

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Организация автомобильных перевозок
и дорожного движения»

А. Д. Лукьянчук
Д. В. Капский

БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для студентов учреждений высшего
образования по специальностям «Организация дорожного движения»,
«Эксплуатация интеллектуальных транспортных систем
на автомобильном и городском транспорте»*

Минск
БНТУ
2016

УДК 656.13.08 (075.8)

ББК 39.3я7

Л84

Рецензенты:

зав. кафедрой «Тракторы и автомобили» БГАТУ,
канд. техн. наук, доцент *Ю. Д. Карпиевич*;
зав. кафедрой «Техническая эксплуатация автомобилей»
ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет»,
канд. техн. наук, доцент *Н. А. Коваленко*

Лукьянчук, А. Д.

Л84 Безопасность транспортных средств : учебное пособие для студентов специальностей 1-44 01 02 «Организация дорожного движения», 1-44 01 06 «Эксплуатация интеллектуальных транспортных систем на автомобильном и городском транспорте» / А. Д. Лукьянчук, Д. В. Капский. – Минск : БНТУ, 2016. – 264 с.

ISBN 978-985-550-763-6.

В учебном издании приведены основные отечественные и международные нормативные правовые акты, регламентирующие конструктивную безопасность транспортных средств. Рассмотрены эксплуатационные свойства автомобиля, определяющие его активную, пассивную, экологическую и послеаварийную безопасность. Показано значение тяговой и тормозной динамики, управляемости, устойчивости, плавности хода и информативности автомобиля на снижение числа дорожно-транспортных происшествий и тяжести их последствий. Рассмотрена зависимость безопасности движения от технического состояния узлов и систем автомобиля.

УДК 656.13.08 (075.8)

ББК 39.3я7

ISBN 978-985-550-763-6

© Лукьянчук А. Д., Капский Д. В., 2016

© Белорусский национальный
технический университет, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7
1. Нормативные документы по конструктивной безопасности автомобиля.....	11
2. Эксплуатационные свойства автомобилей.....	15
2.1. Автомобиль – основной элемент транспортного потока. Основные эксплуатационные свойства автомобиля.....	15
2.2. Измерители и показатели эксплуатационных свойств автомобиля.....	17
3. Компонентные параметры автомобиля.....	19
3.1. Габаритные параметры автомобиля.....	19
3.2. Динамический коридор автомобиля.....	21
3.2.1. Динамический коридор автомобиля при прямолинейном движении.....	21
3.2.2. Динамический коридор одиночного автомобиля на повороте.....	23
3.2.3. Динамический коридор автомобиля с прицепом на повороте.....	24
3.3. Массовые параметры автомобиля.....	26
4. Тяговая динамика автомобиля.....	30
4.1. Измерители и показатели тяговой динамики.....	30
4.2. Уравнение движения автомобиля.....	31
4.3. Максимальная скорость автомобиля.....	37
4.4. Максимальное ускорение автомобиля.....	39
4.5. Время и путь разгона автомобиля.....	41
4.6. Время и путь обгона.....	45
4.6.1. Обгон с постоянной скоростью.....	46
4.6.2. Обгон с ускорением.....	50
4.7. Влияние технического состояния автомобиля на тяговую динамику.....	52
4.8. Пути повышения тяговой динамики автомобиля.....	53
5. Тормозная динамика автомобиля.....	55
5.1. Значение тормозной динамики для безопасности движения. Требования к тормозным системам.....	55
5.2. Силы, действующие на автомобиль при торможении.....	56
5.3. Процесс торможения автомобиля.....	59
5.4. Замедление, время и путь торможения автомобиля.....	65
5.5. Путь торможения при заданных значениях t_c , t_n и $t_{уст}$	70

