

STUDY OF OPPORTUNITIES TO DEFINE LOAD CHARACTERISTIC CURVES OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES AT RUNNING CONDITIONS

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОВАРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ В УСЛОВИЯХ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

АНАЛИЗ НА ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИТЕ ПО НАТОВАРВАНЕ НА ДВИГАТЕЛИТЕ С ВЪТРЕШНО ГОРЕНЕ В ЕКСПЛУАТАЦИОННИ УСЛОВИЯ

Assoc. Prof. Ph.D. Dimitrov E. ¹; Assoc. Prof. Ph.D. Kunchev L. ²; Assoc. Prof. Ph.D. Dimitrov St. ³
Technical University – Sofia ^{1,2,3}, Bulgaria

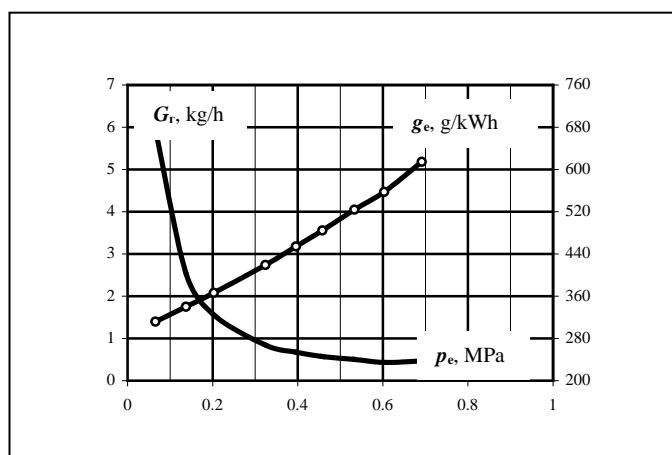
Abstract: a study is made based on numerical research data of opportunities to define load characteristic curves of internal combustion engines at running conditions-i.e. when mount on transport vehicle.

KEYWORDS: load characteristics curve; operation (running) conditions

1. Увод

Характеристиките по натоварване на двигателите с вътрешно горене (ДВГ) изразяват зависимостите, изобразени в графичен вид, на икономичните (часов разход на гориво – G_r , kg/h и специфичен разход на гориво – g_e , g/kWh) и други показатели на двигателя от положението на механизма, с който се управлява подаването на горивото. Тези характеристики се снимат в стендови условия на работа на ДВГ при спазване на определени ограничителни условия. Основното ограничително условие е поддържане на постоянна честота на въртене – $n = \text{const}$, изисква се още: оптимално температурно състояние на двигателя, което се оценява по температурата на охлаждащата течност – $T_{от}$ и температурата на маслото в картера – T_m , и оптимални стойности на регулировъчните показатели на двигателя: въздушното отношение – α и ъгълът на изпреварване на запалването (впръскването) – θ .

При постоянна честота на въртене съществува еднозначна зависимост [2] на мощностните показатели на двигателя (ефективна мощност – P_e , kW, ефективен въртящ момент M_e , Nm и средно ефективно налягане p_e , MPa) от положението на механизма, с който се управлява подаването на горивото. В тази връзка, характеристиките по натоварване се представят като зависимости на икономичните и други показатели на двигателя от неговите мощностни показатели, най-често от ефективната мощност или средното ефективно налягане, т.е. във вида: $G_r, g_e, \dots = f(P_e, p_e)$, както е показано на фиг.1.



Фиг.1. Характеристика по натоварване на дизелов двигател Volkswagen 1,9 при честота на въртене – $n = 2000 \text{ min}^{-1}$

2. Цел

Във връзка с изложеното по-горе, настоящата работа си поставя за цел да се анализират възможностите за определяне

на характеристиките по натоварване на двигателите с вътрешно горене чрез пътни изпитвания на транспортните средства, на които те са монтирани.

