

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тихоокеанский государственный университет»

Утверждаю в печать
Ректор университета, профессор
_____ С.Н. Иванченко
«___» _____ 2021 г.

ТЕОРИЯ АВТОМОБИЛЯ

Методические указания к выполнению курсовой работы для обучающихся по направлению 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» профилей (Автомобили и автомобильное хозяйство, Автомобильный сервис).

Составитель: Волков Е.В.

Рассмотрены и рекомендованы к изданию кафедрой «Техническая эксплуатация и сервис транспортно-технологических машин»

«___» _____ 2021 г.

Зав. кафедрой ТЭСМ, к.т.н. _____ С.Г. Павлишин

Рассмотрены и рекомендованы к изданию советом транспортно-энергетического факультета

«___» _____ 2021 г.

Декан ТЭФ _____ П.П. Володькин

Хабаровск
Издательство ТОГУ
2021

Теория автомобиля

Методические указания к выполнению курсовой работы для
студентов, обучающихся по направлению 23.03.03
«Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»
(Автомобили и автомобильное хозяйство, Автомобильный сервис)

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тихоокеанский государственный университет»

ТЕОРИЯ АВТОМОБИЛЯ

Методические указания к выполнению курсовой работы для обучающихся по направлению 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» профилей (Автомобили и автомобильное хозяйство, Автомобильный сервис).

Хабаровск - 2021

УДК 629.113.004.58

Методические указания к выполнению курсовой работы для обучающихся по направлению 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» профилей (Автомобили и автомобильное хозяйство, Автомобильный сервис)./ сост. Е.В. Волков. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2021.- 25с.

Методические указания разработаны на кафедре «Техническая эксплуатация и сервис транспортно-технологических машин». Включают общие сведения об эксплуатационных свойствах автомобилей, указания по выполнению курсовой работы, варианты заданий, алгоритмы решения задач.

Печатается в соответствии с решением кафедры «Техническая эксплуатация и сервис транспортно-технологических машин».

ВВЕДЕНИЕ

Автомобиль - это механическое безрельсовое транспортное средство, тяговые усилия которого создается за счет взаимодействия ведущих колес с опорной поверхностью (дорогой). Из-за сложных и разнообразных условий эксплуатации автомобиля имеют различное конструктивное исполнение и, как следствие, различные свойства, число которых велико, поэтому их необходимо сгруппировать по определенным признакам в иерархическую систему, включающую крупные свойства: качество, надежность, безопасность, эксплуатационные свойства и др.

Степень совершенства конструкции автомобиля определяется его эксплуатационными свойствами: тягово-скоростными и тормозными, топливной экономичностью, управляемостью, устойчивостью, проходимостью, маневренностью и плавностью хода, поэтому основное содержание дисциплины направлено на теоретическое обоснование основных параметров и характеристик, определяющих эти свойства.

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

1.1. Выбор варианта задания и техническая характеристика автомобиля

Курсовую работу каждый студент выполняет индивидуально с обязательным рассмотрением эксплуатационных свойств реальных автомобилей, которые выбираются по двум последним цифрам шифра зачетной книжки согласно табл. 1. В данной таблице рекомендуются к рассмотрению автомобили только советского и Российского производства, для которых необходимые для расчёта конструктивные параметры находятся в открытом доступе, например в [1], заводских инструкциях или Интернете. По согласованию с преподавателем допускается изучение эксплуатационных свойств автомобилей зарубежного производства, но в этом случае возникают трудности с нахождением необходимых параметров для расчёта. Параметры, определяющие эксплуатационные свойства автомобиля устанавливаются теоретически или опытным путем. Для получения экспериментальных данных автомобиль испытывают на специальных стендах или на полигоне в условиях, приближенных к эксплуатационным. В отличие от реального эксперимента, который, как правило, слишком дорог, требует значительного времени и не всегда возможен, математическое исследование позволяет за время, во много раз меньшее, просмотреть (проиграть) различные варианты. В курсовой работе они рассчитываются, т.е. определяются теоретически и сравниваются с нормативными значениями, указанными в ГОСТах, специальной и справочной литературе.

Таблица 1

Марки автомобилей для выполнения курсовой работы

Последние цифры шифра зачетной книжки	Марка автомобиля	Последние цифры шифра зачетной книжки	Марка автомобиля
01	Урал-4320	26	ЗАЗ-1102
02	Урал-377	27	ЗАЗ-968А
03	Урал-375	28	ИЖ-2715
04	КрАЗ-260	29	ИЖ-2126
05	КрАЗ-255Б1	30	ГАЗ-3110
06	МАЗ-514	31	ГАЗ-31029
07	МАЗ-503	32	ГАЗ-2410
08	МАЗ-5335	33	Москвич-2141
09	МАЗ-500	34	Москвич-2140
10	КамАЗ-4310	35	Москвич-412
11	КамАЗ-55111	36	ВАЗ-1111
12	КамАЗ-5410	37	ВАЗ-2121
13	КамАЗ-5320	38	ВАЗ-2110
14	САЗ-3503	39	ВАЗ-2108
15	ГАЗ-3307	40	ВАЗ-2106
16	ГАЗ-52-04	41	ВАЗ-2103
17	ГАЗ-66	42	ВАЗ-2101
18	ГАЗ-53	43	УАЗ-3303
19	ЗИЛ-ММЗ-555	44	УАЗ-469
20	ЗИЛ-5307	45	УАЗ-452
21	ЗИЛ-4331	46	ЛАЗ-699Р
22	ЗИЛ-133ГЯ	47	ЛАЗ-695
23	ЗИЛ-131	48	КАвЗ-685
24	ЗИЛ-130	49	ПАЗ-3201
25	АТЗ-3,8-130	50	ПАЗ-672

Примечание: если две последние цифры шифра зачетной книжки больше 50, то из них необходимо вычесть 50.

При выполнении курсовой работы на основании анализа литературных источников, а также заводских инструкций по маркам автомобилей, студент дает краткую характеристику заданного автомобиля и приводит его основные параметры (табл. 2).

