

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Кафедра «Автомобілів»

Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної
роботи та СРС
з дисципліни „Автомобілі. Розділ „Теорія””

Харків — 2016

Укладачі: Альокса М.М.
Леонтьєв Д.М.

ВСТУП

Різні види рухомого складу автомобільного транспорту – одиночні автомобілі, сідельні і причепні автопоїзди об'єднуються поняттям „автотранспортні засоби” (АТЗ). Загальним для них є колісні рушії і опорні осі в різних комбінаціях. У зв'язку з цим взаємодія АТЗ з дорогою і оточуючим середовищем базується на тих же основних закономірностях, що і для одиночного автомобіля.

Ефективність використання АТЗ в різних умовах експлуатації визначається комплексом їх потенційних експлуатаційних властивостей – тягово-швидкісних, гальмових, прохідності, паливної економічності, екологічності, стійкості і керованості, комфортабельності і плавності руху. На ці експлуатаційні властивості впливають основні параметри автомобіля і його вузлів, перш за все двигуна, трансмісії і колес, а також характеристики дороги і умов руху. Їх взаємодія і оцінка їх комплексного впливу на експлуатаційні властивості АТЗ (автомобіля) студенти вивчають у другому розділі дисципліни „Автомобілі” і „Теорія експлуатаційних властивостей АТЗ” („Теорія автомобіля”) за навчальним планом 6.070106 „Автомобільний транспорт”. Перед вивченням цього розділу студенти досить ґрунтовно знайомляться з матеріалом першого розділу дисципліни – „Основи конструкції АТЗ”.

З метою закріплення теоретичних знань і набуття навичок аналізу тягово-швидкісних властивостей автомобіля заданої моделі необхідно виконати розрахунки на основі її технічної характеристики, побудувати графіки і за їх допомогою проаналізувати ці властивості.

Виконані розрахунки зводять до таблиць, текст супроводжують розрахунковими залежностями і весь матеріал оформляють у вигляді пояснювальної записки.

Пояснювальна записка містить вихідні дані для розрахунків; реальні значення основних параметрів автомобіля для порівняння їх з одержаними розрахунковими; зовнішню швидкісну характеристику двигуна, силовий баланс і динамічну характеристику автомобіля; показники розгону; баланс потужностей і аналіз тягово-швидкісних властивостей автомобіля; список використаної літератури.

Обсяг пояснювальної записки зазвичай становить 20...25 с. і оформляється відповідно до вимог до текстових документів ЕСКД

(ГОСТ 2.105-95). Основні написи виконуються по ГОСТ 2.104-2006. Текст слід набирати на комп'ютері з наступною роздруківкою на принтері або написати акуратно чорним або синім чорнилом (пас-тою). При використанні залежностей і положень, запозичених з лі-тературних та патентних джерел, посилання на них обов'язкове. Кі-нцеві результати однотипних розрахунків необхідно зводити в таб-лиці. Формули, внесені за текстом на окремий рядок, нумеруються. Графіки тягового розрахунку повинні задовольняти вимогам до ілюстрацій текстових документів (ГОСТ 2.105-95, ГОСТ 2.703-68 *) і виконуватися, як правило, на аркушах формату А4 (ГОСТ 2.301-68 *).

Для зразку наведено розрахунково-графічний аналіз тягово-швидкісних властивостей автомобіля Daewoo Lanos на дорозі з кое-фіцієнтом сумарного дорожнього опору $\psi = 0,02$.

1 ЗАВДАННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧ-НОГО АНАЛІЗУ ТА ВИБІР ВИХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ

У завданні вказані модель автомобіля та значення коефіцієнта сумарного дорожнього опору ψ .

З довідника [1] вибирають для заданої моделі автомобіля вихідні дані, за якими ведуть розрахунки, а також реальні значення основних параметрів автомобіля, щоб порівняти їх з одержаними розрахунковими.

а) Вихідні дані для розрахунків

| | |
|---|------------------|
| Вид автомобіля - | легковий |
| Повна маса m , кг - | 1595 |
| Марка і тип двигуна - 1,5L SOHC бензиновий | |
| Максимальна потужність $N_{e \max}$, кВт - | 63 |
| Частота обертання вала двигуна при максимальній потужності n_N , хв^{-1} - | 5800 |
| Передаточні числа: | |
| коробки передач | |
| первая передача | $u_{k1} = 3,545$ |
| вторая передача | $u_{k2} = 2,048$ |
| третья передача | $u_{k3} = 1,346$ |
| четвертая передача | $u_{k4} = 0,971$ |
| пятая передача | $u_{k5} = 0,783$ |

| | |
|---|-----------|
| роздавальної коробки або розділювала - | немає |
| головної передачі u_0 - | 4,176 |
| Шини - | 175/70R13 |
| Статичний радіус колеса $r_{ст}$, м - | 0,265 |
| Габаритні розміри автомобіля: | |
| ширина B_r , м - | 1,678 |
| висота H_r , м - | 1,432 |
| ККД трансмісії η - | 0,92 |
| Коефіцієнт опору повітря k , Н с ² /м ⁴ - | 0,27 |

б) Реальні значення основних параметрів автомобіля для порівняння їх з розрахунковими:

| | |
|--|------|
| Максимальний крутний момент двигуна $M_{e\max}$, Н·м - | 130 |
| Частота обертання вала двигуна при максимальному крутному моменті n_M , хв ⁻¹ - | 3400 |
| Максимальна швидкість, V_{\max} , км/год - | 172 |
| Час розгону до 100 км/год t_p , с - | 12,5 |

При наявності роздавальної коробки або розподільника необхідно брати менше значення передаточного числа U_{PB} (вища передача).

Якщо головна передача автомобіля має кілька передаточних чисел, то слід вибрати менше з них.

Статичний радіус коліс вибирають, виходячи з розміру шин і відповідних стандартів, наведених у довіднику [1].

Якщо дані щодо статичного радіуса відсутні, його можна наближено визначити за формулою, м

$$r_{ст} = \frac{d}{2} + b(1 - \lambda)K_{ш}, \quad (1)$$

де d і b – відповідно діаметр обода колеса (внутрішній діаметр шини) і ширина профілю шини, м (визначають по маркуванню шин);

λ – коефіцієнт радіальної деформації шини, для шин звичайного профілю та широкопрофільних $\lambda = 0,1 \dots 0,16$ (менші значення беруть

для вантажних, а більші – для легкових автомобілів), для аркових шин та пневмокатків $\lambda = 0,2...0,3$;

$K_{ш}$ – коефіцієнт, що враховує форму профілю низькопрофільної шини – відношення висоти h до ширини b профілю шини [1].

Значення ККД трансмісії можна прийняти такими:

для легкових автомобілів і АТЗ на їх базі - 0,90...0,92;

для вантажних автомобілів і АТЗ на їх базі - 0,85...0,90;

з одинарною головною передачею

для двохосних вантажних автомобілів та АТЗ на їх базі з подвійною головною передачею та автомобілів підвищеної прохідності (4×4) - 0,83...0,85;

для трьохосних вантажних автомобілів та АТЗ на їх базі з приводом на два мости (6×4) - 0,80...0,83;

для трьохосних автомобілів підвищеної прохідності (6×6) та АТЗ на їх базі - 0,78...0,80.

При відсутності для даної моделі автомобіля точних величин коефіцієнта опору повітря слід користуватися такими орієнтовними даними $K, Н \cdot с^2 / м^4$:

гоночні автомобілі - 0,13...0,15;

легкові автомобілі:

із закритим кузовом - 0,20...0,35;

з відкритим кузовом - 0,40...0,50;

поодинокі вантажні автомобілі з кузовом:

бортова платформа - 0,55...0,70;

цистерна - 0,40...0,50;

фургон - 0,35...0,45;

автопоїзди дволанкові:

міжміські - 0,58...0,60;

з кузовом бортова платформа - 0,60...0,75.