3. Теоретични зависимости

При движение на транспортното средство с постоянна скорост ($V = \text{const}$) ефективната мощност на неговия двигател се разходва за преодоляване на сумарните съпротивителни сили и механичните загуби в трансмисията му. Сумарната съпротивителна мощност – P_{Σ} се състои от мощността за преодоляване на: съпротивленията от търкаляне на колелата – P_f , въздушните съпротивления – P_w ; съпротивленията от наклона на пътя – P_{ψ} , т.е.:

$$(1) \quad P_{\Sigma} = P_f + P_w + P_{\psi}$$

Следователно, за ефективната мощност на двигателя е в сила зависимостта:

$$(2) \quad P_e = P_{\Sigma} / \eta_r = (P_f + P_w + P_{\psi}) / \eta_r,$$

където: η_r е коефициентът на полезно действие на трансмисията.

При известна скорост на движение на транспортното средство, честотата на въртене на двигателя може да се изчисли по формулата:

$$(3) \quad n = \frac{30 \cdot V}{\pi \cdot r_k} \cdot i_m,$$

където: n е честотата на въртене на ДВГ, min^{-1} ; V – скоростта на движение на транспортното средство, m/s; r_k – радиусът на търкаляне на колелата, m; i_m – общото предавателно отношение на трансмисията.

Ако при дадена скорост на движение е известен и пътният разход на гориво – Q_{100} , $\text{dm}^3/100\text{km}$, то часовият и специфичният разход на гориво на двигателя могат да се пресметнат от следните формули:

$$(4) \quad G_z = \frac{Q_{100} \cdot V \cdot \rho_z}{100};$$

$$(5) \quad g_e = \frac{G_z}{P_e} \cdot 1000 = \frac{100}{P_f + P_w + P_{\psi}} = \frac{Q_{100} \cdot V \cdot \rho_z \cdot \eta_m}{P_f + P_w + P_{\psi}} \cdot 10^3,$$

където: G_z е часовият разход на гориво, kg/h; Q_{100} – пътният разход на гориво, $\text{dm}^3/100 \text{ km}$; V – скоростта на движение на транспортното средство, km/h; ρ_z – плътността на горивото, kg/dm^3 ; g_e – специфичният разход на гориво, g/kWh; P_e , ефективната мощност на ДВГ, kW; P_f – съпротивителната мощност от търкаляне на колелата, kW; P_w – мощността за преодоляване на въздушните съпротивления, kW; P_{ψ} – мощността за преодоляване на наклона на пътя, kW.

Следователно, при дадена скорост на движение на транспортното средство и известни: обща съпротивителна мощност, к.п.д. на трансмисията и пътен разход на гориво може да се определи една точка от съответната характеристика по натоварване. Построяването на характеристиката изисква измерване на пътния разход на гориво при различни стойности на съпротивителната мощност при движение на транспортното средство със същата скорост при условие, че не се променя предавателното число на трансмисията. При промяна на предавателното число на трансмисията измерването на пътния разход и съпротивителната мощност трябва да се извърши при друга скорост на движение, при която се получава същата честота на въртене на ДВГ. При промяна на предавателното число на трансмисията

4. Анализ на факторите, оказващи влияние върху сумарната съпротивителна мощност на транспортното средство

От изложеното по-горе се вижда, че определянето на характеристиките по натоварване на ДВГ в пътни условия изисква промяна на сумарната съпротивителна мощност при движение на транспортното средство с различни скорости. Следователно, практическата реализация на подобен подход изисква да се направи анализ на факторите, оказващи влияние върху стойностите на сумарната съпротивителна мощност.

От теорията на автомобила [3] са известни следните зависимости за отделните компоненти, участващи в уравнението за определяне на сумарната съпротивителна мощност:

