

В. К. ВАХЛАМОВ

# КОНСТРУКЦИЯ, РАСЧЕТ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА АВТОМОБИЛЕЙ

*Допущено*

*Учебно-методическим объединением по образованию  
в области транспортных машин и транспортно-технологических комплексов  
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по специальности «Сервис транспортных и технологических машин  
и оборудования (Автомобильный транспорт)» направления подготовки  
«Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования»*

2-е издание, стереотипное



Москва  
Издательский центр «Академия»  
2009

УДК 656(075.8)

ББК 39я73

B222

Р е ц е н з е н т ы:

профессор кафедры «Автомобили» МАДИ (ГТУ), д-р техн. наук *A. A. Юрчевский*;  
канд. техн. наук *A. A. Никитин*

### **Вахламов В. К.**

**B222** Конструкция, расчет и эксплуатационные свойства автомобилей : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В. К. Вахламов. — 2-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2009. — 560 с.

ISBN 978-5-7695-6608-0

Рассмотрены эксплуатационные свойства автомобилей, их измерители и показатели, влияние конструктивных и эксплуатационных факторов на эксплуатационные свойства, а также связь последних с конструкцией систем и механизмов автомобиля.

Проведена классификация и представлены конструкции систем, агрегатов и механизмов различных типов автомобилей, их рабочие процессы, предъявляемые требования, достоинства и недостатки.

На основании рабочих процессов изложены элементы расчета для определения нагрузок, действующих в агрегатах и механизмах автомобиля.

Для студентов высших учебных заведений.

УДК 656(075.8)

ББК 39я73

*Оригинал-макет данного издания является собственностью  
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом  
без согласия правообладателя запрещается*

© Вахламов В.К., 2007

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2007

ISBN 978-5-7695-6608-0 © Оформление. Издательский центр «Академия», 2007

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	3
<b>I. ТЕОРИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ АВТОМОБИЛЯ</b>	
<b>1. Эксплуатационные свойства автомобиля .....</b>	<b>4</b>
1.1. Группы и определения эксплуатационных свойств .....	4
1.2. Измерители и показатели эксплуатационных свойств автомобиля .....	6
1.3. Эксплуатационные свойства и конструкция автомобиля .....	6
1.4. Условия эксплуатации автомобиля .....	7
<b>2. Двигатель и его характеристики .....</b>	<b>9</b>
2.1. Скоростные характеристики двигателей .....	9
2.2. Нагрузочные характеристики двигателей .....	13
2.3. Регулировочные характеристики двигателей .....	13
<b>3. Тягово-скоростные свойства .....</b>	<b>15</b>
3.1. Показатели тягово-скоростных свойств .....	15
3.2. Силы, действующие на автомобиль при движении .....	15
3.3. Мощность и момент, подводимые к ведущим колесам автомобиля .....	16
3.4. Потери мощности в трансмиссии. КПД трансмиссии .....	19
3.5. Радиусы колес автомобиля .....	21
3.6. Скорость и ускорение автомобиля .....	22
3.7. Реакции дороги, действующие при движении на колеса автомобиля .....	22
3.8. Тяговая сила и тяговая характеристика автомобиля .....	25
3.9. Тяговая характеристика автомобиля с дополнительной коробкой передач .....	26
3.10. Сила и коэффициент сцепления колес автомобиля с дорогой .....	27
3.11. Силы сопротивления движению и мощности, затрачиваемые на их преодоление .....	29
Сила сопротивления качению .....	30
Коэффициент сопротивления качению .....	31
Сила сопротивления подъему .....	33
Сила сопротивления дороги .....	34
Сила сопротивления воздуха .....	35
Сила сопротивления разгону .....	37
Коэффициент учета вращающихся масс .....	37
3.12. Уравнение движения автомобиля .....	38
3.13. Силовой баланс автомобиля .....	39

3.14. Силовой баланс автомобиля при различной нагрузке .....	41
3.15. Динамические факторы автомобиля .....	45
3.16. Динамическая характеристика автомобиля .....	46
3.17. Динамический паспорт автомобиля .....	48
3.18. Мощностной баланс автомобиля .....	51
3.19. Степень использования мощности двигателя .....	54
3.20. Разгон автомобиля .....	54
Ускорение при разгоне .....	55
Время и путь разгона .....	56
3.21. Динамические нормальные реакции на колесах автомобиля .....	58
3.22. Динамическое преодоление подъемов .....	60
3.23. Движение накатом .....	61
<b>4. Топливная экономичность .....</b>	<b>64</b>
4.1. Измерители топливной экономичности .....	64
4.2. Уравнение расхода топлива .....	65
4.3. Топливно-экономическая характеристика автомобиля .....	66
4.4. Построение топливно-экономической характеристики .....	68
<b>5. Тормозные свойства .....</b>	<b>71</b>
5.1. Измерители тормозных свойств .....	71
5.2. Уравнение движения при торможении .....	71
5.3. Экстренное торможение .....	72
5.4. Время торможения .....	73
5.5. Тормозной путь .....	74
5.6. Коэффициент эффективности торможения .....	74
5.7. Остановочный путь и диаграмма торможения .....	75
5.8. Служебное торможение .....	76
5.9. Распределение тормозных сил по колесам автомобиля .....	79
<b>6. Управляемость .....</b>	<b>82</b>
6.1. Поворот автомобиля .....	82
6.2. Силы, действующие на автомобиль при повороте .....	83
6.3. Увод колес автомобиля .....	85
6.4. Колебания управляемых колес .....	86
6.5. Стабилизация управляемых колес .....	88
6.6. Установка управляемых колес .....	91
<b>7. Поворачиваемость .....</b>	<b>93</b>
7.1. Виды поворачиваемости автомобилей .....	93
7.2. Критическая скорость автомобиля по уводу .....	96
7.3. Коэффициент поворачиваемости автомобиля .....	98
<b>8. Маневренность .....</b>	<b>100</b>
8.1. Показатели маневренности .....	100
8.2. Конструкция и маневренность автомобиля .....	101
<b>9. Устойчивость .....</b>	<b>104</b>
9.1. Показатели поперечной устойчивости .....	104
9.2. Поперечная устойчивость на вираже .....	109

