

---

## **АНАЛИТИЧНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА НЯКОИ ПОКАЗАТЕЛИ НА СКОРОСТНИТЕ СВОЙСТВА НА АВТОТРАНСПОРТНИ СРЕДСТВА В ЗАВИСИМОСТ ОТ МОЩНОСТТА НА ДВИГАТЕЛЯ**

**Пенко Цветков Петков**

*главен асистент, инженер, ВТУ “Тодор Каблешков”, катедра “Транспортна  
техника”, София,  
**БЪЛГАРИЯ***

**Ключови думи:** *автотранспортно средство; честотна характеристика на двигателя; степен на използване мощността на двигателя; време за ускоряване*

**Анотация:** *В работата се предлага методика за аналитично изследване на някои показатели на скоростните свойства на автотранспортни средства в зависимост от степента на използване мощността на двигателя. Представени са и резултати от числени експерименти при определяне на времето за ускоряване до зададени скорости на движение на лек автомобил. Изчислените стойности са близки до експериментално получени за конкретна марка и модел автомобил, което потвърждава практическата приложимост на методиката.*

### **УВОД**

Качествата и техническото съвършенство на автотранспортните средства /АТС/ се определят от редица изисквания по отношение на експлоатационните им свойства. Удовлетворяването на тези изисквания зависи от съответствието на конструктивните параметри на АТС на условията на експлоатация и се оценява чрез комплекс от показатели и характеристики. Известно е, че за основни показатели на скоростните свойства на АТС са приети скоростта и ускорението, а като косвени показатели се използват времето за ускоряване до зададена скорост и времето за ускоряване на пътен участък с определена дължина[2], [4]. В техническите характеристики на леките автомобили най-често се посочват времената за ускоряване до скорост 100 km/h и до максимална скорост на движение. Най-точно тези времена се определят експериментално при изпитване на образци от АТС в реални пътни условия. Съществуват и изчислителни методи за определяне на времето за ускоряване.

### **1. Състояние на проблема и цел на разработката**

При проектиране на АТС за определяне на показателите на теглително-скоростните им свойства се прилагат два метода – аналитичен и

графоаналитичен [3], [5], [2], [4]. В изчислителната процедура и на двата метода се използва външната честотна характеристика на двигателя, т. е. зависимостта на мощността и въртящия момент от ъгловата скорост на въртене на колянвия вал при пълно подаване на гориво. Основното предимство на аналитичния метод се състои в това, че някои от показателите на скоростните свойства се пресмятат по математически зависимости, които дават възможност за числени изследвания. По такъв начин още на етапа на проектиране на АТС може да се изследва изменението на определени скоростни показатели в зависимост от мощностните параметри на двигателя. За осигуряване на оптимални теглително-скоростни и енергийни показатели на АТС трябва да се вземе предвид и горивно-икономическата характеристика на двигателя.

Аналитичният метод за определяне на времето за ускоряване се базира на непосредственото интегриране на диференциалното уравнение за праволинейно движение на АТС [3], [5], [2]. Решението на уравнението спрямо времето за ускоряване има вида

$$(1) \quad t_i = m\delta_{B_i} \int \frac{dv}{F_{k_i} - F_{c_i}}, \text{ s,}$$

където  $m$  е масата на АТС, kg;

$\delta_{B_i}$  - коефициентът, отчитащ влиянието на въртящите се маси на  $i^{-\text{ТА}}$  предавка;

$dv$  - интервалът на скоростта, m/s;

$F_{k_i}$  - теглителната сила, приложена към задвижващите колела, kN;

$F_{c_i}$  - сумарната съпротивителна сила, действаща на АТС, kN;

Като се вземе предвид, че мощността

$$P = Fv, \text{ kW}$$

и се замести в (1), за времето за ускоряване се получава

$$(2) \quad t_i = m\delta_{B_i} \int \frac{v dv}{P_{k_i} - P_{c_i}} = m\delta_{B_i} \int \frac{v dv}{P_e \eta_t - P_{c_i}}, \text{ s,}$$

където  $v$  е скоростта на движение на АТС, m / s;

$P_{k_i}$  - мощността, необходима за движение на АТС, kW;

$P_e$  - ефективната мощност на двигателя, kW;

$P_{c_i}$  - сумарната съпротивителна мощност, kW;

$\eta_t$  - к. п. д. на трансмисията на АТС.