$$(6) \quad P_f = f \cdot m_a \cdot \cos \alpha \cdot V;$$

$$(7) \quad P_\psi = m_a \cdot \sin \alpha \cdot V$$

$$(8) \quad P_w = k \cdot S \cdot V^3,$$

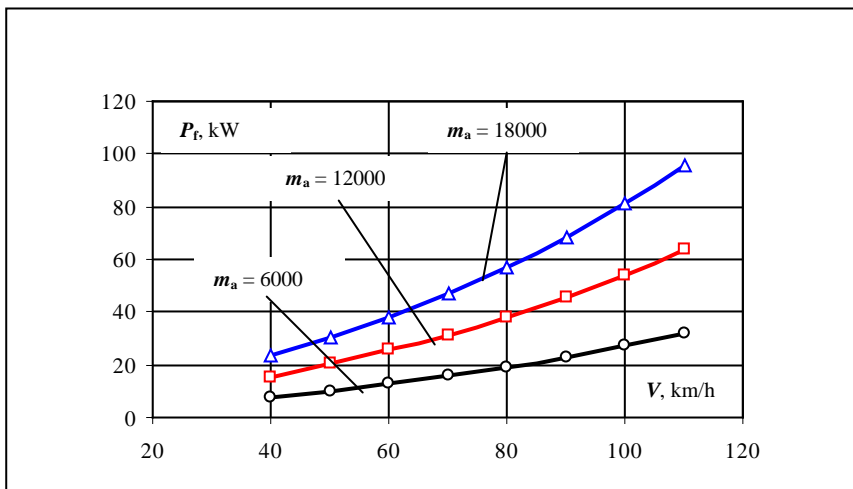
където: m_a е масата на транспортното средство, kg; f – коефициентът на съпротивление при търкаляне; α – наклонът на пътя, deg; k – коефициентът на обтекаемост, Ns^2/m^4 ; S – челната площ на транспортното средство, m^2 .

Коефициентът на съпротивление при търкаляне изчислява по формулата [1]:

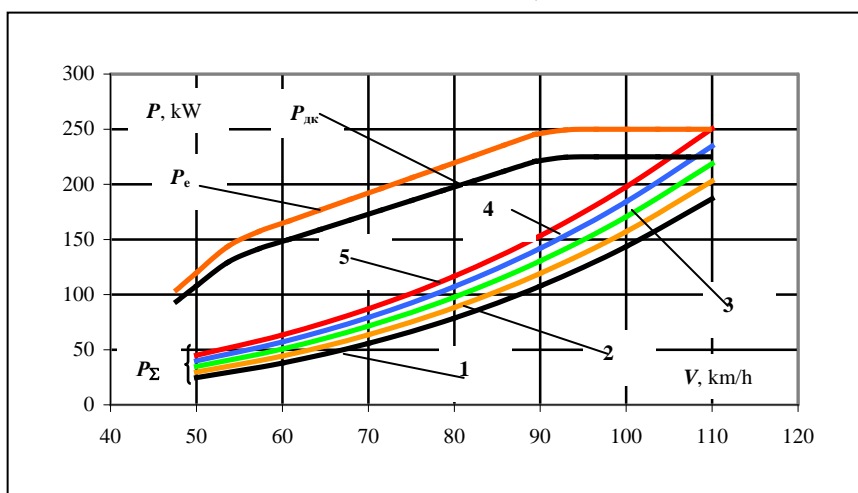
$$(9) \quad f = f_0 \cdot (1 + 65 \cdot 10^{-5} \cdot V^2),$$

където f_0 е базовият коефициент на съпротивление при търкаляне.

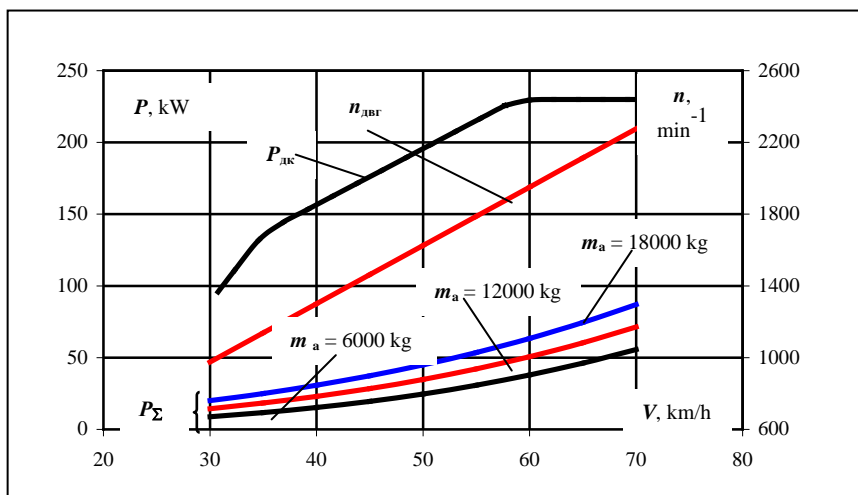
Въз основа на горните формули може да се извърши оценка на влиянието на различните фактори върху сумарната съпротивителна мощност при движението на транспортното средство. За целта е извършено теоретично пресмятане на отделните компоненти на сумарната съпротивителна мощност при движение на товарен автомобил, прототип на MAN – TGM 18.340, на директна предавка (предавателно отношение на предавателната кутия – $i_{нк} = 1$) с различни постоянни скорости и по път с асфалтово покритие, при