9.3. Занос автомобиля .....	111
9.4. Продольная устойчивость автомобиля .....	113
<b>10. Проходимость .....</b>	<b>116</b>
10.1. Габаритные параметры проходимости .....	116
10.2. Тяговые и опорно-цепные параметры проходимости. Комплексный фактор проходимости .....	118
<b>11. Плавность хода .....</b>	<b>122</b>
11.1. Колебания автомобиля .....	122
11.2. Измерители плавности хода .....	123
11.3. Колебательная система автомобиля .....	124
11.4. Приведенная жесткость подвески .....	126
11.5. Свободные колебания автомобиля .....	127
11.6. Парциальные частоты колебаний .....	129
11.7. Свободные колебания автомобиля с учетом неподпрессоренных масс .....	131
11.8. Свободные колебания автомобиля с учетом затухания .....	132
11.9. Свободные колебания автомобиля с учетом неподпрессоренных масс и затухания .....	137
11.10. Вынужденные колебания автомобиля .....	139
11.11. Вибрации автомобиля .....	142
<b>12. Экологичность .....</b>	<b>144</b>
12.1. Автомобиль — источник отработавших газов .....	144
12.2. Меры по снижению токсичности двигателей .....	146
12.3. Малотоксичные и нетоксичные двигатели .....	149
12.4. Электромобили .....	150
12.5. Автомобиль — источник шума .....	151
12.6. Меры по снижению уровня шума .....	153
<b>II. КОНСТРУКЦИЯ И РАСЧЕТ АВТОМОБИЛЯ</b>	
<b>13. Конструкция и свойства автомобиля .....</b>	<b>155</b>
13.1. Свойства автомобиля .....	155
13.2. Требования к конструкции автомобиля .....	156
<b>14. Сцепление .....</b>	<b>158</b>
14.1. Назначение и типы .....	158
14.2. Требования к сцеплению .....	159
14.3. Принципиальные схемы фрикционных сцеплений .....	168
14.4. Привод сцепления .....	173
Механический привод сцепления .....	173
Гидравлический привод сцепления .....	174
Элементы приводов сцеплений .....	175
14.5. Конструкции сцеплений и их приводов .....	177
14.6. Расчет сцепления .....	196
Момент сцепления .....	196
Работа буксования сцепления .....	196

Удельная работа буксования сцепления .....	197
Нагрев деталей сцепления .....	197
Расчет деталей сцепления .....	198
<b>14.7. Расчет привода сцепления .....</b>	<b>207</b>
<b>15. Коробка передач .....</b>	<b>211</b>
15.1. Назначение и типы .....	211
15.2. Требования к коробке передач .....	212
15.3. Ступенчатые коробки передач .....	217
15.4. Двухвальные коробки передач .....	218
15.5. Трехвальные коробки передач .....	222
15.6. Многовальные коробки передач .....	226
15.7. Гидромеханические коробки передач .....	233
15.8. Расчет коробки передач .....	245
Момент трения синхронизатора .....	245
Работа трения, удельная работа трения и нагрев	
синхронизатора .....	246
Параметры синхронизатора .....	248
Расчет деталей коробки передач на прочность .....	249
<b>16. Раздаточная коробка .....</b>	<b>257</b>
16.1. Назначение и типы .....	257
16.2. Требования к раздаточной коробке .....	259
16.3. Конструкция раздаточных коробок .....	262
16.4. Расчет раздаточной коробки .....	267
<b>17. Карданныя передача .....</b>	<b>269</b>
17.1. Назначение и типы карданных передач	
и карданных шарниров .....	269
17.2. Требования к карданной передаче .....	272
17.3. Конструкции карданных передач .....	278
17.4. Расчет карданной передачи .....	281
<b>18. Главная передача .....</b>	<b>289</b>
18.1. Назначение и типы .....	289
18.2. Требования к главной передаче .....	292
18.3. Расчет главной передачи .....	301
<b>19. Дифференциал .....</b>	<b>308</b>
19.1. Назначение и типы .....	308
19.2. Требования к дифференциалу .....	313
19.3. Расчет дифференциала .....	317
<b>20. Полусоси .....</b>	<b>320</b>
20.1. Назначение и типы .....	320
20.2. Требования к полуосям .....	322
20.3. Расчет полуосей .....	323
<b>21. Мосты .....</b>	<b>328</b>
21.1. Назначение и типы .....	328