Решение на интегралите (1) и (2) може да бъде получено като се направи апроксимация на експериментални функционални зависимости  $F(v)$  или съответно  $P(v)$  с аналитични изрази. В специализираните литературни източници се срещат подобни изрази, а така също и на зависимостта на въртящия момент на двигателя от ъгловата скорост на въртене на колянвия вал  $M_e = f(\omega_e)$  [5], [2]. В случай, че се разполага само с функцията  $M_e = f(\omega_e)$ , очевидно не представлява

трудност тя да бъде преобразувана в зависимостите  $F(v)$  или  $P(v)$ . На практика като най-естествен параметър за оценка на транспортните двигатели е приета мощността.

Както беше отбелязано при теглително-скоростно пресмятане на АТС се използва външната честотна характеристика на двигателя. В реалната експлоатация на АТС, обаче много често се използват работни режими на двигателя с частично подаване на гориво. Освен това напоследък, конкретно в леки автомобили от един и същи модел се вграждат по няколко прототипа форсирани по мощност двигатели спрямо базовия такъв. Отчитайки тези обстоятелства, целта на разработката е по аналитичен път да се изследва времето за ускоряване на лек автомобил в зависимост от изменението на мощността на двигателя.

## 2. Методика на изследване

За количествена характеристика на натоварването на двигателя при движение на АТС в зададени пътни условия е прието понятието степен на натоварване (използване на мощността) на двигателя

$$(3) \quad C = \frac{P_{\phi}(v)}{P_e(v)},$$

където  $P_{\phi}(v)$  е отдаваната от двигателя фактическа мощност, необходима за движение на АТС, kW;

$P_e(v)$  - ефективната мощност, която може да развие базовият двигател при пълното му натоварване, т. е. при работа по външната честотна характеристика, kW [2], [4].

Чрез степента  $C$  може да се определи мощността на двигателя при работа на частични честотни характеристики или мощността на форсирани двигатели спрямо мощността по външна характеристика на базовия двигател. Ако се приеме, че  $C$  се изменя в граници от 0 до 2, възможни са следните случаи:  $C=0$  – АТС се движи по инерция, т. е. към задвижващите колела не се подвежда въртящ момент;  $C=1$  съответства на външна честотна характеристика на двигателя;  $C < 1$  – частични характеристики;  $C > 1$  означава, че в АТС е вграден форсиран по мощност двигател;  $C=2$  е горната граница, която определя възможното форсиране на двигателя.

След като се вземе предвид степента на натоварване на двигателя  $C$ , съгласно уравнение (2), времето за ускоряване на АТС ще се определя от израза

$$(4) \quad t_i = m\delta_{B_i} \int \frac{v dv}{CP_e\eta_t - P_{c_i}}, \text{ s.}$$

Приема се, че ускоряването на АТС се извършва при следните условия:

- праволинейно движение върху хоризонтален път с асфалто-бетонно покритие, без буксуване на задвижващите колела;
- началото на ускоряването започва на първа предавка;
- превключването на втора и всяка следваща предавка се извършва при ъглова скорост на колянвия вал  $\omega_{e,p}$ , при която двигателят достига максимална мощност за зададения работен режим;

- началото на ускоряването на втора и всяка следваща предавка започва от ъглова скорост на колянвия вал  $\omega_{e,m}$ , т. е. при степенна предавателна кутия двигателят работи в честотната област  $\omega_{e,m} - \omega_{e,p}$ ;
- през времето на превключване на предавките намаляването на скоростта на движение се пренебрегва, т. е.  $V_{K_1} = V_{H_2}, V_{K_2} = V_{H_3}$  и т. н.;
- времето за превключване  $\Delta t$  на отделните предавки е еднакво.

