

Кафедра «Автомобили»

**ТЯГОВАЯ ДИНАМИКА И ТОПЛИВНАЯ
ЭКОНОМИЧНОСТЬ АВТОМОБИЛЯ
С МЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ**

Учебно-методическое пособие
для студентов специальностей

Т.04.02 – «Эксплуатация транспортных средств»,
Т.04.03 – «Организация движения и управление на транспорте»,
Т.04.06 – «Автомобили»

Кафедра «Автомобили»

ТЯГОВАЯ ДИНАМИКА И ТОПЛИВНАЯ
ЭКОНОМИЧНОСТЬ АВТОМОБИЛЯ
С МЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ

Учебно-методическое пособие
для студентов специальностей

Т.04.02 – «Эксплуатация транспортных средств»,

Г.04.03 – «Организация движения и управление на транспорте»,

Т.04.06 – «Автомобили»

Руктецель О.С. Тяговая динамика и топливная экономичность автомобиля с механической трансмиссией: Учебно-метод. пособие для студентов спец. Т.04.02 – «Эксплуатация транспортных средств», Т.04.03 – «Организация движения и управление на транспорте», Т.04.06 – «Автомобили» / О.С.Руктецель, Б.В.Бобровский, М.С.Лебедев, Л.А.Молибошко, С.Г.Якутович. – Мн.: БГПА, 2001. – 85 с.

О.С.Руктецель, Б.В.Бобровский, М.С.Лебедев,
Л.А.Молибошко, С.Г.Якутович

Учебно-методическое пособие предназначено для ознакомления студентов автотранспортных специальностей с основами теории и приобретения практических навыков при выполнении курсовой (контрольной) работы по оценке тягово-динамических и топливно-экономических свойств автомобиля.

Рецензент В.М. Беляев

Введение

Данное учебно-методическое пособие является вспомогательным материалом для студентов автотранспортных специальностей, выполняющих контрольные и курсовые работы, а также курсовые и дипломные проекты, включающие в себя раздел «Тягово-динамические и топливно-экономические свойства автомобиля».

Указанные эксплуатационные свойства автомобиля характеризуют возможность его эффективного использования в заданных условиях, позволяя оценить, в какой мере его конструкция соответствует требованиям эксплуатации.

Под тяговой динамичностью понимается свойство автомобиля перевозить грузы и пассажиров с максимально возможной скоростью в заданных дорожных условиях. Отсюда следует, что чем лучше динамичность автомобиля, тем выше его производительность.

Топливная экономичность автомобиля характеризует его свойство рационально использовать энергию сжигаемого топлива. Чем меньше расход топлива, тем дешевле эксплуатация автомобиля.

В предлагаемом пособии изложены методики: построения внешних скоростных характеристик карбюраторного и дизельного двигателей; тяговой характеристики автомобиля и ее практического использования; мощностной характеристики; динамической характеристики автомобиля и ее практического использования; определения параметров разгона автомобиля; практического использования скоростных характеристик времени и пути разгона автомобиля. Приведены оценочные показатели топливной экономичности автомобиля, уравнение расхода топлива и топливная характеристика установившегося движения.

В приложениях к пособию приведены основные технические данные современных автомобилей и автобусов.

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ (КОНТРОЛЬНОЙ) РАБОТЫ

Курсовая (контрольная) работа предназначена для закрепления знаний студентов по дисциплинам «Теория движения автомобиля», «Автомобили» и «Технические средства и их эксплуатационные свойства».

При выполнении курсовой (контрольной) работы студент должен проанализировать тягово-скоростные и топливно-экономические свойства автомобиля. При анализе тягово-скоростных и топливно-экономических свойств студент использует данные технических характеристик заданного автомобиля.

Курсовая (контрольная) работа выполняется на листах писчей бумаги размером 210x297 мм и брошюруется без применения металлических элементов. Обложка изготавливается из ватмана, графики вычерчиваются па миллиметровой бумаге. Все страницы пояснительной записки должны быть пронумерованы в правом верхнем углу каждого листа.

Выполняя анализ тягово-скоростных и топливно-экономических свойств автомобиля, студент должен привести расчетные формулы, сопроводить их пояснениями, обосновать, если необходимо, выбор постоянных величин (коэффициентов), подставить в формулу известные величины и провести расчет одной точки каждой кривой. Расчет остальных пяти-шести точек в пояснительной записке не проводить, а результаты расчета этих точек внести в таблицы (формы таблиц приведены ниже в соответствующих разделах данного учебного пособия).

2. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

Варианты заданий для выполнения курсовой (контрольной) работы представлены в табл. 2.1. Вариант задания выбирается по двум последним цифрам шифра зачетной книжки студента. Если это число превышает цифру 50, то номер варианта определяется по разности числа 100 и двух последних цифр шифра. Например, если шифр зачетной книжки 301115/453, то номер варианта будет: $100 - 53 = 47$.

Таблица 2.1

Варианты заданий

№ варианта	Марка автомобиля	№ варианта	Марка автомобиля
1	2	3	4
1	МАЗ-103.1	4	Peugeot 406 2.0 SV
2	Nissan Almera 1.6 SLX	5	Fiat Brava 1.6
3	Mercedes-Benz W210 E 420	6	МАЗ-5433-03802

1	2	3	4
7	Mitsubishi Space Gear 2.51D 4x4	29	Volvo V40 VW 1972
8	МАЗ-104 С.1	30	МАЗ-55513
9	ВАЗ-21093	31	МАЗ-104370
10	МАЗ-63038	32	МАЗ-103.3
11	ЗИЛ-5301 "Бычок"	33	Nissan Pickup Double
12	МАЗ-105.1	34	МАЗ-104.3
13	Opel Corsa Swing 1.5D	35	Mercedes-Benz 312D Sprinter
14	ГАЗ-4301	36	МАЗ-105.4
15	МАЗ-104 С.2	37	ВАЗ-21099
16	Kia Sportage 2.0 MRi (DOHC)	38	Toyota Land Cruiser 100
17	МАЗ-53371	39	МАЗ-103.2
18	МАЗ-103С.1	40	Land Rover Freelander
19	ВАЗ-2105	41	Fiat Bravo 2.0
20	BMW 528i	42	МАЗ-104.1
21	МАЗ-105.3	43	Renault Kangoo Express 1,9D
22	МАЗ-104 С.3	44	Ford Escort (AFL)
23	Ford Escort Express 1,8D	45	МАЗ-5516
24	МАЗ-103С.2	46	Opel Combo 1,7 D
25	Daewoo Nexia	47	МАЗ-104.2
26	Ford Transit Van 100S	48	Volkswagen Caddy 1,9 TDi
27	МАЗ-53366	49	МАЗ-105.2
28	Opel Vectra X17 DT	50	Mercedes-Benz W210 E 220 D

Для составления краткой технической характеристики автомобиля следует воспользоваться необходимой справочной литературой, а также данными, приведенными в приложениях к пособию.

Перечень необходимых для расчета величин технической характеристики автомобиля, их обозначение и размерность приведены в табл. 2.2, которую студентам необходимо заполнить. После заполнения таблицы анализируются ее показатели и выбираются необходимые исходные данные для выполнения курсовой (контрольной) работы.

Краткая техническая характеристика автомобиля
(параметры автомобиля, необходимые для выполнения курсовой работы)

№ п/п	Параметр	Обозначение	Размерность	Величина параметра
1	2	3	4	5
1	Марка и тип автомобиля	—	—	—
2	Колесная формула	—	—	—
3	Масса перевозимого груза или число пассажиров	m_r n_p	кг чел.	
4	Собственная масса снаряженного автомобиля	m_o	кг	
5	Полная масса автомобиля	m_a	кг	
6	Распределение массы автомобиля по мостам: на передний мост на задний мост (тележку)	m_1 $m_{2(r)}$	кг кг	
7	База автомобиля	L	м	
8	Колея автомобиля	B	м	
9	Габаритные размеры: длина ширина высота	L_t B_r H_t	м м м	
10	Максимальная скорость автомобиля	V_{max}	км/ч	
11	Контрольный расход топлива при скорости — км/ч	Q_k	л/100 км	
12	Тип и марка двигателя	—	—	
13	Стендовая максимальная мощность двигателя	$P_{ст max}$	кВт	
14	Частота вращения коленчатого вала двигателя при стендовой максимальной мощности $P_{ст max}$	n_p	об/мин ($мин^{-1}$)	
15	Стендовый максимальный крутящий момент двигателя	$M_{ст max}$	Н·м	
16	Частота вращения коленчатого вала двигателя при стендовом максимальном крутящем моменте $M_{ст max}$	n_m	об/мин ($мин^{-1}$)	

1	2	3	4	5
17	Передаточные числа коробки передач: первой передачи второй передачи третьей передачи четвертой передачи пятой передачи и т.д. передачи заднего хода	U_1 U_2 U_3 U_4 $U_{5..i}$ U_{xx}		
18	Передаточные числа раздаточной коробки: низшей ступени высшей ступени	U_{p1} U_{p2}		
19	Передаточное число главной передачи	U_0		
20	Число карданных шарниров	$Z_{кш}$		
21	Число карданных валов	$Z_{кв}$		
22	Шины, их характеристика и маркировка: посадочный диаметр ширина профиля шины наружный диаметр	d B D_n	m m m	

3. ОЦЕНКА ТЯГОВО-СКОРОСТНЫХ СВОЙСТВ АВТОМОБИЛЯ

3.1. Уравнение движения автомобиля

Оценку тягово-скоростных свойств автомобиля производят, решая уравнение его движения. Уравнение движения автомобиля связывает силу, движущую автомобиль, с силами сопротивления и позволяет определить характер прямолинейного движения автомобиля, т.е. в каждый момент времени найти ускорение, скорость, время движения и пройденный автомобилем путь.

Окружная сила на ведущих колесах F_k при движении автомобиля затрачивается на преодоление сил сопротивления: воздуха F_B , качению F_f , подъему F_i и разгону F_j автомобиля, т.е.

$$F_k - F_B - F_f \pm F_i \pm F_j = 0.$$

Здесь знак “-” при силе F_j соответствует движению автомобиля на подъеме, а знак “+” – движению на спуске; знак “-” при силе F_j соответствует разгону автомобиля, а знак “+” – торможению.

Записав в этом уравнении вместо сил выражения, их определяющие, получим

$$\frac{Me \cdot U_{\text{тр}} \cdot \eta_{\text{тр}}}{r_o} - k_v \cdot A_v \cdot V^2 - G_a \cdot f \cdot \cos \alpha \pm m_a \cdot \delta \cdot \frac{dV}{dt} = 0.$$

Разрешив последнее выражение относительно ускорения автомобиля, для случая его разгона будем иметь

$$\frac{dV}{dt} = \frac{1}{m_a \cdot \delta} \cdot \frac{Me \cdot U_{\text{тр}} \cdot \eta_{\text{тр}}}{r_o} - k_v \cdot A_v \cdot V^2 - G_a \cdot f \cdot \cos \alpha \pm G_a \cdot i. \quad (3.1)$$

Уравнение (3.1) называется уравнением движения автомобиля.

Здесь m_a – полная масса автомобиля, кг;

G_a – сила тяжести автомобиля, Н;

Me – крутящий момент двигателя, Н · м;

$U_{\text{тр}}$ – передаточное число трансмиссии;

r_o – расчетный радиус качения ведущих колес, м;

$\eta_{\text{тр}}$ – коэффициент полезного действия трансмиссии;

k_v – коэффициент сопротивления воздуха, Н · с²/м⁴;

V – скорость движения автомобиля, м/с;

A_v – площадь лобового сопротивления автомобиля, м²;

f – коэффициент сопротивления качению;

i – величина продольного уклона дороги (тангенс угла наклона дороги к горизонту);

α – угол наклона продольного профиля дороги, град (рад);

δ – коэффициент учета вращающихся масс автомобиля.

Данное уравнение справедливо при неустановившемся движении автомобиля. При этом

$$\delta = 1 + \frac{J_M}{m_a} \cdot \left(\frac{U_{\text{тр}}}{r_o} \right)^2 \cdot \eta_{\text{тр}} + \frac{\sum_{i=1}^n J_{ki}}{m_a \cdot r_o^2}, \quad (3.2)$$

где J_M – момент инерции маховика двигателя и ведущей части сцепления, кг · м²;

J_{ki} – момент инерции i -го колеса автомобиля, кг · м²;

n – число колес автомобиля.

Если автомобиль движется накатом с выключенным сцеплением или нейтральным положением в коробке передач, то уравнение (3.1) принимает вид

$$\frac{dV}{dt} = \frac{1}{m_a \cdot \delta_n} \cdot (-k_b \cdot A_b \cdot V^2 - G_a \cdot f \cdot \cos \alpha \pm G_a \cdot i), \quad (3.3)$$

где

$$\delta_n = 1 + \frac{\sum_{i=1}^n J_{ki}}{m \cdot r_o^2}. \quad (3.4)$$

Решение уравнения движения автомобиля в общем виде аналитическими методами практически невозможно, так как неизвестны точные функциональные зависимости, связывающие силы, действующие на автомобиль, с его скоростью. Поэтому уравнение движения автомобиля (3.1) решают численными методами на ЭВМ или приближенно, используя графо-аналитические методы. Наибольшее распространение получили *метод силового (тягового) баланса, метод мощностного баланса и метод динамической характеристики*.

Для оценки тягово-скоростных свойств автомобиля студент строит и анализирует следующие графики:

- 1) внешней скоростной характеристики автомобиля;
- 2) тяговой характеристики автомобиля;
- 3) мощностного баланса автомобиля;
- 4) динамической характеристики автомобиля;
- 5) ускорения автомобиля на передачах;
- 6) времени и пути разгона автомобиля.

3.2. Внешняя скоростная характеристика двигателя

Окружная сила на ведущих колесах, движущая автомобиль, возникает в результате того, что к ведущим колесам подводится через трансмиссию крутящий момент от двигателя.

Влияние двигателя на тягово-скоростные свойства автомобиля определяется его скоростной характеристикой, которая представляет собой зависимость эффективной мощности P_e и крутящего момента M_e на коленчатом валу двигателя при установившемся режиме его работы от угловой скорости ω_e (частоты n_e) вращения коленчатого вала.

Скоростная характеристика, полученная при полной подаче топлива, называется внешней скоростной характеристикой, а скоростные характеристики, полученные при неполной подаче топлива, – частичными.

Скоростную характеристику находят экспериментально при испытании двигателя на тормозном стенде. Двигатель, установленный на стенде, нагружают при помощи тормоза, добываясь определенного числа оборотов коленчатого вала двигателя n_e . По достижении устойчивых оборотов измеряют величину эффективного крутящего момента $M_e^{ст}$ в Н · м. Нанеся результаты замеров на график в координатах $M_e^{ст} - \omega_e(n_e)$ и соединив отдельные точки, получают характеристику момента. Затем из соотношения

$$P_e^{ст} = \frac{M_e^{ст} \cdot \omega_e}{1000}$$

находят величины эффективной мощности $P_e^{ст}$ в кВт для ряда значений ω_e в рад/с и по ним строят характеристику мощности. Полученные указанным образом внешние скоростные характеристики карбюраторного и дизельного двигателей приведены соответственно на рис. 3.1. Здесь $n_e = 60 \cdot \omega_e / 2 \cdot \pi$, об/мин, или $n_e = 9,55 \cdot \omega_e$.

Важнейшими параметрами внешней скоростной характеристики двигателя, снятой на тормозном стенде, являются:

$P_{e_{\max}}^{ст}$ – максимальная эффективная мощность, кВт;

$M_{e_{\max}}^{ст}$ – максимальный крутящий момент, Н · м;

$M_p^{ст}$ – крутящий момент при максимальной мощности, Н · м;

n_{emin} и n_{emax} – минимальная и максимальная частоты вращения коленчатого вала двигателя, об/мин;

n_p и n_m – частоты вращения коленчатого вала двигателя соответственно при $P_{e_{max}}^{ст}$ и $M_{e_{max}}^{ст}$;

k_M – коэффициент приспособляемости двигателя по моменту,

$$k_M = M_{e_{max}}^{ст} / M_p^{ст};$$

k_ω – коэффициент приспособляемости двигателя по частоте вращения, равный

$$k_\omega = n_p / n_m.$$

Для расчета показателей тягово-скоростных свойств автомобиля указанными выше методами, а также для решения уравнения движения автомобиля на ЭВМ удобно пользоваться аналитическими зависимостями $P_e^{ст} = f(n_e)$ и $M_e^{ст} = f(n_e)$. При этом для построения стеновой внешней скоростной характеристики используются значения максимальной мощности $\bar{P}_{e_{max}}^{ст}$ и максимального крутящего момента $M_{e_{max}}^{ст}$ и соответствующие им частоты вращения n_p и n_m , приводимые в технических данных автомобилей (см. приложения).

Зависимость $\bar{P}_{e_{max}}^{ст} = f(n_e)$ аппроксимируется формулой кубическо-го трехчлена

$$P_e^{ст} = P_{e_{max}}^{ст} \cdot \left[a \cdot \left(\frac{n_e}{n_p} \right) + b \cdot \left(\frac{n_e}{n_p} \right)^2 + c \cdot \left(\frac{n_e}{n_p} \right)^3 \right], \quad (3.5)$$

где n_e/n_p – отношение текущего значения частоты вращения коленчатого вала двигателя к частоте вращения при максимальной мощности.

Коэффициенты a , b и c зависят от коэффициентов приспособляемости двигателя по крутящему моменту k_M и частоте вращения k_ω .

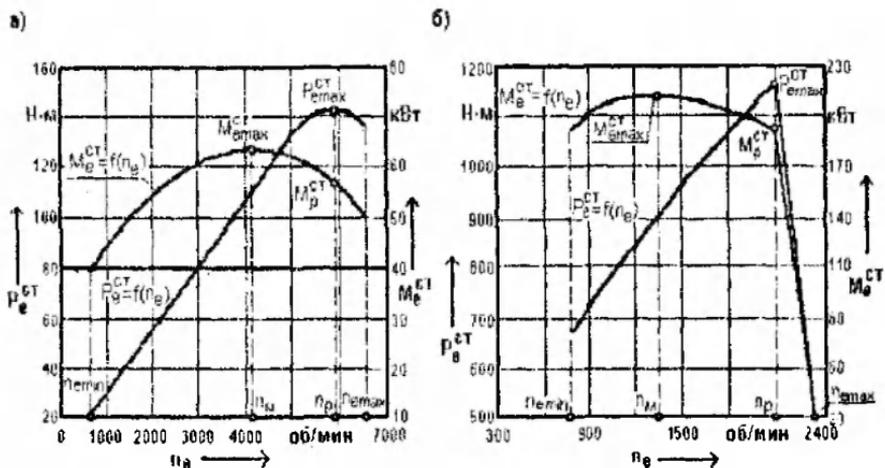


Рис. 3.1. Внешние скоростные характеристики карбюраторного (а) и дизельного (б) двигателей

Для дизельных и карбюраторных двигателей грузовых автомобилей коэффициенты a , b и c определяются по формулам

$$a = \frac{1 + k_m \cdot k_\omega \cdot (k_\omega - 2)}{(k_\omega - 1)^2}; \quad b = \frac{2 \cdot k_\omega \cdot (k_m - 1)}{(k_\omega - 1)^2}; \quad c = \frac{k_\omega^2 \cdot (1 - k_m)}{(k_\omega - 1)^2}.$$

При этом должно соблюдаться равенство $a + b + c = 1$.

Максимальная частота вращения $n_{\omega_{max}}$ карбюраторных двигателей легковых автомобилей, не имеющих ограничителей частоты вращения, на 10...15 % выше частоты вращения двигателя при максимальной мощности $P_{e_{max}}^{CT}$. Коэффициенты a , b , c в этом случае определяются по формулам

$$a = \frac{k_\omega \cdot (k_m \cdot k_\omega - 3) + 2}{(k_\omega - 1)^2}; \quad b = \frac{k_\omega^2 \cdot (3 - 2 \cdot k_m) - 1}{(k_\omega - 1)^2}; \quad c = \frac{k_\omega^2 \cdot (k_m - 2) + k_\omega}{(k_\omega - 1)^2}.$$

При этом должно соблюдаться равенство $a + 2 \cdot b + 3 \cdot c = 0$.