21.2. Требования к мостам .....	329
21.3. Ведущий мост .....	332
21.4. Комбинированный мост .....	343
21.5. Передний управляемый мост .....	353
21.6. Поддерживающий мост .....	356
21.7. Расчет мостов .....	357
Ведущий мост .....	357
Управляемый мост .....	360
<b>22. Подвеска .....</b>	<b>367</b>
22.1. Назначение, основные устройства и типы .....	367
22.2. Требования к подвеске .....	372
22.3. Конструкция подвесок .....	383
22.4. Амортизаторы .....	394
22.5. Расчет подвески .....	400
<b>23. Колеса .....</b>	<b>407</b>
23.1. Назначение и типы .....	407
23.2. Шины. Требования, типы, конструкция .....	409
23.3. Неуравновешенность и балансировка колес .....	419
23.4. Регулирование давления воздуха в шинах .....	421
23.5. Расчет колес .....	423
<b>24. Рулевое управление .....</b>	<b>430</b>
24.1. Назначение и типы .....	430
24.2. Требования к рулевому управлению и его параметры .....	432
24.3. Рулевой механизм .....	440
24.4. Рулевой привод .....	444
24.5. Рулевые усилители .....	446
24.6. Конструкции рулевого управления .....	451
24.7. Расчет рулевого управления .....	460
Рулевой механизм .....	460
Рулевой привод .....	463
<b>25. Тормозные системы .....</b>	<b>467</b>
25.1. Назначение и типы .....	467
25.2. Требования к тормозным системам .....	468
25.3. Тормозные механизмы .....	471
25.4. Оценочные параметры и принципиальные схемы колесных тормозных механизмов .....	474
Оценочные параметры тормозных механизмов .....	474
Принципиальные схемы тормозных механизмов .....	475
Эффективность и стабильность тормозных механизмов .....	481
25.5. Тормозные приводы .....	482
25.6. Регуляторы тормозных сил .....	489
25.7. Антиблокировочные системы .....	491
25.8. Тормозные системы легковых автомобилей .....	497
25.9. Тормозные механизмы и приборы тормозного пневмопривода грузовых автомобилей .....	510

25.10. Расчет тормозных систем .....	522
<b>26. Несущая система .....</b>	<b>529</b>
26.1. Назначение и типы .....	529
26.2. Рама .....	531
26.3. Расчет рамы .....	536
26.4. Кузов .....	541
26.5. Требования к кузову .....	543
26.6. Кузова легковых автомобилей .....	545
26.7. Расчет кузова .....	548
Список литературы .....	551

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие «Конструкция, расчет и эксплуатационные свойства автомобилей» состоит из двух разделов.

В разд. I «Теория эксплуатационных свойств автомобиля» рассмотрены эксплуатационные свойства, обеспечивающие движение автомобиля, характеризующие выполнение транспортных и специальных работ, а также определяющие приспособленность его к различным условиям эксплуатации.

Приведены измерители и показатели эксплуатационных свойств автомобиля и изучено влияние конструктивных и эксплуатационных факторов на данные свойства.

Показана связь эксплуатационных свойств с системами, агрегатами и механизмами автомобиля, конструкция и техническое состояние которых оказывают наибольшее влияние на эти свойства. Чем совершеннее конструкция автомобиля и лучше его техническое состояние, тем выше показатели эксплуатационных свойств. Поэтому системы, агрегаты и механизмы проектируют так, чтобы автомобиль обладал определенными эксплуатационными свойствами, требуемыми для заданных условий эксплуатации и обеспечивающими его наиболее эффективное использование.

В разд. II «Конструкция и расчет автомобиля» проведена классификация систем, агрегатов и механизмов автомобиля, указаны предъявляемые к ним требования и рассмотрено соответствие их конструкций этим требованиям.

На основании рабочих процессов систем, агрегатов и механизмов изложены элементы расчета, необходимые для определения действующих в них нагрузок.

В разд. II выполнены также анализ и оценка различных конструкций систем, агрегатов и механизмов, их рабочих процессов и указаны достоинства и недостатки.

Автор ставит своей целью помочь студентам изучить дисциплину «Конструкция, расчет и эксплуатационные свойства автомобилей»: приобрести и закрепить знания по эксплуатационным свойствам автомобилей, особенностям конструкций систем, агрегатов и механизмов различных автомобилей, их рабочим процессам, а также по анализу, расчету и определению действующих нагрузок. Изложение материала в каждой главе учебника подчинено достижению этой цели.

Знаний, полученных студентами в рамках данного курса, будет достаточно для изучения последующих специальных дисциплин и их дальнейшей деятельности на предприятиях автомобильного транспорта.

# I. ТЕОРИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ АВТОМОБИЛЯ

## 1. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА АВТОМОБИЛЯ

### 1.1. Группы и определения эксплуатационных свойств

Эксплуатационными свойствами автомобиля называются свойства, характеризующие выполнение им транспортных и специальных работ: перевозки пассажиров, грузов и специального оборудования. Эти свойства определяют приспособленность автомобиля к условиям эксплуатации, а также эффективность и удобство его использования.

Автомобиль обладает целым рядом эксплуатационных свойств (рис. 1.1), которые составляют две группы, связанные и не связанные с движением автомобиля.