Приєднання до автопоїзда кожного наступного причепа веде до підвищення опору повітря на 20...25% .

2 ЗОВНІШНЯ ШВИДКІСНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДВИГУНА

Якщо є можливість знайти графік реальної зовнішньої швидкісної характеристики поршньового двигуна внутрішнього згоряння, ді-

апазон частоти обертання від n_{\min} до n_{\max} розбивають на 6 – 8 ділянок (рекомендується з постійним інтервалом Δn , кратним 50 або 100) та для кожного значення частоти по графіку визначають відповідні значення ефективної потужності N_e , кВт та крутного моменту M_e , Н·м.

Якщо графіка реальної зовнішньої швидкісної характеристики немає, то її будують за допомогою емпіричної формули, яка дозволяє за координатами однієї точки швидкісної характеристики $(N_{e\max}; n_N)$ одержати всю криву потужності

$$N_e = N_{e\max} \left[A_1 \frac{n}{n_N} + A_2 \left(\frac{n}{n_N} \right)^2 - \left(\frac{n}{n_N} \right)^3 \right], \quad (2)$$

де N_e , кВт – ефективна потужність двигуна, відповідна частоті обертання вала двигуна n , хв⁻¹;

$N_{e\max}$, кВт – максимальна потужність двигуна, відповідна частоті обертання n_N , хв⁻¹;

A_1 та A_2 – емпіричні коефіцієнти, що характеризують тип двигуна на внутрішнього згорання.

Значення емпіричних коефіцієнтів A_1 та A_2 приймають такими: для бензинових двигунів $A_1=A_2=1,0$; для дизелів $A_1 = 0,5$; $A_2 = 1,5$.

Щоб вибрати значення n для розрахунків за формулою (2), діапазон частоти обертання вала двигуна від мінімально стійкої частоти n_{\min} до частоти n_N розбивають на будь-яке число ділянок (рекомендується 6 – 8 з постійним інтервалом Δn , кратним 50 або 100 для спрощення розрахунків).

$$\Delta n = \frac{n_N - n_{\min}}{6...8}. \quad (3)$$

Оскільки у бензинових двигунів легкових автомобілів, максимальна частота обертання колінчастого вала n_{\max} під час руху автомобіля з максимальною швидкістю більше на 10...20% ніж частота n_N , беруть ще одне значення n після n_N з тим же інтервалом Δn .

Мінімальну частоту обертання колінчастого вала n_{\min} вибирають у межах 400...800 хв⁻¹. Менші значення приймають для дизелів, більші – для бензинових двигунів легкових автомобілів та АТЗ на їх

базі, середні – для бензинових двигунів вантажних автомобілів та АТЗ на їх базі.

Для прийнятого прикладу $n_{\min} = 800 \text{ хв}^{-1}$.

$$\Delta n = \frac{5800 - 800}{8} = 625 \text{ хв}^{-1}.$$

Визначивши N_e щодо прийнятих величин n , обчислюють відповідні значення крутного моменту двигуна, Н·м

$$M_e = 9550 \frac{N_e}{n}. \quad (4)$$

Результати розрахунків за формулами (2) – (4) зводять до табл.1 і будують зовнішню швидкісну характеристику двигуна $N_e = f(n)$ та $M_e = f(n)$. Приблизний вид цієї характеристики наведено на рис.1. Для дизельних і бензинових двигунів вантажних автомобілів та автобусів зовнішню характеристику будують до точки, що відповідає n_N .

Таблиця 1 - Результати розрахунків зовнішньої швидкісної характеристики двигуна

| Параметри | Значення параметрів | | | | | | | | | |
|----------------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $n, \text{ хв}^{-1}$ | 800 | 1425 | 2050 | 2675 | 3300 | 3925 | 4550 | 5175 | 5800 | 6425 |
| $A_1(n/n_N)$ | 0,137 | 0,245 | 0,353 | 0,461 | 0,569 | 0,676 | 0,784 | 0,892 | 1,000 | 1,107 |
| $A_2(n/n_N)^2$ | 0,019 | 0,060 | 0,124 | 0,212 | 0,323 | 0,458 | 0,615 | 0,796 | 1,000 | 1,227 |
| $(n/n_N)^3$ | 0,002 | 0,014 | 0,044 | 0,098 | 0,184 | 0,309 | 0,482 | 0,710 | 1,000 | 1,359 |
| $N_e, \text{ кВт}$ | 9,72 | 18,35 | 27,36 | 36,28 | 44,64 | 51,96 | 57,78 | 61,62 | 63,00 | 61,46 |
| $M_e, \text{ Н} \cdot \text{ м}$ | 116,0 | 122,9 | 127,4 | 129,5 | 129,1 | 126,4 | 121,2 | 113,7 | 103,7 | 91,35 |

3 СИЛОВИЙ БАЛАНС І ДИНАМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА

Щоб побудувати графіки силового балансу для різних передач і швидкостей руху автомобіля, розраховують значення складових рівняння силового балансу, Н