Ориентировочно значения коэффициентов приспособляемости могут быть приняты:

для карбюраторных двигателей $k_M = 1,10 \dots 1,45$; $k_\omega = 1,50 \dots 2,50$;

для дизельных двигателей $k_M = 1,05 \dots 1,30$; $k_\omega = 1,45 \dots 2,00$.

Расчет характеристики $P_e^{ст} = f(n_e)$ следует производить для следующих значений n_e : $n_{e_{min}}$, n_M , n_p и еще 3-4 точки, равномерно расположенные в диапазоне от $n_{e_{min}}$ до n_p . Для карбюраторных двигателей без ограничителей частоты вращения коленчатого вала $P_e^{ст}$ рассчитывается также для $n_{e_{max}} = (1,10 \dots 1,15) \cdot n_p$. Для дизельных двигателей устойчивое значение максимальной частоты вращения $n_{e_{max}} = n_p$.

Минимальная частота вращения, при которой двигатель работает устойчиво с полной нагрузкой, находится в пределах $n_{e_{min}} = 600 \dots 800$ об/мин.

Результаты расчета значений мощности $\bar{P}_{e_i}^{ст}$ при различных значениях частоты вращения коленчатого вала двигателя n_{e_i} , где $n_{e_{min}} \leq n_{e_i} \leq n_{e_{max}}$, заносятся в табл. 3.1. Затем по данным таблицы строится график $\bar{P}_{e_i}^{ст} = f(n_e)$ (рис. 3.1).

Если мощность $P_e^{ст}$ выражена в кВт, то крутящий момент двигателя $M_e^{ст}$ в Н·м определяется по формуле

$$M_e^{ст} = 1000 \cdot \frac{P_e^{ст}}{\omega_e},$$

где ω_e - угловая скорость коленчатого вала двигателя, рад/с; или, учитывая, что

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_e}{60} = \frac{n_e}{9,55},$$

$$M_e^{ст} = 9550 \cdot \frac{P_e^{ст}}{n_e}. \quad (3.6)$$

Результаты расчета по формуле (3.6) крутящего момента $M_e^{ст}$ для приведенных в табл. 3.1 значений $P_e^{ст}$ и n_e также заносятся в таблицу. Точки, соответствующие значениям $M_e^{ст}$, наносятся на график (рис. 3.1) и соединяются кривой $M_e^{ст} = f(n_e)$.

Условия работы двигателя, установленного на автомобиле, отличаются от стендовых: двигатель работает с другими впускными и выпускными системами, на нем устанавливаются дополнительные механизмы, на привод которых затрачивается определенная мощность, двигатель работает при другом температурном режиме. Поэтому мощность двигателя, установленного на автомобиле, P_e , несколько меньше мощности, полученной при стендовых испытаниях, $P_e^{ст}$. При использовании для тягово-скоростных расчетов стендовой внешней скоростной характеристики значения мощности $P_e^{ст}$ уменьшают путем умножения на коэффициент $k_{ст}$, зависящий как от конструктивных особенностей и условий эксплуатации автомобиля, так и от особенностей стандарта, по которому была снята внешняя скоростная характеристика. Следовательно, мощность и момент, передающиеся в трансмиссию автомобиля, определяются по выражениям

$$P_e = P_e^{ст} \cdot k_{ст}; \quad M_e = M_e^{ст} \cdot k_{ст}. \quad (3.7)$$

В приближенных расчетах можно принимать $k_{ст} = 0,93 \dots 0,96$. Большие значения относятся к двигателям легковых автомобилей.

Зависимости мощности P_e и момента M_e двигателя, установленного на автомобиле, от частоты вращения коленчатого вала n_e также наносятся на график внешней скоростной характеристики (рис. 3.1).

Результаты расчетов сводятся в табл. 3.1.

3.3. Тяговая характеристика автомобиля

С целью решения уравнения движения автомобиля (3.1) методом силового баланса представим его в виде

$$F_e = F_f + F_i + F_u + F_j. \quad (3.8)$$

Учитывая, что $F_1 + F_2 = F_{\text{пр}}$, запишем уравнение (3.8) следующим образом:

$$F_k = F_{\psi} + F_g + F_j. \quad (3.9)$$

Полученное уравнение называют уравнением силового (или тягового) баланса. Уравнение силового баланса показывает, что сумма всех сил сопротивления движению в любой момент времени равна окружной силе на ведущих колесах автомобиля.

Заменим обозначения сил их развернутыми выражениями:

$$\frac{M_e \cdot U_{\text{тр}} \cdot \eta_{\text{тр}}}{r_o} = G_z \cdot \psi + k_z \cdot A_z \cdot V^2 + m_z \cdot \delta \cdot \frac{dV}{dt}. \quad (3.10)$$

Уравнение (3.10) позволяет определить величину окружной силы, развиваемой на ведущих колесах автомобиля, и установить, как она распределяется по различным видам сопротивлений.

Графическое изображение уравнения силового (тягового) баланса в координатах “окружная сила – скорость” называется тяговой характеристикой автомобиля.

Кривые изменения окружной силы на передачах (рис. 3.2) строят по данным, определяемым по формуле

$$F_k = \frac{M_e \cdot U_{\text{тр}} \cdot \eta_{\text{тр}}}{r_o}. \quad (3.11)$$

Количество кривых тяговой характеристики автомобиля равно числу передач в его коробке. При наличии раздаточной коробки в трансмиссии тяговая характеристика автомобиля строится для случая, когда в раздаточной коробке включена высшая передача.

В предположении отсутствия буксования сцепления и ведущих колес автомобиля связь между частотой вращения коленчатого вала двигателя n_e (или ω_e) и скоростью V находится из соотношения

$$V = \omega_k \cdot r_o = \frac{\omega_e \cdot r_o}{U_{\text{тр}}}, \quad (3.12)$$

где ω_k — угловая скорость вращения ведущих колес автомобиля, рад/с;
 r_o — расчетный радиус качения ведущих колес, м,
или

$$V = \frac{n_e \cdot r_o}{9,55 \cdot U_{тр}} \quad (3.13)$$

Здесь n_e имеет размерность об/мин, а V — м/с.

При необходимости выразить скорость автомобиля V в км/ч умножаем значение скорости, полученное по формулам (3.12) или (3.13), на переводной коэффициент 3,6, полученный с учетом того, что 1 км = 1000 м и 1 ч = 3600 с.

В результате получим

$$V = 0,377 \cdot \frac{n_e \cdot r_o}{U_{тр}} \quad (3.14)$$

Для расчета окружной силы F_k значения крутящего момента двигателя M_e берутся из табл. 3.1 в соответствии с частотой вращения коленчатого вала двигателя n_e , значения которой используются для вычисления скорости движения автомобиля на передачах по выражению (3.14).

3.3.1. Передаточные числа трансмиссии

При расчете по формулам (3.11) и (3.14) данных, необходимых для построения тяговой характеристики автомобиля, следует определить передаточные числа трансмиссии $U_{тр}$ на всех передачах в коробке передач.

Передаточное число трансмиссии на i -й передаче определяется по выражению

$$U_{три} = U_{кпi} \cdot U_{пк} \cdot U_o, \quad (3.15)$$

где $U_{кпi}$ — передаточное число в коробке передач на i -й передаче;

U_{pk} – передаточное число в раздаточной коробке на высшей передаче (при отсутствии раздаточной коробки $U_{pk} = 1$);

U_o – передаточное число главной передачи.

3.3.2. Коэффициент полезного действия трансмиссии

При определении коэффициента полезного действия (КПД) трансмиссии учитывают гидравлические потери, вызванные взбалтыванием и разбрызгиванием масла в картерах коробки передач и ведущего моста, и механические потери, связанные с трением между зубьями шестерен, в подшипниковых узлах и в карданных шарнирах.

В общем случае КПД трансмиссии $\eta_{тр}$ определяется по формуле

$$\eta_{тр} = \eta_{цш}^k \cdot \eta_{цшв}^l \cdot \eta_{кш}^m \cdot \eta_{кс}^n, \quad (3.16)$$

где k , l , m и n – соответственно число пар цилиндрических шестерен внешнего зацепления ($_{цш}$), внутреннего зацепления ($_{цшв}$), конических шестерен ($_{кш}$) и число карданных сочленений ($_{кс}$), передающих крутящий момент от коленчатого вала двигателя к ведущим колесам i -й передаче в КП.

В расчетах принимают: $\eta_{цш} = 0,980 \dots 0,985$; $\eta_{цшв} = 0,990$; $\eta_{кш} = 0,960 \dots 0,975$; $\eta_{кс} = 0,990$ [2,3].

При работе трансмиссии с полной нагрузкой, т.е. при работе двигателя по внешней скоростной характеристике, КПД трансмиссии имеет следующие значения:

легковые автомобили – 0,90 ... 0,92;

грузовые автомобили и автобусы – 0,83 ... 0,86;

грузовые автомобили повышенной проходимости – 0,80 ... 0,85.

Бóльшие значения КПД трансмиссии относятся к прямой передаче в коробке передач автомобиля.

3.3.3. Радиус качения

Основной движущей силой автомобиля является окружная сила F_k , приложенная к его ведущим колесам. Эта сила возникает в результате работы двигателя и вызвана взаимодействием ведущих колес и

дороги. Окружную силу определяют как отношение момента на валах привода ведущих колес к радиусу ведущих колес при равномерном движении автомобиля.

Следовательно, для определения движущей силы автомобиля необходимо знать величину радиуса качения ведущих колес. Так как на колесах автомобиля установлены эластичные пневматические шины, то величина радиуса качения колес во время движения изменяется.

Радиус качения характеризует путь, пройденный колесом за один оборот. Он соответствует радиусу такого фиктивного жесткого колеса, которое при отсутствии пробуксовывания и проскальзывания имеет одинаковую с действительным колесом угловую ω_k и поступательную V_x скорости качения.

Радиус качения колеса зависит от нормальной нагрузки, внутреннего давления воздуха в шине, окружной силы, коэффициента сцепления колеса с дорогой и поступательной скорости движения колеса при его качении.

Расчетный радиус качения r_0 вычисляется по формуле

$$r_0 = 0,5 \cdot (0,5 \cdot D_n + r_{ст}), \quad (3.17)$$

где D_n – наружный диаметр шины;
 $r_{ст}$ – статический радиус шины.

Значения D_n и $r_{ст}$ определяются для легковых автомобилей по ГОСТ 4754-97 [4], а для грузовых автомобилей и автобусов – по ГОСТ 5513-97 [5].

Шины, предусмотренные указанными стандартами, имеют обозначение, выраженное в дюймах (1 дюйм = 25,4 мм), или смешанное, выраженное в миллиметрах и дюймах.

Примеры обозначения шины:

7,50R20 – шина радиальная обычного профиля;

315/80R22,5 – шина радиальная низкопрофильная;

7,50-20 – шина диагональная,

где 7,50 и 315 – обозначение ширины профиля шины соответственно в дюймах и миллиметрах;

20 и 22,5 – обозначение посадочного диаметра обода в дюймах;

R – обозначение радиальной шины;
80 – серия шины (отношение высоты H к ширине B профиля шины в процентах).

Приближенно статический радиус шины $r_{ст}$ можно определить по цифрам, указанным в обозначении шины [6]:

$$r_{ст} = 0,5 \cdot d + k_{ш} \cdot B \cdot \lambda_{см},$$

где d – посадочный диаметр обода, мм;

$k_{ш} = H/B$ (H и B – высота и ширина профиля шины, мм);

$\lambda_{см}$ – коэффициент, учитывающий смятие шины под нагрузкой.

Для шин грузовых автомобилей и автобусов (кроме широкопрофильных) $H/B \approx 1$. Для легковых автомобилей, если шины имеют дюймовое обозначение, $H/B \approx 0,95$, если смешанное (миллиметрово-дюймовое), $H/B \approx 0,80 \dots 0,85$. Если в обозначении шины указана ее серия, то отношение $H/B = \text{серия} \times 10^{-2}$; например, для шины, имеющей обозначение 295/60R22,5, отношение $H/B = 0,6$, т. е. $k_{ш} = 0,6$.

Для шин грузовых автомобилей, автобусов, шин с регулируемым давлением (кроме широкопрофильных) и диагональных шин легковых автомобилей $\lambda_{см} = 0,85 \dots 0,90$, для радиальных шин легковых автомобилей $\lambda_{см} = 0,80 \dots 0,85$.

Расчетный радиус качения r_0 превышает статический $r_{ст}$ на 2 ... 3 % в зависимости от скорости движения автомобиля (большие значения относятся к скоростям порядка 100 км/ч), т. е. $r_0 \approx (1,02 \dots 1,03) \cdot r_{ст}$.

Результаты расчета F_k и V по формулам (3.11) и (3.14) для каждой из передач заносятся в табл. 3.1 и наносятся на график тяговой характеристики автомобиля (рис. 3.2).

3.3.4. Сила сопротивления дороги

В нижней части графика тяговой характеристики автомобиля (рис. 3.2) наносят кривую $F_{\psi} = F_f + F_i$, построенную для одного значения ψ . При движении автомобиля по горизонтальной дороге, что предполагается при выполнении этой работы, $F_{\psi} = F_f$.

Сила сопротивления качению колес автомобиля F_f при движении автомобиля по горизонтальной дороге определяется в Н по формуле

$$F_f = G_a \cdot f. \quad (3.18)$$

Коэффициент сопротивления качению f определяется экспериментально и, в основном, зависит от материала и конструкции шин, давления воздуха в них, твердости и состояния дорожного покрытия, сопротивления подвески деформациям при перекачивании колес через неровности дороги и режима движения автомобиля.

Коэффициент f изменяется в широких пределах: от 0,007 ... 0,012 на асфальтобетонном или цементно-бетонном покрытии в хорошем состоянии до 0,15 ... 0,30 на сухом песке.

Коэффициент f при увеличении скорости автомобиля возрастает. При номинальных нагрузках на колесо и давлении воздуха в шине рост коэффициента f становится заметным при $V = 15 \dots 20$ м/с (54 ... 72 км/ч). Значение коэффициента сопротивления качению в зависимости от скорости движения автомобиля V может быть определено по эмпирической формуле

$$f = f_0 = f_0 \cdot [1 + (0,006 \cdot V)^2], \quad (3.19)$$

где f_0 – коэффициент сопротивления качению при движении автомобиля с малой скоростью (рекомендуемое для расчета значение $f_0 = 0,009$);

V – скорость движения автомобиля, км/ч.

Значения f и соответствующие им значения F_f заносятся в табл. 3.1.

3.3.5. Сила сопротивления воздуха

Кривую силы сопротивления воздуха F_a движению автомобиля строят, откладывая значения этой силы вверх от значений силы F_{ψ} , для соответствующих скоростей движения автомобиля (рис. 3.2). Кривая суммарного сопротивления $F_{\psi} + F_a$ определяет величину окружной силы, необходимой для движения автомобиля с постоянной скоростью $V = \text{const}$.

Сила сопротивления воздуха F_B в Н рассчитывается по формуле

$$F_B = k_B \cdot A_B \cdot V^2, \quad (3.20)$$

где k_B – коэффициент сопротивления воздуха, $\text{Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$;

A_B – лобовая площадь автомобиля, т.е. площадь проекции автомобиля на плоскость, перпендикулярную его продольной оси, м^2 ;

V – скорость движения автомобиля, $\text{м}/\text{с}$.

Таблица 3.1

Параметры		Частота вращения, об/мин					
Обозначение	Размерность	$n_{\text{емин}}$...	n_M	...	n_p	$n_{\text{емах}}$
n_e / n_p	—						
$P_{\text{ст}}$	кВт						
P_e	кВт						
$M_{\text{ст}}$	Н · м						
M_e	Н · м						
Передняя 1	$U_1 = \delta_1 =$	V	км/ч				
		F_k	Н				
		f	—				
		F_f	Н				
		F_B	Н				
		D	—				
		a_x	$\text{м}/\text{с}^2$				

Если скорость движения автомобиля V подставляется в формулу (3.20) в км/ч, то полученное значение F_B следует разделить на $3,6^2 \approx 13$.

Лобовую площадь автомобиля (автопоезда) A_B достаточно точно можно вычислить по формуле [7, 8, 9]

$$A_B = C \cdot [(H_r - h) \cdot B_r] + n \cdot h \cdot B, \quad (3.21)$$

где C – коэффициент формы, равный для грузовых автомобилей, автопоездов и автобусов 1,0, а для легковых автомобилей – 0,89;

H_r и B_r – соответственно габаритные высота и ширина транспортного средства, м;

h – расстояние от бампера до поверхности дороги (для грузовых автомобилей и автопоездов принимается равным статическому радиусу колеса, т.е. $h = r_{ст}$), м;

B – ширина профиля шины, м;

n – максимальное число колес одного моста автомобиля (при однокатных задних колесах $n = 2$, при двукатных -- $n = 4$).

Ориентировочные значения лобовой площади A_b и коэффициента сопротивления воздуха k_b можно выбрать по табл. 3.2.

Значения силы сопротивления воздуха F_b в зависимости от скорости движения автомобиля V заносят в табл. 3.1.

Если при некоторой скорости V_1 кривая F_k проходит выше кривой $F_{\psi} + F_b$, то ордината $F_{3к}$ заключенная между этими кривыми, представляет собой нереализованную часть окружной силы или запас силы, который можно реализовать для преодоления повышенного дорожного сопротивления или разгона автомобиля.

Таблица 3.2

Тип автомобиля	Лобовая площадь $A_b, м^2$	Коэффициент сопротивления воздуха $k_b, Н \cdot с^2/м^4$
Гоночные и спортивные	1,1 ... 1,5	0,12 ... 0,15
Легковые:		
особо малый	1,2 ... 1,7	0,15 ... 0,20
малый	1,5 ... 1,9	0,17 ... 0,22
средний	1,9 ... 2,1	0,19 ... 0,30
большой	2,0 ... 2,5	0,20 ... 0,35
Грузовые грузоподъемностью:		
0,5 ... 2,0 т	3,0 ... 5,0	0,35 ... 0,40
2,0 ... 5,0 т	3,5 ... 5,5	0,38 ... 0,45
5,0 ... 15,0 т	5,0 ... 8,5	0,40 ... 0,60
Магистральные автопоезда	7,5 ... 9,0	0,50 ... 0,70
Автобусы:		
особо малый	3,5 ... 4,3	0,22 ... 0,25
малый	4,3 ... 6,2	0,25 ... 0,30
средний	5,2 ... 6,5	0,30 ... 0,35
большой	5,8 ... 9,1	0,35 ... 0,45

3.3.6. Практическое использование тяговой характеристики автомобиля

С помощью графика тяговой характеристики (рис. 3.2) определяются основные показатели динамичности автомобиля при его равномерном движении.

1). Максимальная скорость движения автомобиля V_{\max} .

Максимальную скорость V_{\max} определяют по абсциссе точки пересечения кривых $F_{\psi} + F_{\text{в}}$ и окружной силы на высшей передаче $F_{\text{к5}}$ (рис. 3.2), т. к. при этом запас окружной силы, а следовательно, и ускорение автомобиля равны нулю.

2). Максимально возможная сила сопротивления дороги $F_{\psi\max}$, которую может преодолеть автомобиль при заданной скорости.

Для определения $F_{\psi\max} = f(V_1)$, преодолеваемой автомобилем со скоростью V_1 , нужно из ординаты $F_{\text{к}}$ (точка "d") вычесть значение силы сопротивления воздуха $F_{\text{в}}$ (отрезок "bc") при этой скорости. Сумма отрезков "ab + bc" представляет в масштабе силу сопротивления дороги, которую может преодолеть автомобиль при равномерном движении. Максимально возможная сила сопротивления дороги, которую может преодолеть данный автомобиль, определяется на низкой передаче в коробке передач. Ее значение $F_{\psi\max} = F_{\text{кmax}} - F_{\text{в}}$. При этом $F_{\text{в}}$ соответствует скорости, при которой определяется $F_{\text{кmax}}$.

3). Максимальная окружная сила $F_{\text{кmax}}$ по сцеплению шин ведущих колес с дорогой F_{φ} .

Предельное значение окружной силы ограничивается силой сцепления ведущих колес автомобиля с поверхностью дорожного покрытия F_{φ} .