От тези условия се определят скоростните диапазони, т. е. началната  $V_{H_i}$  и крайната  $V_{K_i}$  скорости на движение на АТС за всяка предавка в предавателната кутия.

На следващ етап трябва да се намери аналитичен израз на зависимостта на мощността на двигателя от ъгловата скорост на въртене на колянвия вал  $P_e(\omega_e)$ . При наличие на заводска експериментална честотна характеристика се извършва непосредствена апроксимация на функцията  $P_e(\omega_e)$  във вид на полином от трета степен [2], [4]. Предвид известното съотношение между скоростта на движение на АТС и ъгловата скорост на въртене на колянвия вал и ограничената честотна област  $\omega_{e,m} - \omega_{e,p}$ , в която работи двигателят при ускоряване, подинтегралната функция  $P_e(v)$  от (4) се представя чрез полином от втора степен от вида

$$(5) \quad P_e(V) = a_i + b_i v + c_i v^2,$$

където  $i$  е номерът на предавката;

$a_i, b_i, c_i$  са коефициентите на полинома.

Коефициентите се определят чрез математическа обработка на зависимостта  $P_e(\omega_e)$  по метода на най-малките квадрати или чрез интерполационната формула на Лагранж [1].

Съгласно приетите условия на движение на АТС действат съпротивителната сила от търкаляне  $F_f$  и силата от аеродинамичното съпротивление  $F_w$ . Тези сили и съответстващите на тях съпротивителни мощности се определят по известни формули [3], [5], [2]. В случая, обаче сумарната съпротивителна мощност  $P_c$  в знаменателя на подинтегралната функция на израза (4) се получава от трета степен на скоростта. За привеждане на интеграла към таблична форма е необходимо да се направи апроксимация на  $P_c(v)$  чрез полином от втора степен за участъците, съответстващи на скоростните диапазони на движение  $V_{H_i} - V_{K_i}$  за всяка предавка, т. е.

$$(6) \quad P_{c_i}(v) = a'_i + b'_i v + c'_i v^2,$$

където  $a'_i, b'_i, c'_i$  са коефициентите на полинома.

Коефициентите  $a_i, b_i, c_i$  и  $a'_i, b'_i, c'_i$  се определят за всяка предавка в предавателната кутия по някой от известните математически методи [1].

След заместване на  $P_e(v)$  от уравнение (5) и  $P_{c_i}(v)$  от (6) в израза (4) и отчитане на скоростния интервал  $V_{H_i} - V_{K_i}$ , времето за ускоряване на АТС на  $i$ -та предавка ще бъде

$$(7) \quad t_i = m\delta_{B_i} \int_{V_{H_i}}^{V_{K_i}} \frac{v dv}{(Ca_i\eta_t - a_i') + (Cb_i\eta_t - b_i')v + (Cc_i\eta_t - c_i')v^2}.$$

След интегриране се получава

$$(8) \quad t_i = \frac{m\delta_{B_i}}{2(Cc_i\eta_t - c_i')} \left\{ \ln \left[ (Ca_i\eta_t - a_i') + (Cb_i\eta_t - b_i')v + (Cc_i\eta_t - c_i')v^2 \right] - \frac{(Cb_i\eta_t - b_i')}{\sqrt{\Delta_i}} \ln \left[ \frac{2(Cc_i\eta_t - c_i')v + (Cb_i\eta_t - b_i') - \sqrt{\Delta_i}}{2(Cc_i\eta_t - c_i')v + (Cb_i\eta_t - b_i') + \sqrt{\Delta_i}} \right] \right\} \Bigg|_{V_{H_i}}^{V_{K_i}},$$

където  $\Delta_i = (Cb_i\eta_t - b_i')^2 - 4(Ca_i\eta_t - a_i')(Cc_i\eta_t - c_i')$ .