5.6. Влияние технического состояния автомобиля на тормозную динамику.....	72
5.7. Способы повышения тормозной динамики автомобиля	73
5.8. Незавершенный обгон, его путь и время.....	78
6. Устойчивость автомобиля	82
6.1. Показатели устойчивости автомобиля	82
6.2. Курсовая устойчивость автомобиля	83
6.3. Устойчивость автомобиля при криволинейном движении	85
6.4. Устойчивость автомобиля при движении по косоугору	90
6.5. Устойчивость автомобиля с учетом крена кузова.....	92
6.6. Устойчивость переднего и заднего мостов	95
6.7. Продольная устойчивость автомобиля.....	102
7. Управляемость автомобиля	105
7.1. Значение управляемости автомобиля для безопасности движения	105
7.2. Критическая скорость автомобиля по условиям управляемости.....	105
7.3. Поворачиваемость автомобиля	108
7.3.1. Шинная поворачиваемость автомобиля	108
7.3.2. Креновая поворачиваемость автомобиля	116
7.4. Угловые колебания управляемых колес автомобиля.....	118
7.5. Стабилизация управляемых колес автомобиля	120
7.6. Установка управляемых колес автомобиля	123
8. Плавность хода автомобиля	126
8.1. Значение плавности хода для безопасности движения.....	126
8.2. Отрыв колес от дороги	127
8.3. Пути повышения плавности хода автомобиля.....	129
8.4. Влияние технического состояния автомобиля на его устойчивость, управляемость и плавность хода	129
9. Информативность автомобиля	131
9.1. Сигналы и их свойства.....	132
9.2. Внешняя визуальная информативность автомобиля.....	135
9.2.1. Кузов автомобиля	135
9.2.2. Световозвращатели	136
9.2.3. Система автономного освещения автомобиля.....	139
9.2.4. Пути совершенствования системы автономного освещения автомобиля.....	145
9.2.5. Система внешней световой сигнализации автомобиля.....	149

9.2.6. Совершенствование системы внешней световой сигнализации.....	151
9.3. Внутренняя визуальная информативность автомобиля.....	154
9.3.1. Панель приборов.....	154
9.3.2. Совершенствование состава контрольных приборов и параметров, подлежащих контролю.....	158
9.4. Обзорность автомобиля.....	160
9.5. Звуковая информативность автомобиля.....	165
9.6. Тактильная и кинестатическая информативность автомобиля.....	166
10. Рабочее место водителя.....	168
10.1. Сиденье.....	168
10.2. Органы управления.....	172
10.3. Физико-химические условия на рабочем месте водителя.....	175
10.4. Системы вентиляции, отопления и кондиционирования.....	178
11. Автомобильные шины.....	181
11.1. Конструкция автомобильных шин.....	182
11.2. Маркировка автомобильных шин.....	186
11.3. Влияние шин на эксплуатационные свойства автомобиля при движении по дорогам с твердым покрытием.....	194
11.4. Пути совершенствования автомобильных шин.....	195
12. Пассивная безопасность автомобиля.....	202
12.1. Показатели пассивной безопасности.....	202
12.2. Перегрузки, действующие на водителя и пассажиров при ДТП.....	204
12.3. Внутренняя пассивная безопасность.....	205
12.3.1. Уменьшение инерционных нагрузок.....	205
12.3.2. Ограничение перемещения людей в салоне автомобиля.....	210
12.3.3. Травмобезопасные элементы интерьера.....	214
12.4. Внешняя пассивная безопасность.....	216
13. Послеаварийная безопасность автомобиля.....	221
13.1. Опасные явления, возникающие после ДТП.....	221
13.2. Требования к послеаварийной безопасности автомобиля.....	222
14. Экологическая безопасность автомобиля.....	224
14.1. Влияние автомобиля на окружающую среду.....	224
14.2. Токсичность отработавших газов двигателей автомобилей.....	225

14.3. Методы уменьшения загрязненности окружающей среды автомобильным транспортом	226
14.4. Автомобильный шум.....	227
14.5. Методы снижения уровня шума автомобилей.....	229
15. Программа дисциплины.....	231
15.1. Лекционные занятия.....	232
15.1.1. Введение.....	232
15.1.2. Основные эксплуатационные свойства автомобиля	232
15.1.3. Общие компоновочные параметры автомобиля.....	232
15.1.4. Динамические качества автомобиля.....	232
15.1.5. Устойчивость, управляемость и плавность хода автомобиля	233
15.1.6. Информативность автомобиля	233
15.1.7. Рабочее место водителя	233
15.1.8. Автомобильные шины.....	234
15.1.9. Пассивная безопасность автомобиля.....	234
15.1.10. Послеаварийная безопасность автомобиля.....	234
15.1.11. Экологическая безопасность автомобиля	235
15.2. Примерный перечень практических занятий.....	235
15.3. Примерный перечень лабораторных занятий	235
16. Самостоятельная работа студентов	236
16.1. Общие указания	236
16.2. Общие требования.....	236
16.3. Задание на курсовую работу.....	236
16.4. План выполнения курсовой работы.....	237
16.5. Методические указания	238
16.5.1. Определение тягово-скоростных свойств автомобиля	238
16.5.2. Расчет параметров торможения автомобиля.....	243
16.5.3. Определение показателей устойчивости и управляемости автомобиля.....	247
16.5.4. Определение динамического коридора автомобиля	250
16.5.5. Определение расстояния до препятствия, на протяжении которого водитель сможет совершить маневр отворота от препятствия	251
16.5.6. Определение пути и времени обгона с ускорением	254
16.5.7. Определение параметров регулирования фар ближнего света	258
Литература	263