$$P_k - P_\psi - P_w - P_j = 0. \quad (5)$$

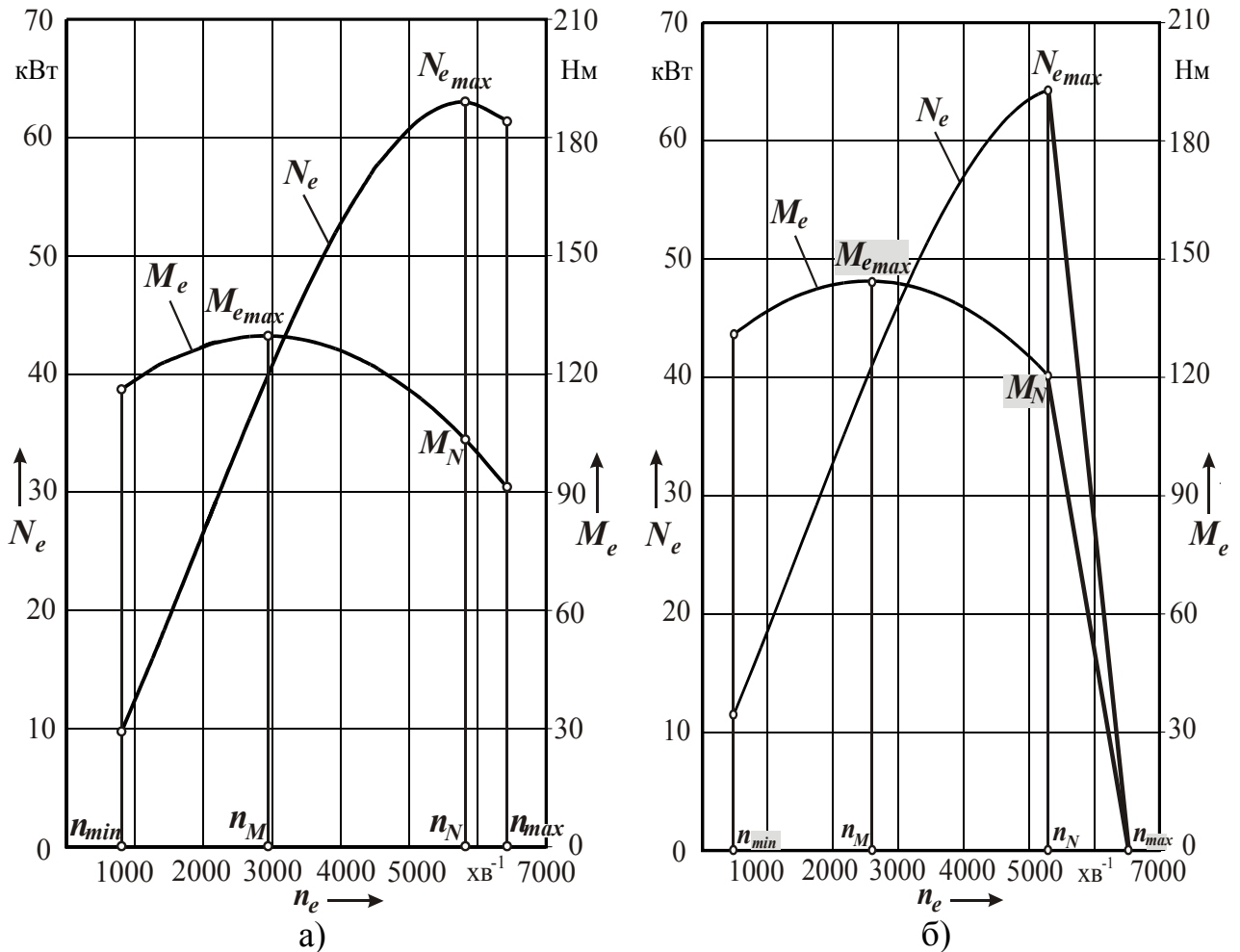


Рисунок 1 - Зовнішня швидкісна характеристика двигуна внутрішнього згорання: а) – бензинового без обмежувача частоти обертання вала двигуна; б) – дизельного та бензинового з обмежувачем

Тягове зусилля на ведучих колесах P_k визначають із виразу, Н

$$P_k = \frac{M_e \cdot U_{ki} \cdot U_{PB} \cdot U_o \cdot \eta}{r_D}, \quad (6)$$

де U_{ki} – передаточне число коробки передач i -й передачі;

r_D - динамічний радіус колеса, який за нормальних умов руху можна прийняти рівним статичному $r_{ст}$, м.

При відсутності роздавальної коробки приймають $U_{PB} = 1$.

Другу складову силового балансу – силу сумарного дорожнього опору, P_ψ , визначають за формулою, Н

$$P_{\psi} = G \cdot \psi, \quad (7)$$

де $G = m \cdot g$ – повна вага автомобіля, Н;

$g = 9,81$ – прискорення вільного падіння, м/с^2 .

В розрахунках не враховується вплив швидкості руху на коефіцієнт опору коченню, в зв'язку з чим вважають, що $\psi = \text{const}$.

Для Daewoo Lanos;

$$G = 9,81 \cdot 1595 = 15647 \text{ Н},$$

а при заданому $\psi = 0,02$

$$P_{\psi} = 0,02 \cdot 15647 = 312,94 \text{ Н}.$$

Сила опору повітря, Н

$$P_w = \frac{k \cdot F \cdot V^2}{3,6^2}, \quad (8)$$

де F – лобова площа, м^2 ;

V – швидкість автомобіля, км/год .

Лобова площа має бути визначена за кресленнями автомобіля, а при їх відсутності – наближено за формулою, м^2

$$F = \alpha \cdot B_r \cdot H_r, \quad (9)$$

де α – коефіцієнт заповнення площі, для легкових автомобілів $\alpha = 0,78 \dots 0,80$; для вантажних $\alpha = 0,75 \dots 0,90$ (більші значення приймають для автомобілів з більшою повною масою); для автобусів $\alpha = 0,85 \dots 0,95$ (менші значення приймають для автобусів малої місткості, а більші – великої).

Для Daewoo Lanos

$$F = 0,8 \cdot 1,678 \cdot 1,432 = 1,92 \text{ м}^2.$$

Сила опору розгону, Н

$$P_j = \frac{G}{g} \cdot \delta \cdot j, \quad (10)$$

де δ – коефіцієнт, що враховує вплив інерції обертових мас;
 j – прискорення автомобіля при поступальному русі, м/с².

Сила P_j на графіку визначається як різниця тягового зусилля P_k і сумарного опору руху ($P_\psi + P_w$).

Графік силового балансу і всі наступні будують у функції швидкості автомобіля V , км/год, яка пов'язана з частотою обертання вала двигуна n залежністю

$$V = 0,377 \frac{n \cdot r_k}{U_k \cdot U_{PB} \cdot U_0}, \quad (11)$$

де r_k – радіус кочення колеса (м), який при відсутності ковзання можна прийняти рівним статичному радіусу $r_{ст}$.

Динамічний фактор автомобіля D визначають для різних передач і швидкостей руху за формулою

$$D = \frac{P_k - P_w}{G} = \psi + \frac{\delta}{g} \cdot j. \quad (12)$$

Величини P_k , P_w , та D що змінюються при зміні швидкості, розраховують за формулами (6), (8), (12), зводять одержані розрахунки до таблиці 2 і будують графіки силового балансу (рис. 2) та динамічної характеристики (рис. 3).

Таблиця 2 - Результати розрахунків силового балансу та динамічної характеристики автомобіля Daewoo Lanos

| Параметри | | Значення параметрів | | | | | | | | | |
|----------------|------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| | n , хв ⁻¹ | 800 | 1425 | 2050 | 2675 | 3300 | 3925 | 4550 | 5175 | 5800 | 6425 |
| | M_e , Н·м | 116 | 122 | 127 | 129 | 129,2 | 126,4 | 121,3 | 113,7 | 103,7 | 91,35 |
| $Uk_1 = 3,545$ | V , км/ГОД | 5,40 | 9,62 | 13,83 | 18,05 | 22,27 | 26,49 | 30,71 | 34,92 | 39,14 | 43,36 |
| | P_k , Н | 5965 | 6319 | 6549 | 6656 | 6638 | 6497 | 6232 | 5843 | 5331 | 4694 |
| | P_w , Н | - | - | - | 13,04 | 19,84 | 28,06 | 37,71 | 48,79 | 61,28 | 75,20 |
| | $P_k - P_w$, Н | 5965 | 6319 | 6549 | 6643 | 6618 | 6469 | 6194 | 5795 | 5270 | 4619 |
| | D | 0,381 | 0,403 | 0,418 | 0,424 | 0,423 | 0,413 | 0,395 | 0,370 | 0,336 | 0,295 |