Таблица 2

Краткая техническая характеристика автомобиля

№ п/п	Параметр	Обозначение	Числовые значения
1.	Марка автомобиля		
2.	Категория автомобиля		
3.	Грузоподъемность (кг) или число мест для пассажиров	m_{ep}	
4.	Собственная масса автомобиля	m_0	
5.	Полная масса груженого автомобиля, кг	m_a	
6.	Распределение массы автомобиля по осям, кг:		
	- с грузом: На переднюю ось На заднюю ось (тележку)	m_{a1} m_{a2}	
	- без груза: На переднюю ось На заднюю ось (тележку)	m_{01} m_{02}	
7	Габаритные размеры, м:		
	- длина	L_z	
	- ширина	B_z	
	- высота	H_z	
8.	База автомобиля, м	L_a	
9.	Колея колес, м		
	-передних	B_1	
	-задних	B_2	
10	Максимальная эффективная мощность (кВт) при n_N , мин ⁻¹	N_e/n_N	
11.	Максимальный крутящий момент при n_M , мин ⁻¹	M_e/n_M	
12.	Передаточное число коробки передач:	$U_{kn1}, U_{kn2} \dots$	
13.	Передаточные числа дополнительной коробки передач	$U_{dk1}, U_{dk2} \dots$	
14.	Передаточное число главной передачи	U_{gn}	
15.	Размер шин (в дюймах или мм)	$B_{ш}, D_{ш}$	

На тягово-скоростные свойства автомобиля самое существенное влияние оказывает тип и мощность двигателя, тип трансмиссии (механическая или автоматическая), количество передач и численные значения передаточных чисел трансмиссии, её КПД, колёсная формула и конструкция шин, параметры обтекаемости и другие факторы. Показателями тягово-скоростных свойств являются : максимальная скорость, преодолеваемое суммарное дорожное сопротивление на первой передаче, время и путь разгона автомобиля до максимальной (заданной) скорости. В контрольной работе производится анализ параметров и характеристик полностью груженого автомобиля. При расчете тягово-скоростных свойств автомобиля и определении возможности его движения в заданных условиях (по ψ и φ_x) необходимо предварительно найти в учебной и специальной литературе либо рассчитать следующие параметры :

- коэффициент полезного действия трансмиссии $\eta_{\text{тр}}$;
- фактор сопротивления воздуха W_B ;
- кинематический (r_k) и динамический (r_d) радиусы колеса;
- суммарный коэффициент дорожного сопротивления ψ .

При анализе параметров трехосного автомобиля необходимо произвести пересчет его продольной базы и нагрузки на мосты для эквивалентной схемы двухосного автомобиля. Продольная база в этом случае будет определяться от оси симметрии переднего моста до оси балансирной подвески по формуле:

$$L_a' = L_{a1} + C_a/2,$$

где L_{a1} – расстояние между осями переднего и среднего мостов, м; C_a – расстояние между осями среднего и заднего мостов автомобиля, м.

Согласно ГОСТ Р 51709-2001 «Автотранспортные средства. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки» категория автомобиля определяется по табл. 3.

Таблица 3

Категория автотранспортных средств

Категория АТС	Разрешенная максимальная масса, т	Характеристика АТС
M ₁	-	Для перевозки пассажиров (АТС, имеющие не более 8 мест для сидения, кроме водителя)
M ₂	До 5	То же (АТС, имеющие более 8 мест для сидения, кроме места водителя)
M ₃	Св. 5	
N ₁	До 3,5	
N ₂	Св. 3,5 до 12,0	Для перевозки грузов
N ₃	Св. 12	

При определении вертикальных реакций эквивалентного двухосного автомобиля можно считать, что при симметричной тележке силы веса, действующие на средний и задний мосты равны. Следовательно, нагрузка на правое и левое задние колеса будет равна полусумме сил, действующих на оба моста.

1.2. Определение параметров автомобиля при подготовке исходных данных для расчета характеристик эксплуатационных свойств

Коэффициент полезного действия трансмиссии. КПД трансмиссии автомобиля является величиной переменной, зависящей от многих факторов: числа и свойств кинематических пар, передающих механическую энергию от коленчатого вала двигателя к ведущим колесам, передаваемого момента, частоты вращения валов, свойств рабочих жидкостей и смазочных масел в агрегатах трансмиссии и других факторов. Его можно рассчитать по формуле

$$\eta_{\text{тр}} = 0,98^k \cdot 0,97^l \cdot 0,995^m,$$

где k - количество пар цилиндрических шестерен, участвующих в передаче крутящего момента от двигателя к ведущим колесам; l – количество пар конических (гипоидных) шестерен; m – количество карданных шарниров. При отсутствии необходимых данных о значениях КПД отдельных механизмов трансмиссии значения общего КПД трансмиссии ($\eta_{\text{тр}}$) автомобиля могут быть приняты в таких пределах:

- легковые автомобили и автобусы особо малого класса – 0,92 ... 0,94;
 - грузовые автомобили и автобусы с колесной формулой 4x2 и одинарной главной передачей – 0,90 ... 0,92 ;
 - грузовые автомобили и автобусы с колесной формулой 4x2 и двойной главной передачей – 0,88 ... 0,90;
 - грузовые автомобили и автобусы с колесной формулой 4x4 и двойной главной передачей – 0,85 ... 0,88;
 - грузовые автомобили и автобусы с колесной формулой 6x4 и 6x2 и двойной главной передачей – 0,82 ... 0,85;
 - грузовые автомобили 6x6 и двойной главной передачей – 0,80 ... 0,82.
- КПД используется для оценки потерь мощности в трансмиссии.

Фактор сопротивления воздуха. Он обозначается W_v и определяется формулой:

$$W_v = K_v \cdot F_a,$$

где K_v - коэффициент сопротивление воздуха, $\text{Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$; F_a – площадь Миделева сечения автомобиля, м^2 .

Площадь Миделева сечения определяют по формуле:

$$F_a = K_F \cdot H_r \cdot B_r,$$

где K_F – коэффициент использования площади Миделя; H_r , B_r – габаритные ширина и высота автомобиля, м.

В расчетах значение коэффициента K_F может быть принято в диапазоне 0,78... 0,8 для легковых автомобилей и 0,75...0,9 – грузовых и автобусов.

При отсутствии экспериментальных данных по заданному автомобилю в расчетах можно использовать (при угле натекания, равном нулю) следующие средние значения коэффициента сопротивления воздуха K_B :

- легковые автомобили – $0,2 \dots 0,35 \text{ Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^4$;
- автобусы с капотной компоновкой – $0,45 \dots 0,55 \text{ Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^4$;
- автобусы с вагонной компоновкой – $0,35 \dots 0,45 \text{ Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^4$;
- грузовые автомобили бортовые – $0,6 \dots 0,8 \text{ Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^4$;
- грузовые автомобили с кузовом-фургоном – $0,5 \dots 0,6 \text{ Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^4$;
- цистерны – $0,55 \dots 0,65 \text{ Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^4$;
- автопоезда – $0,85 \dots 0,95 \text{ Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^4$.