Фиг. 2. Изменение на мощността за преодоляване на съпротивленията от търкаляне на колелата при движение на товарен автомобил на директна предавка ($i_{нк} = 1, i_m = 4,11$) по хоризонтален асфалтов път с различни стойности на пълната му маса



Фиг. 3. Изменение на сумарната съпротивителна мощност – P_Σ , максималната ефективна мощност на двигателя – P_e и максималната мощност, предаване на двигателните колела – $P_{дк}$, при движение на товарен автомобил на директна предавка ($i_{нк} = 1, i_m = 4,11$) по хоризонтален асфалтов път с различни стойности на пълната му маса: 1 – $m_a = 6000$ kg; 2 – $m_a = 9000$ kg; 3 – $m_a = 12000$ kg; 4 – $m_a = 15000$ kg; 5 – $m_a = 18000$ kg



Фиг. 4. Изменение на сумарната съпротивителна мощност – P_Σ , честотата на въртене на ДВГ – $n_{двг}$ и максималната мощност, предаване на двигателните колела – $P_{дк}$, при движение на товарен автомобил на понижаваща предавка ($i_{нк} = 1,55, i_m = 6,37$) по хоризонтален асфалтов път с различни стойности на пълната му маса

което е варирано с пълната маса на автомобила и наклона на пътя. Изходните данни са следните – [4]: маса на автомобила без товар – $m_a^{\min} = 6000$ kg; максимална пълна маса на автомобила $m_a^{\max} = 18000$ kg; радиус на търкаляне на колелата – $r_k = 0,520$ m; челна площ на автомобила – $S = 6,4$ m²; базов коефициент на съпротивление при търкаляне – $f_0 = 0,011$; коефициент на обтекаемост – $k = 0,85$ Ns²/m⁴; общо предавателно число на трансмисията – $i_m = 4,11$; к.п.д. на трансмисията – $\eta_T = 0,9$.

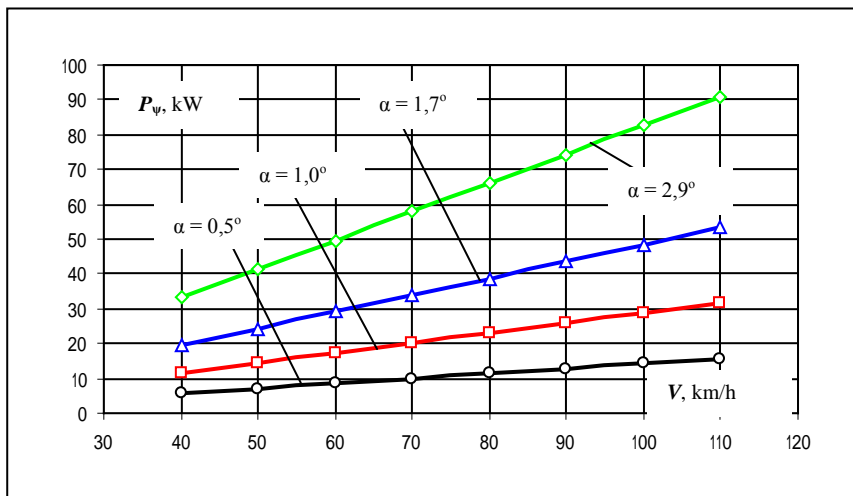
От гледна точка на определяне на характеристиките по натоварване, интерес представлява промяната на мощността за преодоляване на съпротивления от търкаляне на колелата и наклона на пътя, тъй като при движение на транспортното средство с постоянна скорост мощността за преодоляване на въздушните съпротивления остава постоянна.