Продовження таблиці 2

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $Uk_2 = 2,048$ | V , км/ГОД | 9,35 | 16,65 | 23,95 | 31,25 | 38,55 | 45,85 | 53,15 | 60,45 | 67,75 | 75,05 |
| | P_k , Н | 3446 | 3650 | 3783 | 3845 | 3835 | 3753 | 3600 | 3376 | 3079 | 2712 |
| | P_w , Н | - | 11,1 | 22,9 | 39 | 59 | 84 | 113 | 146 | 183 | 225 |
| | $P_k - P_w$, Н | 3446 | 3639 | 3760 | 3806 | 3775 | 3669 | 3487 | 3229 | 2896 | 2487 |
| | D | 0,22 | 0,232 | 0,24 | 0,243 | 0,241 | 0,234 | 0,222 | 0,206 | 0,185 | 0,158 |
| $Uk_3 = 1,346$ | V , км/ГОД | 14,22 | 25,33 | 36,44 | 47,55 | 58,65 | 69,76 | 80,87 | 91,98 | 103,09 | 114 |
| | P_k , Н | 2264 | 2399 | 2486 | 2527 | 2520 | 2467 | 2366 | 2218 | 2024 | 1782 |
| | P_w , Н | - | 25,66 | 53,1 | 90,4 | 137,6 | 194,6 | 261,6 | 338,4 | 425 | 521 |
| | $P_k - P_w$, Н | 2264 | 2373 | 2433 | 2436 | 2383 | 2272,4 | 2104,8 | 1880,6 | 1599,1 | 1260,9 |
| | D | 0,144 | 0,151 | 0,155 | 0,155 | 0,152 | 0,145 | 0,134 | 0,120 | 0,102 | 0,080 |
| $Uk_4 = 0,971$ | V , км/ГОД | 19,71 | 35,11 | 50,51 | 65,91 | 81,31 | 96,70 | 112,10 | 127,50 | 142,90 | 158,30 |
| | P_k , Н | 1633 | 1730 | 1793 | 1823 | 1818 | 1779 | 1707 | 1600 | 1460 | 1285 |
| | P_w , Н | 15,54 | 49,31 | 102 | 173,7 | 264,4 | 374,0 | 502,6 | 650,2 | 816,8 | 1002 |
| | $P_k - P_w$, Н | 1618 | 1681 | 1691 | 1649 | 1553 | 1405 | 1204 | 950 | 643 | 283 |
| | D | 0,103 | 0,107 | 0,108 | 0,105 | 0,099 | 0,089 | 0,077 | 0,060 | 0,041 | 0,018 |
| $Uk_5 = 0,783$ | V , км/ГОД | 24,4 | 43,5 | 62,6 | 81,7 | 100,8 | 119,9 | 139,2 | 158,1 | 177,2 | 196,3 |
| | P_k , Н | 1317 | 1395 | 1446 | 1470 | 1466 | 1435 | 1376 | 1290 | 1177 | 1036 |
| | P_w , Н | 23 | 75 | 156 | 267 | 406 | 575 | 773 | 1000 | 1256 | 1541 |
| | $P_k - P_w$, Н | 1293 | 1319 | 1289 | 1202 | 1059 | 859 | 603 | 290 | -78,6 | -504 |
| | D | 0,082 | 0,084 | 0,082 | 0,076 | 0,067 | 0,055 | 0,038 | 0,018 | -0,005 | -0,032 |
| $P_{\psi} + P_w$ | 336 | 388 | 469 | 580 | 719 | 888 | 1086 | 1312 | 1569 | 1854 | |

Так, для автомобіля Daewoo Lanos при обертах $n = 800 \text{ хв}^{-1}$ тягове зусилля на першій передачі складе за формулою (6)

$$P_{k1} = \frac{3,545 \cdot 4,176 \cdot 0,92}{0,265} \cdot 116,07 = 5965,24 \text{ Н.}$$

Швидкість на першій передачі при цій же частоті обертів за формулою (11)

$$V_1 = 0,377 \frac{800 \cdot 0,265}{3,545 \cdot 4,176} = 5,4 \text{ км/ГОД.}$$

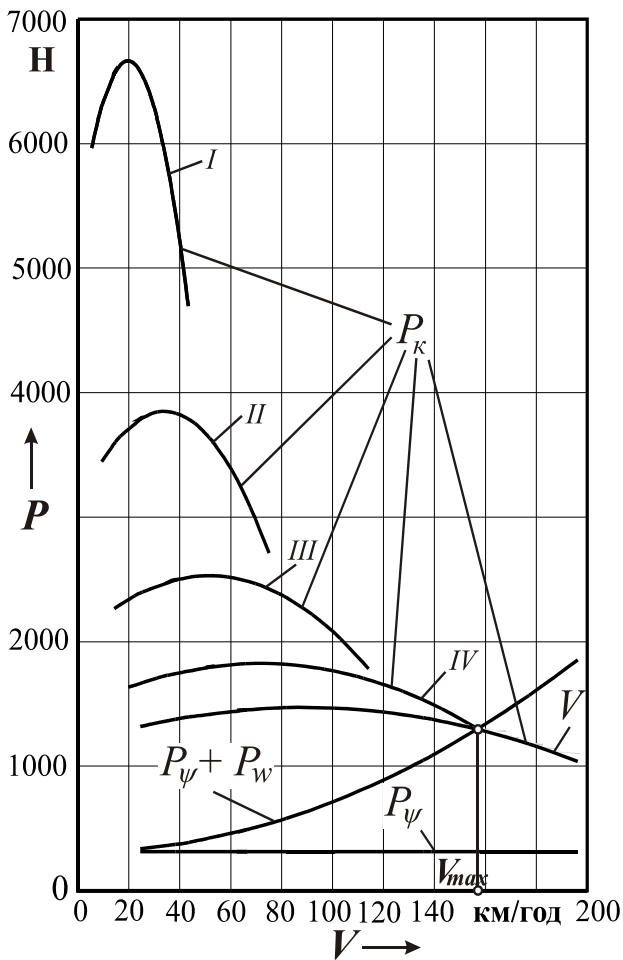


Рисунок 2 - Силовий баланс

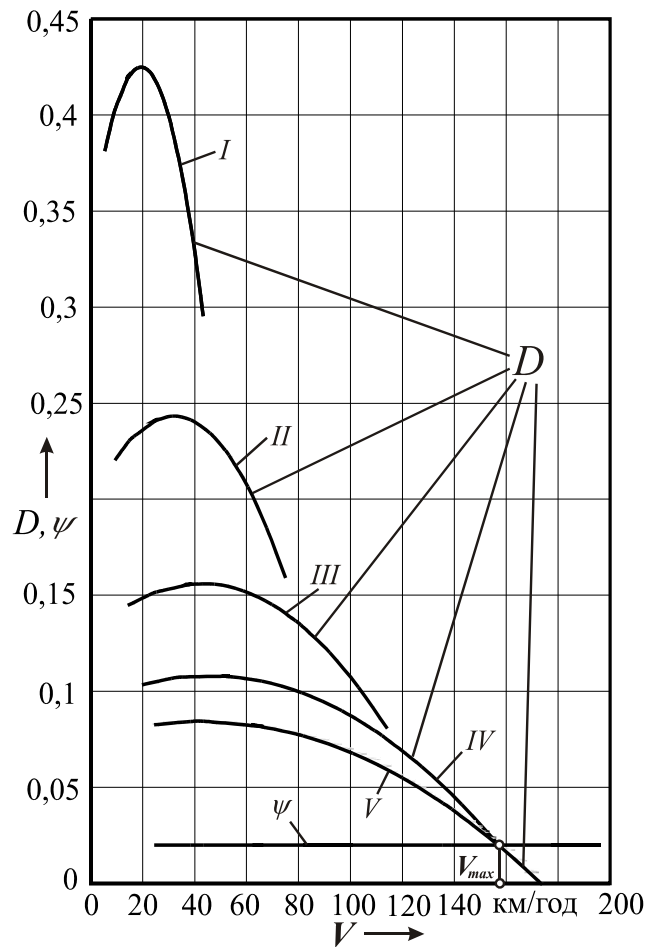


Рисунок 3 - Динамічна характеристика

Сила опору повітря за формулою (8)

$$P_w = \frac{0,27 \cdot 1,92 \cdot 5,4^2}{3,6^2} = 1,17 \text{ Н.}$$

При швидкості 5,4 км/год сила опору повітря складає досить малу величину, тому при розрахунках до швидкості 15 км/год приймають, що $P_w = 0 \text{ Н}$.

Динамічний фактор автомобіля при цій же частоті обертів на першій передачі

$$D = \frac{P_k - P_w}{G} = \frac{5965,24 - 0}{15647} = 0,3812.$$

Якщо величини при розрахунках приймають від’ємні значення, це означає що за даних умов рух автомобіля неможливий. Ці точки на графіках відображувати не потрібно.

Щоб побудувати графік силового балансу, визначають також суму $P_{\psi} + P_w$, яка залежить тільки від швидкості і не залежить від передаточного числа коробки передач. Тому цю суму необхідно визначити для всього можливого діапазону швидкості руху автомобіля на вищій передачі.

4 ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ РОЗГОНУ АВТОМОБІЛЯ

Показниками розгону автомобіля є прискорення, час і шлях розгону.

Прискорення j для різних передач і швидкостей визначають за значеннями D з табл. 2.