Фактор обтекаемости W_B количественно характеризует аэродинамические качества автомобиля и служит для определения сил и мощностей сопротивления воздуха.

Радиус колеса. Автомобильное колесо с эластичной шиной имеет четыре радиуса – номинальный ($r_{ном}$), статический ($r_{ст}$), динамический ($r_{д}$) и кинематический ($r_{к}$). Для движущегося автомобиля речь может идти только о двух радиусах – динамическом и кинематическом. При анализе силовых и мощностных параметров взаимодействия колеса с опорной поверхностью (дорогой) необходимо пользоваться понятием «динамического радиуса», который ориентировочно можно определить по формуле:

$$r_{д} = r_{ко} \pm \lambda_m(M_k - M_f),$$

где $r_{ко}$ – радиус качения колеса в свободном режиме, м; λ_m – коэффициент тангенциальной эластичности шины, мм/Н·м; M_k – тяговый (-) или тормозной (+) момент, подведенный к колесу, Н·м; M_f – момент сопротивления качению колеса, Нм.

Для тороидных и широкопрофильных шин коэффициент тангенциальной эластичности находится в диапазоне $0,0003 \dots 0,0007 \text{ мм/Н}\cdot\text{м}$. Меньшие значения для шин легковых автомобилей, а большие – грузовых и автобусов.

Номинальный радиус колеса определяется зависимостью:

$$r_k = 0,5 \cdot D_{ш} + B_{ш} \cdot \Delta_{ш} \cdot \lambda_{см},$$

где $\lambda_{см}$ – коэффициент, учитывающий смятие шины под нагрузкой, мм/Н·м; $D_{ш}$ и $B_{ш}$ – посадочный диаметр обода и ширина профиля шины, м; $\Delta_{ш}$ – коэффициент широкопрофильности, который определяется отношением высоты профиля шины ($H_{ш}$) к ширине ($B_{ш}$).

Кинематический радиус колеса определяют как отношение:

$$r_k = V_a / \omega_k,$$

где V_a – скорость автомобиля, м/с; ω_k – угловая частота вращения колеса, с⁻¹.

Понятием «кинематический радиус колеса» ипользуются при анализе скоростей и ускорений автомобиля. Его величина изменяется в широких пределах – от нуля (буксование) до бесконечности (юз).

В расчетах можно принимать значения кинематического и динамического радиусов одинаковыми, полученными расчетом по эмпирической формуле:

$$r_k = r_d = 0,0127 \cdot (D_{ш} + 1,7 \cdot B_{ш}),$$

где размеры шин $D_{ш}$ и $B_{ш}$ подставляются в радианах, а радиус получается в метрах.

Размеры шин ($D_{ш}$, $B_{ш}$ и $\Delta_{ш}$) определяются из маркировки шин, которая приводится в справочной и специальной литературе.

Коэффициент суммарного дорожного сопротивления. Он определяется выражением:

$$\Psi = f \cdot \cos \alpha + \sin \alpha,$$

где f – коэффициент сопротивления качению эластичных шин автомобиля; α – уклон (подъем) дороги в градусах ($\{+\}$ – подъем, $\{-\}$ – уклон).

В теории автомобиля принято измерять подъем (уклон) в градусах. В дорожном строительстве измерение вертикального профиля дороги обозначают уклоном в процентах. Связь между этими параметрами для малых углов приведена в табл. 4.

Таблица 4

Значение параметров вертикального профиля дороги

Параметр	Значения параметра		
α , град	5	10	15
β , рад	0,087	0,174	0,262
$tg \beta$	0,087	0,176	0,268
$\sin \beta$	0,087	0,174	0,268
Уклон, %	8,7	17,4	26,2
i	0,087	0,174	0,262

На основании анализа приведенных данных можно сделать вывод, что для малых углов подъема (уклона), свойственных большей части автомобильных дорог, значения $tg \beta$ и $\sin \beta$ незначительно отличаются от угла β . Следовательно, можно записать:

$$\beta \approx tg \beta \approx \sin \beta \approx i,$$

где i – уклон дороги в долях радиана.

Уклон в процентах в дорожном строительстве получают умножением i на 100 %. Например, уклон в 16 % соответствует углу $\beta = 0,16$ рад ($i = 0,16$) или

$$\alpha = \arctg \beta \approx \arcsin \beta = 9,15^\circ.$$

Связь между углами α и β (i) может быть выражена зависимостью :

$$\alpha = 57,3 \cdot \beta.$$

Принимая для малых углов уклона дороги $\cos \alpha \approx 1$, коэффициент суммарного дорожного сопротивления рассчитывают по формуле:

$$\Psi = f + \sin \alpha = f + i.$$

На коэффициент сопротивления качению оказывают влияние различные факторы: тип и конструкция шины, ее техническое состояние, вертикальная нагрузка и горизонтальная реакция, тип и состояние дорожного покрытия, давление воздуха в шине, скорость движения автомобиля и др. Считая техническое состояние шины хорошим, а давление воздуха соответствующим норме, при анализе тягово-скоростных свойств автомобиля учитывают влияние скорости движения на коэффициент сопротивления качению по формуле:

$$f = f_0 \cdot (1 + V_a^2/1500),$$

где V_a – скорость движения автомобиля, м/с; f_0 – значение коэффициента сопротивления качению при малых скоростях движения (до 15 м/с).

Значения коэффициентов сопротивления качению шин для различных типов дорог приведены в табл. 5.

Таблица 5

Коэффициенты сопротивления качению

Тип и состояние дороги	Значение коэффициента	
	f_0	f
1. С асфальто- или цементобетонным покрытием:		
– в отличном состоянии	0,012÷0,014	0,012÷0,018
– в удовлетворительном состоянии	0,016÷0,018	0,016÷0,020
2. Булыжная мостовая	0,025	0,025÷0,030
3. С гравийным покрытием	0,020	0,020÷0,025
4. Грунтовая дорога:		
– сухая укатанная	—	0,025÷0,035
– после дождя	—	0,050÷0,15
5. Песок	—	0,10÷0,030
6. Укатанный снег	—	0,03÷0,05

Примечание: В табл. 5 указаны значения f_0 при малых скоростях движения и f – диапазон изменения значений коэффициента сопротивления качению.

II. ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа должна содержать краткую техническую характеристику заданного автомобиля, включающую описание его назначения, область применения и расшифровку информации, заложенной в маркировке, а также перечень конструктивных параметров согласно табл. 2. Для грузовых автомобилей обязательно указывается категория «А» или «Б». Затем рисуется схема сил и моментов, действующих на автомобиль, движущийся на подъем. Все моменты, силы и реакции должны быть указаны на рисунке и расшифрованы в тексте с обязательным обозначением единиц измерения в СИ. Далее рассчитывают:

1. Характеристики тягово-скоростных свойств автомобиля.
2. Топливо-экономическую характеристику.