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня в Республике Беларусь, как и во всех экономически развитых странах мира, автомобильный транспорт занимает ведущее место как по объему перевозок, так и по транспортной работе, а автомобильный парк республики непрерывно увеличивается.

Увеличение числа автомобилей, улучшение их эксплуатационных свойств приводит к повышению скорости и интенсивности движения, плотности транспортных потоков, что отрицательно сказывается на уровне безопасности движения.

На безопасность движения также влияют недостаточные темпы развития сети магистральных автомобильных дорог. В результате этого усложняются условия дорожного движения, повышается аварийность, возрастает число столкновений транспортных средств и наездов на пешеходов, увеличиваются загрязненность воздуха и уровень шума. Таким образом, наряду с бесспорными преимуществами автомобилизации страны повышается вероятность человеческих и материальных потерь, связанных с авариями.

Безопасность дорожного движения зависит от многих причин. Для удобства изучения все факторы, влияющие на дорожное движение и его безопасность, условно делят на три взаимодействующих элемента – водитель, автомобиль и дорога, которые составляют так называемую систему ВАД. Причем под дорогой в этом случае понимают не только дорогу с ее обустройством (дорожное полотно, обочины, мосты и т. д.), но и всю окружающую обстановку (средства регулирования, другие транспортные средства, пешеходы, зеленые насаждения, близлежащие строения) и погодно-климатические условия движения (температура, влажность воздуха, ветер, осадки, освещенность и т. д.).

Комплексный подход к изучению безопасности дорожного движения не исключает, а, наоборот, предполагает детальное изучение и совершенствование каждого элемента системы ВАД в отдельности. Неудовлетворительное функционирование хотя бы одного элемента, отсутствие четкой связи между ними, несоответствие одного элемента другому, даже частичное, приводит к утрате работоспособности (отказу) всей системы в целом. Отказ системы ВАД проявляется в снижении интенсивности движения, вплоть до полного

его прекращения, и возникновении дорожно-транспортных происшествий (ДТП).

Дорожно-транспортным происшествием (ДТП) называют событие, возникшее в результате нарушения нормального режима движения хотя бы одного транспортного средства и повлекшее за собой смерть или травмирование людей (увечье, ранение, контузия), повреждение транспортных средств и грузов, искусственных сооружений (зданий, телеграфных столбов, мостов и т. п., зеленых насаждений) или нанесшее другой материальный ущерб.

В каждом ДТП условно можно выделить три фазы: начальную, кульминационную и конечную.

Начальная фаза характеризуется условиями движения автомобиля перед возникновением опасной ситуации, когда участники движения должны принять все меры для предотвращения или хотя бы снижения тяжести последствий происшествия. Если меры не приняты или их принято недостаточно, то опасная ситуация перерастает в аварийную, когда участники движения уже не располагают технической возможностью предотвратить ДТП.

Для *кульминационной фазы* характерны события, вызывающие наиболее тяжелые последствия (разрушение автомобилей, травмирование водителей, пассажиров и пешеходов).

Конечная фаза следует вслед за кульминационной, и ее конец часто совпадает с прекращением движения автомобиля.

Из трех элементов системы ВАД наибольшей потенциальной опасностью обладает автомобиль. Автомобиль, созданный для передвижения с большой скоростью, в силу своей подвижности, возможности быстро изменять положение на дороге относительно других объектов как движущихся, так и неподвижных, представляет собой источник повышенной опасности.

Цель курса «Безопасность транспортных средств» – дать студентам основы знаний в области конструктивной безопасности автомобилей и влияния автомобильного транспорта на окружающую среду.