Для цього використовують формулу

$$j = (D - \psi) \frac{g}{\delta}, \quad (13)$$

де δ – коефіцієнт впливу інерції обертових мас, який розраховують за формулою $\delta = 1,04 + 0,04 \cdot U_{k1}^2 \cdot U_{PB}^2$ для кожної передачі.

В даному прикладі $\delta_1 = 1,5427$; $\delta_2 = 1,2078$; $\delta_3 = 1,1125$; $\delta_4 = 1,0777$; $\delta_5 = 1,0645$.

Розрахункові дані для графіка прискорень зводять до табл. 3.

Таблиця 3 - Результати розрахунків прискорень і величин, зворотних прискоренням

| Параметри | | Значення параметрів | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| $n, \text{хв}^{-1}$ | | 800 | 1425 | 2050 | 2675 | 3300 | 3925 | 4550 | 5175 | 5800 | 6425 |
| $\delta_1=1,542$ $U_{k1}=3,54$ | $V, \text{км/ГОД}$ | 5,40 | 9,62 | 13,83 | 18,05 | 22,27 | 26,49 | 30,71 | 34,92 | 39,14 | 43,36 |
| | D | 0,381 | 0,403 | 0,418 | 0,424 | 0,423 | 0,413 | 0,395 | 0,370 | 0,336 | 0,295 |
| | $D - \psi$ | 0,361 | 0,383 | 0,398 | 0,404 | 0,403 | 0,393 | 0,375 | 0,350 | 0,316 | 0,275 |
| | $j, \text{м/с}^2$ | 2,297 | 2,441 | 2,535 | 2,573 | 2,563 | 2,502 | 2,391 | 2,228 | 2,015 | 1,750 |
| | $\frac{1}{j}, \text{с}^2/\text{м}$ | 0,435 | 0,410 | 0,395 | 0,389 | 0,390 | 0,400 | 0,418 | 0,449 | 0,496 | 0,571 |

Продовження таблиці 3

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | |
|-------------------------------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| $\delta_2=1,207$ $U_{k_2}=2,048$ | V , км/ГОД | 9,35 | 16,65 | 23,95 | 31,25 | 38,55 | 45,85 | 53,15 | 60,45 | 67,75 | 75,05 |
| | D | 0,220 | 0,232 | 0,240 | 0,243 | 0,241 | 0,234 | 0,222 | 0,206 | 0,185 | 0,158 |
| | $D - \psi$ | 0,200 | 0,212 | 0,220 | 0,223 | 0,221 | 0,214 | 0,202 | 0,186 | 0,165 | 0,138 |
| | j , м/с ² | 1,626 | 1,727 | 1,790 | 1,813 | 1,798 | 1,743 | 1,648 | 1,514 | 1,341 | 1,129 |
| | $1/j$, с ² /м | 0,615 | 0,579 | 0,559 | 0,551 | 0,556 | 0,574 | 0,607 | 0,660 | 0,746 | 0,886 |
| $\delta_3=1,112$ $U_{k_3}=1,34$ | V , км/ГОД | 14,22 | 25,33 | 36,44 | 47,55 | 58,65 | 69,76 | 80,87 | 91,98 | 103,09 | 114,20 |
| | D | 0,144 | 0,151 | 0,155 | 0,155 | 0,152 | 0,145 | 0,134 | 0,120 | 0,102 | 0,080 |
| | $D - \psi$ | 0,124 | 0,131 | 0,135 | 0,135 | 0,132 | 0,125 | 0,114 | 0,100 | 0,082 | 0,060 |
| | j , м/с ² | 1,100 | 1,161 | 1,195 | 1,197 | 1,167 | 1,104 | 1,010 | 0,883 | 0,725 | 0,534 |
| | $1/j$, с ² /м | 0,909 | 0,861 | 0,837 | 0,835 | 0,857 | 0,906 | 0,990 | 1,132 | 1,380 | 1,872 |
| $\delta_4=1,077$ $U_{k_4}=0,971$ | V , км/ГОД | 19,71 | 35,11 | 50,51 | 65,91 | 81,31 | 96,70 | 112,10 | 127,50 | 142,90 | 158,30 |
| | D | 0,103 | 0,107 | 0,108 | 0,105 | 0,099 | 0,089 | 0,077 | 0,060 | 0,041 | 0,011 |
| | $D - \psi$ | 0,083 | 0,087 | 0,088 | 0,085 | 0,079 | 0,069 | 0,057 | 0,040 | 0,021 | -0,002 |
| | j , м/с ² | 0,759 | 0,796 | 0,802 | 0,777 | 0,722 | 0,636 | 0,519 | 0,371 | 0,192 | -0,017 |
| | $1/j$, с ² /м | 1,317 | 1,256 | 1,247 | 1,286 | 1,385 | 1,573 | 1,928 | 2,697 | 5,201 | -58,62 |
| $\delta_5=1,06$ $U_{k_5}=0,783$ | V , км/ГОД | 24,44 | 43,54 | 62,64 | 81,73 | 100,8 | 119,9 | 139,0 | 158,1 | 177,21 | 196,31 |
| | D | 0,082 | 0,084 | 0,082 | 0,076 | 0,067 | 0,055 | 0,038 | 0,018 | -0,005 | -0,032 |
| | $D - \psi$ | 0,062 | 0,064 | 0,062 | 0,056 | 0,047 | 0,035 | 0,018 | -0,001 | -0,025 | -0,052 |
| | j , м/с ² | 0,578 | 0,593 | 0,575 | 0,524 | 0,440 | 0,322 | 0,171 | -0,013 | -0,231 | -0,481 |
| | $1/j$, с ² /м | 1,731 | 1,686 | 1,738 | 1,908 | 2,274 | 3,104 | 5,84 | -76,50 | -4,336 | -2,077 |

В таблиці 3 також приведені значення величин $1/j$, які використовуватимуться при визначенні часу розгону АТЗ.

За даними табл. 3 будують графіки прискорень (рис. 4) і величин, зворотних прискоренням $1/j$ (рис. 5).

Оскільки при максимальній швидкості для автомобіля прискорення $j = 0$, а обернена величина $1/j = \infty$, графік $1/j=f(V)$ обмежують швидкістю, яка приблизно відповідає $0,9 \cdot V_{\max}$. Для наведеного при-

кладу це обмеження становить приблизно 141 км/год ($0,9 \cdot 157 = 141$ км/год). Швидкості 141 км/год відповідає $j = 0,154$ м/с².

Час розгону одержують як інтеграл функції

$$t = \int_{V_1}^{V_2} \frac{1}{j} \cdot dV . \quad (14)$$

При виконанні розрахунково-графічної роботи рекомендується застосовувати графічне інтегрування функції $1/j = f(V)$. Для цього площу під кривими в інтервалі від V_{\min} до $0,9 \cdot V_{\max}$ ділять на будь-яке число ділянок $1/j = f(V)$ (рекомендується сім або вісім).

Перехід з однієї передачі на другу вибирають при однакових або при найбільш близьких значеннях j і відповідно $1/j$.

При цьому кожна ділянка буде обмежена частиною осі абсцис V , частиною кривої $1/j = f(V)$ і ординатами точок цієї кривої, які відповідають початковій та кінцевій швидкостям даного інтервалу. Площі цих ділянок в певному масштабі є часом розгону у відповідному інтервалі швидкостей на даній дорозі. Наприклад, час розгону автомобіля на i -й ділянці t_i (с) від швидкості V_i до V_{i+1}

$$t_i = m_{1/j} \cdot m_V \cdot F_{ii}, \quad (15)$$

де $m_{1/j} \left[\frac{\text{с}^2 / \text{М}}{\text{ММ}} \right]$ і $m_V \left[\frac{\text{М/с}}{\text{ММ}} \right]$ - масштаби відповідно для величин $1/j$ та швидкості V ;

F_{ii} - площа i -ої ділянки на графіку $\frac{1}{j} = f(V)$, мм².