Курсовая работа выполняется на стандартных листах формата А4 и должна содержать титульный лист установленного образца с указанием шифра зачетной книжки. По результатам приведенных расчетов строят графики.

Графики выполняются на миллиметровой бумаге формата А4 с использованием чертежных инструментов (карандаш, линейка, лекала). На каждом листе миллиметровой бумаги строят, как правило, 2 графика.

Для построения графиков по результатам расчетов необходимо:

1. Отступив от левого края 4-5 см проводят горизонтальную (ось абсцисс) и
2. По осям координатной сетки вначале указывают анализируемые параметры и, через запятую, единицы их измерения. Если параметр назван по именам исследователей, то он пишется с большой буквы (момент Н·м, мощность Вт и т.д.), а если нет, то с маленькой (масса кг, скорость м/с, и т.д.).
3. Находят точку отсчета (ноль и другое число по каждой оси координатной сетке).
4. Никаких стрелочек и скобочек наносить не допускается. Стрелочки наносить допускается, если на графиках не указываются цифры шкалы координатной сетки.
5. На каждой оси координатной сетки указывают цифры масштабной шкалы анализируемых параметров. Необходимо указать минимум три целых значения, равномерно расположенных друг от друга и кратных 1; 2; 2,5; 5 и 10, умноженных на 10 в любой степени. Например: 1; 2; 3; 4; , 1000; 2000; 3000; , 20; 40; ...100.
6. После указания цифр координатной сетки никаких дополнительных параметров снизу и слева наносить не допускается. Все построения и надписи допускается производить только на поле в пределах осей координатной сетки.

По результатам выполнения курсовой работы преподаватель проводит собеседование с каждым студентом, в процессе которого определяет качество и самостоятельность её выполнения.

III. РАСЧЁТ ХАРАКТЕРИСТИК ТЯГОВО – СКОРОСТНЫХ СВОЙСТВ АВТОМОБИЛЯ

3.1. Внешняя скоростная характеристика двигателя

Для определения эффективных значений момента и мощности в заданном диапазоне частоты вращения коленчатого вала ДВС можно воспользоваться либо реальной внешней скоростной характеристикой, полученной из справочной литературы, либо рассчитать ее по формуле Лейдермана:

$$N_{ei} = N_{emax} \cdot \left[a \cdot n_{di} / n_N + b \cdot (n_{di} / n_N)^2 - c \cdot (n_{di} / n_N)^3 \right],$$

где N_{ei} – текущие значения эффективной мощности двигателя, кВт; n_d – частота вращения коленчатого вала, мин^{-1} ; a, b, c – эмпирические коэффициенты. Обобщенные значения этих коэффициентов получают в результате статистической обработки полученных экспериментально внешних скоростных характеристик однотипных двигателей. Так, при ориентировочных расчетах значения коэффициентов a, b, c для бензиновых двигателей можно принимать равными единице, а для четырехтактных дизелей $a = 0,53$; $b = 1,56$; $c = 1,09$.

По известным значениям эффективной мощности и частоты вращения коленчатого вала рассчитывают значения эффективного момента по формуле:

$$M_e = 9550 \cdot N_e / n_d.$$

При расчете внешней скоростной характеристики необходимо помнить, что карбюраторные двигатели грузовых автомобилей и автобусов могут иметь ограничители частоты вращения коленчатого вала, а дизель всегда работает с регулятором. Поэтому расчет внешней скоростной характеристики должен производиться в диапазоне частот вращения:

- $[0,2 \dots (0,8 \dots 0,95)] \cdot n_N$ – для бензиновых двигателей грузовых автомобилей и автобусов;
- $(0,2 \dots 1,0) \cdot n_N$ – для дизелей;
- $(0,2 \dots 1,1) \cdot n_N$ – для бензиновых двигателей легковых автомобилей.

На внешней скоростной характеристике должны быть нанесены не только кривые $N_e = f(n_d)$ и $M_e = f(n_d)$, но также $N_d = f(n_d)$ и $M_d = f(n_d)$. Значения N_d и M_d меньше соответствующих значений N_e и M_e на величину потерь в системах и агрегатах, которых нет при стендовых испытаниях двигателей. Эти потери можно учесть коэффициентом K_p , равным $0,85 \div 0,9$. Легковым автомобилям соответствуют большие значения, а грузовым – меньшие.

Значения удельного эффективного расхода топлива в зависимости от частоты вращения коленчатого вала двигателя рассчитывают по формуле:

$$g_e = g_{eN} \cdot \left[d - e \cdot \left(\frac{n_d}{n_N} \right) + l \cdot \left(\frac{n_d}{n_N} \right)^2 \right],$$

где g_{eN} – удельный эффективный расход топлива при максимальной (номинальной) мощности двигателя, который может быть принят равным $(1,05 - 1,1) \cdot g_{emin}$, г/кВт·ч; d , e и l – эмпирические коэффициенты.

Минимальный, удельный, эффективный расход топлива, g_{emin} в расчетах может быть принят:

- для бензиновых двигателей 260-310 г/кВт·ч;
- для дизелей 195...230 г/кВт·ч.

При отсутствии конкретных данных для современных двигателей в расчетах принимают меньшие значения, а для двигателей старых типов – большие.

Эмпирические коэффициенты для дизельных двигателей $d = 1,55$; $e = 1,55$; $l = 1$, а для бензиновых $d = 1,2$; $e = 1$; $l = 0,8$.

По результатам расчета (табл. 6) строят внешнюю скоростную характеристику двигателя с обязательным указанием максимальных эффективных значений мощности и момента и соответствующих им частот вращения, а также значение удельного, эффективного расхода топлива $g_e = f(n_d)$, как показано на рис. 1.