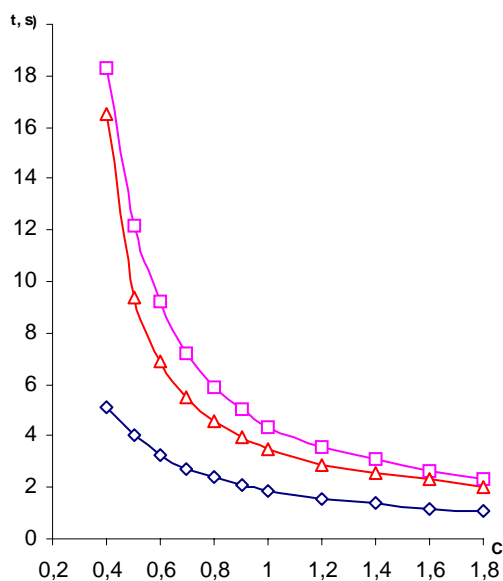
Сумарното време за ускоряване на АТС до зададена скорост на движение се определя по израза

$$(9) \quad T = \sum_{i=1}^{i=n} t_i + (n-1)\Delta t, \text{ s,}$$

където  $n$  е броят на предавките, на които се извършва ускоряването;

$\Delta t$  - времето, необходимо за превключване на всяка предавка, s.

### 3. Резултати от числените експерименти

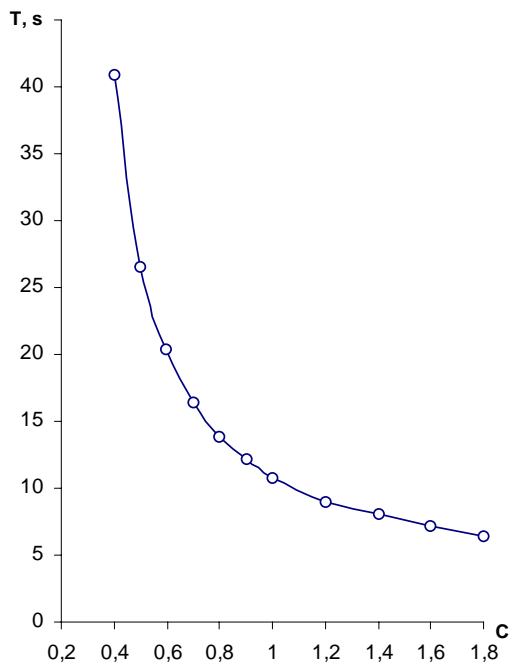


Фиг.1. Зависимост на времето за ускоряване на първа – трета предавка до скорост  $V = 27,77 \text{ m/s}$

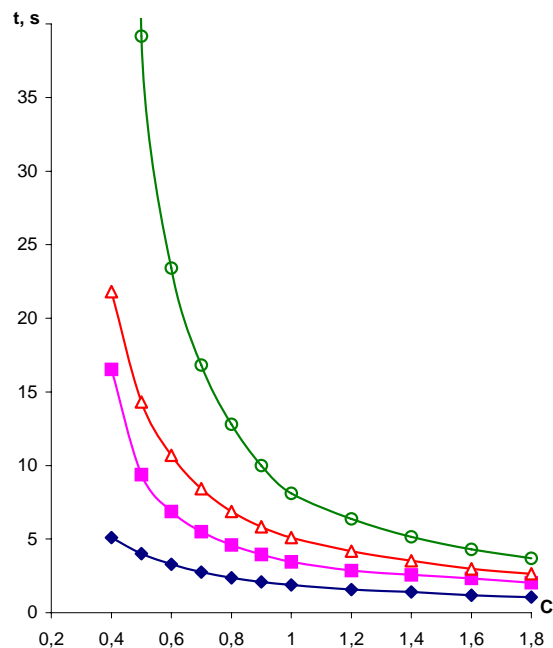
Предложената методика е апробирана за определяне на времето за ускоряване до зададени скорости на движение на лек автомобил. За обект на изследване е избран автомобил марка "Citroen", модел "Xantia 2.0i VSX". Основните изходни данни за пресмятанята са заимствани от техническите характеристики на изследвания обект [6],[7]. Стойностите на другите параметри, необходими за числените експерименти са избрани в границите на тяхното изменение, посочени в специалната литература [5],[2],[4]. Изменението на степента на натоварване на двигателя е прието да бъде в границите от 0,4 до 1,8.