Оскільки на графіку швидкість наведена в кілометрах за годину і її масштаб $m'_V \left[\frac{\text{КМ/ГОД}}{\text{ММ}} \right]$ то масштаб $m_V \left[\frac{\text{М/с}}{\text{ММ}} \right]$ визначимо як $m'_V / 3,6$.

Вираз 15 прийме вид

$$t_i = m_{1/j} \cdot m'_V \cdot F_{ii} \cdot \frac{1}{3,6} \quad (16)$$

Підрахувавши площі ділянок F_{ii} і зростаючу суму $\sum F_{ii}$ за формулою (15), обчислюють час розгону $\sum t_i$, зводять результати розрахунків до табл. 4 і будують графік часу розгону (рис. 6).

Наближені обчислювання площі F_{ii} зручно вести, якщо прийняти кожен ділянку за трапецію.

Таблиця 4 - Результати обчислювання часу розгону

| Параметри | Значення параметрів | | | | | | | | |
|---------------------------------|---------------------|------|-----|------|-------|-------|-------|-------|---------------|
| V , км/год | V_{\min} | 26 | 43 | 60,5 | 75 | 92 | 114 | 127,5 | $0,9V_{\max}$ |
| F_{ii} , мм ² | 0 | 321 | 296 | 394 | 421 | 658 | 1205 | 1160 | 1817 |
| $\sum F_{ii}$, мм ² | 0 | 321 | 617 | 1011 | 1432 | 2090 | 3296 | 4456 | 6273 |
| $\sum t_i$, с | 0 | 2,34 | 4,5 | 7,37 | 10,44 | 15,24 | 24,03 | 32,49 | 45,74 |

Площа трапеції дорівнює пів суми основ, помножених на висоту. Наприклад, для площі F_{i3} з рис.5 в мм²

$$F_{i3} = \frac{AB + CD}{2} \cdot AD, \quad (17)$$

де AB , CD , AD - довжина відповідних відрізків трапеції, мм

Шлях розгону автомобіля визначають аналогічно графічним інтегруванням функції $t = f(V)$, підраховуючи відповідні площі графіка часу розгону. При цьому мають на увазі, що

$$V = \frac{dS}{dt}; \quad dS = V \cdot dt; \quad S = \int_{t_1}^{t_2} V \cdot dt. \quad (18)$$

Методика розрахунку і будовання графіка аналогічна попередній. Площу над кривою $t = f(V)$ в інтервалі від V_{\min} до $0,9 \cdot V_{\max}$ розбивають на будь-яку кількість ділянок (рекомендується п'ять або шість).

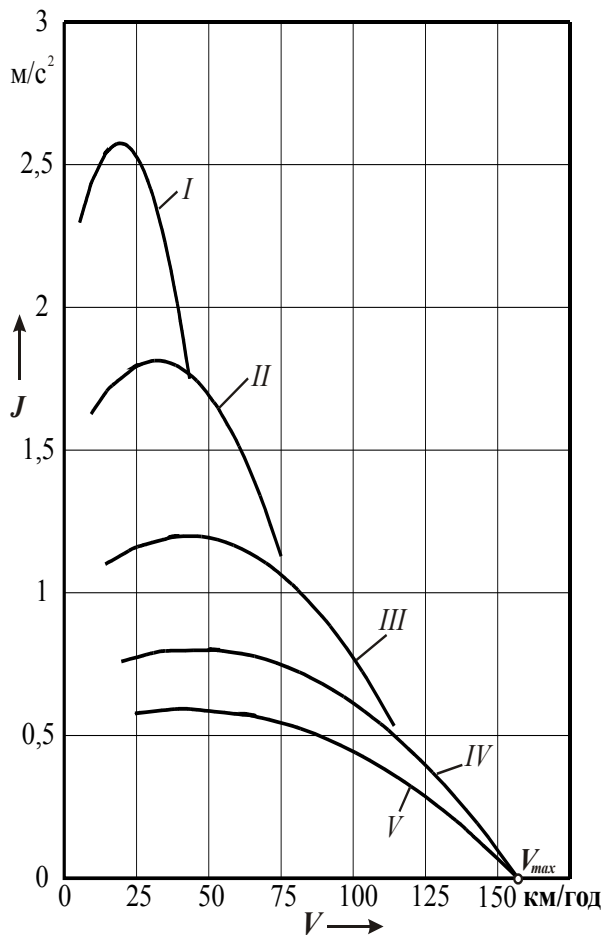


Рисунок 4 - Графік прискорень

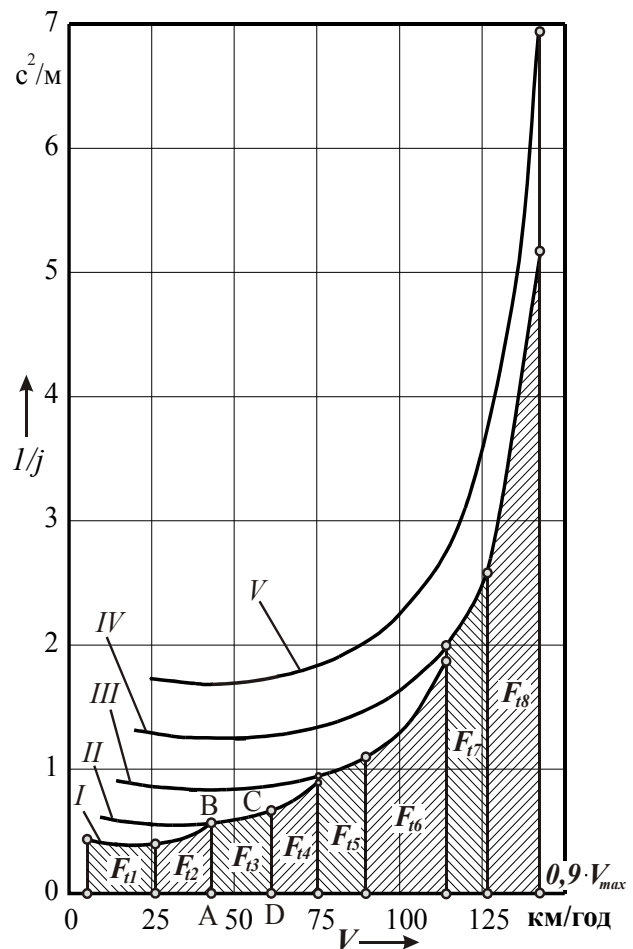


Рисунок 5 - Графік величин, обернених прискоренням

Кожна ділянка обмежена частиною осі ординат t , частиною кривої $t = f(V)$ та абсцисами точок цієї кривої, відповідних початковій та кінцевій швидкостям обраного інтервалу швидкостей на даній дорозі. Наприклад, шлях розгону автомобіля S_i , м на i -й ділянці від швидкості V_i до V_{i+1} , м

$$S_i = m_V \cdot m_t \cdot F_{si}, \quad (19)$$

де m_t [с/мм] - масштаб часу;

F_{si} - площа i -ої ділянки на графіку $t = f(V)$, мм².

Оскільки на графіку швидкість наведена в кілометрах за годину і її масштаб $m'_V \left[\frac{\text{км/год}}{\text{мм}} \right]$ то масштаб $m_V \left[\frac{\text{м/с}}{\text{мм}} \right]$ визначимо як $m_V = m'_V / 3,6$.