Если окружная сила меньше силы сцепления, то ведущие колеса катятся без пробуксовки. Если же $F_{\text{к}} > F_{\varphi}$, ведущие колеса пробуксовывают и для движения используется лишь часть силы, равная F_{φ} . Остальная часть силы $F_{\text{к}}$ вызывает ускоренное вращение колес, которое продолжается до тех пор, пока мощность, затрачиваемая на буксование, не уравновесит избыток мощности, подводимый к колесам:

$$F_{\varphi} = \varphi \cdot G_{\varphi}, \quad (3.22)$$

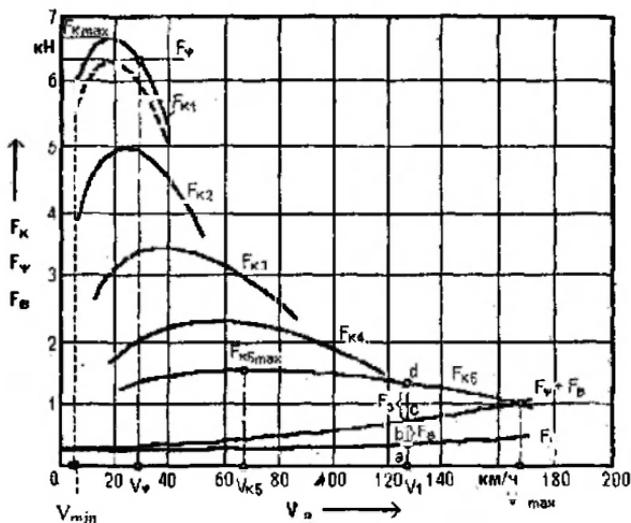


Рис. 3.2. Тяговая характеристика автомобиля

где $G_{\text{ф}}$ — сцепной вес автомобиля, т.е. сила тяжести, приходящаяся на ведущие колеса автомобиля, Н.

Коэффициент сцепления φ зависит от типа и состояния дорожного покрытия, рисунка протектора, степени износа шин, внутреннего давления в них, а также от скорости движения и вертикальной нагрузки на колеса.

Для автомобильных шин, в зависимости от типа дорожного покрытия, φ изменяется от 0,1 до 0,8. При построении тяговой характеристики предполагаем, что автомобиль движется по горизонтальной дороге с сухим асфальтобетонным покрытием, имеющим коэффициент сцепления $\varphi = 0,8$.

Чтобы учесть возможность буксования ведущих колес, надо, вычислив для заданного значения φ силу сцепления $F_{\text{ф}}$ по выражению (3.22), провести на графике (рис. 3.2) горизонталь. В зоне, расположенной ниже горизонтали, соблюдается условие $F_{\text{к}} < F_{\text{ф}}$. Зона же, находящаяся выше горизонтали, характеризует невозможность трогания автомобиля с места, а при движении — неизбежность остановки. Так, в данном случае, движение или трогание на 1-й передаче возможны лишь

со скоростью, большей или равной V_{ϕ} . Для движения без буксования со скоростью, меньшей V_{ϕ} , на 1-й передаче необходимо уменьшить величину подачи топлива, отпустив педаль управления двигателем.

Все автомобили, в зависимости от осевой нагрузки, делятся на дорожные и внедорожные. Масса, приходящаяся на ось (осевая нагрузка) дорожных автомобилей, ограничена законодательствами всех стран. Осевые нагрузки на дорожное покрытие в странах Европы ограничены Директивой 96/53 ЕС [10], относящейся к национальным и международным перевозкам. Согласно данной Директиве, разрешены следующие осевые нагрузки:

Автомобили

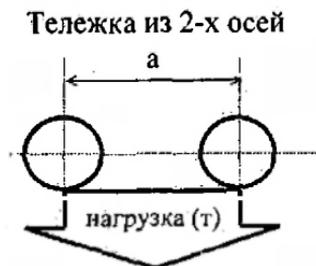


неведущая ось - 10 т
ведущая ось - 11,5 т



$1,0 < a < 1,3$ м - 16 т
 $1,3 < a < 1,8$ м - 18 т
(при сдвоенных колесах и наличии пневмоподвески допускается 19 т)

Прицепы и полуприцепы



$a < 1,0$ м - 11 т
 $1,0 \leq a < 1,3$ м - 16 т
 $1,3 < a < 1,8$ м - 18 т
 $a \geq 1,8$ м - 20 т



$a < 1,3$ м - 21 т
 $1,3 < a \leq 1,4$ м - 24 т

Дорожные автомобили, в зависимости от допустимой осевой нагрузки, в странах СНГ подразделяются на две группы: группа А – с осевой нагрузкой на одиночную ось до 98,1 кН (10 т); группа Б – с осевой нагрузкой на одиночную ось до 58,8 кН (6 т).

Для внедорожных и легковых автомобилей нагрузка на одиночную ось не регламентируется.

Для грузовых автомобилей распределение нагрузок между осями зависит главным образом от того, для каких дорог они предназначены.

В соответствии с действующими строительными нормами и правилами СНиП 2.05.02-95 все дороги общего пользования транспортной сети СНГ делятся на 5 категорий. К числу технических показателей дорожных условий, позволяющих отнести дорогу к определенной категории, относятся: расчетная интенсивность движения АТС в сутки, расчетная скорость движения, число полос движения, ширина полосы движения, наибольшие продольные уклоны, наибольшая продольная видимость до остановки и до встречного автомобиля и наибольшие радиусы кривых в плане.

Дороги имеют покрытия четырех основных типов: 1 – капитальные (цементно-бетонные и асфальтобетонные) для дорог I ... III категорий; 2 – облегченные (асфальтобетонные, дегтебетонные) для дорог III и IV категорий; 3 – переходные (щебеночные, гравийные) для дорог IV категории; 4 – низшие (из грунтов, укрепленных и улучшенных добавлениями) для дорог V категории [11].

Если в технических данных не указано распределение веса автомобиля по осям, то для определения силы тяжести, приходящейся на ведущие колеса автомобиля G_{ϕ} , следует воспользоваться данными, приведенными в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Тип, группа автомобилей	Сила тяжести, приходящаяся на задний мост
1	2
Грузовые автомобили со сдвоенными шинами:	
группа А	$(0,67 \dots 0,7) \cdot G_a$
группа Б	$(0,7 \dots 0,75) \cdot G_a$
Автобусы:	
городские, пригородные и междугородные для местных перевозок	$(0,67 \dots 0,7) \cdot G_a$ $(0,7 \dots 0,75) \cdot G_a$

1	2
Легковые автомобили: с передним расположением двигателя и задним ведущим мостом	$(0,52 \dots 0,55) \cdot G_a$
с передним расположением двигателя и передним ведущим мостом	$(0,43 \dots 0,47) \cdot G_a$
с задним расположением двигателя и задним ведущим мостом	$(0,56 \dots 0,60) \cdot G_a$

4). Критическая скорость V_{ki} движения автомобиля по условиям величины окружной силы на ведущих колесах и области устойчивого движения автомобиля при полной нагрузке двигателя.

Абсциссы точек перегиба кривых окружной силы F_{ki} характеризуют критическую скорость движения автомобиля V_{ki} по условию развиваемой окружной силы. При движении со скоростью $V > V_{ki}$ (где i – номер передачи) случайное повышение сопротивления движению вызывает уменьшение скорости, но при этом одновременно увеличивается значение окружной силы F_{ki} на ведущих колесах. При движении же со скоростью $V < V_{ki}$ увеличение сопротивления движению снижает скорость, что приводит к интенсивному снижению F_{ki} . Таким образом, скорость V_{ki} является границей, определяющей область устойчивого движения автомобиля при полной нагрузке двигателя. При $V > V_{ki}$ движение на i -й передаче устойчиво, а при $V < V_{ki}$ – неустойчиво.

5). Скоростной диапазон автомобиля на i -й передаче, определяемый по формуле

$$d_{Vi} = \frac{V_{\max i}}{V_{ki}}$$

где $V_{\max i}$ и V_{ki} – соответственно максимальная и критическая скорости при движении автомобиля на i -й передаче в коробке передач.

6). Силовой диапазон автомобиля на i -й передаче, равный

$$a_{Fi} = \frac{F_{ki \max}}{F_{vi}}$$

где $F_{k_{i \max}}$ и $F_{k_{vi}}$ – соответственно максимальное значение окружной силы и значение окружной силы при максимальной скорости в случае движения автомобиля на i -й передаче.

Особыми точками тяговой характеристики автомобиля являются:

максимальная скорость движения автомобиля V_{\max} ;

окружная сила F_{k_v} при максимальной скорости V_{\max} ;

максимальная окружная сила на высшей передаче $F_{k_{n \max}}$, где n -

номер высшей передачи;

максимальная окружная сила $F_{k_{\max}}$, развиваемая на ведущих ко-

лесах автомобиля;

минимальная устойчивая скорость движения автомобиля V_{\min} ;

окружная сила по сцеплению шин ведущих колес с дорогой F_{ϕ} ;

критическая скорость движения автомобиля по условию величины окружной силы на высшей передаче V_{kn} ;

скоростной диапазон автомобиля на высшей передаче d_{v_n} ;

силовой диапазон автомобиля на высшей передаче d_{F_n} .

Значения особых точек тяговой характеристики автомобиля студент приводит в итоговой таблице 5.1.

3.4. Мощностная характеристика автомобиля

Для анализа динамических свойств автомобиля можно вместо соотношения сил использовать сопоставление мощности P_k , подводимой к ведущим колесам, с мощностью, необходимой для преодоления сопротивления движению.

По аналогии с уравнением тягового (силового) баланса (3.9) уравнение мощностного баланса можно записать в виде

$$P_k = P_{\psi} + P_{\kappa} + P_j. \quad (3.23)$$

Заменяем обозначения мощностей их развернутыми выражениями:

$$P_e \cdot \eta_{\text{тр}} = G_a \cdot \psi \cdot V + k_z \cdot A_z \cdot V^2 + m_a \cdot \delta \cdot V \cdot \frac{dV}{dt},$$

или, с учетом приведенных в табл. 3.1 значений сил сопротивления движению:

$$P_e \cdot \eta_{\text{тр}} = F_{\psi} V + F_b \cdot V + F_j \cdot V.$$

Пользуясь внешней скоростной характеристикой двигателя или данными, приведенными в табл. 3.1, для каждой передачи строят зависимость $P_e = f(V)$. На различных передачах одному и тому же значению p_e соответствует скорость V , тем меньшая, чем больше передаточное число трансмиссии $U_{\text{тр}}$. Поэтому кривые $P_e = f(V)$ для различных передач при скоростях, соответствующих одинаковому p_e (одним и тем же точкам), имеют одинаковые ординаты. Чем больше $U_{\text{тр}}$ для включенной передачи, тем ближе к оси ординат располагается кривая $P_e = f(V)$.

Затем для каждой передачи рассчитывают мощность, подводимую от двигателя к ведущим колесам автомобиля:

$$P_k = P_e \cdot \eta_{\text{тр}}. \quad (3.24)$$

Заносят данные в соответствующие строки табл. 3.4 и строят зависимости $P_{ki} = f(V_i)$ для каждой i -й передачи (рис. 3.3).

В нижней части графика помещают характеристику $P_{\psi} = f(V)$, вверх от которой откладываются значения мощности P_b , затраченной на преодоление сопротивления воздуха. Данные мощности определяются из выражений

$$P_{\psi} = F_{\psi} \cdot V; \quad P_b = F_b \cdot V. \quad (3.25)$$

Значения сил F_{ψ} и F_b для соответствующих скоростей берутся из табл. 3.1. Если размерность силы – Н, а скорости – м/с, то получаем значение мощности – Вт.

Результаты расчета сводятся в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Параметры		Результаты расчета					
Обозначение	№ точки	1	2	3	4	5	6
	Размерность						
P _ε							
Передаточное число I, U _{тр}	P _к						
	V						
	V						
	P _ψ						
	P _в						
	I	—					

Наибольшую скорость V_{\max} при полной подаче топлива автомобиль развивает на высшей передаче, когда мощность $P_{к5} = P_{\psi} + P_{в}$ (рис. 3.3). Для равномерного движения по той же дороге со скоростью V_1 (где $V_1 < V_{\max}$) водитель должен уменьшить подачу топлива.

Введем понятие о запасе мощности P_3 , равном разности между мощностью, подведенной к ведущим колесам P_k при работе двигателя по внешней скоростной характеристике, и суммой мощностей сопротивления движению ($P_{\psi} + P_{в}$) при равномерном перемещении.

Отрезок P_3 (рис. 3.3) характеризует запас мощности, который может быть израсходован на разгон автомобиля или на преодоление увеличенного сопротивления дороги при движении автомобиля на высшей передаче со скоростью V_i .

Отношение мощности ($P_{\psi} + P_{в}$), необходимой для равномерного движения автомобиля, к мощности P_k , которую развивает автомобиль при той же скорости V_i и полной подаче топлива, называют степенью использования мощности двигателя и обозначают буквой I :

$$I = \frac{P_{\psi} + P_{в}}{P_k} \quad (3.26)$$

Чем лучше качество дорожного покрытия и меньше скорость автомобиля, тем меньше используемая мощность двигателя. На величину I влияет передаточное число трансмиссии $U_{тр}$. Автомобиль может

двигаться со скоростью V_2 (рис. 3.3) на 1-й, 2-й, 3-й, 4-й и 5-й передачах. При этом величина $P_{к1} > P_{к2} > P_{к3} > P_{к4} > P_{к5}$, следовательно, и $I_5 > I_4 > I_3 > I_2 > I_1$. Значения степени использования мощности двигателя I также заносят в табл. 3.4.

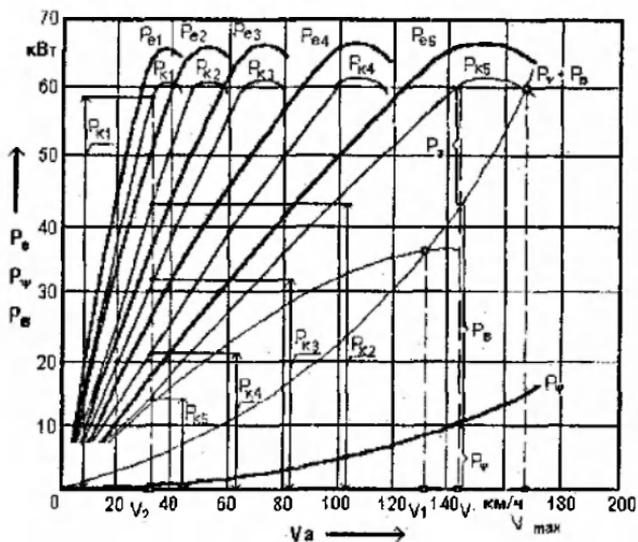


Рис. 3.3. Мощностная характеристика автомобиля

3.5. Динамическая характеристика автомобиля

Методы тягового (силового) и мощностного балансов затруднительно применять при сравнении тягово-динамических свойств автомобилей, имеющих различные снаряженные массы и грузоподъемность, так как при движении их в одинаковых условиях силы и мощности, необходимые для преодоления суммарного дорожного сопротивления, различны. От этого недостатка свободен метод решения уравнения движения с помощью динамической характеристики.

С этой целью воспользуемся безразмерной величиной D – динамическим фактором, равным отношению свободной силы тяги $(F_k - F_b)$ к силе тяжести автомобиля G_a :

$$D = \frac{F_k - F_b}{G_a} \quad (3.27)$$

Графическое изображение зависимости динамического фактора от скорости движения автомобиля на различных передачах в коробке передач и при полной нагрузке на автомобиль называют динамической характеристикой автомобиля, т. е. $D = f(V)$.

Для расчета динамического фактора D по формуле (3.27) и построения динамической характеристики используют значения F_k и F_b в функции скорости движения автомобиля V на различных передачах, приведенные в табл. 3.1. В эту же таблицу для различных передач в функции скорости записывают значения динамического фактора.

Динамическая характеристика автомобиля приведена на рис. 3.4.

Чтобы связать динамический фактор с условиями движения автомобиля, перенесем в уравнении силового баланса (3.9) силу сопротивления воздуха F_b в левую часть уравнения:

$$F_k - F_b = F_\psi + F_j;$$

$$F_k - F_b = G_a \cdot \psi + m_a \cdot \delta \cdot \frac{dV}{dt}, -$$

и разделим обе части полученного равенства на силу тяжести автомобиля G_a .

Учитывая, что $G_a = m_a \cdot g$, где g – ускорение свободного падения, m/c^2 , запишем:

$$D = \psi + \frac{\delta}{g} \cdot \frac{dV}{dt} \quad (3.28)$$

3.5.1. Практическое использование динамической характеристики автомобиля

По динамической характеристике можно судить о тягово-скоростных свойствах автомобиля. С этой целью по графику (рис. 3.4) определяются следующие величины.

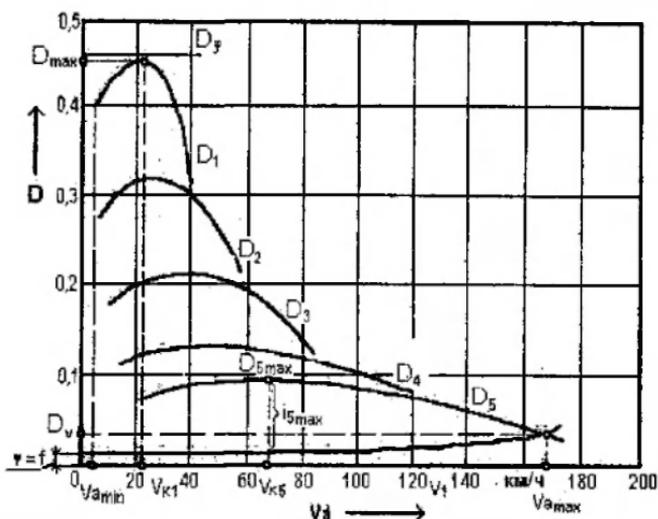


Рис. 3.4. Динамическая характеристика автомобиля

1). Максимальная скорость движения автомобиля V_{\max} .

Принимая во внимание, что при V_{\max} $(dV/dt) = 0$, из уравнения (3.28) получим $D = \psi$. Следовательно, V_{\max} определяется в заданном масштабе абсциссой точки пересечения кривых $D = f(V)$ на высшей передаче и $\psi = f(V)$. В общем случае кривая $\psi = f(V)$ является квадратичной параболой, т.к. $\psi = f_v + i$. Динамическая характеристика автомобиля строится в предположении, что автомобиль движется по горизонтальной дороге, т.е. $i = 0$ и $\psi = f_v$. Динамический фактор при V_{\max} обозначим через D_v (рис. 3.4).

2). Максимальное дорожное сопротивление $F_{\psi \max}$, преодолеваемое автомобилем на высшей передаче.

Ординаты точек перегиба кривых $D_{i \max}$ определяют $\psi_{i \max}$ на каждой из передач.

Максимальный динамический фактор автомобиля D_{\max} (рис. 3.4) определяет максимальное значение коэффициента дорожного сопротивления, преодолеваемого автомобилем при установившемся движении.

Максимальный динамический фактор на высшей передаче $\bar{D}_{n_{\max}}$, где n – номер высшей передачи, определяет диапазон дорожных сопротивлений, преодолеваемых автомобилем без перехода на низшие передачи.

Следовательно, для определения максимального дорожного сопротивления $F_{n_{\nu \max}}$, преодолеваемого автомобилем на высшей передаче, необходимо по графику динамической характеристики найти $D_{n_{\max}}$ и определить $\bar{F}_{n_{\nu \max}}$ по формуле

$$F_{n_{\nu \max}} = \psi_{n_{\max}} \cdot G_a \quad \text{или} \quad F_{n_{\nu \max}} = \bar{D}_{n_{\max}} \cdot G_a.$$

3). Максимальный подъем i_{\max} , преодолеваемый автомобилем на данной передаче.

Если известна величина сопротивления качению автомобиля в функции скорости его движения f_V , то по разности $(\bar{D}_{i_{\max}} - f_V)$ можно определить максимальный уклон, преодолеваемый автомобилем на данной передаче:

$$i_{\max} = \bar{D}_{i_{\max}} - f_V. \quad (3.29)$$

4). Критическая скорость движения автомобиля по условиям величины окружной силы V_{ki} и область устойчивого движения автомобиля при полной нагрузке двигателя.