Таблица 6

Параметры внешней скоростной характеристики

Параметры	Значения параметров двигателя при отношении n_d/n_N :					
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,1
$n_{d, \text{мин}}^{-1}$						
N_e , кВт						
N_d , кВт						
M_e , Нм						
M_d , Нм						
g , г/кВт·ч						

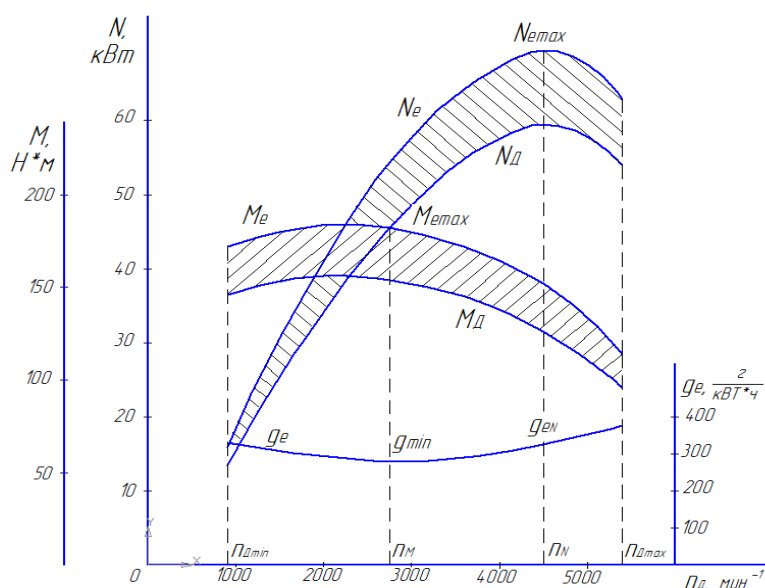


Рис. 1. Внешняя скоростная характеристика двигателя

3.2. Разгонная характеристика автомобиля

Разгонная характеристика иллюстрирует процесс увеличения скорости движения автомобиля от минимальной, или равной нулю, до максимальной с переключением передач. Для ее построения необходимо:

1. Сдублировать на отдельный график (рис. 5.2) зависимости $N_d = f(n_d)$ и $M_d = f(n_d)$ внешней скоростной характеристики двигателя.
2. С правой стороны графика провести ось ординат и отложить на ней масштаб скорости автомобиля в м/с.
3. Провести пунктирные вертикальные линии через точки оборотов двигателя n_M и n_N .
4. По одной из формул рассчитывают радиус колеса.
5. Для каждого числа коробки передач, начиная с первой передачи, последовательно подставляют значения частоты вращения n_M и n_N в формулу:

$$V = 0,105 \cdot \frac{n_d \cdot r_k}{U_{кп} \cdot U_{дк} \cdot U_{гп}}$$

и полученные значения скорости заносят в табл.7.

Таблица 7

Значения скоростей разгонной характеристики

Параметры	Значения скорости на передаче, м/с:				
	1	2	3	4	5
$n_M, \text{мин}^{-1}$					
$n_N, \text{мин}^{-1}$					

6. На вертикальных пунктирных линиях, соответствующим значениям n_M и n_N (рис.2), обозначают рассчитанные значения скоростей и их значения для одноименных передач соединяют наклонными линиями (лучами, идущими из начала координат), значения скоростей для оборотов двигателя n_M и n_N смежных передач соединяют горизонтальными линиями. При этом считают, что скорость автомобиля при n_M на следующей передаче соответствует скорости при n_N на предыдущей. Максимальная скорость автомобиля определяется максимальной частотой вращения коленчатого вала двигателя.

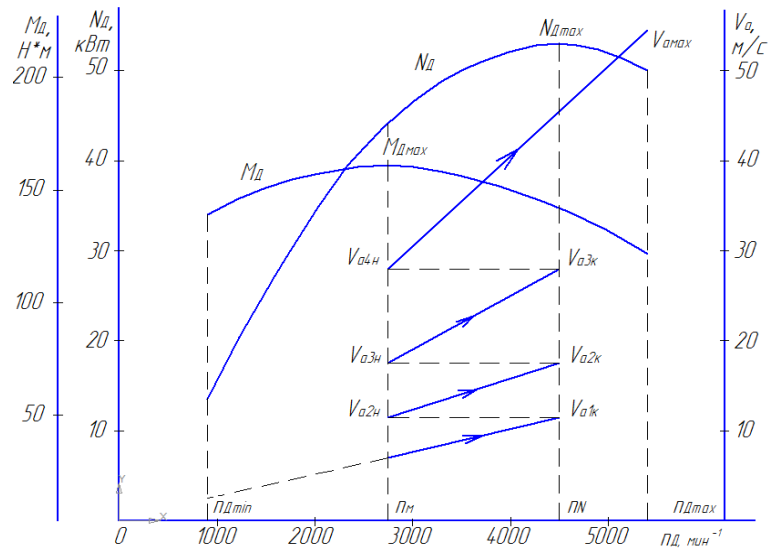


Рис. 2. Разгонная характеристика автомобиля

3.3. Тяговый баланс автомобиля

Уравнение тягового баланса, полученное из основного уравнения движения автомобиля, имеет вид:

$$P_T = P_\partial + P_B + P_u,$$

где P_T – сила тяги на ведущих колесах автомобиля, Н; P_∂ – сила сопротивления дороги, Н; P_B – сила сопротивления воздуха, Н; P_u – сила инерции, Н.

Вначале строят тяговую характеристику автомобиля в координатах сила тяги – скорость движения [$P_T = f(V_a)$], которые рассчитывают по формулам:

$$P_T = \frac{M_{di} \cdot u_{kp} \cdot u_{gp}}{r_\partial} \cdot \eta_{mp}; \quad V = 0,105 \frac{n_{di} \cdot r_k}{u_{kn} \cdot u_{dk} \cdot u_{gp}},$$

где M_{di} и n_{di} – текущие значения момента и частоты вращения коленчатого вала двигателя по внешней скоростной характеристике при отношении n_{di}/n_N , равном 0,2; 0,4 ... 1,2, Нм и мин⁻¹; u_{kn} , u_{dk} и u_{gp} – передаточные числа коробки передач (КП), дополнительной (раздаточной) коробки и главной передачи.

При вычислении передаточные числа КП последовательно подставляют от первой передачи до высшей. Если имеется дополнительная коробка передач, то ее передаточное число принимают постоянным на высшей передаче, а если ее нет, $u_{dk} = 1$.

Результаты вычислений сводят в таблицу 8.

Таблица 8

Тяговая характеристика автомобиля

Параметры		Значения параметров при отношении n_{di}/n_N :					
		0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,1
Номер передачи	P_T , Н						
	V_a , м/с						

Силы сопротивления дороги и воздуха рассчитывают по формулам:

$$P_d = m_a \cdot g(f \pm i) = m_a \cdot g \cdot \Psi;$$

$$P_e = W_B \cdot V_a^2 = K_e \cdot F_a \cdot V_a^2.$$

При расчете указанных сил сопротивления см. раздел 3 методических указаний.

Расчет сил сопротивления дороги производят для горизонтального участка асфальтобетонного шоссе ($i = 0$). При расчете выбирают пять значений скоростей в пределах от минимальной до максимальной.