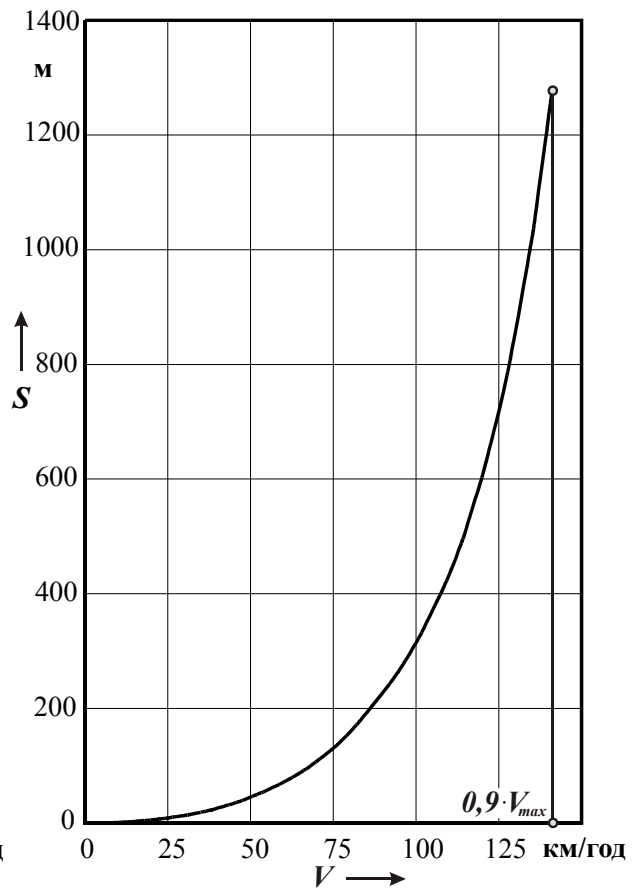
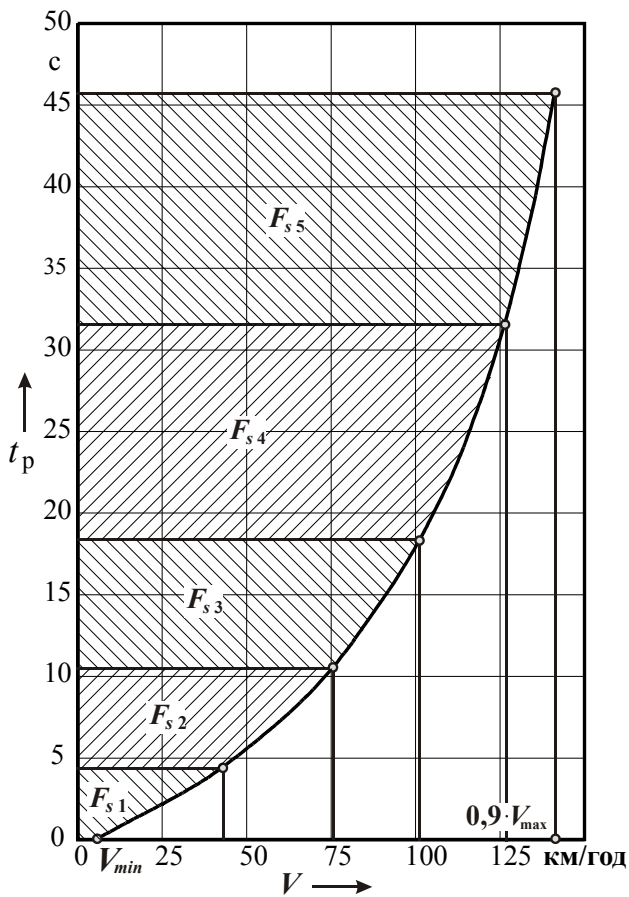


Рисунок 6 - Графік часу розгону Рисунок 7 - Графік шляху розгону

Вираз 19 прийме вигляд

$$S_i = m_t \cdot m'_V \cdot F_{si} \cdot \frac{1}{3,6}. \quad (20)$$

Підррахувавши площі ділянок F_{si} і наростаючу суму площі $\sum F_{si}$, за формулою (17) обчислюють шлях розгону $\sum S_i$, зводять розрахунки до табл. 5 і будують графік шляху розгону (см. рис. 7).

Таблиця 5 – Результати обчислювання шляху розгону

| Параметр | Значення параметрів | | | | | |
|----------------------------|---------------------|-------|--------|-------|--------|---------------------|
| | V_{min} | 43 | 75 | 100 | 127,5 | $0,9 \cdot V_{max}$ |
| $F_{si}, \text{м}^2$ | 0 | 4324 | 13657 | 27276 | 61877 | 67997 |
| $\sum F_{si}, \text{мм}^2$ | 0 | 4324 | 17981 | 45257 | 107135 | 175131 |
| $\sum S_i, \text{м}$ | 0 | 31,53 | 131,11 | 330 | 781,19 | 1277 |

5 БАЛАНС ПОТУЖНОСТІ

Рівняння балансу потужності можна записати аналогічно рівнянню силового балансу, кВт

$$N_k - N_\psi - N_w - N_j = 0, \quad (21)$$

де N_k – потужність, підведена до ведучих коліс;

N_ψ, N_w – потужності, що витрачаються відповідно на подолання сумарного дорожнього опору і опору повітря;

N_j – потужність, що використовується для розгону.

Спочатку обчислюють потужність, підведену до ведучих коліс N_k . Цю величину визначають через потужність N_e (табл. 1) з урахуванням втрат у трансмісії, кВт

$$N_k = N_e \cdot \eta. \quad (22)$$

Значення потужностей N_ψ, N_w розраховують з використанням величин P_ψ та P_w , що беруть з табл. 2 для вищої передачі з метою забезпечення повного діапазону швидкостей руху автомобіля, кВт

$$N_\psi = \frac{P_\psi \cdot V}{3600}, \quad (23)$$

$$N_w = \frac{P_w \cdot V}{3600}. \quad (24)$$

З табл. 2 беруть також значення швидкості руху автомобіля на всіх передачах, відповідних прийнятим раніше величинам частоти обертання колінчастого вала двигуна. Одержані результати розрахунків зводять до табл. 6 і за її даними будують графік балансу потужності автомобіля (рис. 8).

На графіку балансу потужності будують такі залежності потужностей від швидкості руху автомобіля:

$N_e = f(V)$ - тільки для вищої передачі;

$N_k = f(V)$ - для всіх передач;

$N_\psi = f(V)$ і $N_\psi + N_w = f(V)$ для діапазону швидкостей вищої передачі.

Таблиця 6 - Результати розрахунків складових балансу потужності

| Параметри | Значення параметрів | | | | | | | | | | |
|----------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $n_e, \text{хв}^{-1}$ | 800 | 1425 | 2050 | 2675 | 3300 | 3925 | 4550 | 5175 | 5800 | 6425 | |
| $N_e, \text{кВт}$ | 9,72 | 18,35 | 27,36 | 36,28 | 44,64 | 51,96 | 57,78 | 61,62 | 63,00 | 61,46 | |
| $N_k, \text{кВт}$ | 8,95 | 16,88 | 25,17 | 33,37 | 41,06 | 47,80 | 53,16 | 56,69 | 57,96 | 56,54 | |
| $V, \text{км/год}$ | u_{k1} | 5,40 | 9,62 | 13,83 | 18,05 | 22,27 | 26,49 | 30,71 | 34,92 | 39,14 | 43,36 |
| | u_{k2} | 9,35 | 16,65 | 23,95 | 31,25 | 38,55 | 45,85 | 53,15 | 60,45 | 67,75 | 75,05 |
| | u_{k3} | 14,22 | 25,33 | 36,44 | 47,55 | 58,65 | 69,76 | 80,87 | 91,98 | 103,09 | 114,20 |
| | u_{k4} | 19,71 | 35,11 | 50,51 | 65,91 | 81,31 | 96,70 | 112,10 | 127,50 | 142,90 | 158,30 |
| | u_{k5} | 24,44 | 43,54 | 62,64 | 81,73 | 100,83 | 119,92 | 139,02 | 158,12 | 177,21 | 196,31 |
| $N_\psi, \text{кВт}$ | 2,12 | 3,78 | 5,44 | 7,10 | 8,76 | 10,42 | 12,08 | 13,74 | 15,40 | 17,06 | |
| $N_w, \text{кВт}$ | 0,16 | 0,92 | 2,73 | 6,07 | 11,39 | 19,16 | 29,85 | 43,92 | 61,84 | 84,06 | |
| $N_\psi + N_w, \text{кВт}$ | 2,29 | 4,70 | 8,18 | 13,17 | 20,15 | 29,59 | 41,94 | 57,67 | 77,24 | 101,12 | |