Тягово-скоростные и тормозные свойства, топливная экономичность, управляемость, поворачиваемость, маневренность, устойчивость, проходимость, плавность хода, экологичность и без-

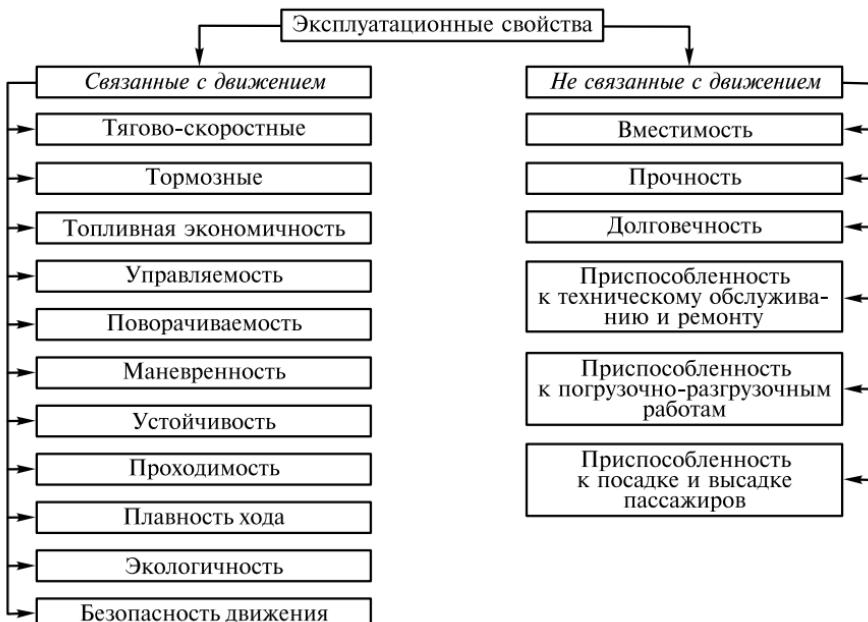


Рис. 1.1. Эксплуатационные свойства автомобиля

опасность обеспечивают движение автомобиля и определяют его закономерности.

Вместимость, прочность, долговечность, приспособленность к техническому обслуживанию и ремонту, погрузочно-разгрузочным работам, посадке и высадке пассажиров во многом определяют эффективность и удобство использования автомобиля.

Что же представляют собой эксплуатационные свойства автомобиля? Дадим определения этим свойствам.

**Тягово-скоростными** называются свойства автомобиля, определяющие диапазоны изменения скоростей движения и максимальные ускорения разгона в различных дорожных условиях при работе в тяговом режиме.

Тяговым называется режим движения автомобиля, при котором от двигателя к ведущим колесам через трансмиссию подводятся мощность и крутящий момент, необходимые для движения.

**Тормозными** называются свойства автомобиля, определяющие максимальные замедления при торможении в различных дорожных условиях и обеспечивающие неподвижное удержание его относительно поверхности дороги.

**Топливная экономичность** — это свойство автомобиля, определяющее расходы топлива при выполнении транспортной работы.

**Управляемостью** называется свойство автомобиля изменять или сохранять параметры движения при воздействии водителя на рулевое управление.

**Поворачиваемость** представляет собой свойство автомобиля отклоняться вследствие увода колес от направления движения, заданного рулевым управлением.

**Маневренностью** называется свойство автомобиля поворачиваться на минимальной площади и вписываться в дорожные габариты.

**Устойчивость** — это свойство автомобиля сохранять направление движения и противостоять силам, стремящимся вызвать занос или опрокидывание автомобиля.

**Проходимостью** называется свойство автомобиля двигаться по плохим дорогам и вне дорог. Проходимость характеризует степень уменьшения средней скорости движения и производительности автомобиля в указанных условиях по сравнению с хорошими дорогами.

**Плавность хода** представляет собой свойство автомобиля обеспечивать защиту перевозимых пассажиров и грузов, а также систем и механизмов автомобиля от воздействия неровностей дороги.

**Экологичность** — это свойство автомобиля минимально загрязнять окружающую среду отработавшими газами и шумом.

**Безопасностью движения** называется свойство автомобиля двигаться с наименьшей вероятностью возникновения дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Это комплексное эксплуатацион-

ное свойство, связанное с управляемостью, поворачиваемостью, маневренностью, устойчивостью и тормозными свойствами. Безопасность движения — важнейшее эксплуатационное свойство, от которого зависят жизнь и здоровье людей, сохранность автомобиля, грузов и других материальных ценностей.

*Вместимость* представляет собой свойство автомобиля, определяющее количество грузов или число пассажиров, которые могут быть перевезены одновременно.

*Прочностью* называется свойство автомобиля работать без поломок и неисправностей.

*Долговечность* — это свойство автомобиля работать без интенсивного изнашивания отдельных деталей, механизмов и систем, вызывающего прекращение эксплуатации автомобиля.

*Приспособленностью к техническому обслуживанию и ремонту* называется свойство автомобиля, определяющее простоту и трудоемкость этих работ, а также времяя простоя при их выполнении.

*Приспособленность к погрузочно-разгрузочным работам* представляет собой свойство автомобиля обеспечивать выполнение этих работ с наименьшими затратами времени и труда.

*Приспособленностью к посадке и высадке пассажиров* называется свойство автомобиля, характеризующее продолжительность остановки и удобство пассажиров при входе и выходе.

## **1.2. Измерители и показатели эксплуатационных свойств автомобиля**

Эксплуатационные свойства автомобиля оцениваются с помощью их измерителей и показателей.