Времената за ускоряване на автомобила като функция на степента

на използване мощността на двигателя са пресмятани по изразите (8) и (9). Изчисленията са извършени с използване на програмен продукт "Excel" за РС. На фиг.1 е представена графичната зависимост на изменението на времето за ускоряване на автомобила на първа –трета предавка, а сумарното време за ускоряване до скорост  $V = 27,77 \text{ m/s}$  – на фиг.2.

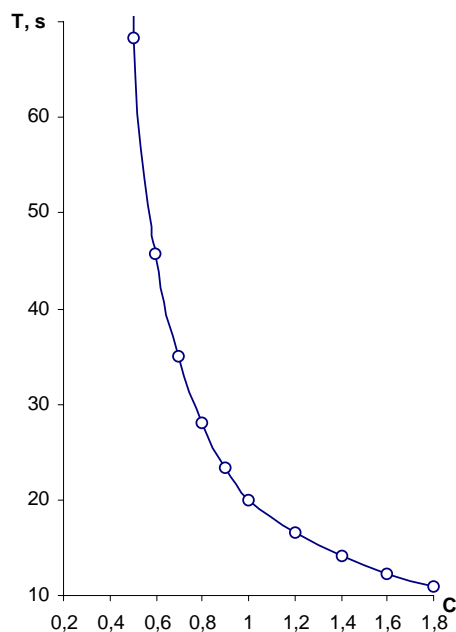


Фиг.2. Зависимост на сумарното време за ускоряване до скорост  $V = 27,77 \text{ m/s}$

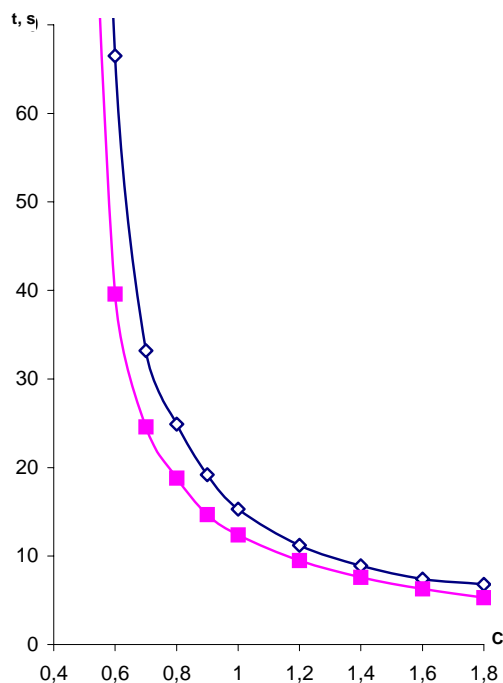


Фиг.3. Зависимост на времето за ускоряване на първа – четвърта предавка до скорост  $V = 36,11 \text{ m/s}$

Определени са и времената за ускоряване на първа – четвърта предавка, както и сумарното време за ускоряване до скорост  $V = 36,11 \text{ m/s}$ . Графиките  $t_i = f(C)$  и  $T = f(C)$  са показани, съответно на фиг.3 и фиг.4.



Фиг.4. Зависимост на сумарното време за ускоряване до скорост  $V = 36,11 \text{ m/s}$



Фиг.5. Зависимост на времето за ускоряване на четвърта и пета предавка от скорост  $V_1 = 25,0 \text{ m/s}$  до скорост  $V_2 = 36,11 \text{ m/s}$

Изменението на времето за допълнително ускоряване на автомобила на четвърта и пета предавка от скорост  $V_1 = 25,0 \text{ m/s}$  до скорост  $V_2 = 36,11 \text{ m/s}$  е представено чрез графиката на фиг.5.