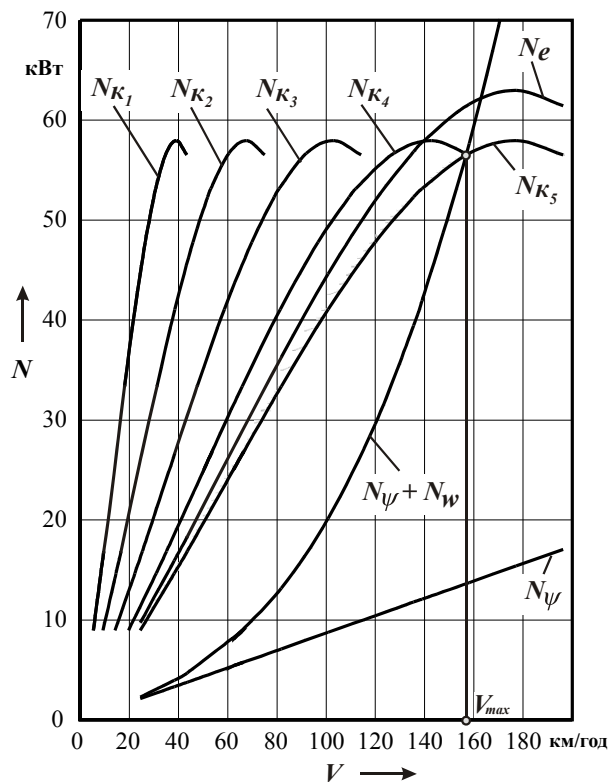


Рисунок 8 - Графік балансу потужності автомобіля

Потужність N_j визначається на графіку як різниця, кВт

$$N_j = N_k - (N_\psi + N_w). \quad (25)$$

6 АНАЛІЗ ТЯГОВО-ШВИДКІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АВТОМОБІЛЯ

За зовнішньою швидкісною характеристикою двигуна визначають значення максимального крутного моменту $M_{e\max}$, частоту обертання колінчастого вала при максимальному крутному моменті n_m і момент при максимальній потужності M_N . Одержані значення $M_{e\max}$ і n_m порівнюють з реальними даними. За значеннями $M_{e\max}$ і M_N можна обчислити коефіцієнт пристосованості двигуна

$$K_{\text{пр}} = \frac{M_{e\max}}{M_N}. \quad (26)$$

Для двигуна автомобіля Daewoo Lanos значення $M_{e\max} \approx 129.5 \text{ Н}\cdot\text{м}$ розраховане за формулою (4), дещо більше, а $n_m \approx 2700 \text{ хв}^{-1}$. – менше від реального значення, що пояснюється наближеністю вихідної формули (2)

$$K_{\text{пр}} = \frac{129,5}{103,73} = 1,25.$$

За графіком силового балансу визначають максимально можливу швидкість руху автомобіля V_{\max} щодо заданих дорожніх умов ψ . Її можна також визначити за допомогою динамічної характеристики, графіка прискорень та балансу потужності автомобіля. При вірному побудуванні цих залежностей максимальні значення швидкості будуть для всіх графіків однаковими. За динамічною характеристикою автомобіля на кожній передачі визначають максимальний дорожній опір $\psi_{\max i}$, який може подолати автомобіль, критичну швидкість $V_{\text{кри}}$ і максимальний підйом дороги, що може подолати

автомобіль $i_{\max i}$ при коефіцієнті опору коченню $f=0,10$ (грунтова дорога після дощу).

Максимальний підйом дороги, що може подолати автомобіль

$$i_{\max i} = \psi_{\max i} - f. \quad (27)$$

Одержані значення підйому наводять у процентах.

Для автомобіля Daewoo Lanos наведені вище параметри становлять:

$$V_{\max} \approx 157 \text{ км/ГОД}$$

| | | |
|---|---|-------------------------|
| $\psi_{\max 1} = D_{\max 1} \approx 0,4246$ | $V_{\text{кр}1} \approx 18,05 \text{ км/ГОД}$ | $i_{\max 1} = 32,46 \%$ |
| $\psi_{\max 2} = D_{\max 2} \approx 0,2433$ | $V_{\text{кр}2} \approx 31,25 \text{ км/ГОД}$ | $i_{\max 2} = 14,33 \%$ |
| $\psi_{\max 3} = D_{\max 3} \approx 0,1557$ | $V_{\text{кр}3} \approx 47,55 \text{ км/ГОД}$ | $i_{\max 3} = 5,57 \%$ |
| $\psi_{\max 4} = D_{\max 4} \approx 0,1081$ | $V_{\text{кр}4} \approx 50,51 \text{ км/ГОД}$ | $i_{\max 4} = 0,81 \%$ |
| $\psi_{\max 5} = D_{\max 5} \approx 0,0844$ | $V_{\text{кр}5} \approx 43,54 \text{ км/ГОД}$ | $i_{\max 5} = -1,56 \%$ |

Від'ємне значення підйому означає, що рух на 5-й передачі по заданій дорозі неможливий.

За допомогою графіка прискорень визначають максимальне прискорення $i_{\max i}$ на кожній передачі та оптимальні швидкості переходу $V_{\text{пер}}$ з однієї передачі на другу на даній дорозі.

За допомогою графіків часу і шляху розгону для прийнятого дорожнього опору визначають відповідно час і шлях розгону автомобіля до швидкості 100 км/год (для легкових автомобілів та АТЗ на їх базі) і до 60 км/год (для вантажних автомобілів та АТЗ на їх базі).

У наведеному прикладі ці параметри становлять:

$$j_{\max 1} = 2,573 \text{ м/с}^2; \quad V_{\text{пер}1-2} = 45 \text{ км/ГОД}; \quad t_{100} = 18,5 \text{ с};$$

$$j_{\max 2} = 1,813 \text{ м/с}^2; \quad V_{\text{пер}2-3} = 75 \text{ км/ГОД}; \quad S_{100} = 330 \text{ м}.$$

$$j_{\max 3} = 1,197 \text{ м/с}^2; \quad V_{\text{пер}3-4} = 114 \text{ км/ГОД};$$

$$j_{\max 4} = 0,802 \text{ м/с}^2; \quad V_{\text{пер}4-5} = 142 \text{ км/ГОД};$$

$$j_{\max 5} = 0,593 \text{ м/с}^2;$$

ЛІТЕРАТУРА

1. Краткий автомобильный справочник в 4-х томах / Кисуленко Б.В. и др. – М.: НПСТ «Трансконсалтинг», 2002.
2. Краткий автомобильный справочник / А.Н. Понизвонин, Ю.М. Власко, М.Д. Ляликов и др. – М.: АО «Трансконсалтинг», НИИАТ, 1994 – 779 с.
2. Волков В.П. Теорія експлуатаційних властивостей. Навч. посібник. – Харків: ХНАДУ, 2003. - 292 с.
3. Литвинов А.С., Форобин Я.Е. Автомобили. Теория эксплуатационных свойств.- М.: Машиностроение, 1989 – 240с.
4. Гришкевич А.И. Автомобили. Теория. – Мн.:Высш.шк., 1986 – 208с.
5. Вахламов В.К. Автомобили: Эксплуатационные свойства. – М.: Издательский центр «Авкадемия», 2006. – 240с.