Результаты расчета заносят в табл. 9.

Таблица 9

Силы сопротивления дороги и воздуха

Параметры	Значения параметров при V_a , м/с:				
	V_{amin}				V_{amax}
$P_d, Н$					
$P_e, Н$					
$P_d + P_e, Н$					

По данным табл. 8 и табл. 9 строят графики тягового баланса (рис. 3), по которым необходимо определить максимальную скорость движения автомобиля и сравнить ее с паспортным значением.

При построении графиков тягового баланса вначале необходимо построить тяговую характеристику автомобиля на различных передачах, силу сопротивления воздуха, а затем суммарную силу сопротивления воздуха и дороги.

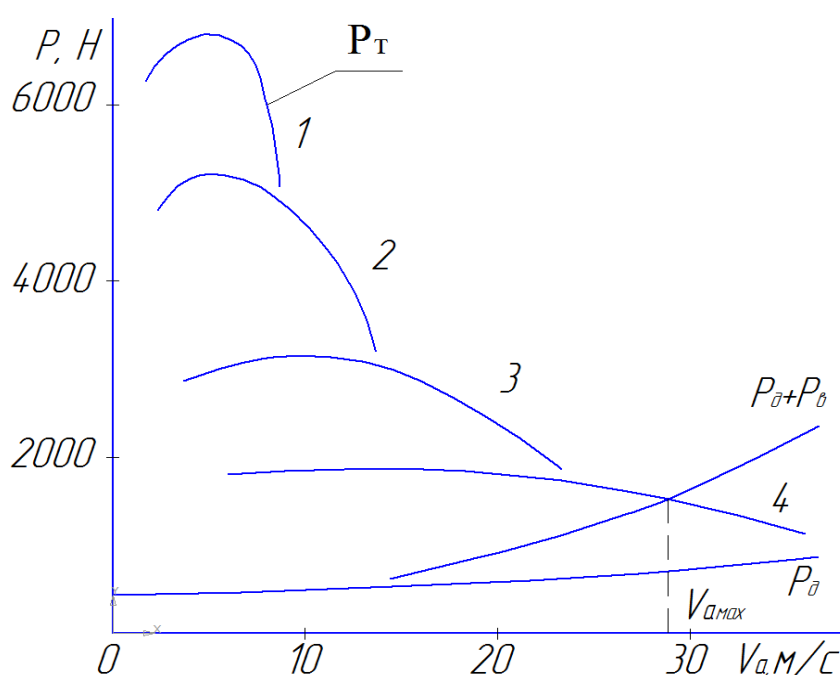


Рис.3. Тяговый баланс автомобиля

3.4. Мощностной баланс автомобиля

Характеристика мощностного баланса автомобиля представляет собой кривые изменения мощности на колесах автомобиля $N_T = N_d \cdot \eta_p$ от скорости движения V_a на различных передачах. На эти кривые наносят кривые мощности сопротивления воздуха $N_B = f(V_a)$ и суммарной мощности сопротивления дороги и воздуха $N_d + N_B = f(V_a)$. Уравнение мощностного баланса представлено формулой:

$$N_T = N_d + N_B + N_u;$$

где N_T – полная тяговая мощность на колесах, кВт:

$$N_T = \frac{P_T \cdot V_a}{1000} = \frac{M_d \cdot U_{кп} \cdot U_{дк} \cdot U_{zn}}{r_d \cdot 1000} \cdot V_a = N_d \cdot \eta_{TP};$$

N_d – мощность сопротивления дороги, кВт:

$$N_d = \frac{P_d \cdot V_a}{1000} = \frac{m_a \cdot g \cdot \psi \cdot V_a}{1000};$$

N_B – мощность сопротивления воздуха, кВт:

$$N_B = \frac{P_B \cdot V_a}{1000} = \frac{\kappa_B \cdot F_a \cdot V_a^3}{1000};$$

N_u – мощность затрачиваемая на разгон поступательно и вращательно движущихся масс автотранспортного средства, кВт:

$$N_u = \frac{P_u \cdot V_a}{1000} = \frac{m_a \cdot \delta_{вп} \cdot V_a \cdot j_a}{1000}.$$

Характеристика мощностного баланса необходима для оценки правильного выбора мощности двигателя и передаточного числа главной передачи.

Результаты вычислений сводят в табл. 10 и 11.

Таблица 10

Мощностная характеристика автомобиля

Параметры		Значения параметров при отношении i/n_N					
		0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,1
Номер передачи	N_T , кВт						
	V_a , м/с						

Мощности сопротивления дороги и воздуха

Параметры	Значения параметров при V_a , м/с:				
	V_{amin}				V_{amax}
N_d , кВт					
N_e , кВт					
$N_d + N_b$, кВт					

На основе полученных данных строят кривые зависимости $N_T = f(V_a)$ на различных передачах (рис.4). На эти кривые наносят кривые суммарной мощности сопротивления дороги и воздуха $N_d + N_e = f(V_a)$.

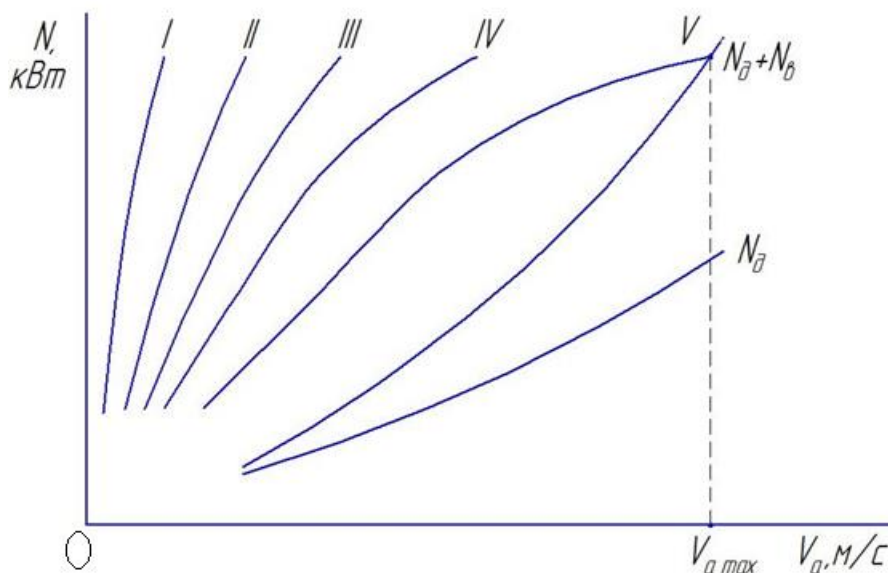


Рис. 4. Мощностной баланс автомобиля

3.5. Динамический паспорт автомобиля

Динамический паспорт автомобиля представляет собой совокупность динамической характеристики, номограммы нагрузок и графика контроля буксования. Динамический паспорт позволяет решать уравнение движения автомобиля с учетом большого числа факторов: конструктивных параметров (M_e , U_{TP} , $\eta_{тр}$, r_k , r_d и др.), основных характеристик дороги (ψ , φ_x) и нагрузки на автомобиль. Динамический паспорт рассчитывают и строят в следующей последовательности:

1. Рассчитывают динамический фактор автомобиля с полной нагрузкой по формуле:

$$D_a = \frac{P_m - P_B}{m_a \cdot g}.$$

Значения силы тяги для каждой передачи КП берут из табл. 8, а силы сопротивления воздуха для заданных скоростей движения автомобиля – из графика тягового баланса (рис. 8) либо рассчитывают по формуле.

Результаты расчетов заносят в табл. 12.

Таблица 12

Параметры динамической характеристики груженого автомобиля

Параметры		Значения параметров при отношении n_{Di}/n_N :					
		0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,1
Номер передачи	V_a , м/с						
	D_a , Н/Н						

2. По результатам расчета строят графики динамической характеристики полностью груженого автомобиля (рис. 5).

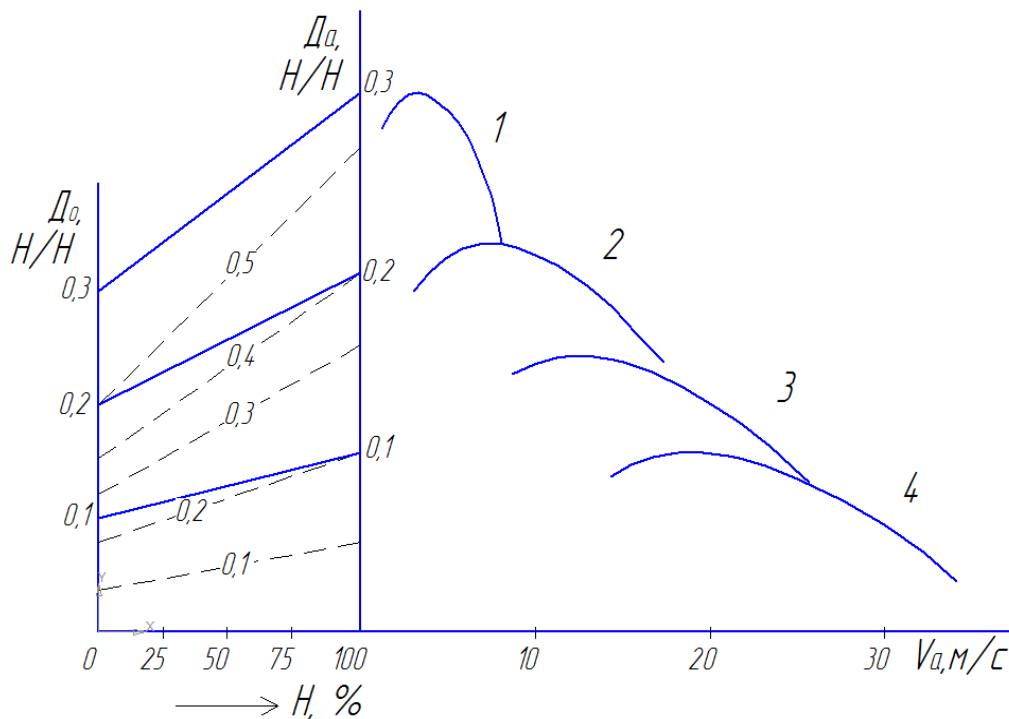


Рис. 5. Динамический паспорт автомобиля

3. Строят номограмму нагрузок. Для этого ось абсцисс динамической характеристики продолжают влево и на ней откладывают отрезок произвольной длины. На отрезке в крайней точке слева отмечают нулевую точку и проводят вертикальную линию, параллельную оси D_a – ось шкалы D_0 динамического фактора автомобиля в снаряженном состоянии (с учетом массы водителя 75 кг.). На оси абсцисс между осями D_a и D_0 слева направо наносят шкалу нагрузки (H) в процентах (по грузоподъемности или пассажировместимости). Величину масштаба a_0 для шкалы D_0 определяют по формуле:

$$a_o = a_a \cdot m_o / m_a ,$$

где a_a – масштаб шкалы динамического фактора D_a , мм/(Н/Н); m_o – снаряженная масса автомобиля с водителем, кг.

Равнозначные значения шкал D_o и D_a (например 0,1; 0,2 и т.д.) соединяют между собой наклонными прямыми линиями. Учитывая, что наклонные линии проводят через «круглые» значения динамического фактора, промежуточные значения D определяют интерполированием.

Номограмма нагрузок наглядно показывает, что:

$$D_a \cdot m_a = D_o \cdot m_o = D \cdot m = const,$$

где m и D – масса автомобиля в пределах от снаряженной до максимально полной и соответствующий ей динамический фактор.

4. Строят график контроля буксования. Он представляет собой выраженную графически зависимость динамического фактора по сцеплению от нагрузки и позволяет определить возможность буксования ведущих колес. Этот график строят следующим образом. Сначала по формулам, приведенным ниже, определяют значения динамического фактора по сцеплению для автомобиля с полной нагрузкой $D_{a\text{ сц}}$ и без нее $D_{o\text{ сц}}$ для различных значений φ_x :

$$D_{a\text{ сц}} = m_p \cdot \varphi_x \cdot \frac{m_{a\text{ сц}}}{m_a}; \quad D_{o\text{ сц}} = m_p \cdot \varphi_x \cdot \frac{m_{o\text{ сц}}}{m_o},$$

где $m_{a\text{ сц}}$ – $m_{o\text{ сц}}$ – масса, приходящаяся на ведущий мост груженого и порожнего автомобиля соответственно, кг; m_p – коэффициент перераспределения нагрузок.

Значение коэффициента перераспределения нагрузок на передний мост находится в диапазоне $m_{p1}=0,8 \dots 0,9$, а задний $m_{p2}=1,1 \dots 1,25$. У полноприводного автомобиля коэффициент $m_p=1$.