Абсциссы точек перегиба кривых динамического фактора V_{ki} характеризуют критическую скорость движения автомобиля по условиям величины окружной силы на ведущих колесах. При движении автомобиля на i -й передаче со скоростью $V > V_{ki}$ случайное повышение сопротивления движению вызывает уменьшение скорости, но при этом одновременно увеличивается значение динамического фактора D_i . При движении же со скоростью $V < V_{ki}$ увеличение сопротивления движению снижает скорость автомобиля, что приводит к интенсивному уменьшению D_i . Таким образом, скорость V_{ki} является границей, определяющей область устойчивого движения автомобиля при полной нагрузке двигателя. При $V > V_{ki}$ движение устойчиво, при $V < V_{ki}$ – неустойчиво.

5). Зона движения автомобиля без буксования ведущих колес.

Максимальное значение окружной силы на ведущих колесах F_k ограничено сцеплением шин с поверхностью дорожного покрытия, т.е. ограничено силой $F_\varphi = \varphi \cdot G_\varphi$. Поскольку максимальная окружная сила имеет место при движении автомобиля с малой скоростью, при подсчете динамического фактора D_φ , ограниченного сцеплением, в выражении (3.27) пренебрегают силой сопротивления воздуха:

$$D_\varphi = \frac{F_w}{G_a} = \varphi \cdot \left(\frac{G_\varphi}{G_a} \right). \quad (3.30)$$

Отношение G_φ / G_a называют коэффициентом сцепного веса. Этот коэффициент показывает, какая доля веса автомобиля приходится на ведущие колеса. С увеличением коэффициента сцепного веса автомобиля повышается его проходимость.

6). Условие безостановочного движения.

Учитывая формулы (3.28) и (3.30), получим условие безостановочного движения автомобиля, выраженное в динамических факторах:

$$D_\varphi > D > \psi.$$

Особыми точками динамической характеристики автомобиля являются:

максимальная скорость движения автомобиля V_{\max} ;

динамический фактор при максимальной скорости движения автомобиля D_v ;

максимальный динамический фактор на высшей передаче $\bar{D}_{n_{\max}}$,

где n – номер высшей передачи;

максимальный динамический фактор автомобиля D_{\max} ;

максимальное дорожное сопротивление, преодолеваемое автомобилем на высшей передаче, $F_{R_{v \max}}$;

максимальный подъем, преодолеваемый автомобилем на высшей передаче, $i_{n \max}$;

минимальная устойчивая скорость движения автомобиля V_{\min} на низшей передаче;

динамический фактор по сцеплению шин с поверхностью дорожного покрытия D_{ϕ} ;

критическая скорость движения автомобиля на высшей передаче $V_{\text{кл}}$;

скоростной диапазон автомобиля на высшей передаче $d_{Vn} = V_{\text{max}} / V_{\text{кл}}$;

силовой диапазон автомобиля на высшей передаче $d_{Dn} = D_{\text{лmax}} / D_{\text{v}}$.

Значения особых точек динамической характеристики автомобиля студент приводит в итоговой таблице 5.2.

3.6. Разгон автомобиля

Время равномерного движения автомобиля обычно невелико по сравнению с общим временем его работы. При эксплуатации в городах автомобили движутся равномерно всего 15-20 % времени, 40-45 % – ускоренно и 30-40 % – замедленно.

Показателем динамических свойств автомобиля при разгоне служит интенсивность разгона, или приемистость автомобиля.

Приемистость (интенсивность разгона) автомобиля характеризует его способность быстро трогаться с места и увеличивать скорость движения. Это свойство автомобиля имеет особенно большое значение в условиях городского движения при частых остановках и троганиях с места, а также характеризует быстроту осуществления обгонов в условиях загородного движения. Интенсивность разгона автомобиля измеряется величиной его ускорения.

3.6.1. Ускорение автомобиля при разгоне

Ускорение автомобиля определяют экспериментально или рассчитывают применительно к горизонтальной дороге с твердым покрытием хорошего качества при условии максимального использования мощности двигателя и отсутствии буксования колес.

Трогание автомобиля с места кратковременно и определяется преимущественно индивидуальными особенностями водителя. Поэтому считают, что разгон начинается с минимальной скорости V_{min} (рис. 3.5) на передаче, с которой происходит трогание автомобиля с места.

Минимальное значение скорости V_{\min} соответствует минимальным устойчивым оборотам коленчатого вала двигателя $n_{\text{емин}}$. В интервале скоростей $0 - V_{\min}$ автомобиль трогается с места при пробуксовке сцепления и постепенном увеличении подачи топлива.

Величину ускорения в м/с^2 находят из уравнения (3.28), связывающего значение динамического фактора с условиями движения автомобиля. Обозначив в этом уравнении dV / dt через a_x и учитывая, что для горизонтальной дороги $\psi = f_v$, запишем

$$a_x = (D - f_v) \cdot \frac{g}{\delta}, \quad (3.31)$$

где g - ускорение свободного падения ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$).

При этом значения динамического фактора D_i и соответствующие им значения коэффициентов сопротивления качению f_v в функции скорости автомобиля на каждой из передач берутся из табл. 3.1.

Для расчета коэффициента учета вращающихся масс автомобиля δ , если известны моменты инерции вращающихся масс маховика, приведенных к нему подвижных деталей двигателя и колес автомобиля, используется формула (3.2).

Выражение (3.2) можно переписать в виде

$$\delta = 1 + \sigma_1 \cdot U_{\text{кп}}^2 + \sigma_2, \quad (3.32)$$

$$\text{где } \sigma_1 = \frac{J_m \cdot U_{\text{кп}}^2 \cdot U_o^2 \cdot \eta_{\text{тп}}}{m_a \cdot r_o^2}; \quad \sigma_2 = \frac{\sum_{i=1}^n J_{\kappa_i}}{m_a \cdot r_o^2}.$$

Для одиночных автомобилей при их номинальной нагрузке можно считать $\sigma_1 = \sigma_2 = 0,04$.

Для автопоезда массой $m_{\text{ап}}$ и числом колес $n_{\text{ап}}$ при массе автомобиля-тягача $m_{\text{т}}$ и числе его колес $n_{\text{т}}$

$$\sigma_1 = \frac{0,04 \cdot m_{\text{т}}}{m_{\text{ап}}}; \quad \sigma_2 = \frac{0,04 \cdot m_{\text{т}} \cdot n_{\text{ап}}}{m_{\text{ап}} \cdot n_{\text{т}}}.$$

Определив для каждой передачи коэффициент учета вращающихся масс δ , рассчитывают ускорения a_x на каждой из передач для выбранных ранее точек. Результаты расчета заносят в табл. 3.1 и строят график ускорений автомобиля на передачах (рис. 3.5) в зависимости от скорости его движения.

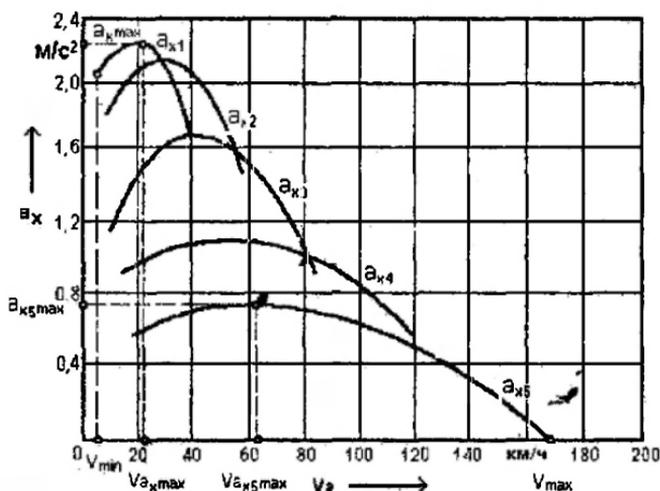


Рис. 3.5. Ускорения автомобиля на передачах

У легковых автомобилей при максимальной скорости V_{max} ускорение, как правило, равно нулю, так как запас мощности при этом отсутствует. У грузовых автомобилей при V_{max} имеется запас мощности, но он для разгона не используется, так как срабатывает ограничитель оборотов двигателя. У грузовых автомобилей и автобусов максимальное ускорение $a_{x, max}$ на 1-й передаче может быть ниже, чем на 2-й, или примерно одинаковым. Это объясняется большой величиной передаточного числа трансмиссии на этих передачах, вследствие чего резко увеличивается коэффициент учета вращающихся масс автомобиля δ .

Важнейшими точками характеристики ускорений автомобиля являются:

максимальное ускорение $a_{x, max}$;

скорость автомобиля при максимальном ускорении V_{axmax} ;

максимальное ускорение на высшей передаче a_{xhmax} ;

скорость автомобиля на высшей передаче при максимальном ускорении V_{axhmax} ;

максимальная скорость движения автомобиля V_{max} .

Значения важнейших точек характеристики ускорений автомобиля студент приводит в итоговой таблице 5.3.

3.6.2. Время и путь разгона автомобиля

Более удобными и наглядными оценочными измерителями интенсивности разгона автомобиля являются время t и путь S разгона автомобиля в заданном интервале скоростей. Эти параметры могут быть определены экспериментально или расчетным путем.

При расчете принимаются некоторые допущения. Так, у автомобиля с механической трансмиссией при трогании с места и переключении передач некоторое время передача крутящего момента от двигателя к ведущим колесам происходит с пробуксовкой сцепления. В расчетах этим процессом пренебрегают и считают, что после включения передачи к колесам сразу же передается мощность двигателя, соответствующая полной подаче топлива. Кроме того, считают, что в каждый момент времени к колесам подводится мощность, определяемая по внешней скоростной характеристике двигателя для частоты вращения, соответствующей скорости движения разгоняющегося автомобиля.

Время и путь разгона автомобиля рассчитывают в предположении, что он разгоняется по ровной горизонтальной дороге при полной подаче топлива на участке длиной 2000 м (ГОСТ 22576-95. АТС. Скоростные свойства. Методы испытаний).

Определение времени разгона автомобиля

Трогание с места начинают на передаче, обеспечивающей максимальное ускорение. Для определения наиболее интенсивного разгона в расчет вводят ускорения, соответствующие максимально допустимой скорости движения автомобиля на данной передаче (кривая a_{δ} вгдеж на рис. 3.6). Рис. 3.6 является вспомогательным и в пояснительной записке или контрольной работе студентом не приводится.

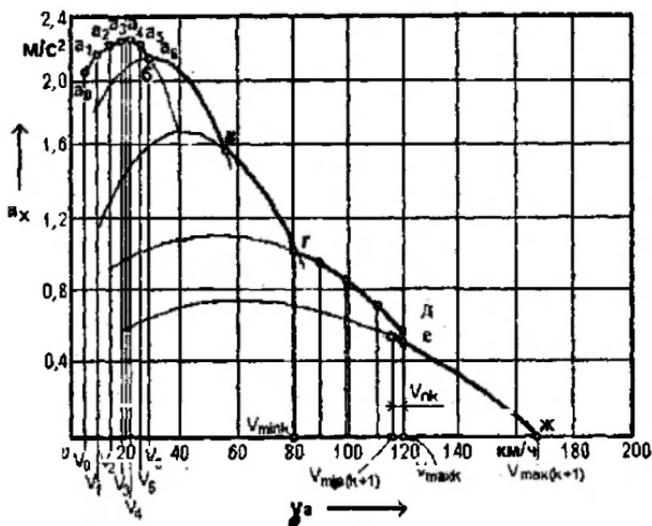


Рис. 3.6. К построению характеристики времени и пути разгона автомобиля

Время разгона автомобиля на k -й передаче от скорости $V_{\min k}$ до скорости $V_{\max k}$ находят исходя из следующих соотношений:

$$a_x = \frac{dV}{dt}; \quad dt = \frac{dV}{a_x}; \quad t = \int_{V_{\min k}}^{V_{\max k}} \frac{dV}{a_x} \quad (3.33)$$

Интегрирование последнего выражения производят численным методом.

С этой целью кривые ускорения на каждой из передач разбивают на 5-6 одинаковых интервалов (рис. 3.6). Предполагается, что в интервале скорости

$$\Delta V_i = V_{i+1} - V_i, \quad (3.34)$$

где V_i и V_{i+1} — значения скоростей соответственно в начале и конце интервала в м/с; ввиду малости последнего автомобиль движется

равноускоренно с ускорением $a_{i\text{cp}}$ в м/с^2 , равным полусумме ускорений a_i и a_{i+1} соответственно в начале и конце этого интервала, т.е.

$$a_{i\text{cp}} = 0,5 \cdot (a_i + a_{i+1}). \quad (3.35)$$

Для повышения точности расчета интервал скоростей выбирают равным 3 ... 5 км/ч на низшей передаче, с которой происходит трогание автомобиля с места, 5 ... 10 км/ч – на промежуточных и 10 ... 15 км/ч – на высшей передаче.

Время движения автомобиля Δt_i в секундах, за которое его скорость вырастает на величину ΔV_i , определяется по закону равноускоренного движения:

$$\Delta t_i = \frac{\Delta V_i}{a_{i\text{cp}}}. \quad (3.36)$$

Общее время разгона автомобиля на k -й передаче от скорости $V_{\text{min}k}$ до $V_{\text{max}k}$, при которой начинается переключение на $(k+1)$ -ю передачу, находят путем суммирования времен разгона в интервалах:

$$t_k = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_n = \sum_{i=1}^n \Delta t_i, \quad (3.37)$$

где n - число интервалов скоростей на k -й передаче.

По накопленным значениям Δt_i , определенным для различных скоростей, строят кривую времени разгона на k -й передаче, начиная ее со скорости $V_{\text{min}k}$. Для передачи, на которой происходит трогание автомобиля с места, в начальный момент при $t = 0$ скорость автомобиля принимается равной V_{min} (рис. 3.7).

Исходные данные и результаты расчета сводят в табл. 3.5.

Эта таблица содержит данные, относящиеся к одной из передач. Подобные таблицы заполняются для построения графика времени и пути разгона автомобиля на всех передачах. Обозначения, приведенные в табл. 3.5, соответствуют обозначениям, указанным на рис. 3.6 и 3.7.

№ пере- дачи	№ стро- ки	Пара- метр	Размер- ность	Номер точки						
				0	1	2	3	4	5	6
1	1	$V_{i,1}$	км/ч	$V_{0,1}$	$V_{1,1}$	$V_{2,1}$	$V_{3,1}$	$V_{4,1}$	$V_{5,1}$	$V_{6,1}$
	2	$V_{i,1}$	м/с	$V_{0,1}$	$V_{1,1}$	$V_{2,1}$	$V_{3,1}$	$V_{4,1}$	$V_{5,1}$	$V_{6,1}$
	3	$\Delta V_{i,1}$	м/с	-	$V_{1,1}-V_{0,1}$	$V_{2,1}-V_{1,1}$	$V_{3,1}-V_{2,1}$	$V_{4,1}-V_{3,1}$	$V_{5,1}-V_{4,1}$	$V_{6,1}-V_{5,1}$
	4	$a_{i,1}$	м/с ²	$a_{0,1}$	$a_{1,1}$	$a_{2,1}$	$a_{3,1}$	$a_{4,1}$	$a_{5,1}$	$a_{6,1}$
	5	$a_{icp,1}$	м/с ²	-	$(a_{0,1}+a_{1,1})/2$	$(a_{1,1}+a_{2,1})/2$	$(a_{2,1}+a_{3,1})/2$	$(a_{3,1}+a_{4,1})/2$	$(a_{4,1}+a_{5,1})/2$	$(a_{5,1}+a_{6,1})/2$
	6	$\Delta t_{i,1}$	с	-	$\Delta V_{1,1}/a_{1cp,1}$	$\Delta V_{2,1}/a_{2cp,1}$	$\Delta V_{3,1}/a_{3cp,1}$	$\Delta V_{4,1}/a_{4cp,1}$	$\Delta V_{5,1}/a_{5cp,1}$	$\Delta V_{6,1}/a_{6cp,1}$
	7	t_i	с	-	$\Delta t_{1,1}$	$\Sigma \Delta t_{i,1}, i = 1,2$	$\Sigma \Delta t_{i,1}, i = 1,3$	$\Sigma \Delta t_{i,1}, i = 1,4$	$\Sigma \Delta t_{i,1}, i = 1,5$	$\Sigma \Delta t_{i,1}, i = 1,6$
	8	$t_{n,1}$	с							
	9	$V_{n,1}$	км/ч							
	10	$V_{icp,1}$	м/с	-	$(V_{0,1}+V_{1,1})/2$	$(V_{1,1}+V_{2,1})/2$	$(V_{2,1}+V_{3,1})/2$	$(V_{3,1}+V_{4,1})/2$	$(V_{4,1}+V_{5,1})/2$	$(V_{5,1}+V_{6,1})/2$
	11	$\Delta S_{i,1}$	м	-	$V_{icp,1} \cdot \Delta t_{i,1}$	$V_{icp,2} \cdot \Delta t_{i,2}$	$V_{icp,3} \cdot \Delta t_{i,3}$	$V_{icp,4} \cdot \Delta t_{i,4}$	$V_{icp,5} \cdot \Delta t_{i,5}$	$V_{icp,6} \cdot \Delta t_{i,6}$
	12	S_i	м	-	$\Delta S_{1,1}$	$\Sigma \Delta S_{i,1}, i = 1,2$	$\Sigma \Delta S_{i,1}, i = 1,3$	$\Sigma \Delta S_{i,1}, i = 1,4$	$\Sigma \Delta S_{i,1}, i = 1,5$	$\Sigma \Delta S_{i,1}, i = 1,6$
	13	$S_{n,1}$	м							

В 1-ю строку таблицы записывают значения скоростей V_i в км/ч, соответствующие границам интервалов. В рассматриваемом случае число границ i изменяется от 0 до 6, т.е. $i = 0, 1, 2, \dots, 6$. Во 2-ю строку заносятся те же скорости, но в размерности м/с. В 3-ю строку – разность между значениями скоростей в конце и начале интервала. В 4-ю – значения ускорений a_i в м/с²; в 5-ю – средние значения ускорений $a_{\text{ср}}$ в интервале, определяемые по формуле (3.35); в 6-ю – время прохождения автомобилем i -го интервала Δt_i в с, которое определяется по формуле (3.36). Суммируя слева направо полученные значения Δt_i , определяем общее время разгона в интервалах и на заданной передаче в целом, результаты заносят в 7-ю строку таблицы.

По данным 1-й и 7-й строк табл. 3.5 строится зависимость скорости движения автомобиля от времени разгона на передаче, т.е. $V = f(t)$ (рис. 3.7 и 3.8).

После достижения автомобилем оптимальной по ускорению скорости на k -й передаче производится переключение на смежную высшую ступень в коробке передач. Значение скорости, до которой следует разогнаться на k -й передаче, зависит от характера протекания ускорения на данной передаче и смежной с ней высшей. Если кривые ускорений на смежных передачах пересекаются (точки б, в и г на рис. 3.6), то в качестве скорости, соответствующей началу переключения на смежную высшую передачу, принимается скорость, при которой происходит это пересечение. Если кривые ускорений на смежных передачах не пересекаются (точки д и е на рис. 3.6), то скорость, при которой начинается переключение, соответствует максимально возможной скорости на данной передаче $V_{\text{max}k}$.

Во время переключения передач с разрывом потока мощности автомобиль движется накатом. Время переключения передач зависит от квалификации водителя, конструкции коробки передач и типа двигателя. Время движения автомобиля при нейтральном положении в коробке передач t_n для автомобилей с карбюраторным двигателем находится в пределах 0,5 ... 1,5 с, а с дизельным – 0,8 ... 2,5 с. При расчетах обычно принимают $t_n = 1$ с.