На фиг. 2 до фиг. 4 са показани графиките на изменение на мощността за преодоляване на съпротивления от търкаляне на колелата, сумарната съпротивителна мощност, максималната мощност на двигателя – P_e [4] и максималната мощност, предавана на двигателните колела P_{dk} , при движение на транспортното средство с различни постоянни скорости и различни стойности на: пълната му маса и предаватели отношения на неговата трансмисия. Анализът на получените числени резултати показва следното:

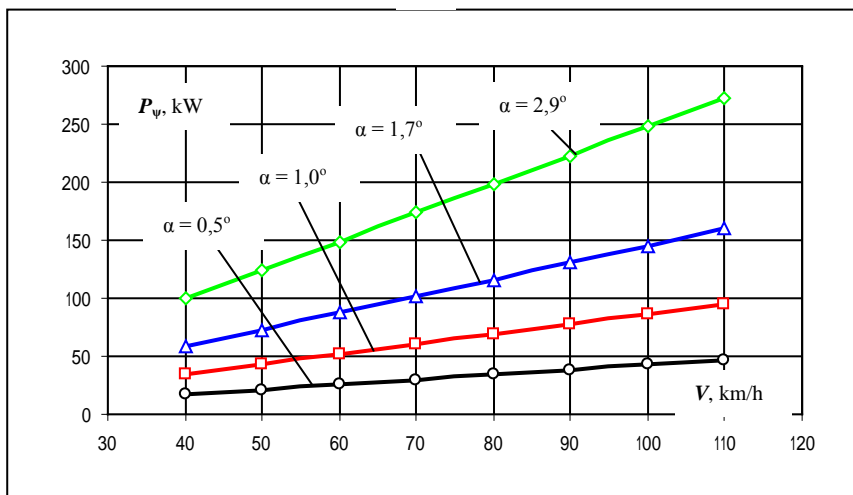
- Мощността за преодоляване на съпротивления от търкаляне на колелата при движение на транспортното средство по хоризонтален асфалтов път нараства правопрпорционално на пълната му маса. При избраните изходни данни, максималното нарастване на тази мощност е 3 пъти за всяка конкретна скорост на движение;

- От фиг. 3 се вижда, че само чрез промяна на пълната маса на транспортното средство е невъзможно да се осъществи ефективно натоварване на неговия двигател в цялото му работно поле, а следователно е невъзможно и определянето на съответните характеристики по натоварване, тъй като при ниските и средните скорости на движение, съответстващи на ниските и средните честоти на въртене на ДВГ, не се постига пълно натоварване на двигателя, докато при високите скорости (при номинална честота на въртене на ДВГ) – проблемни са ниските и средните натоварвания на двигателя;

- Постигане на частично натоварване на двигателя при номинална честота на въртене и движение на транспортното средство по хоризонтален пътен участък е възможно чрез промяна на предавателното отношение на трансмисията, както е показано на фиг.4.