Измерителем эксплуатационного свойства называется единица измерения, характеризующая это свойство с качественной стороны (например, скорость движения автомобиля).

Показателем эксплуатационного свойства называется число, определяющее величину измерителя этого свойства, его количество (например, значение максимальной скорости автомобиля).

Измерители и показатели эксплуатационных свойств автомобиля устанавливаются ГОСТами, отраслевыми стандартами и другими нормативными документами. Для определения показателей эксплуатационных свойств проводят испытания автомобиля.

## **1.3. Эксплуатационные свойства и конструкция автомобиля**

Эксплуатационные свойства, обеспечивающие движение автомобиля, существенно зависят от конструкции и технического состояния автомобиля, его систем и механизмов. Чем совершеннее

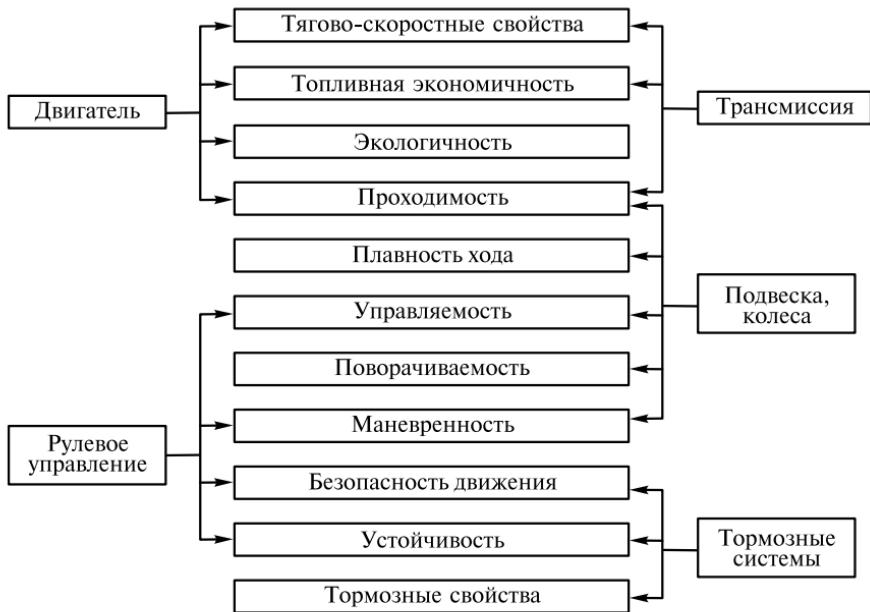


Рис. 1.2. Связь эксплуатационных свойств с системами и механизмами автомобиля

конструкция автомобиля и лучше его техническое состояние, тем выше эксплуатационные свойства автомобиля. Поэтому автомобиль, его системы и механизмы конструируют таким образом, чтобы он имел определенные эксплуатационные свойства, требуемые для заданных условий эксплуатации и обеспечивающие его эффективное использование.

На рис. 1.2 показана связь эксплуатационных свойств с теми системами и механизмами автомобиля, конструкция и техническое состояние которых оказывают наибольшее влияние на эти свойства.

#### 1.4. Условия эксплуатации автомобиля

Свойства автомобиля, представленные на рис. 1.1, наиболее полно проявляются в условиях эксплуатации.

Условиями эксплуатации автомобиля называются условия, в которых осуществляются перевозки пассажиров, грузов, специального оборудования и которые характеризуются различными внешними факторами.

К условиям эксплуатации относятся дорожные, транспортные и природно-климатические условия.

*Дорожные условия эксплуатации* характеризуются рельефом местности, продольным профилем дороги и извилистостью в плане, шириной проезжей части, числом полос движения, ровностью и прочностью дорожного покрытия, стабильностью состояния дороги, интенсивностью, режимом и видом движения, а также помехами.

Основой дорожных условий эксплуатации являются дороги, которые по назначению подразделяются на дороги общего пользования, автомагистрали, внутрихозяйственные (сельские) и городские (улицы). Дорожные условия эксплуатации оказывают наибольшее влияние на эксплуатационные свойства автомобиля.

*Транспортные условия эксплуатации* характеризуются видом и количеством перевозимых грузов, дальностью перевозок, способами погрузки и выгрузки грузов, режимом работы, видом маршрутов, условиями хранения, техническим обслуживанием и ремонтом автомобиля.

Транспортные условия эксплуатации определяют специализацию автомобиля, которая обеспечивает максимальную приспособленность к перевозке определенного вида груза.

*Природно-климатические условия эксплуатации* характеризуются температурой окружающего воздуха, атмосферным давлением и осадками (туман, дождь, снег).

Территория России включает в себя в основном зоны умеренного и холодного климата. В зоне умеренного климата сосредоточена наибольшая часть подвижного состава автомобильного транспорта страны. Все автомобили общего назначения и специализированный подвижной состав приспособлены к перевозкам в этой зоне.