В процессе переключения передач скорость автомобиля уменьшается. Величину уменьшения скорости V_n за время движения авто-

мобиля накатом в процессе переключения передач можно найти, решая уравнение силового баланса

$$F_K = F_f \pm F_j \pm F_i \pm F_B.$$

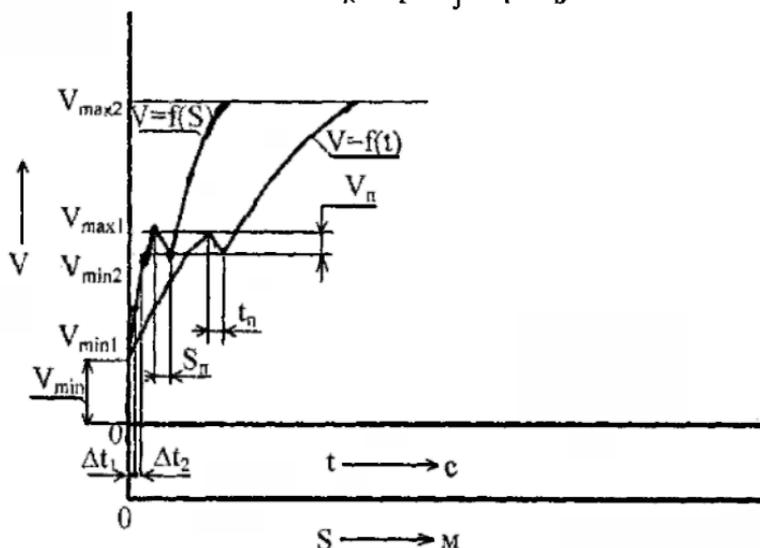


Рис. 3.7. Разгон автомобиля на 1-й и 2-й передачах

При движении автомобиля накатом окружная сила на ведущих колесах $F_K = 0$; так как автомобиль движется по горизонтальной дороге, то сила сопротивления подъему $F_f = 0$. Пренебрегая сопротивлением воздуха за время переключения передач, т.е. принимая $F_B = 0$, окончательно получим

$$F_f \pm F_j = 0.$$

Так как автомобиль движется накатом, т.е. с замедлением, то сила сопротивления разгону F_j принимает отрицательное значение.

Следовательно, можно записать, что

$$F_f = F_j$$

или, в развернутом виде:

$$G_a \cdot f = \frac{G_a}{g} \cdot \delta_n \cdot \frac{dV_n}{dt}, \quad \frac{dV_n}{dt} = \frac{f \cdot g}{\delta_n},$$

где δ_n – коэффициент учета вращающихся масс автомобиля при его движении накатом; δ_n определяется по формуле (3.4) или может быть принят равным 1,03 ... 1,05.

Тогда

$$\frac{dV_n}{dt} \approx 9,3 \cdot f \quad \text{или} \quad V_n = \int_0^{t_n} 9,3 \cdot f \cdot dt.$$

Отсюда

$$V_n = 9,3 \cdot f \cdot t_n, \text{ [м/с]} \quad \text{или} \quad V_n = 33,5 \cdot f \cdot t_n, \text{ [км/ч]}. \quad (3.38)$$

Считаем, что за время переключения передач сила сопротивления качению автомобиля не изменяется, т.е. коэффициент сопротивления качению f остается постоянным и равным принятому.

Значения времени переключения t_{nk} с k -й на $(k+1)$ -ю передачу и падения скорости V_{nk} , происшедшего за это время, заносятся соответственно в 8-ю и 9-ю строку табл. 3.5 и наносятся на график разгона автомобиля.

Определение пути разгона автомобиля

Путь разгона автомобиля S за время t определяется выражением

$$S = \int_0^t V \cdot dt.$$

Этот интеграл также вычисляется численными методами. При равноускоренном движении в интервале скоростей ΔV ; автомобиль движется со средней скоростью

$$V_{i, \text{cp}} = 0,5 \cdot (V_i + V_{i+1}) \quad (3.39)$$

и проходит путь

$$\Delta S_i = V_{i, \text{cp}} \cdot \Delta t_i. \quad (3.40)$$

Путь разгона автомобиля до заданной скорости определяется суммированием элементарных путей ΔS_i на каждом интервале скоростей ΔV_i .

Общий путь разгона автомобиля на k -й передаче от скорости $V_{\text{min}k}$ до скорости $V_{\text{max}k}$ находят путем суммирования пути разгона в интервалах, т.е.

$$S_k = \sum_{i=1}^n \Delta S_i, \quad (3.41)$$

где n – число интервалов на k -й передаче.

Значения средних скоростей $V_{i, \text{cp}}$ в интервалах и пути, проходимого автомобилем ΔS_i , при заданном приращении скорости заносят соответственно в 10-ю и 11-ю строки табл. 3.5.

Значения наращиваемого пути разгона в интервалах и передаче в целом помещают в строку 12 указанной таблицы.

По данным 1-й и 12-й строк строится зависимость скорости автомобиля от пути разгона на передаче, т.е. $V = f(S)$ (рис. 3.7 и 3.8).

Путь S_{nk} , пройденный автомобилем за время переключения t_{nk} с k -й на $(k+1)$ -ю передачу, определяется по формуле

$$S_{nk} = (V_{\text{max}k} - 0,5 \cdot V_{nk}) \cdot \frac{t_{nk}}{3,6}, \quad (3.42)$$

где скорость $V_{\text{max}k}$, при которой начинается переключение на смежную высшую передачу, и скорость V_{nk} , которая теряется за время переключения передач, выражены в км/ч, а время переключения передач t_{nk} – в секундах.

Значение пути S_{nk} , пройденного автомобилем за время переключения передач, заносится в 13-ю строку табл. 3.5 и наносится на график разгона автомобиля (рис. 3.8).

В качестве минимальной (начальной) скорости, с которой начинается разгон на последующей $(k+1)$ -й передаче, принимается скорость $V_{\min(k+1)}$ (рис. 3.6), определяемая по выражению

$$V_{\min(k+1)} = V_{\max k} - V_{пk} . \quad (3.43)$$

Для определения пути и времени разгона на $(k+1)$ -й передаче на графике ускорений участок графика от $V_{\min(k+1)}$ до $V_{\max(k+1)}$ (рис. 3.6) разбивается на 4-6 интервалов. Значения скоростей и ускорений, соответствующие границам интервалов, записываются в таблицу, аналогичную табл. 3.5. Последующий расчет проводится в том же порядке, что и на предыдущей передаче.

При построении графика времени и пути разгона автомобиля на высшей передаче правая граница последнего интервала, на которые разбита кривая ускорений на высшей передаче, соответствует максимальной скорости движения автомобиля V_{\max} .

Если при прохождении автомобилем 2000 м максимальная скорость движения на высшей передаче V_{\max} не достигнута, то определяется скорость прохождения 2000-метровой отметки V_{2000} . Для этой цели используется формула линейной интерполяции

$$V_{2000} = V_n + \frac{V_{\max} - V_n}{S_v - S_n} \cdot (2000 - S_n) , \quad (3.44)$$

где V_n и S_n – скорость и путь, при прохождении которого автомобиль преодолевает отметку, соответствующую началу последнего интервала, т.е. его левую границу;

S_v – путь, на котором автомобиль разгоняется до максимальной скорости.

При этом должно соблюдаться условие

$$S_n < 2000 < S_v .$$

Далее по значению скорости прохождения автомобилем 2000-метровой отметки определяется по графику (рис. 3.5) ускорение, развиваемое автомобилем при этой скорости, и рассчитывается время прохождения автомобилем 2000-метровой отметки t_{2000} . Данные подставляются в таблицу, аналогичную табл. 3.5.

Если автомобиль развивает максимальную скорость V_{\max} на участке, не превышающем 2000 м, то время прохождения 2000-метровой отметки определяется по формуле

$$t_{2000} = t_v + \frac{(2000 - S_v) \cdot 3,6}{V_{\max}}, \quad (3.45)$$

где t_v - время, за которое автомобиль разгоняется до максимальной скорости.

Значение максимальной скорости автомобиля V_{\max} подставляется в формулу (3.45) в км/ч.

Для построения графика разгона автомобиля время и путь разгона на последующей передаче прибавляется к соответствующим значениям на предыдущей передаче:

$$t = \sum_{i=1}^{n1} \Delta t_{i,1} + t_{n,1} + \sum_{i=1}^{n2} \Delta t_{i,2} + t_{n,2} + \dots + \sum_{i=1}^{nj} \Delta t_{i,j} + t_{n,j} + \sum_{i=1}^{nk} \Delta t_{i,k}; \quad (3.46)$$

$$S = \sum_{i=1}^{n1} \Delta S_{i,1} + S_{n,1} + \sum_{i=1}^{n2} \Delta S_{i,2} + S_{n,2} + \dots + \sum_{i=1}^{nj} \Delta S_{i,j} + S_{n,j} + \sum_{i=1}^{nk} \Delta S_{i,k}, \quad (3.47)$$

где n_j - число интервалов, на которые разбита кривая ускорения на j -й передаче ($j = \overline{1, k}$);

k - число ступеней в коробке передач, на которых производится разгон автомобиля.

Образец скоростных характеристик времени и пути разгона автомобиля показан на рис. 3.8.

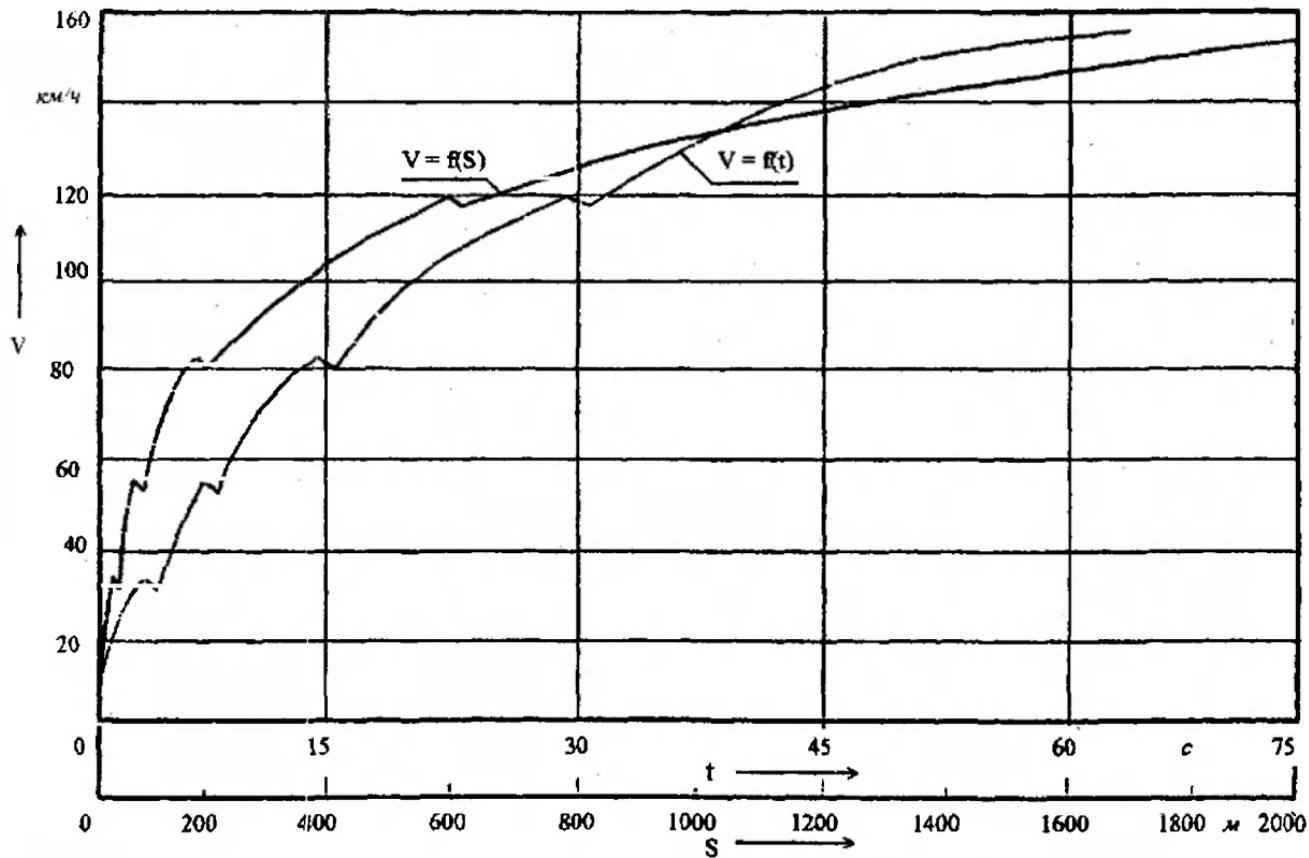


Рис. 3.8. Скоростные характеристики времени и пути разгона автомобиля

3.6.3. Практическое использование характеристик времени и пути разгона автомобиля

По скоростной характеристике разгона определяются следующие оценочные измерители тягово-скоростных свойств автомобиля:

1) условная максимальная скорость $V_{у\max}$ в км/ч; определяется как средняя скорость прохождения автомобилем последних 400 м двухкилометрового участка:

$$V_{у\max} = \frac{3,6 \cdot 400}{t_{2000} - t_{1600}}, \quad (3.48)$$

где t_{2000} и t_{1600} – время разгона автомобиля на участках протяженностью соответственно 2000 м и 1600 м;

2) время разгона автомобиля t_{400} и t_{1000} на участках протяженностью 400 м и 1000 м;

3) время разгона t_3 до заданной скорости V_3 :

100 км/ч – для автотранспортных средств полцой массой менее 3,5 т;

80 км/ч – для грузовых автомобилей, автобусов (кроме городских) полной массой свыше 3,5 т и автопоездов;

60 км/ч – для городских автобусов.

Значения указанных оценочных измерителей автомобиля сводятся в итоговую таблицу 5.4.

4. ОЦЕНКА ТОПЛИВНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АВТОМОБИЛЯ

Топливной экономичностью автомобиля называют совокупность свойств, определяющих расход топлива при выполнении автомобилем транспортной работы в различных условиях эксплуатации.

В Республике Беларусь добывается ежегодно около 2 млн. тонн нефти, что составляет всего лишь 10 % необходимого объема. Топливная экономичность автомобилей имеет большое значение для экономики страны в целом, так как автомобильный транспорт потребляет более 30 % сжигаемого в Республике Беларусь жидкого топлива, по-

лучаемого из нефти, а его стоимость составляет в среднем 25 % себестоимости транспортных работ. Повышение топливной экономичности автомобилей приводит не только к экономии топлива, снижению себестоимости перевозок, но и к снижению экологической опасности автотранспортных средств.

Топливная экономичность в основном зависит от конструкции автомобиля и условий его эксплуатации. Она определяется степенью совершенства рабочего процесса в двигателе, коэффициентом полезного действия и передаточным числом трансмиссии, соотношением между снаряженной и полной массой автомобиля, интенсивностью его движения, а также сопротивлением, оказываемым движению автомобиля окружающей средой.

4.1. Оценочные показатели топливной экономичности

Источником энергии для движения автотранспортного средства (АТС) является установленный на нем двигатель. Поэтому топливная экономичность АТС в значительной мере определяется такими показателями двигателя, как часовой расход топлива G_T , кг/ч – масса топлива, расходуемого за один час работы двигателя, и удельный расход топлива g_e , г/(кВт · ч) – масса топлива, расходуемого в час на единицу мощности двигателя.

Основным измерителем топливной экономичности автомобиля в странах СНГ и большинстве европейских стран является расход топлива в л на 100 км пройденного пути, или путевой расход топлива Q_s , л/100 км.

Для оценки эффективности использования топлива при выполнении транспортной работы используют расход топлива в л на единицу транспортной работы (100 т · км) Q_w , л/(100 т · км), т.е. отношение фактического расхода топлива к выполненной транспортной работе.

В США и Соединенном Королевстве (Великобритания и Северная Ирландия) наряду с путевым расходом топлива используют обратный измеритель – длину пробега на единицу объема израсходованного топлива. За единицу пути принимают милю, а за единицу объема жидкости – галлон. Учитывая, что 1 миля = 1,609 км, 1 галлон США – 3,785 л, а 1 галлон британский = 4,546 л, перевод расхода топлива из одной системы в другую осуществляют по соотношениям

$$Q_s = \frac{234}{\text{mpg}(US)} \quad \text{или} \quad Q_s = \frac{282}{\text{mpg}(UK)},$$

где Q_s – путевой расход топлива, л/100 км;

$\text{mpg}(US)$ и $\text{mpg}(UK)$ – путь в милях, проходимый автомобилем при расходовании 1 галлона топлива соответственно США и британского;

US – United States (of America) – Соединенные Штаты (Америки);

UK – United Kingdom (of Great Britain and Northern Ireland) – Соединенное Королевство (Великобритании и Северной Ирландии);

mpg – miles per gallon – (столько-то) миль на галлон.

Согласно ГОСТ 20306-90 “АТС. Топливная экономичность. Методы испытаний”, оценочными показателями топливной экономичности служат:

контрольный расход топлива;

расход топлива в магистральном цикле на дороге;

расход топлива в городском цикле на дороге;

расход топлива в городском цикле на стенде;

топливная характеристика установившегося движения;

топливно-скоростная характеристика на магистрально-холмистой дороге.

Эти оценочные показатели не имеют нормированных значений, их используют при сравнительной оценке уровня топливной экономичности с зарубежными аналогами и косвенной оценке технического состояния автомобилей.

1). Контрольный расход топлива определяют для всех категорий АТС при движении по прямой горизонтальной дороге протяженностью 1000 м и более на высшей передаче с выдерживанием заданной скорости с точностью ± 2 км/ч.

В зависимости от типа АТС и максимальной скорости устанавливаются следующие значения заданных скоростей движения V_{QK} :

40 и 60 км/ч – для городских автобусов и полноприводных автомобилей полной массой свыше 3,5 т;

60 и 80 км/ч – для грузовых автомобилей, грузопассажирских (включая полноприводные), автобусов спецназначения, междугородных и международных, автопоездов полной массой свыше 3,5 т;

90 и 120 км/ч – для легковых автомобилей (включая полноприводные), автобусов и грузовых автомобилей полной массой до 3,5 т.

Если максимальная скорость менее 120 км/ч, то расход топлива при 120 км/ч не определяют. Если максимальная скорость меньше заданной или превышает ее на 5 км/ч, то скорость следует задать ближайшую меньшую, кратную десяти.

2). Расход топлива в магистральном цикле на дороге измеряют для АТС всех категорий, кроме городских автобусов, пробегом по измерительному участку с соблюдением режимов движения, заданных операционной картой (табл. 4.1) и схемой цикла (рис. 4.1).

3). Расход топлива в городском цикле на дороге оценивают для АТС всех категорий, кроме магистральных автопоездов, междугородных и туристских автобусов, так же как расход топлива в магистральном цикле на дороге. Отличием являются только характеристики операций по операционной карте и схема цикла.

4). Расход топлива в городском цикле на стенде определяется только для АТС полной массой менее 3,5 т. Испытания проводят на стенде с беговыми барабанами по ездовому циклу в соответствии с картой и схемой цикла.

5). Топливная характеристика установившегося движения определяется при движении АТС на высшей передаче, начиная от максимальной скорости движения до минимальной. Все скорости (кроме максимальной и минимальной) задают кратными десяти и контролируют по спидометру. Скорости движения следует задавать через 20 км/ч для легковых автомобилей и через 10 км/ч – для АТС всех других типов.

6). Топливо-скоростная характеристика на магистрально-холмистой дороге определяется на участке длиной 13 ... 15 км, имеющем переменный продольный профиль с чередующимися подъемами и спусками длиной до 600 ... 800 м и продольными уклонами до 4 %. Радиусы кривых в плане не менее 1000 м.

4.2. Уравнение расхода топлива

Удельный расход топлива g_u связан с часовым расходом топлива G_r соотношением

$$g_e = 10^3 \cdot \frac{G_T}{P_e}$$

Здесь часовой расход топлива выражен в кг/ч, а мощность двигателя, установленного на автомобиле, P_e – в кВт.

Таблица 4.1

Операционная карта, регламентирующая движение грузовых автомобилей и автопоездов полной массой свыше 3,5 т и междугородных автобусов в магистральном цикле на дороге

Номер операции	Отметка пути, м	Последовательность операций
1	—	Установление постоянной скорости 30 км/ч
2	Ноль	В момент пересечения отметки "ноль" (начало мерного участка) включение одновременно приборов, измеряющих время движения и расход топлива
3	0...50	Движение со скоростью 30 км/ч
4	50...300	Разгон до скорости 50 км/ч и движение с этой скоростью
5	300...1000	Разгон до скорости 70 км/ч и движение с этой скоростью
6	1000...1300	Замедление двигателем до скорости 50 км/ч
7	1300...1400	Движение со скоростью 50 км/ч
8	1400...2200	Разгон до скорости 70 км/ч и движение с этой скоростью
9	2200...2700	Разгон до скорости 75 км/ч и движение с этой скоростью
10	2700...2900	Замедление двигателем до скорости 65 км/ч
11	2900...3500	Движение со скоростью 65 км/ч
12	3500...3850	Замедление двигателем до скорости 45 км/ч
13	3850...4000	Движение со скоростью 45 км/ч
14	—	В момент пересечения отметки 4000 м выключение измерительных приборов
15	—	Занесение результатов измерений в протокол испытаний

Отсюда

$$G_T = 10^{-3} \cdot g_e \cdot P_e \quad \text{или} \quad G_m = 10^{-3} \cdot g_e \cdot \frac{P_k}{\eta_{тр}}, \quad (4.1)$$

где P_k – мощность, подведенная к ведущим колесам;
 $\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии.