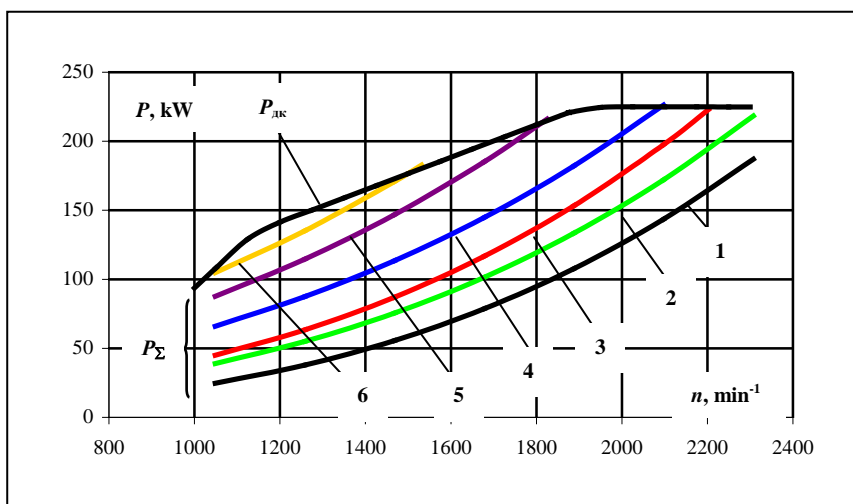


а



б

Фиг. 5. Изменение на мощността за преодоляване на наклона на пътя при движение на товарен автомобил с различни стойности на неговата пълна маса: а – $m_a = 6000$ kg (не натоварен автомобил); б – $m_a = 18000$ kg (максимално натоварен автомобил)



Фиг. 6. Изменение на максималната мощност, предавана на двигателните колела и сумарната съпротивителна мощност на товарен автомобил в зависимост от честотата на въртене на ДВГ при различни пътни условия: 1 – $m_a = 6000$ kg, $\alpha = 0^\circ$; 2 – $m_a = 6000$ kg, $\alpha = 1^\circ$; 3 – $m_a = 18000$ kg, $\alpha = 0^\circ$; 4 – $m_a = 6000$ kg, $\alpha = 2,9^\circ$; 5 – $m_a = 18000$ kg, $\alpha = 1^\circ$; 6 – $m_a = 18000$ kg, $\alpha = 2,9^\circ$

На фиг. 5 са показани графиките на изменение на мощността за преодоляване на наклона на пътя при различни стойности на пълната маса на транспортното средство. Вижда се, че:

- Увеличаването на наклона на пътя води до неколккратно нарастване на съответната съпротивителна мощност. При избраните изходни данни, максималната стойност на това нарастване е 5,8 пъти за всяка конкретна скорост на движение и пълна маса на автомобила;
- Чрез промяна на наклона на пътя е възможно да се осъществи значително по-голям диапазон на изменение на сумарната съпротивителна мощност, преодолявана от транспортното средство, а следователно и по-голям диапазон натоварване на неговия двигател, отколкото само чрез промяна на пълната му маса и движение по хоризонтален път.

От показаните на фиг. 7 резултати се вижда, че ефективно натоварване на двигателя (в цялото му работно поле) в експлоатационни условия е възможно чрез подходящ избор на пълната маса на транспортното средство и наклона на пътя.

5. Изводи и заключение

От получените числени резултати могат да се направят следните изводи:

- Чрез промяна само на пълната маса и предавателното отношение на трансмисията на транспортното средство при движението му по хоризонтален пътен участък е възможно да се постигне ефективно натоварване на неговия двигател (от минимално до пълно), а следователно и определяне на съответните характеристики по натоварване, само при честоти на въртене, близки до номиналната;

- Пълно натоварване на двигателя на транспортното средство при ниски и средни честоти на въртене е невъзможно при движението му по хоризонтален пътен участък;
- Определянето на характеристиките по натоварване на ДВГ в експлоатационни условия, и в цялото им работно поле, е възможно чрез правилен избор на пътните условия (наклон на пътя) и пълната маса на транспортното средство.

Въз основа на направения анализ може да се направи заключението, че определянето на характеристиките по натоварване на ДВГ в експлоатационни условия, макар и трудоемка, е изпълнима задача. По-съществените затруднения при нейното изпълнение са свързани с точността на определяне на коефициента на съпротивление на търкаляне на колелата и коефициента на полезно действие на трансмисията, тъй като измерването на пътния разход на гориво и останалите величини, участващи в съответните формули, понастоящем не представляват трудност.

6. Литература:

1. Димитров, Й. Н. и др. Ръководство по проектиране, конструиране и изчисляване на автомобила, трактора и кара. С., "Техника", 1980.
2. Димитров, П. И. Двигатели с вътрешно горене. С., Технически университет, 2000.
3. Туревский, И. С. Теория автомобиля. М., "Высшая школа", 2005.
4. MAN TGM BL 18R250. www.mantruckandbus.co.uk.

Благодарности

Разработването и публикуването на настоящата работа е финансирано по договор ДДВУ 02/51 от 20.12.2010 г., за което авторите изказват своите най-искрени благодарности!