В зоне холодного климата зимой температура опускается до  $-50^{\circ}\text{C}$  и ниже, а продолжительность зимнего периода со снежным покровом в отдельных районах с суровым климатом составляет 200—280 дней в году. Для этой зоны должны выпускаться специальные автомобили в северном исполнении: с морозостойкими шинами, легко запускаемыми при низких температурах двигателями и т. п.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие свойства автомобиля называются эксплуатационными и что они определяют?
2. Перечислите эксплуатационные свойства, связанные с движением автомобиля, приведите их определения.
3. Назовите эксплуатационные свойства, не связанные с движением автомобиля, и приведите их определения.
4. Какое влияние на эксплуатационные свойства автомобиля оказывают его системы и механизмы и их техническое состояние?
5. В каких условиях эксплуатации наиболее полно проявляются эксплуатационные свойства автомобиля?

## 2. ДВИГАТЕЛЬ И ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ

### 2.1. Скоростные характеристики двигателей

Двигатель является основным источником энергии, необходимой для движения автомобиля. Характеристики двигателя служат для определения его мощностных и экономических показателей. Наиболее важные характеристики — скоростные, нагрузочные и регулировочные — позволяют оценивать работу двигателей, эффективность их использования, техническое состояние и качество ремонта, сравнивать различные их типы и модели, а также судить о совершенстве конструкций новых двигателей.

Скоростной характеристикой называются зависимости эффективной мощности  $N_e$  и эффективного крутящего момента  $M_e$  двигателя от угловой скорости коленчатого вала  $\omega_e$ .

У двигателя различают два типа скоростных характеристик: внешнюю (предельную) и частичные.

Внешнюю скоростную характеристику получают при полной нагрузке двигателя, т. е. при полной подаче топлива, частичные — при неполных нагрузках двигателя, или при неполной подаче топлива.

Двигатель имеет только одну внешнюю скоростную характеристику и большое число частичных, среди которых характеристика холостого хода.

На частичных скоростных характеристиках значения эффективной мощности и крутящего момента двигателя меньше, чем на внешней скоростной характеристике, но характер их изменения аналогичен.

Тягово-скоростные свойства автомобиля определяют при работе двигателя только на внешней скоростной характеристике.

Рассмотрим внешние скоростные характеристики бензиновых двигателей и дизелей, которые отличаются друг от друга по некоторым признакам.

Внешняя скоростная характеристика бензинового двигателя без ограничителя угловой скорости коленчатого вала представлена на рис. 2.1. Такие двигатели применяют главным образом на легковых автомобилях и иногда на автобусах.

Приведенные зависимости имеют следующие характерные точки:

- $N_{\max}$  — максимальная (номинальная) эффективная мощность;
- $\omega_N$  — угловая скорость коленчатого вала при максимальной мощности;
- $M_{\max}$  — максимальный крутящий момент;

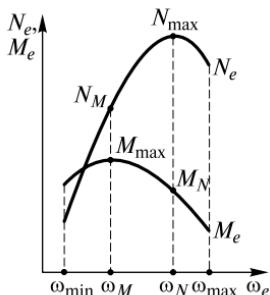


Рис. 2.1. Внешняя скоростная характеристика бензинового двигателя без ограничителя угловой скорости коленчатого вала

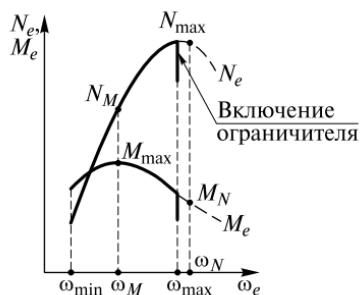


Рис. 2.2. Внешняя скоростная характеристика бензинового двигателя с ограничителем угловой скорости коленчатого вала

- $\omega_M$  — угловая скорость коленчатого вала при максимальном крутящем моменте;

- $N_M$  — мощность при максимальном крутящем моменте;
- $M_N$  — крутящий момент при максимальной мощности;

- $\omega_{\min}$  — минимальная устойчивая угловая скорость коленчатого вала при полной подаче топлива; для бензиновых двигателей  $\omega_{\min} = 80 \dots 100$  рад/с;

- $\omega_{\max}$  — максимальная угловая скорость коленчатого вала при полной подаче топлива, соответствующая максимальной скорости автомобиля при движении на высшей передаче; для бензиновых двигателей без ограничителей угловой скорости коленчатого вала  $\omega_{\max} = (1,05 \dots 1,1)\omega_N$ .

Из рис. 2.1 видно, что эффективная мощность и эффективный крутящий момент двигателя возрастают с увеличением угловой скорости коленчатого вала, достигают максимальных значений при соответствующих угловых скоростях  $\omega_N$  и  $\omega_M$ , а затем уменьшаются с ростом  $\omega_e$  вследствие ухудшения наполнения цилиндров горючей смесью и увеличения трения. При этом возрастают динамические нагрузки, что приводит к ускоренному изнашиванию деталей двигателя. В условиях эксплуатации двигатель работает главным образом в интервале угловых скоростей от  $\omega_M$  до  $\omega_N$ .

Внешняя скоростная характеристика бензинового двигателя с ограничителем угловой скорости коленчатого вала показана на рис. 2.2. Такие двигатели применяют на грузовых автомобилях и автобусах.

Ограничитель угловой скорости автоматически уменьшает подачу горючей смеси в цилиндры двигателя и снижает угловую скорость коленчатого вала с целью повышения долговечности двигателя. Ограничитель вступает в действие на той части внешней ско-

ростной характеристики, на которой мощность двигателя почти не возрастает с увеличением угловой скорости коленчатого вала. Включение ограничителя соответствует максимальной угловой скорости  $\omega_{\max} = (0,8 \dots 0,9)\omega_N$ . Максимальной эффективной мощностью в этом случае является наибольшая мощность, которую может развить двигатель при отсутствии ограничителя, т.е.  $N_{\max}$ , соответствующая угловой скорости коленчатого вала  $\omega_N$ .