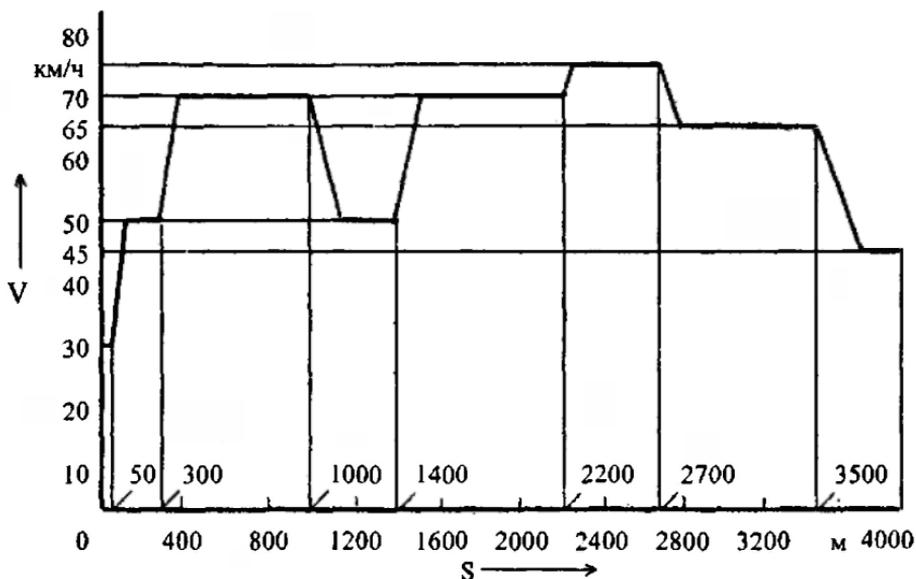


Рис. 4.1. Схема магистрального цикла на дороге для грузовых автомобилей полной массой свыше 3,5 т и междугородних автобусов

Выразим часовой расход топлива в л/ч. Для этого разделим формулу (4.1) на плотность топлива ρ_T , имеющую размерность кг/м³. Учитывая, что 1 м³ = 1000 л, получим

$$G_T = g_e \cdot \frac{P_k}{\eta_{TP} \cdot \rho_T}$$

Чтобы определить путевой расход топлива Q_s , разделим последнее выражение на скорость автомобиля V , выраженную в км/ч. Это приводит к получению расхода топлива в л на 1 км пробега. Умножаем на 100, чтобы получить расход топлива в л/100 км пробега, т.е. путевой расход топлива, равный

$$Q_s = 100 \cdot g_e \cdot \frac{P_k}{\eta_{TP} \cdot \rho_T \cdot V}$$

Подставив вместо P_k составляющие, на которые расходуется мощность, подведенная к ведущим колесам, окончательно получим

$$Q_s = 100 \cdot g_e \cdot \frac{P_{\text{в}} + P_2 + P_1}{\eta_{\text{тп}} \cdot \rho_{\text{т}} \cdot V} \quad (4.2)$$

Выражение (4.2) называют уравнением расхода топлива. Пользуясь этим выражением, можно найти путевой расход топлива для заданных режимов движения, если известна зависимость удельного расхода топлива от мощности двигателя и его оборотов, т.е. $g_e = f(P_e, n_e)$. Эту зависимость можно определить из нагрузочных характеристик двигателя, которые представляют собой графики $G_{\text{т}} = f(P_e)$ и $g_e = f(P_e)$ при $n_e = \text{const}$. Указанные зависимости строят для установившегося режима работы двигателя. При отсутствии этих зависимостей для определения расхода топлива пользуются различными приближенными методами.

В задании предлагаются, пользуясь уравнением расхода топлива, построить топливную характеристику установившегося движения автомобиля.

4.3. Топливная характеристика установившегося движения

Топливная характеристика установившегося движения – это зависимость путевого расхода топлива Q_s от установившейся скорости V при движении автомобиля по ровной горизонтальной дороге на высшей передаче в коробке передач.

Статистической обработкой топливно-экономических характеристик двигателей внутреннего сгорания установлено, что удельный расход топлива g_e , входящий в выражение (4.2), определяется удельным расходом топлива при максимальной мощности двигателя g_{ep} , степенью использования мощности двигателя I и степенью использования частоты вращения E :

$$g_e = g_{ep} \cdot k_I \cdot k_E \quad (4.3)$$

где k_I и k_E – коэффициенты, зависящие соответственно от степени использования мощности и частоты вращения двигателя.

Степень использования мощности двигателя $\mathbf{И}$ определяется по выражению (3.26).

Степень использования частоты вращения двигателя $\mathbf{Е}$ определяется отношением текущего значения частоты вращения двигателя n_e к частоте вращения при максимальной мощности n_p :

$$E = \frac{n_e}{n_p} \quad (4.4)$$

или

$$E = \frac{V_{ij}}{V_{pj}}, \quad (4.5)$$

где V_{ij} – i -е значение скорости движения автомобиля на j -й передаче;

V_{pj} – скорость движения автомобиля на j -й передаче при максимальной мощности двигателя.

Зависимости $k_H = f(\mathbf{И})$ и $k_E = f(\mathbf{Е})$ при сравнительных расчетах могут быть найдены из следующих выражений:

для дизельных двигателей

$$k_H = 1,2 + 0,1 \cdot \mathbf{И} - 1,8 \cdot \mathbf{И}^2 + 1,5 \cdot \mathbf{И}^3; \quad (4.6)$$

для карбюраторных двигателей

$$k_H = 3,3 - 8,2 \cdot \mathbf{И} + 9,1 \cdot \mathbf{И}^2 - 3,2 \cdot \mathbf{И}^3; \quad (4.7)$$

для двигателей обоих типов

$$k_E = 1,25 - E + E^2 - 0,25 \cdot E^3. \quad (4.8)$$

Удельный расход топлива двигателем при максимальной мощности g_{ep} обычно на 5 ... 10 % больше минимального удельного расхода топлива g_{emin} . Последний зависит от типа и конструктивных особенностей двигателя и составляет 260 ... 310 г/(кВт · ч) для карбюраторных двигателей и 195 ... 230 г/(кВт · ч) – для дизельных. При приближенных расчетах принимают средние цифры.

С энергетической точки зрения режим движения автомобиля при установившейся скорости характеризуется двумя уже известными параметрами: степенью использования мощности \mathbf{H} и частотой вращения \mathbf{E} двигателя. При расчетах эти параметры могут быть определены, как графо-аналитическим методом с использованием графика мощностного баланса на высшей передаче (рис. 3.3 и рис. 4.2), так и с помощью расчетных формул (3.26), (4.4) или (4.5).

В обоих случаях все скорости, кроме минимальной и максимальной, задают кратными десяти.

Рассмотрим первый случай. На графике (рис. 4.2) показано изменение мощности на валу двигателя \mathbf{P}_e , мощности, подведенной к ведущим колесам, \mathbf{P}_k , мощности, расходуемой на преодоление сопротивления дороги \mathbf{P}_ψ и сопротивления воздуха $\mathbf{P}_в$ в зависимости от скорости движения автомобиля \mathbf{V} .

При установившемся режиме движения, например, со скоростью \mathbf{V}_i , двигатель затрачивает мощность при передаче ее через трансмиссию (отрезок \mathbf{A}_3) на преодоление сопротивления воздуха (отрезок \mathbf{A}_2) и сопротивления дороги (отрезок \mathbf{A}_1). Мощность, которую мог бы развивать двигатель в приведении к ведущим колесам при данной скорости движения автомобиля, определяется отрезком \mathbf{B} . Следовательно, степень использования мощности двигателя в данном случае равна $\mathbf{H} = (\mathbf{A}_1 + \mathbf{A}_2) / \mathbf{B}$, а степень использования частоты вращения определяется отношением отрезков \mathbf{C} и \mathbf{D} : $\mathbf{E} = \mathbf{C} / \mathbf{D}$.

Во втором случае при построении графика топливной характеристики установившегося движения для заданной скорости автомобиля на высшей передаче определяются:

1) обороты двигателя n_{ei} , соответствующие заданной в км/ч скорости \mathbf{V}_i и вычисляемые с учетом формулы (3.14) по выражению

$$n_{ei} = \frac{V_i \cdot U_{\text{тр,в}}}{0,377 \cdot r_0},$$

где $U_{\text{тр,в}}$ - передаточное число в трансмиссии автомобиля на высшей передаче;

2) значения эффективной мощности на валу двигателя $\mathbf{P}_{ei}^{\text{CT}}$, соответствующие полученным оборотам двигателя n_{ei} по формуле (3.5);

3) значения мощности, передающейся в трансмиссию автомобиля P_{ei} – по формуле (3.7);

4) значения мощности, подводимой к ведущим колесам автомобиля P_{ki} на высшей передаче – по формуле (3.24);

5) значения мощностей, затрачиваемых на преодоление сил дорожного сопротивления $P_{\psi i}$ и сопротивления воздуха P_{wi} – по формулам (3.25), с учетом соответственно формул (3.18) и (3.20);

6) значения степени использования мощности η_i и частоты вращения двигателя E_i по формулам

$$\eta_i = \frac{P_{\psi i} + P_{B_i}}{P_{K_i}}; \quad E_i = \frac{n_{ei}}{n_p}$$

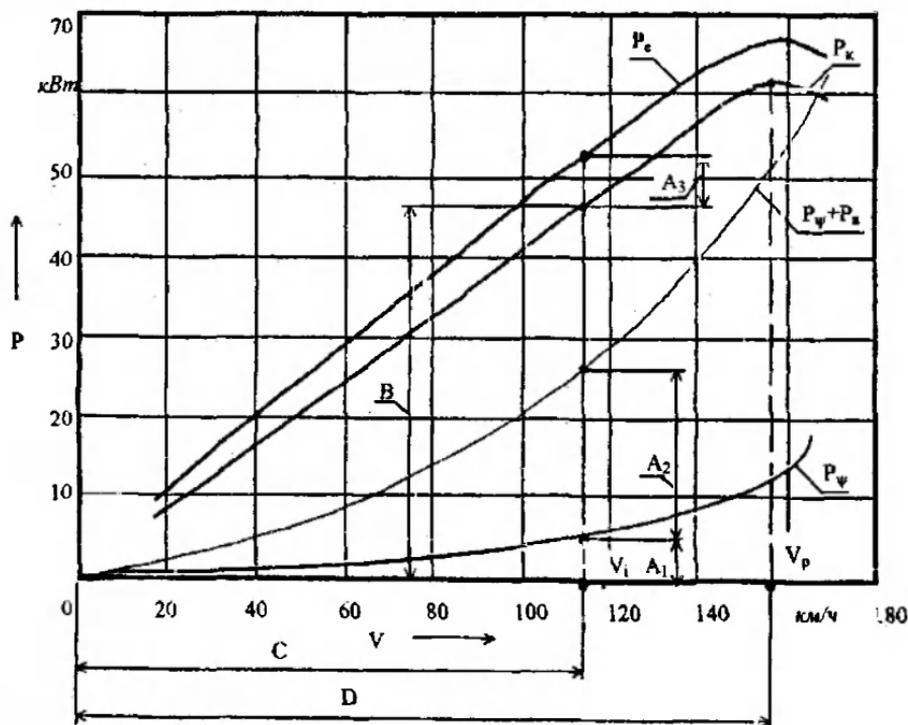


Рис. 4.2. Мощностная характеристика автомобиля на высшей передаче в КП

Далее, вне зависимости от вида расчета, по формулам (4.6) или (4.7) определяется коэффициент $k_{И}$, зависящий от степени использования мощности двигателя, и по формуле (4.8) – коэффициент k_E , зависящий от частоты вращения двигателя.

Таким образом, если мощности задаются в кВт, то путевой расход топлива при постоянных скоростях движения автомобиля V_1 на высшей передаче находится с учетом формул (4.2) и (4.3) по выражению

$$Q_{s_1} = 100 \cdot \frac{g_{e_T} \cdot k_{И_1} \cdot k_{E_1} \cdot (P_{w_1} + P_{a_1})}{\eta_{т.в} \cdot \rho_T \cdot V_1} \quad (4.9)$$

Если отсутствуют сведения о плотности применяемого топлива, можно считать для бензина $\rho_T = 750 \text{ кг/м}^3$, а для дизельного топлива $\rho_T = 820 \text{ кг/м}^3$.

Расчеты целесообразно выполнять, внося данные в табл. 4.2.

В табл. 4.2 скорости автомобиля $V_1 = V_{\min}$, а $V_n = V_{\max}$ на высшей передаче.

По данным табл. 4.2 строится топливная характеристика установившегося движения автомобиля (рис. 4.3).

По графику топливной характеристики установившегося движения определяют контрольный расход топлива Q_k и эксплуатационный расход топлива Q_s ; их значения заносятся в итоговую таблицу 5.5.

Контрольный расход топлива определяется в соответствии с пунктом 4.1 настоящего пособия.

При определении эксплуатационного расхода топлива исходят из того факта, что при неустановившемся движении автомобиля по дорогам с асфальтобетонным покрытием расход топлива оказывается на 10 ... 15 % выше, чем расход, определенный по топливной характеристике установившегося движения при скорости, составляющей 2/3 от наибольшей для автомобилей с карбюраторным двигателем и 3/4 – для автомобилей с дизельным двигателем.

Определяя значение максимальной эксплуатационной скорости $V_{э_{\max}}$ на высшей передаче, следует учитывать ограничение максимальной скорости автомобиля Правилами дорожного движения $V_{\max}^{\text{пд}}$, оказывающее влияние на значение максимальной эксплуатационной

скорости автомобиля $V_{э_{\max}}$. В данном случае скорость ограничения $V_{\max}^{\text{пдд}}$, задаваемая Правилами дорожного движения, принимается в качестве максимальной эксплуатационной скорости $V_{э_{\max}}$.

В соответствии с Правилами дорожного движения вне населенных пунктов разрешается движение:

1) легковым автомобилям, а также грузовым автомобилям полной массой не более 3,5 т на автомагистралях – со скоростью не более 110 км/ч, на остальных дорогах – не более 90 км/ч;

2) междугородным, туристским и особо малым автобусам на всех дорогах – не более 90 км/ч;

3) остальным автобусам, грузовым автомобилям полной массой более 3,5 т на автомагистралях – не более 90 км/ч, на остальных дорогах – не более 70 км/ч.

Таким образом, для определения эксплуатационного расхода топлива $Q_э$ при движении автомобиля на высшей передаче по дороге с асфальтобетонным покрытием:

задаемся максимальным значением скорости движения $V_{\max}^{\text{пдд}}$ в соответствии с Правилами дорожного движения (в зависимости от типа транспортного средства):

$$V_э = \frac{2}{3} \cdot V_{э_{\max}} \quad \text{или} \quad V_э = \frac{3}{4} \cdot V_{э_{\max}} \quad (\text{в зависимости от типа двигателя});$$

определяем эксплуатационную скорость;

по графику топливной характеристики установившегося движения (рис. 4.3) для эксплуатационной скорости $V_э$ определяем расход топлива $Q_{V_э}$;

вычисляем эксплуатационный расход топлива $Q_э$ в л/100 км:

$$Q_э = Q_{V_э} \cdot (1,10 \dots 1,15).$$

V , км/ч	n_e , об/мин	$P_{e^{ст}}$, кВт	P_e , кВт	$P_{к}$, кВт	P_{ψ} , кВт	$P_{в}$, кВт	η	ϵ	$\kappa_{и}$	$\kappa_{е}$	Q_s , л/100 км
V_1											
V_2											
V_3											
—											
—											
—											
V_n											

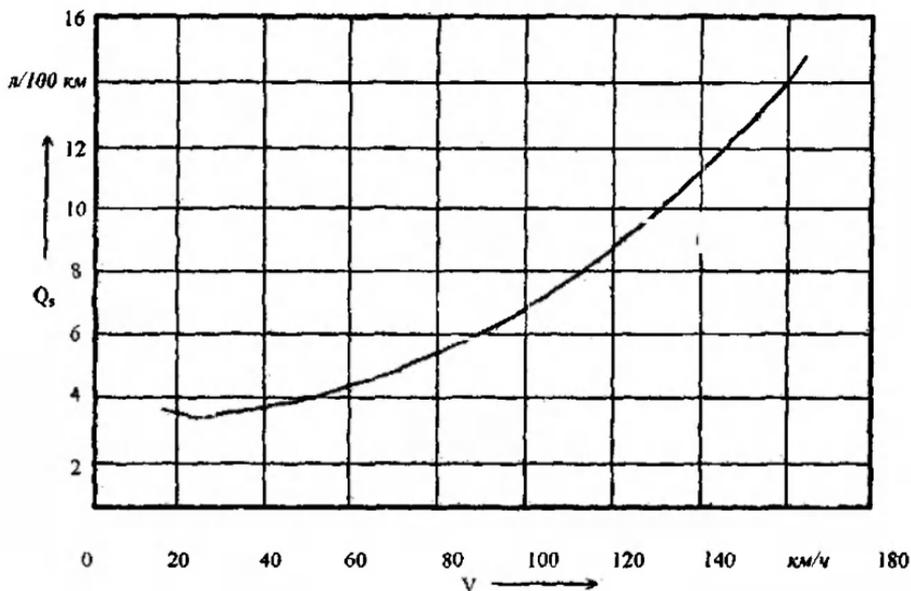


Рис. 4.3. Топливная характеристика установившегося движения

5. ИТОГОВЫЕ ТАБЛИЦЫ

В конце расчетов студент заполняет таблицы с основными параметрами, характеризующими тягово-скоростные и топливно-экономические свойства автомобиля.

Таблица 5.1

Данные, определенные по тяговой характеристике

Параметр	V_{\max}	$F_{\text{кв}}$	$F_{\text{кпmax}}$	$F_{\text{кmax}}$	V_{\min}	F_{ϕ}	$V_{\text{кр}}$	$d_{\text{вп}}$	$d_{\text{вп}}$
Размерность	км/ч	кН	кН	кН	км/ч	кН	км/ч	—	—
Значение									

Таблица 5.2

Данные, определенные по динамической характеристике
автомобиля

Параметр	V_{max}	D_v	$D_{\text{пmax}}$	D_{max}	$F_{\text{адmax}}$	$i_{\text{пmax}}$	V_{\min}	D_{ϕ}	$V_{\text{кр}}$	$d_{\text{вп}}$	$d_{\text{вп}}$
Размерность	км/ч	—	—	—	кН	—	км/ч	—	км/ч	—	—
Значение											

Таблица 5.3

Данные, определенные по характеристике ускорений
автомобиля

Параметр	$a_{\text{хmax}}$	$V a_{\text{хmax}}$	$a_{\text{хпmax}}$	$V a_{\text{хпmax}}$	V_{max}
Размерность	м/с ²	км/ч	м/с ²	км/ч	км/ч
Значение					

Таблица 5.4

Данные, определенные по характеристикам времени и пути
разгона автомобиля

Параметр	V_{max}	t_{400}	t_{1000}	V_3	t_3
Размерность	км/ч	с	с	км/ч	с
Значение					

Таблица 5.5

Данные, определенные по топливной характеристике
установившегося движения автомобиля

Параметр	$V_{Qк}$	$Q_{к}$	V_3	Q_3
Размерность	км/ч	л/100 км	км/ч	л/100 км
Значение				

Литература

1. Гришкевич А. И. Автомобили: Теория. – Мн.: Выш. школа, 1986. – 208 с.
2. Токарев А. А. Топливная экономичность и тягово-скоростные качества автомобиля. – М.: Машиностроение, 1982. – 224 с.
3. Конструирование и расчет колесных машин высокой проходимости. Расчет агрегатов и систем / Под ред. Н.Ф. Бочарова, Л.Ф. Жеглова. – М.: Машиностроение, 1994. – 404 с.
4. ГОСТ 4754 - 97. Межгосударственный стандарт. Шины пневматические для легковых автомобилей, прицепов к ним, легких грузовых автомобилей и автобусов особо малой вместимости. Технические условия. – Мн.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1999.
5. ГОСТ 5513 - 97. Межгосударственный стандарт. Шины пневматические для грузовых автомобилей, прицепов к ним, автобусов и троллейбусов. Технические условия. – Мн.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1999.
6. Литвинов А. С., Фаробин Я. Е. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.
7. Мощностной баланс автомобиля / В.А.Петрушов, В.В.Московкин, А.Н.Евграфов. – М.: Машиностроение, 1984. – 160 с.
8. Евграфов А. Н., Высоцкий М. С., Титович А. И. Аэродинамика магистральных автопоездов. – Мн.: Наука и техника, 1988. – 232 с.
9. Евграфов А. Н., Есеновский – Лашков Ю. К. Аэродинамические свойства автомобилей и автопоездов. Методы исследований. – М.: МГАУ, 1998. – 79 с.
10. Европейский Союз. Технические стандарты на автотранспортные средства. Директива Совета 93/53/ЕС от 25 июля 1996 года. Максимальные разрешенные габаритные размеры и нагрузки (веса) автотранспортных средств.
11. Грузовые автомобили: Проектирование и основы конструирования / М.С.Высоцкий, Л.Х.Гилелес, С.Г.Херсонский. – М.: Машиностроение, 1995. – 256 с.