Первый расчет производят для $\varphi_x = 0,1$. Затем значение $D_{a\text{ сц}}$ откладывают на шкале D_a номограммы нагрузок, а значение $D_{o\text{ сц}}$ – на шкале D_o и полученные точки соединяют прямой штриховой линией, в разрезе которой указывают величину φ_x (0,1). Таким же образом определяют положения точек и наносят штриховые линии для других значений φ_x (0,2; 0,3 и т.д.). Для автомобиля со всеми ведущими колесами график контроля буксования совпадает с номограммой нагрузок.

Чтобы связать условия движения автомобиля (ψ и φ_x) с динамическим фактором, воспользуемся уравнением движения автомобиля и приравняем разность сил $P_T - P_{\text{с}}$ к сумме $P_{\partial} + P_u$. Тогда :

$$D_a = \frac{P_T - P_{\text{с}}}{m_a \cdot g} = \frac{P_{\partial} - P_u}{m_a \cdot g} = \psi + \frac{j_a}{g} \cdot \delta_{\text{вр}},$$

где j_a – ускорение автомобиля, м/с²; $\delta_{\text{вр}}$ – коэффициент учета вращающихся масс.

При равномерном движении автомобиля ускорение равно нулю, следовательно, значение динамического фактора определяет величину ψ .

IV. Топливо-экономическая характеристика автомобиля

Зависимость расхода топлива (в л/100км) от скорости при установившемся движении автомобиля на различных передачах называется топливо-экономической характеристикой автомобиля. Для расчета в этом случае обязательно необходимо иметь нагрузочную характеристику конкретного двигателя, полученную экспериментально. Учитывая, что эти характеристики в большинстве случаев не являются доступными, необходимо рассчитать топливо-экономическую характеристику заданного автомобиля при его движении по горизонтальной дороге на высшей передаче по следующей схеме.

1. Используя динамическую характеристику, определяют диапазон скоростей движения автомобиля на высшей передаче (см. рис. 3). Этот диапазон разбивают на четыре участка и получают пять значений скоростей, которые заносят в табл. 13.

Таблица 13

Параметры расчета топливо-экономической характеристики автомобиля

Параметры	Значения параметров при скорости автомобиля, м/с:				
	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
n_d , мин ⁻¹					
n_d/n_N					
K_n					
P_∂ , Н					
P_B , Н					
$P_\partial + P_B$, Н					
$N_\partial + N_B$, кВт					
N_d , кВт					
I					
K_N					
g_n , л/100км					

2. Для каждой скорости находят частоту вращения коленчатого вала двигателя по формуле:

$$n_d = \frac{V_a \cdot U_{knB} \cdot U_{\partial k} \cdot U_{гн}}{0,105 \cdot r_k}$$

где U_{knB} – передаточное число коробки передач на высшей либо предпоследней передаче.

3. Находят отношение n_d/n_k , а по нему рассчитывают значения коэффициента K_n по формуле:

$$K_n = 1,23 - 0,792 \frac{n_{di}}{n_N} + 0,56 \left(\frac{n_{di}}{n_N} \right)^2.$$

4. Для заданных скоростей рассчитывают по соответствующим формулам силы сопротивления дороги и воздуха (суммарную силу сопротивления движению), а по ней – суммарную мощность сопротивления движению по формуле:

$$N_{\partial} + N_{\epsilon} = \frac{(P_{\partial} + P_{\epsilon}) \cdot V_a}{1000}.$$

5. Для соответствующей каждой скорости частоты вращения коленчатого вала двигателя находят по внешней скоростной характеристике значения соответствующей мощности двигателя (N_D).

6. Для каждого значения скорости рассчитывает степень использования мощности двигателя :

$$И = \frac{N_{\partial} + N_{\epsilon}}{N_D \cdot \eta_{тр}} = \frac{(P_{\partial} + P_{\epsilon}) \cdot V_a}{1000 \cdot N_D \cdot \eta_{тр}}$$

7. Значения коэффициентов K_N , учитывающих зависимость удельного эффективного расхода топлива от степени использования мощности двигателя, рассчитывают по формуле:

$$K_N = a_1 - b_1 \cdot И + c_1 \cdot И^2$$

где a_1 , b_1 и c_1 – эмпирические коэффициенты. Для карбюраторных двигателей $a_1 = 2,75$, $b_1 = 4,61$ и $c_1 = 2,86$, а для дизельных – $a_1 = 1,7$, $b_1 = 2,63$ и $c_1 = 1,92$.

8. Рассчитывают топливно-экономическую характеристику автомобиля по формуле:

$$g_n = \frac{g_{eN} \cdot K_n \cdot K_N \cdot (P_{\partial} + P_{\epsilon})}{36000 \cdot \eta_{мп} \cdot \rho_m \cdot K_p},$$

где g_{eN} – удельный эффективный расход топлива при максимальной мощности двигателя, г/кВт·ч; ρ_m – удельный вес топлива, кг/л. В расчетах можно принимать для бензина $\rho_m = 0,72$ кг/л, а для дизельного топлива $\rho_m = 0,84$ кг/л. Значение g_{eN} определяют по графику $g_{eN} = f(n_D)$ внешней скоростной характеристики двигателя.

9. По результатам расчета строят топливно - экономическую характеристику автомобиля, на которой указывают контрольный расход топлива для скорости 25 м/с, взятый из технической характеристики автомобиля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков Е.В. Тяговая динамика и топливная экономичность автомобиля: монография/ Е.В. Волков. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2015. –179 с.
2. Гришкевич А.И. и др. Автомобили: Теория. – Минск: Высшейш. шк., 1986. – 207 с.
3. Краткий автомобильный справочник. – М.: НИИАТ, 1984. – 324 с.
4. Литвинов А.С., Фаробин Я.Е. Автомобили. Теория эксплуатационных свойств. – М.: Машиностроение, 1989. – 237 с.

Содержание

	стр.
ВВЕДЕНИЕ	2
1. Методические указания к выполнению курсовой работы.....	2
1.1. Выбор варианта задания и техническая характеристика автомобиля.....	2
1.2. Определение параметров автомобиля при подготовке исходных данных для расчёта характеристик эксплуатационных свойств.....	6
II. Правила выполнения курсовой работы.....	10
III. Расчёт характеристик тягово-скоростных свойств автомобиля.....	11
3.1 Внешняя скоростная характеристика двигателя.....	11
3.2. Разгонная характеристика автомобиля.....	13
3.3. Тяговый баланс автомобиля.....	14
3.4. Мощностной баланс автомобиля.....	16
3.5. Динамический паспорт автомобиля.....	17
IV. Топливо-экономическая характеристика автомобиля.....	20
ЛИТЕРАТУРА.....	22