Внешняя скоростная характеристика дизеля представлена на рис. 2.3. Такие двигатели применяют на грузовых автомобилях, автобусах и легковых автомобилях.

У дизелей мощность не достигает максимального значения вследствие неполного сгорания горючей (рабочей) смеси. Максимальной в этом случае считается мощность, которая соответствует моменту включения регулятора угловой скорости коленчатого вала, т.е.  $N_{\max}$  при угловой скорости  $\omega_N$ . Для дизелей максимальная угловая скорость коленчатого вала практически совпадает с угловой скоростью при максимальной мощности ( $\omega_{\max} = \omega_N$ ).

Из рассмотренных внешних скоростных характеристик бензиновых двигателей и дизеля следует, что максимальные значения эффективного крутящего момента  $M_{\max}$  и эффективной мощности  $N_{\max}$  получают при различных угловых скоростях коленчатого вала. При этом значения  $M_{\max}$  смещены влево относительно значений  $N_{\max}$ , что необходимо для устойчивой работы двигателя или, иначе говоря, для его способности автоматически приспосабливаться к изменению нагрузки на колеса автомобиля.

Например, автомобиль двигался по горизонтальной дороге при максимальной мощности двигателя и начал преодолевать подъем. В этом случае сопротивление дороги возрастает, скорость автомобиля и угловая скорость коленчатого вала уменьшаются, а крутящий момент двигателя увеличивается, обеспечивая возрастание тяговой силы на ведущих колесах автомобиля. Чем больше увеличение крутящего момента при уменьшении угловой скорости коленчатого вала, тем выше приспособляемость двигателя и меньше вероятность его остановки. У бензиновых двигателей увеличение (запас) крутящего момента достигает 30 %, а у дизелей — 15 %.

Скоростные характеристики двигателей определяют экспериментально в процессе их испытаний на специальных стендах. При проведении испытаний с двигателя снимают часть элементов систем охлаждения

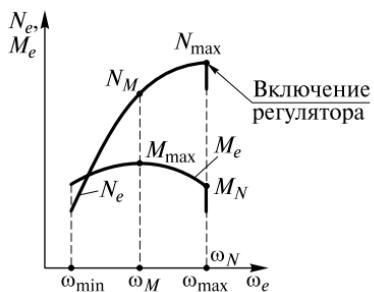


Рис. 2.3. Внешняя скоростная характеристика дизеля с регулятором угловой скорости коленчатого вала

дения, питания (вентилятор, радиатор, глушитель, компрессор, насос гидроусилителя и др.), без которых он может работать на стендах.

Мощность и крутящий момент, измеренные при испытаниях и приведенные к условиям, соответствующим давлению окружающего воздуха 1 атм и температуре 15 °С, называют стендовыми. Их указывают в технических характеристиках, инструкциях, каталогах, проспектах и т. п.

В действительности мощность и момент двигателя, установленного на автомобиле, на 10...20 % меньше, чем стендовые. Это связано с размещением на двигателе элементов различных систем, которые демонтируют при испытаниях. Кроме того, давление и температура наружного воздуха при работе двигателя на автомобиле отличаются от таковых при измерениях.

Действительную внешнюю скоростную характеристику двигателя можно получить только на основании экспериментальных данных после его создания. Если же такие данные отсутствуют, например при проектировании нового двигателя, то внешнюю скоростную характеристику можно рассчитать, используя известные соотношения.

Для бензиновых двигателей

$$N_e = N_{\max} \left[ \frac{\omega_e}{\omega_N} + \left( \frac{\omega_e}{\omega_N} \right)^2 - \left( \frac{\omega_e}{\omega_N} \right)^3 \right];$$

$$M_{\max} = 1250 \frac{N_{\max}}{\omega_N}.$$

Для четырехтактных дизелей

$$N_e = N_{\max} \left[ 0,53 \frac{\omega_e}{\omega_N} + 1,56 \left( \frac{\omega_e}{\omega_N} \right)^2 - 1,09 \left( \frac{\omega_e}{\omega_N} \right)^3 \right];$$

$$M_{\max} = 1090 \frac{N_{\max}}{\omega_N}.$$

Эффективный крутящий момент для бензиновых двигателей и дизелей определяется по формуле

$$M_e = 1000 \frac{N_e}{\omega_e}.$$

В указанных формулах мощность выражается в кВт, крутящий момент — в Н·м, угловая скорость — в рад/с.

## 2.2. Нагрузочные характеристики двигателей

Нагрузочной характеристикой двигателя называются зависимости часового  $G_t$  и удельного эффективного  $g_e$  расходов топлива от эффективной мощности  $N_e$  или эффективного давления  $p_e$  газов на поршень при постоянной угловой скорости  $\omega_e$  коленчатого вала. Нагрузочные характеристики служат для оценки топливной экономичности двигателя при различных режимах его работы.