1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОБУСОВ
СЕМЕЙСТВА МАЗ-103

Параметр	МАЗ-103.1 городской, низкопольный	МАЗ-103.2 городской, низкопольный	МАЗ-103.3 городской, низкопольный
Двигатель	дизель, с наддувом		
	ММЗ Д260.5	Renault MIDR 06.02.26 Y41	MAN D 0826 LOH-07
Кол-во / расположение цилиндров	6, рядное		
Рабочий объем, л	7,12	6,18	6,60
Максимальная стендовая мощность, кВт / (об/мин)	169 / 2100	184 / 2350	169 / 2400
Максимальный крутящий момент, Н · м / (об/мин)	900 / 1300...1600	950 / 1300...1600	850 / 1300...1600
Трансмиссия	задний привод, механическая		
Коробка передач	6-ступенчатая МАЗ-306	6-ступенчатая Renault G406.0	5-ступенчатая ЯМЗ-236П
Передаточные числа	6,40; 3,67; 2,24; 1,42; 1,00; 0,79; з. х. 5,89	7,15; 3,84; 2,80; 1,30; 1,00; 0,80; з. х. 6,64	6,17; 3,14; 1,79; 1,00; 0,73; з. х. 6,43
Главная передача	5,82		
Колесная база, мм	6140		
Длина / ширина / высота, мм	12000 / 2500 / 2900		
Колея передняя / задняя, мм	2048 / 1824		
Количество мест для сиде- ния	21		
Номинальная (максималь- ная) вместимость, чел.	100		
Полная масса, кг	18000		
Объем топливного бака, л	220		
Диаметр разворота, м	22,6		
Размер шин	11/70 R 22,5		
Максимальная скорость, км/ч	70		
Расход топлива, л/100 км: при скорости 60 км/ч	25		

2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОБУСОВ СЕМЕЙСТВА МА3-104

Параметр	МА3-104.1 городской	МА3-104.2 городской	МА3-104.3 городской
Двигатель	дизель		
	ЯМЗ-236М2 без турбонаддува	ЯМЗ-236НЕ с турбонаддувом	
Кол-во / расположение цилиндров	6, V-образное		
Рабочий объем, л	11,5		
Максимальная стендовая мощность, кВт / (об/мин)	132,4 / 2100	169 / 2000	
Максимальный крутящий момент, Нм · / (об/мин)	667 / 1250...1450	900 / 1250...1450	
Трансмиссия	задний привод, механическая		
Коробка передач	6-ступенчатая МА3-306	5-ступенчатая ЯМЗ-236П	6-ступенчатая Renault G406.0
Передаточные числа	4,40; 3,67; 2,24; 1,42; 1,00; 0,79; з. х. 5,89	6,17; 3,14; 1,79; 1,00; 0,73; з. х. 6,43	7,15; 3,84; 2,80; 1,30; 1,00; 0,80; з. х. 6,64
Главная передача	5,82		
Колесная база, мм	6000		
Длина / ширина / высота, мм	12000 / 2500 / 3114		
Колея передняя / задняя, мм	2000 / 1820		
Количество мест для сидения	23		
Номинальная (максимальная) вместимость, чел.	100		
Полная масса, кг	18000		
Объем топливного бака, л	220		
Диаметр разворота, м	23,6		
Размер шин	11/70 R22,5		
Максимальная скорость, км/ч	70		
Расход топлива, л/100 км: при скорости 60 км/ч	25		

3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОБУСОВ СЕМЕЙСТВА МА3-105

Параметр	МА3-105.1	МА3-105.2
	городской особо большой вместимости	городской особо большой вместимости
Двигатель	дизель с турбонаддувом	
	ММЗ Д260.5	Renault MIDR 06.02.26 X
Кол-во / расположение цилиндров	6, рядное	
Рабочий объем, л	7,12	6,18
Максимальная стендовая мощность, кВт / (об/мин)	169 / 2100	166 / 2350
Максимальный крутящий момент, Н · м / (об/мин)	900 / 1300...1600	850 / 1300...1600
Трансмиссия	задний привод, механическая	
Коробка передач	6-ступенчатая МА3-306	5-ступенчатая ЯМЗ-236П
Передаточные числа	6,40; 3,67; 2,24; 1,42; 1,00; 0,79; з. х. 5,89	6,17; 3,14; 1,79; 1,00; 0,73; з. х. 6,43
Главная передача	5,78	
Колесная база, мм	6000+6390	
Длина / ширина / высота, мм	18000 / 2500 / 3000	
Колея передняя / задняя, мм	2000 / 1820	
Количество мест для сидения	35	
Номинальная (максимальная) вместимость, чел.	160(190)	
Полная масса, кг	26500	
Объем топливного бака, л	220	
Диаметр разворота, м	23,26	
Размер шин	11/70R22,5 (11R20)	
Максимальная скорость, км/ч	65	
Расход топлива, л/100 км: при скорости 60 км/ч	33	

4. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОБУСОВ СЕМЕЙСТВА MA3-105

Параметр	MA3-105.3 городской особо большой вместимости	MA3-105.4 городской особо большой вместимости
Двигатель	дизель с турбонаддувом	
	Renault MIDR 06.02.26 Y41	MAN D 0826 LOH-07
Кол-во / расположение цилиндров	6, рядное	
Рабочий объем, л	6,18	
Максимальная стендовая мощность, кВт / (об/мин)	184 / 2350	169 / 2400
Максимальный крутящий момент, Н · м / (об/мин)	950 / 1300...1600	850 / 1300...1600
Трансмиссия	задний привод, механическая	
Коробка передач	5-ступенчатая КамАЗ-14	6-ступенчатая Renault G406.0
Передаточные числа	7,82; 4,03; 2,50; 1,53; 1,00; з. х. 7,38	7,15; 3,84; 2,80; 1,30; 1,90; 0,80; з. х. 6,54
Главная передача	5,78	
Колесная база, мм	6000+6390	
Длина / ширина / высота, мм	18000 / 2500 / 3000	
Колея передняя / задняя, мм	2000 / 1820	
Количество мест для сидения	35	
Номинальная (максимальная) вместимость, чел.	160(190)	
Полная масса, кг	26500	
Объем топливного бака, л	220	
Диаметр разворота, м	23,26	
Размер шин	11/70R22,5 (11R20)	
Максимальная скорость, км/ч	65	
Расход топлива, л/100 км: при скорости 60 км/ч	33	

5. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОБУСОВ

Параметр	МАЗ-103С.1 пригородный, низкопольный	МАЗ-103С.2 пригородный, низкопольный	Mercedes-Benz 312D Sprinter
Двигатель	дизель, с наддувом		
	ММЗ Д260.5		
Кол-во / расположение цилиндров	6, рядное		5, рядное
Рабочий объем, л	7,12		2,874
Максимальная стендовая мощность, кВт / (об/мин)	169 / 2100		90 / 3800
Максимальный крутящий момент, Н · м / (об/мин)	900 / 1300...1600		280 / 2150
Трансмиссия	задний привод, механическая		
Коробка передач	5-ступенчатая КамАЗ-14	5-ступенчатая ЯМЗ-236П	5-ступенчатая
Передаточные числа	7,82; 4,03; 2,50; 1,53; 1,00; з. х. 7,38	6,17; 3,14; 1,79; 1,00; 0,73; з. х. 6,43	5,05; 2,60; 1,52; 1,00; 0,78; з. х. 4,76
Главная передача	5,78		4,375
Колесная база, мм	6140		4025
Длина / ширина / высота, мм	12000 / 2500 / 2900		6535 / 1933 / 2570
Колея передняя / задняя, мм	2048 / 1824		1638 / 1630
Количество мест для сидения	41		12
Номинальная (максимальная) вместимость, чел.	123		—
Полная масса, кг	18000		3500
Объем топливного бака, л	220		76
Диаметр разворота, м	22,6		18,6
Размер шин	11/70 R 22,5		225/70 R15
Максимальная скорость, км/ч	90		150
Расход топлива, л/100 км: при скорости 60 км/ч	25		—

**6. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОБУСОВ
СЕМЕЙСТВА МА3-104 С**

Параметр	МА3-104 С.1 пригородный	МА3-104 С.2 пригородный	МА3-104 С.3 пригородный
Двигатель	дизель		
	ЯМЗ-236НЕ с турбонаддувом	ЯМЗ-236М2 без турбонаддува	
Кол-во / расположение цилиндров	6, V-образное		
Рабочий объем, л	11,5		
Максимальная стендовая мощность, кВт / (об/мин)	169 / 2000	132,4 / 2100	
Максимальный крутящий момент, Н · м / (об/мин)	900 / 1250...1450	667 / 1250...1450	
Трансмиссия	задний привод, механическая		
Коробка передач	6-ступенчатая МА3-306	5-ступенчатая КамАЗ-14	5-ступенчатая ЯМЗ-236П
Передаточные числа	4,40; 3,67; 2,24; 1,42; 1,00; 0,79; з. х. 5,89	7,82; 4,03; 2,50; 1,53; 1,00; з. х. 7,38	6,17; 3,14; 1,79; 1,00; 0,73; з. х. 6,43
Главная передача	5,82		
Колесная база, мм	6000		
Длина / ширина / высота, мм	12000 / 2500 / 3114		
Колея передняя / задняя, мм	2000 / 1820		
Количество мест для сидения	33	45	
Номинальная (максимальная) вместимость, чел.	123		
Полная масса, кг	18000		
Объем топливного бака, л	220		
Диаметр разворота, м	23,6		
Размер шин	11R20		
Максимальная скорость, км/ч	95		
Расход топлива, л/100 км: при скорости 60 км/ч	25		

7. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Параметр	ЗИЛ-5301 «Бычок»	МАЗ-194370 (4x2)
Двигатель	дизель	
	с турбонаддувом	ММЗ-D.245.9 с наддувом
Рабочий объем, см ³	4750	—
Кол-во / расположение цилиндров	4, рядное	
Максимальная стендовая мощность, кВт / (об/мин)	80,2 / 2400	100 / 2400
Максимальный крутящий момент, Н · м / (об/мин)	350 / 1300...1700	460 / 1300
Трансмиссия	механическая	
Привод	на задние колеса	
Коробка передач	5-ступенчатая	
Передаточные числа	6,45; 3,56; 1,98; 1,275; 1,0; з. х. 6,15	5,63; 2,64; 1,48; 1,00; 0,81; з. х. 5,94
Главная передача	3,273	3,45
Колесная база, мм	3650	4200
Длина / ширина / высота, мм	6175 / 2265 / 2885	8030 / 2550 / 3600
Колея передняя / задняя, мм	1690 / 1820	1982 / 1958
Снаряженная масса, кг	3725	5030
Полная масса, кг	6950	9500
Объем топливного бака, л	125	130
Диаметр разворота, м	18,6	14,2
Размер шин	225/75R16	235/75 R 17,5
Максимальная скорость, км/ч	99,2	101
Время разгона до 60 км/ч, с	26,5	—
Расход топлива, л/100 км:		
при скорости 60 км/ч	—	15
при скорости 80 км/ч	—	21
при скорости 90 км/ч	18,9	—

8. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Параметр	ГАЗ-4301	МАЗ-55513 (4x4)
Двигатель	дизель	
	с турбонаддувом	ЯМЗ-238М2, без наддува
Рабочий объем, см ³	6230	—
Кол-во / расположение цилиндров	6, рядное	8, V-образное
Максимальная стендовая мощность, кВт / (об/мин)	92 / 2800	176,5 / 2300
Максимальный крутящий момент, Н · м / (об/мин)	370 / 1700	883 / 1500
Трансмиссия	механическая	
Привод	на задние колеса	полный привод
Коробка передач	5-ступенчатая	5-ступенчатая, ЯМЗ-236П
Передаточные числа	6,286; 3,391; 2,133; 1,351; 1,000; з. х. 5,429	5,26; 2,90; 1,52; 1,00; 0,66; з. х. 5,49
Раздаточная коробка	—	механическая, 1-ступенчатая
Передаточное число	—	1,107
Главная передача	5,857	7,79
Колесная база, мм	3700	3750
Длина / ширина / высота, мм	6425 / 2380 / 2420	6430 / 2500 / 3120
Колея передняя / задняя, мм	1700	2032 / 1970
Снаряженная масса, кг	3900	9000
Полная масса, кг	9050	16000 (17500)
Объем топливного бака, л	—	350
Диаметр разворота, м	19,2	17,2
Размер шин	240 R 20	12.00R20
Максимальная скорость, км/ч	85	70
Расход топлива, л/100 км: при скорости 60 км/ч	—	38
при скорости 80 км/ч	18	—

9. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ СЕМЕЙСТВА МАЗ

Параметр	МАЗ-5433+93802 (4x2)	МАЗ-53371 (4x2)
Двигатель	дизель ЯМЗ-236М2	
Кол-во / расположение цилиндров	6, V-образное	
Максимальная стендовая мощность, кВт / (об/мин)	132,4 / 2100	
Максимальный крутящий момент, Н·м / (об/мин)	667 / 1250-1450	
Трансмиссия	задний привод, механическая	
Коробка передач	5-ступенчатая, ЯМЗ-236П	
Передаточные числа	5,26; 2,90; 1,52; 1,00; 0,66; з. х. 5,49	
Главная передача	7,14	
Колесная база, мм	3300	4900
Длина / ширина / высота, мм	5535 / 2500 / 2925	8620 / 2500 / 4000
Колея передняя / задняя, мм	2032 / 1970	
Снаряженная масса, кг	6430	8200
Полная масса, кг	25000	1650(18000)
Объем топливного бака, л	200	350
Диаметр разворота, м	15,0	21,4
Размер шин	11.00R20	
Максимальная скорость, км/ч	87	
Расход топлива, л/100 км: при скорости 60 км/ч	28,5	26

10. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ СЕМЕЙСТВА МАЗ

Параметр	МАЗ-5516 (6x4)	МАЗ-63038 (6x4)	МАЗ-53366 (4x2)
Двигатель	дизель		
	ЯМЗ-238Д	ЯМЗ-238М2 с наддувом	ЯМЗ-238М2 без наддува
Кол-во / расположение цилиндров	8, V-образное		
Максимальная стендовая мощность, кВт / (об/мин)	243 / 2100	176,5 / 2300	176,5 / 2000
Максимальный крутящий момент, Н · м / (об/мин)	1225 / 1500	883 / 1500	883 / 1250...1450
Трансмиссия	задний привод, механическая		
Коробка передач	8-ступенчатая ЯМЗ-238А		5-ступенчатая ЯМЗ-236П
Передаточные числа	7,73; 5,52; 3,94; 2,8; 1,96; 1,39; 1,00; 0,71; з. х. 11,78		5,26; 2,90; 1,52; 1,00; 0,66; з. х. 5,49
Главная передача	6,59	7,79	7,14
Колесная база, мм	3350+1400	3810+1400	3950
Длина / ширина / высота, мм	7530 / 2500 / 3200	7600 / 2500 / 3200	7300 / 2500 / 3100
Колея передняя / задняя, мм	2032 / 1970		
Снаряженная масса, кг	12300	9200	7350
Полная масса, кг	28000	24700 (26700)	16000
Объем топливного бака, л	350		200
Диаметр разворота, м	19,6	22,6	17,6
Размер шин	12.00R20		11.00R20
Максимальная скорость, км/ч	88	80	85
Расход топлива, л/100 км: при скорости 60 км/ч	32	28,6	21,5

11. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Параметр	Nissan Almera 1.6 SLX	Daewoo Nexia	BMW 528i
Кузов	хэтчбек	седан	
Конструкция / материал	несущий / сталь		
Количество дверей / мест	5 / 5	4 / 5	
Двигатель	бензиновый с впрыском		
Расположение	спереди, поперечно		спереди, продольно
Рабочий объем, см ³	1597	1498	2793
Кол-во / расположение цилиндров	4, рядное		6, рядное
Степень сжатия	9,8	8,6	10,2
Максимальная стендовая мощность, кВт / (об/мин)	73,5 / 6000	58,8 / 5400	141,9 / 5300
Максимальный крутящий момент, Н · м / (об/мин)	136 / 4000	127 / 3200	280 / 3950
Трансмиссия	механическая		
Привод	передний		задний
Коробка передач	5-ступенчатая		
Передаточные числа	3,063; 1,826; 1,286; 0,975; 0,81; з. х. 3,417	3,55; 1,95; 1,28; 0,89; 0,71; з. х. 3,33	4,20; 2,49; 1,66; 1,24; 1,00; з. х. 3,89
Главная передача	4,167	3,72	2,93
Колесная база, мм	2535	2520	2830
Длина / ширина / высота, мм	4320 / 1690 / 1396	4482 / 1662 / 1393	4775 / 1800 / 1435
Колеса передняя / задняя, мм	1470 / 1435	1400 / 1406	1512 / 1526
Сухая масса, кг	1080	1025	1440
Полная масса, кг	1545	1460	1975
Передняя подвеска	независимая, McPherson		пружинная стойка
Задняя подвеска	многорычажная, пружинная	полунезависимая со скручиваемой балкой	многорычажная
Диаметр разворота, м	9,6	9,8	11,3
Передние тормоза	дисковые, вентилируемые		
Задние тормоза	барабанные		дисковые, вентилируемые
Размер шин	185/65R1486H	175/70R13T	225/60R1596W
Максимальная скорость, км/ч	180	163	236
Разгон 0...100 км/ч, с	11,0	12,2	7,5
Расход топлива, л/100 км:			
при скорости 90 км/ч	5,5	5,3	6,3
при скорости 120 км/ч	7,2	6,5	7,8
городской цикл	8,6	8,8	11,8

12. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Параметр	Fiat Bravo 1.6	Fiat Bravo 2.0	Ford Escort (AFL)
Кузов	хэтчбек		седан
Конструкция / материал	несущий / сталь		
Количество дверей / мест	5 / 5	3 / 5	4 / 5
Двигатель	бензиновый, с впрыском		Ford, бензиновый
Расположение	спереди, поперечно		
Рабочий объем, см ³	1581	1998	1598
Кол-во / расположение цилиндров	4, рядное	5, рядное	4, рядное
Степень сжатия	10,15	10,0	9,5
Максимальная стендовая мощность, кВт / (об/мин)	75,7 / 5750	108 / 6100	58,8 / 5800
Максимальный крутящий момент, Н·м / (об/мин)	144 / 4000	186 / 4500	127 / 4000
Трансмиссия	механическая, передний привод		
Коробка передач	5-ступенчатая		5-ступенч. М5
Передаточные числа	3,909; 2,238; 1,52; 1,156; 0,971; з. х. 3,909	3,545; 2,238; 1,52; 1,156; 0,946; з. х. 3,909	3,15; 1,93; 1,28; 0,95; 0,76; з. х. 3,62
Главная передача	3,353	3,562	3,82
Колесная база, мм	2540		2525
Длина / ширина / высота, мм	4187 / 1741 / 1413	4031 / 1755 / 1416	4298 / 1700 / 1369
Колея передняя / задняя, мм	1451 / 1453	1471 / 1430	1450 / 1468
Сухая масса, кг	1090	1190	1060
Полная масса, кг	1630	1690	1650
Объем багажника, л	380	280	—
Объем топливного бака, л	50	60	—
Передняя подвеска	независимая, McPherson		
Задняя подвеска	независимая, на продольных рычагах		независимая, пружинная
Тип рулевого механизма	шестерня-рейка, с усилителем		
Диаметр разворота, м	10,4	10,8	10,2
Передние тормоза	дисковые		дисковые, вентилируемые
Задние тормоза	барabanные	дисковые	барabanные
ABS	4-канальная, стандартный комплект		—
Размер шин	175/65R14 82T	195/55R15 84V	185/65 R14
Максимальная скорость, км/ч	180	210	180
Разгон 0...100 км/ч, с	11,5	8,5	12,6
Расход топлива, л/100 км:			
при скорости 90 км/ч	5,6	7,1	—
при скорости 120 км/ч	7,5	8,7	—
городской цикл	9,5	11,0	—

13. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ СЕМЕЙСТВА ВАЗ

Параметр	ВАЗ-2105	ВАЗ-21093	ВАЗ-21099
Кузов	седан	хэтчбек	седан
Конструкция / материал	несущий / сталь		
Количество дверей / мест	4 / 5	5 / 5	4 / 5
Двигатель	бензиновый		
Расположение	спереди продольно	спереди поперечно	
Рабочий объем, см ³	1300	1500	
Кол-во / расположение цилиндров	4, рядное		
Степень сжатия	8,5	9,9	
Максимальная стендовая мощность, кВт / (об/мин)	51,3 / 5600	52,6 / 5600	
Максимальный крутящий момент, Н · м / (об/мин)	94 / 3400	106,4 / 3400	
Трансмиссия	механическая		
Привод	задний	передний	
Коробка передач	4-ступенчатая	5-ступенчатая	
Передаточные числа	3,67; 2,10; 1,36; 1,00; з. х. 3,53	3,636; 1,95; 1,357; 0,941; 0,784; з. х. 3,53	
Главная передача	4,3	3,7	3,9
Колесная база, мм	2424	2460	
Длина / ширина / высота, мм	4128 / 1620 / 1446	4006 / 1620 / 1402	
Колея передняя / задняя, мм	1365 / 1321	1390 / 1360	
Снаряженная масса, кг	955	945	970
Полная масса, кг	1395	1370	1395
Объем топливного бака, л	43		
Передняя подвеска	независимая рычажно- пружинная	независимая телескопическая	
Задняя подвеска	зависимая рычажная	торсионно-рычажная	
Диаметр разворота, м	11,2	10,4	
Передние тормоза	дисковые, вентилируемые		
Задние тормоза	барabanные		
Размер шин	175/70R13	165/70R13	175/70R13
Максимальная скорость, км/ч	145	156	154
Разгон 0...100 км/ч, с	18	13	13,5
Расход топлива, л/100 км: при скорости 90 км/ч городской цикл	7,3 10,2	— —	

14. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Параметр	Opel Vectra X17 DT	Peugeot 406 2.0 SV	Opel Corsa Swing 1.5D
Кузов	седан		хэтчбек
Конструкция / материал	несущий / сталь		
Количество дверей / мест	4 / 5		3 / 4
Двигатель	дизель, с впры- ском	бензиновый с впрыском	дизельный, с впрыском
Расположение	спереди поперечно		
Рабочий объем, см ³	1686	1998	1487
Кол-во / расположение цилиндров	4, рядное		
Степень сжатия	22,0	11,0	23,0
Максимальная стендовая мощность, кВт / (об/мин)	60,3 / 4400	99,3 / 5500	36,8 / 4800
Максимальный крутящий момент, Н · м / (об/мин)	168 / 2400	180 / 4250	90 / 2400
Трансмиссия	механическая, передний привод		
Коробка передач	5-ступенчатая		
Передаточные числа	3,58; 1,87; 1,23; 0,92; 0,74; з. х. 3,33	3,46; 1,87; 1,36; 1,05; 0,84; з. х. 3,33	3,55; 1,96; 1,30; 0,89; 0,71; з. х. 3,31
Главная передача	3,74	4,16	3,94
Колесная база, мм	2640	2700	2443
Длина / ширина / высота, мм	4477 / 1707 / 1428	4555 / 1765 / 1396	3729 / 1608 / 1420
Колея передняя / задняя, мм	1484 / 1470	1500 / 1482	1387 / 1388
Снаряженная масса, кг	1160	1315	985
Полная масса, кг	1790	1915	1390
Объем багажника, л	480	360	260
Объем топливного бака, л	60	70	46
Передняя подвеска	независимая, McPherson		
Задняя подвеска	многорычажная	независимая, многорычажная	скручиваемая балка на про- дольных рычагах
Тип рулевого механизма	шестерня-рейка		
Диаметр разворота, м	10,6	11,4	10,4
Передние тормоза	дисковые, вентилируемые		дисковые
Задние тормоза	дисковые		барабанные
ABS	стандартный комплект	опция	
Размер шин	185/70R14H	195/65R15V	145/80R13
Максимальная скорость, км/ч	175	203	150
Разгон 0...100 км/ч, с	15,5	11,0	19,5
Расход топлива, л/100 км:			
при скорости 90 км/ч	4,6	6,1	4,0
при скорости 120 км/ч	6,4	7,7	5,7
городской цикл	8,7	11,3	6,0

15. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ Mercedes-Benz

Параметр	Mercedes-Benz W210 E 220 D	Mercedes-Benz W210 E 420
Кузов	седан	
Конструкция / материал	несущий / сталь	
Количество дверей / мест	4 / 5	
Двигатель	дизельный	бензиновый
Расположение	спереди, продольно	
Рабочий объем, см ³	2155	4973
Кол-во / расположение цилиндров	4, рядное	8, V-образное
Степень сжатия	22,0	11,0
Максимальная стендовая мощность, кВт / (об/мин)	70 / 5000	255 / 5750
Максимальный крутящий момент, Н · м / (об/мин)	150 / 3100-4500	480 / 3750-4250
Трансмиссия	механическая, задний привод	
Коробка передач	5-ступенчатая	
Передаточные числа	4,25; 2,41; 1,49; 1,00; 0,82; з. х. 5,67	3,59; 2,19; 1,41; 1,00; 0,83; з. х. 3,16
Главная передача	3,64	3,06
Колесная база, мм	2833	
Длина / ширина / высота, мм	4795 / 1799 / 1433	4795 / 1799 / 1411
Колеса передняя / задняя, мм	1548 / 1542	1560 / 1543
Снаряженная масса, кг	1460	1750
Полная масса, кг	1960	2220
Объем топливного бака, л	50	
Передняя подвеска	Mercedes-Benz, независимая, рычажно-пружинная	
Задняя подвеска	Mercedes-Benz, независимая, многорычажная	
Тип рулевого механизма	шестерня-рейка, с усилителем	
Диаметр разворота, м	10,6	
Размер шин	205/65R15	215/55R16 93W
Максимальная скорость, км/ч	172	220
Разгон 0...100 км/ч, с	12,6	14,6

16. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Параметр	Volvo V40 VW 1972	Ford Transit Van100 S
Кузов	универсал	фургон, вагонного типа
Конструкция / материал	несущий / сталь	
Количество дверей / мест	5 / 5	4 / 3
Двигатель	бензиновый, с турбонаддувом	Ford, бензиновый
Расположение	спереди, поперечно	
Рабочий объем, см ³	1948	1994
Кол-во / расположение цилиндров	4, рядное	
Степень сжатия	9,0	9,2
Максимальная стендовая мощность, кВт / (об/мин)	118 / 5100	83,7 / 5800
Максимальный крутящий момент, Н · м / (об/мин)	230 / 1800...4800	167 / 2700
Трансмиссия	механическая	
Привод	на передние колеса	на задние колеса
Коробка передач	5-ступенчатая Volvo M56H1	5-ступенчатая MT75CR
Передаточные числа	3,07; 1,77; 1,19; 0,87; 0,70; з. х. 3,30	3,89; 2,08; 1,34; 1,00; 0,83; з. х. 3,51
Главная передача	4,00	4,56
Колесная база, мм	2550	2835
Длина / ширина / высота, мм	4483 / 1717 / 1406	4616 / 1972 / 2204
Колея передняя / задняя, мм	1454 / 1474	1692 / 1700
Снаряженная масса, кг	1315	1456
Полная масса, кг	1810	2550
Объем топливного бака, л	50	—
Передняя подвеска	независимая, McPherson	независимая, McPherson, со стабилизатором поперечной устойчивости
Задняя подвеска	независимая, многогорычажная	зависимая, на продольных полуэллиптических рессорах
Тип рулевого механизма	шестерня-рейка, с усилителем	
Диаметр разворота, м	10,8	12,6
Размер шин	205/55R16	195R14 C-6PR
Максимальная скорость, км/ч	180	150
Разгон 0...100 км/ч, с	11,0	18

17. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Параметр	Volkswagen Caddy 1,9 TDI	Opel Combo 1,7 D	Ford Escort Express 1,8D
Кузов	фургон		
Конструкция / материал	несущий / сталь		
Количество дверей / мест	3 / 2		
Двигатель	дизельный с тур- бонаддувом, непо- средственный впрыск VW 19TDI	атмосферный ди- зель, форкамерное смесеобразование воздуха X17D	атмосферный ди- зель, форкамерное смесеобразование воздуха 1,8 EnduraD
Расположение	спереди, поперечно		
Рабочий объем, см ³	1896	1686	1753
Степень сжатия	19,5	22,0	21,5
Максимальная стендовая мощность, кВт / (об/мин)	66,2 / 4000	44 / 4400	44 / 4800
Максимальный крутящий момент, Н · м / (об/мин)	210 / 1900	112 / 2650	108 / 2500
Трансмиссия	механическая, передний привод		
Коробка передач	5-ступенчатая		
Передаточные числа	3,778; 2,118; 1,360; 0,971; 0,756; з. х. 3,600	3,730, 1,960; 1,310; 0,950; 0,760; з. х. 3,310	3,420; 2,140; 1,450; 1,030; 0,770; з. х. 3,460
Главная передача	3,158	3,940	3,560
Колесная база, мм	2601	2480	2597
Длина / ширина / высота, мм	4233 / 1696 / 1839	4230 / 1686 / 1805	4288 / 1688 / 1603
Колея передняя / задняя, мм	1484 / 1470		
Снаряженная масса, кг	1220	1160	1200
Полная масса, кг	1770	1830	1900
Объем грузового отсека, м ³	2,9	2,7	2,2
Объем топливного бака, л	54	50	55
Передняя подвеска	независимая, McPherson		
Задняя подвеска	зависимая, рессорная		
Тип рулевого механизма	шестерня-рейка с усилителем		
Диаметр разворота, м	10,6	9,66	10,7
Передние тормоза	вентилируемые диски		
Задние тормоза	барабанные		
Размер шин	185/70 R14	195/80 R15	195/70R 14
Максимальная скорость, км/ч	170	150	155
Разгон 0...100 км/ч, с	13,2	15,6	14,8
Расход топлива, л/100 км: средний	6,7	7,4	6,8

18. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Параметр	Renault Kangoo Express 1,9D	Nissan Pickup Double
Кузов	фургон	пикап
Конструкция / материал	несущий / сталь	рамный / сталь
Количество дверей / мест	3 / 2	4 / 5
Двигатель	атмосферный дизель, форкамерное смесеобразование воздуха F8Q630	дизельный, с турбонаддувом и промежуточным охлаждением
Расположение	спереди, поперечно	спереди, продольно
Рабочий объем, см ³	1870	2494
Степень сжатия	21,5	—
Максимальная стендовая мощность, кВт / (об/мин)	47,8 / 4500	76,5 / 4000
Максимальный крутящий момент, Н·м / (об/мин)	120 / 2250	245 / 2000
Трансмиссия	механическая	
Привод	на передние колеса	на задние колеса с подключением переднего моста
Коробка передач	5-ступенчатая	
Передаточные числа	3,727; 2,048; 1,393; 1,029; 0,892; з. х. 3,545	3,580; 2,077; 1,360; 1,000; 0,811; з. х. 3,636
Понижающая передача РК	—	2,020
Главная передача	3,560	4,875
Колесная база, мм	2600	2950
Длина / ширина / высота, мм	3995 / 1663 / 1827	4885 / 1820 / 1710
Колеса передняя / задняя, мм	1484 / 1470	1480 / 1455
Снаряженная масса, кг	1085	1800
Полная масса, кг	1885	2680
Площадь грузовой платформы, м ²	—	1,94
Объем грузового отсека, м ³	2,7	—
Объем топливного бака, л	52	50
Передняя подвеска	независимая, McPherson	независимая
Задняя подвеска	зависимая, рессорная	рессорная
Тип рулевого механизма	шестерня-рейка с усилит.	—
Диаметр разворота, м	10,8	12,6
Передние тормоза	вентилируемые диски	дисковые
Задние тормоза	барабанные	дисковые
Размер шин	195/65R15V	195/80 R15
Максимальная скорость, км/ч	160	145
Разгон 0...100 км/ч, с	14,2	17,4
Расход топлива, л/100 км: средний	7,3	13,1

19. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПОВЫШЕННОЙ ПРОХОДИМОСТИ

Параметр	Toyota Land Cruiser 100	Kia Sportage 2.0 MRi(ДОНС)
Кузов	внедорожный	
Конструкция / материал	рамная / сталь	
Количество дверей / мест	5 / 5	
Двигатель	дизель с турбонаддувом и охладителем	бензиновый с впрыском
Расположение	спереди, продольно	
Рабочий объем, см ³	4164	1998
Кол-во / расположение цилиндров	6, рядное	4, рядное
Степень сжатия	18,8	9,2
Максимальная стендовая мощность, кВт / (об/мин)	150 / 3400	94,2 / 5300
Максимальный крутящий момент, Н · м / (об/мин)	430 / 1400-3200	175 / 4700
Трансмиссия	полный привод, механическая	
Привод	постоянный	с отключаемыми передними колесами
Коробка передач	5-ступенчатая	
Передаточные числа	4,081; 2,294; 1,490; 1,000; 0,881; з. х. 4,313	3,72; 2,02; 1,36; 1,0; 0,8; з. х. 3,45
Понижающая передача РК	2,488	—
Главная передача	3,909	4,78
Колесная база, мм	2850	2650
Длина / ширина / высота, мм	4940 / 1940 / 1880	4050 / 1730 / 1650
Колея передняя / задняя, мм	1620 / 1615	1440 / 1440
Спаряженная масса, кг	2650	1420
Полная масса, кг	3260	1930
Объем топливного бака, л	96	60
Передняя подвеска	независимая, сдвоенные поперечные рычаги со стабилизатором	независимая, на двойных треугольных рычагах
Задняя подвеска	зависимая, с четырьмя продольными рычагами со стабилизатором	зависимая, пружинная, с тягой Панара
Тип рулевого механизма	—	червячная пара с сервоусилителем
Диаметр разворота, м	11,8	10,6
Размер шин	275/70 R16	205/75SR15
Максимальная скорость, км/ч	170	166
Разгон 0...100 км/ч, с	13,6	14,7
Расход топлива, л/100 км:		
при скорости 90 км/ч	—	8,5
при скорости 120 км/ч	—	11,9
городской цикл	14,0	13,0

20. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПОВЫШЕННОЙ ПРОХОДИМОСТИ

Параметр	Land Rover Freelander	Mitsubishi Space Gear 2.5TD 4x4
Кузов	внедорожный	минивэн
Конструкция / материал	рамная / сталь	несущий с встроенной рамой / сталь
Количество дверей / мест	5 / 5	5 / 8
Двигатель	турбодизель	турбодизель с впрыском
Расположение	спереди, поперечно	спереди, продольно
Рабочий объем, см ³	2000	2477
Кол-во / расположение цилиндров	4, рядное	
Степень сжатия	19,5	21,0
Максимальная стендовая мощность, кВт / (об/мин)	66,2 / 4200	72,8 / 4200
Максимальный крутящий момент, Н · м / (об/мин)	210 / 2000	240 / 2000
Трансмиссия	полный привод, механическая	
Привод	постоянный	
Коробка передач	5-ступенчатая	
Передаточные числа	3,250; 1,894; 1,222; 0,848; 0,649; з. х. 3,00	3,95; 2,24; 1,40; 1,00; 0,76; з. х. 3,55
Понижающая передача РК	1,458	—
Главная передача	4,200	4,875
Колесная база, мм	2555	2800
Длина / ширина / высота, мм	4382 / 1720 / 1757	4595 / 1695 / 1965
Колея передняя / задняя, мм	1410 / 1410	1440 / 1435
Снаряженная масса, кг	2050	1835
Полная масса, кг	3850	2700
Объем топливного бака, л	—	75
Передняя подвеска	—	независимая, торсионная, на двойных рычагах
Задняя подвеска	—	пятирычажная, пружинная, с тягой Панара
Тип рулевого механизма	—	червячная пара с гидроусилителем
Диаметр разворота, м	11,6	11,0
Размер шин	195/80 R15	215R15
Максимальная скорость, км/ч	155	137
Разгон 0...100 км/ч, с	15,2	—
Расход топлива, л/100 км:		
при скорости 90 км/ч	—	9,2
при скорости 120 км/ч	—	12,6
городской цикл	9,6	12,3

Содержание

Введение.....	3
1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ (КОНТРОЛЬНОЙ) РАБОТЫ.....	3
2. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ.....	4
3. ОЦЕНКА ТЯГОВО-СКОРОСТНЫХ СВОЙСТВ АВТОМОБИЛЯ.....	7
3.1. Уравнение движения автомобиля.....	7
3.2. Внешняя скоростная характеристика двигателя.....	10
3.3. Тяговая характеристика автомобиля.....	14
3.3.1. Передаточные числа трансмиссии.....	16
3.3.2. Коэффициент полезного действия трансмиссии.....	17
3.3.3. Радиус качения.....	17
3.3.4. Сила сопротивления дороги.....	19
3.3.5. Сила сопротивления воздуха.....	20
3.3.6. Практическое использование тяговой характеристики автомобиля.....	23
3.4. Мощностная характеристика автомобиля.....	28
3.5. Динамическая характеристика автомобиля.....	31
3.5.1. Практическое использование динамической характеристики автомобиля.....	32
3.6. Разгон автомобиля.....	36
3.6.1. Ускорение автомобиля при разгоне.....	36
3.6.2. Время и путь разгона автомобиля.....	39
3.6.3. Практическое использование характеристик времени и пути разгона автомобиля.....	50
4. ОЦЕНКА ТОПЛИВНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АВТОМОБИЛЯ.....	50
4.1. Оценочные показатели топливной экономичности.....	51
4.2. Уравнение расхода топлива.....	53
4.3. Топливная характеристика установившегося движения.....	56
5. ИТОГОВЫЕ ТАБЛИЦЫ.....	62
Л и т е р а т у р а.....	64
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	65

Учебное издание

РУКТЕШЕЛЬ Олег Степанович
БОБРОВСКИЙ Борис Владимирович
ЛЕБЕДЕВ Михаил Сергеевич и др.

**ТЯГОВАЯ ДИНАМИКА И ТОПЛИВНАЯ
ЭКОНОМИЧНОСТЬ АВТОМОБИЛЯ
С МЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ**

Учебно-методическое пособие
для студентов специальностей

Т.04.02 – «Эксплуатация транспортных средств»,
Т.04.03 – «Организация движения и управление на транспорте»,
Т.04.06 – «Автомобили»

Редактор Г.В.Ширкина
Компьютерная верстка Н.А.Школьниковой

Подписано в печать 12.02.2001.

Формат 60x84 1/16. Бумага типографская №2.

Печать офсетная. Гарнитура книжно-журнальная.

Усл.печ. л. 5,1. Уч.-изд. л. 4,0. Тираж 200. Заказ 219.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусская государственная политехническая академия.

Лицензия ЛВ №155 от 30.01.98.

220027, Минск, проспект Ф.Скорины, 65.