От получените резултати следва, че автомобилът се ускорява до скорост  $V = 27,77 \text{ m/s}$  на трета предавка, като по-голяма част от сумарното време се реализира на втора и трета предавка. При ускоряване до скорост  $V = 36,11 \text{ m/s}$  със степен на натоварване на двигателя  $C = 1,0$  (работа с пълно подаване на гориво) времето, през което автомобилът се движи на четвърта предавка е 4,3 пъти по-голямо, отколкото времето за движение на първа предавка.

От графичните зависимости (фиг.1 – 5) е видно, че функциите  $t_i(C)$  и  $T(C)$  са с изразен нелинеен характер. Поради нелинейния характер намаляването на времето за ускоряване на автомобила до зададена скорост на движение с една секунда не е еднакво за различни степени на натоварване на двигателя. Например при  $C = 0,6$  сумарното време за ускоряване на автомобила до скорост  $V = 27,77 \text{ m/s}$  (фиг.2) е  $T_{0,6} = 20,36 \text{ s}$ . За да се намали времето с 1 s, е необходимо да се увеличи  $C$  до 0,625, т. е. с 0,025. При  $C = 1,4$  времето за ускоряване е  $T_{1,4} = 8,04 \text{ s}$ . Намаляването на времето с 1 s ще доведе до увеличаване на  $C$  до 1,57, т. е. с 0,17, което е приблизително 7 пъти повече в сравнение с предходния случай. Следователно увеличаването на  $C$  над 1,4 не е съпроводено с интензивно намаляване на времето за ускоряване на автомобила.

Резултатите от числените пресмятания на времето за ускоряване (при пълно натоварване на двигателя  $C = 1,0$ ) с точност до 3 % съответстват на експериментално получени данни, посочени в техническата характеристика на изследвания обект [7].

#### 4. Изводи и заключение

1.) За количествена характеристика на натоварването на двигателя при движение на АТС в зададени пътни условия е въведен параметърът степен на използване мощността (натоварване) на двигателя;

2.) Изведена е аналитична зависимост за определяне на времето за ускоряване, изразено чрез основни параметри на АТС – мощност на двигателя (пряко чрез степента на натоварване  $C$  и косвено чрез коефициентите на полинома на мощността  $a_i, b_i, c_i$ ), масата, коефициентът, отчитащ влиянието на въртящите се маси, началната и крайната скорост на ускоряването;

3.) Чрез степента на използване мощността на двигателя аналитично могат да бъдат определяни и други показатели на скоростните свойства на АТС (път за ускоряване до зададена скорост на движение, време за ускоряване на зададен пътен участък, максимална скорост на движение) както със стандартно вграден двигател, работещ при пълно или частично подаване на гориво, така и за форсирани по мощност двигатели спрямо базовия.

Бързата изчислителна процедура и точността на получените резултати потвърждават възможността за практическо прилагане на методиката за аналитично определяне и изследване на показателите на скоростните свойства още на етапа на проектиране или в условията на експлоатация на АТС.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Бронштейн И. Н., К. А. Семендяев. Справочник по математике. М., Наука, 1986. 544 с.
- [2]. Литвинов А. С., Я. Е. Фаробин. Автомобиль. Теория эксплуатационных свойств. М., Машиностроение, 1987. 237 с.
- [3]. Нефедов А. Ф. Расчет режимов движения автомобилей на вычислительных машинах., Киев, Техніка, 1970. 172 с.
- [4]. Тарасик В. П., М. П. Бренч. Теория автомобилей и двигателей. Минск, ООО "Новое знание", 2004. 398 с.
- [5]. Токарев А. А. Топливная Экономичность и тягово-скоростные качества автомобиля., М., Машиностроение, 1982. 222 с.
- [6]. AUTO CATALOG. 5500 новых и подержанных автомобилей 1974 – 2004. Санкт – Петербург, "Герион", 2003. 783 с.
- [7]. AUTO Motor Sport. 1998, №6. p. 27.