На рис. 2.4 показана нагрузочная характеристика бензинового двигателя. Часовой расход топлива связан приблизительно линейной зависимостью с  $N_e$  и  $p_e$ . Удельный эффективный расход топлива значительно возрастает при уменьшении его подачи из-за ухудшения рабочего процесса и снижения механического КПД двигателя. Экономичность двигателя тем выше, чем меньше  $g_e$  и чем более полого проходит кривая  $g_e$  в интервале нагрузок двигателя, типичных для условий эксплуатации.

Двигатель автомобиля работает в широком диапазоне значений угловой скорости коленчатого вала, поэтому измеряют не одну, а несколько его нагрузочных характеристик.

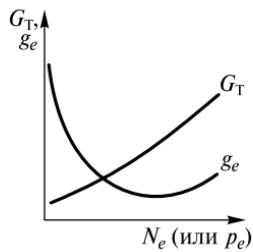


Рис. 2.4. Нагрузочная характеристика бензинового двигателя

## 2.3. Регулировочные характеристики двигателей

Регулировочной характеристикой двигателя называются зависимости эффективной мощности и удельного эффективного расхода топлива от его часового расхода, состава горючей смеси, угла опережения зажигания или впрыска топлива и т.д.

Регулировочные характеристики определяют оптимальные условия работы двигателя и оценивают качество его регулировки. Эти характеристики измеряют при полной и частичных нагрузках двигателя (при полной и частичной подаче топлива).

Обычно снимают регулировочные характеристики двигателя по расходу топлива, показывающие изменение эффективной мощности и удельного эффективного расхода топлива в зависимости от его часового расхода при постоянной угловой скорости коленчатого вала.

На рис. 2.5 приведена регулировочная характеристика бензинового двигателя по расходу топлива. Она имеет две характерные точки, одна из которых соответствует максимальной мощности, а другая — минимальному удельному эффективному расходу топлива.

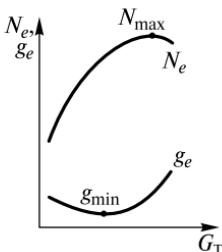


Рис. 2.5. Регулировочная характеристика бензинового двигателя по расходу топлива

Двигатель работает неустойчиво, резко падает его мощность и снижается топливная экономичность.

Следовательно, наиболее благоприятный для работы двигателя диапазон значений часового расхода топлива заключен между значениями  $G_t$ , соответствующими минимальному удельному эффективному расходу топлива и максимальной мощности двигателя.

Эксплуатация двигателя за указанными пределами нежелательна вследствие снижения его мощности и топливной экономичности.

### Контрольные вопросы

1. Какие виды характеристик различают у двигателя автомобиля и что они определяют?
2. Какие скоростные характеристики может иметь двигатель и в чем состоит их различие?
3. Какие основные точки имеет внешняя скоростная характеристика двигателя?
4. Какими способами можно определить внешнюю скоростную характеристику двигателя?
5. Почему в бензиновых двигателях грузовых автомобилей устанавливают ограничитель угловой скорости коленчатого вала?
6. Почему мощность и крутящий момент двигателя, установленного на автомобиле, на 10...20 % меньше, чем указываемые в технических характеристиках, инструкциях, каталогах, проспектах и т. п.?

### 3. ТЯГОВО-СКОРОСТНЫЕ СВОЙСТВА

#### 3.1. Показатели тягово-скоростных свойств

Тягово-скоростные свойства имеют важное значение при эксплуатации автомобиля, так как от них во многом зависят его средняя скорость движения и производительность. При благоприятных тягово-скоростных свойствах возрастает средняя скорость, уменьшаются затраты времени на перевозку грузов и пассажиров, а также повышается производительность автомобиля.

Основными показателями, позволяющими оценить тягово-скоростные свойства автомобиля, являются:

- максимальная скорость  $v_{\max}$ , км/ч;
- минимальная устойчивая скорость (на высшей передаче)  $v_{\min}$ , км/ч;
- время разгона (с места) до максимальной скорости  $t_p$ , с;
- путь разгона (с места) до максимальной скорости  $S_p$ , м;
- максимальные и средние ускорения при разгоне (на каждой передаче)  $j_{\max}$  и  $j_{cp}$ , м/с<sup>2</sup>;
- максимальный преодолеваемый подъем (уклон) на низшей передаче и при постоянной скорости  $i_{\max}$ , %;
- длина динамически преодолеваемого подъема (с разгона)  $S_i$ , м;
- максимальная сила тяги на крюке (на низшей передаче)  $P_c$ , Н.

В качестве обобщенного оценочного показателя тягово-скоростных свойств автомобиля можно использовать среднюю скорость непрерывного движения  $v_{cp}$ , км/ч. Она зависит от условий движения и определяется с учетом всех его режимов, каждый из которых характеризуется соответствующими показателями тягово-скоростных свойств автомобиля.

#### 3.2. Силы, действующие на автомобиль при движении

При движении на автомобиль действует целый ряд сил, которые называются внешними. К ним относятся (рис. 3.1) сила тяжести  $G$ , силы взаимодействия между колесами автомобиля и дорогой (реакции дороги)  $R_{x1}$ ,  $R_{x2}$ ,  $R_{z1}$ ,  $R_{z2}$  и сила взаимодействия автомобиля с воздухом (реакция воздушной среды)  $P_b$ .

Одни из указанных сил действуют в направлении движения и являются движущими, другие — против движения и относятся к силам сопротивления движению. Так, сила  $R_{x2}$  на тяговом режиме, когда к ведущим колесам подводится мощность и крутящий