0,000008V^2 - \\ - 0,00485\rho F_k$$

При постоянно натоварване на автомобила и постоянно налягане на въздуха в гумите, след линеаризация на квадратичния ефект на движещата сила F_k получените модели могат да се представят в обобщен вид с уравнението:

$$(6) \quad f = b_0 + b_1F_k + b_2V + b_{22}V^2$$

Стойностите на коефициентите от (6) за различни видове покрития са дадени в таблица 1.

Уравнение (6) може да се използва за изчисляване на съпротивлението от придвижване при различни товари и скоростни режими движение на автомобила.

За неравномерно (ускорително или закъснително) движение на автомобила трябва да се отчете изменението на движещата сила под влияние на неравномерно въртящите се маси на двигателя, трансмисията и движещите колела. Тогава (6) има вида:

$$(7) \quad f = b_0 + b_1 \left(F_k \pm \frac{M_{ak}}{r_k} \right) + b_2V + b_{22}V^2 = \\ = b_0 + b_1F_k \pm b_1 \frac{G}{g} \left(\delta - 1 - \frac{gJn}{Gr_k^2} \right) \frac{dV}{dt} + b_2V + b_{22}V^2,$$

където:

M_{ak} – е моментът тангенциалните инерционни сили на двигателя, трансмисията и задвижващите колела, приведени към колелата;

δ - коефициент, отчитащ влиянието на въртящите се маси;
 J_n – инерционен момент водимите колела.

Таблица 1

Вид на пътното покритие	Коефициенти			
	b_0	b_1, kN^{-1}	$b_2, s^2 / m$	$b_{22}, s^2 / m^2$
Асфалт	0,0170	0,00314	0	0,000008
Паваж	0,0177	0,00378	0,0001	0,00004
Каменно-трошена настилка	0,0196	0,00371	0	0,000008
Сух земен път	0,0256	0,00388	0	0,000008

От теорията на транспортните машини е известно, че в най-общ случай диференциалното уравнение на движението (силовия баланс) има следния вид:

$$(8) \quad F_k = fG \cos \alpha \pm G \sin \alpha + wV^2 \pm \delta \frac{G}{g} \frac{dV}{dt},$$

където: α - ъгъл на наклона на пътя.

След заместване на f от (7) се получава:

$$(9) \quad F_k = G \frac{b_0 \cos \alpha \pm \sin \alpha}{1 - b_1 G \cos \alpha} + \frac{w + b_{22} G \cos \alpha}{1 - b_1 G \cos \alpha} + \frac{b_2 G \cos \alpha}{1 - b_1 G \cos \alpha} \pm \frac{G}{g} \left[\delta + \frac{b_1 G \cos \alpha}{1 - b_1 G \cos \alpha} \left(1 + \frac{g J_n}{G r_k^2} \right) \right] \frac{dV}{dt}$$

В зависимост от промяната на пътните условия и скоростния режим се изменя големината на движещата сила, необходимо за осигуряване движението на машината. Изменението на F_k се осигурява чрез съответна промяна в работния режим на двигателя. Затова уравнение (9) се решава графоаналитично, като се използва скоростната характеристика на двигателя.

За колесна машина, снабдена с двигател с вътрешно горене (ДВГ), при пълно натоварване, движещата сила може да се определи по външната му скоростна характеристика с приложеното в [1] уравнение.

$$(10) \quad F_k = a i_k + b i_k^2 V - c i_k^3 V^2,$$

където: i_k – е предавателното число в предавателната кутия.

Коефициентите a, b и c се определят от типа и скоростната характеристика на двигателя, предавателното число в главното предаване, КПД на трансмисията и радиуса на колелата. За автомобил ГАЗ – 66 те имат следните стойности:

$$a = 2,96 \text{ kN}, \quad b = 0,1154 \text{ kNs/m}; \quad c = 0,0044 \text{ kNs}^2/\text{m}^2.$$

След заместване на F_k в уравнение (10) за диференциалното уравнение на движението се получава:

$$(11) \quad \frac{dV}{dt} = \frac{g}{G \left[\delta + \frac{b_1 G \cos \alpha}{1 - b_1 G \cos \alpha} \left(1 + \frac{J_n g}{G r_k^2} \right) \right]} \left[a i_k - G \frac{b_0 \cos \alpha \pm \sin \alpha}{1 - b_1 G \cos \alpha} + \left(b i_k^2 - \frac{b_2 G \cos \alpha}{1 - b_1 G \cos \alpha} \right) V - \left(c i_k^3 + \frac{w + b_{22} G \cos \alpha}{1 - b_1 G \cos \alpha} \right) V^2 \right],$$

за транспортни машини, на които всички колела са движещи, отношението $\frac{I_n}{r_k^2}$ в уравнение (7), (9) и (11) се приема равно на нула. В този случай върху движещата сила при неравномерно движение оказват влияние въртящите се маси на всички колела, което в (7) се отчита с M_{ak} .

Изводи:

1. Получено е диференциално уравнение на движението, което отчита промяната на съпротивлението от придвижване в зависимости от пътните условия и работния режим на машината.
2. При наличие на опитни данни за коефициентите b_0 , b_1 и b_2 уравнения (9) или (11) може да се използва за изследване на теглителните и динамическите качества на транспортните машини при праволинейното им движение.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] БЕНЧЕВ Б. и др. Аналитичен способ за определяне скоростно-теглителните качества на автомобила, НТ., МЕИ, Габрово, 1988.
- [2] БЕНЧЕВ Б. и др., Приложение на регресионния анализ при изследване взаимодействието на автомобилния двигател с пътя., НТ. РУ, 1989.
- [3] BORISLAV BENCHEV, Estimation of Dynamic Qualities of Undercarring Machines, Automotive and Transportation Technology, Congress and Exhibition, Barcelona, 2001.
- [4] ГРИШКЕВИЧ, А.И., Автомобили. Теория., Минск “Вышэйшая школа”, 1986.

DIFFERENTIAL EQUATION OF VEHICLE MOVEMENT

Assoc.Prof. Borislav Benchev, Ph.D., Petio Piskulev, M.Sc., Senior Lecturer

*Higher School of Transport,
Sofia, Bulgaria*

Keywords: *running mechanism, slipping, regression analysis.*

Summary: *The interaction of a wheeled running mechanism and road with vehicle movement is accompanied with power losses that can be divided conditionally into losses for slipping and losses for running. The latter are basic with transport machine running on a solid road. These losses are considered in the differential equations of movement through which the dynamic qualities of transport machines are examined.*

To obtain the necessary experimental data, a movable laboratory for examining the resistance with running under different road conditions has been created. The

coefficients of the complete square form of the target function have been determined on the base of the data obtained using the regression analysis.

The differential equation has been obtained considering the resistance change with running and the dependence on road conditions and vehicle operational mode.