Основными задачами дисциплины являются изучение конструктивной безопасности автомобиля, ее влияния на возникновение и последствие дорожно-транспортных происшествий, а также ознакомление с отрицательными последствиями автомобилизации на окружающую среду и методами борьбы с вредными выбросами, шумом, создаваемыми транспортными средствами.

Большинство положений и выводов в дисциплине «Безопасность транспортных средств» основывается на знании законов теоретической и прикладной механики, а также теории автомобиля.

Конструктивная безопасность автомобиля является сложным его свойством. Структура безопасности транспортных средств представляет собой следующие аспекты: активная безопасность; пассивная безопасность; послеаварийная безопасность и экологическая безопасность.

Активная безопасность автомобиля – свойство автомобиля предотвращать ДТП (снижать вероятность его возникновения). Активная безопасность проявляется в период, соответствующий начальной фазе ДТП, когда водитель в состоянии изменить характер движения автомобиля.

Пассивная безопасность автомобиля – свойство автомобиля уменьшать тяжесть последствий ДТП. Пассивная безопасность проявляется в период, соответствующий кульминационной фазе происшествия, когда водитель, несмотря на принятые меры, не может изменить характер движения автомобиля и предотвратить ДТП.

Послеаварийная безопасность автомобиля – свойство автомобиля уменьшать тяжесть последствий дорожно-транспортного происшествия после его остановки (конечная фаза ДТП). Это свойство характеризуется возможностью быстро ликвидировать последствия происшествия и предотвращать возникновение новых аварийных ситуаций. Такими аварийными ситуациями, которые могут возникнуть в результате ДТП, являются пожар, заклинивание дверей, заполнение салона автомобиля водой, если он попал в водоем.

Экологическая безопасность автомобиля – свойство автомобиля, позволяющее уменьшать вред, наносимый человеку и окружающей среде в процессе его нормальной эксплуатации. Основным вредом, наносимым автомобилем, – это загрязнение атмосферы вредными веществами, находящимися в отработавших газах, а также значительный уровень шума, возникающий при его работе.

Таким образом, экологическая безопасность, проявляющаяся во время повседневной работы автомобиля, коренным образом отличается от перечисленных выше трех видов безопасности, которые проявляются лишь при дорожно-транспортном происшествии.

Все описанные виды безопасности будут рассматриваться отдельно друг от друга для простоты их изучения. В действительно-

сти же они связаны между собой, влияют друг на друга, и не всегда можно провести четкую границу между отдельными видами безопасности. Так, например, хорошая тормозная система, позволяющая остановить автомобиль на коротком расстоянии, повышает вероятность предотвращения ДТП, улучшая активную безопасность автомобиля. Кроме этого, чем эффективнее тормозная система, тем большее замедление автомобиля она позволит получить на том же расстоянии. Поэтому, если водителю не удастся предотвратить наезд или столкновение, тяжесть последствий от этого будет значительно ниже, то есть повысится пассивная безопасность. Замки автомобильных дверей должны выдерживать большие нагрузки, не открываясь, чтобы предотвратить выпадение людей при ДТП (пассивная безопасность). В то же время они не должны заклиниваться и препятствовать эвакуации пострадавших из автомобиля (последствия аварийная безопасность).

Взаимосвязь различных видов безопасности и противоречивость требований, предъявляемых к конструкции автомобиля, вынуждают принимать компромиссные решения при его проектировании. При этом неизбежно ухудшаются одни свойства, менее существенные для данного типа автомобиля, и улучшаются другие, имеющие большее значение.

1. НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ ПО КОНСТРУКТИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЯ

Обеспечение безопасности дорожного движения невозможно без его четкой регламентации и последовательного выполнения требований технических нормативных правовых актов (ТНПА) учреждениями, предприятиями и организациями, а также всеми гражданами. Каждая страна с высоким уровнем автомобилизации имеет свои законы и ТНПА, содержащие требования к конструкции транспортных средств и их техническому состоянию.

Ранее в этих актах основное внимание уделялось техническим неисправностям автомобиля, препятствующим его безопасной эксплуатации. Это имеет большое значение, так как в процессе эксплуатации автомобиля его детали изнашиваются, увеличиваются зазоры, нарушается регулировка узлов, ослабевают крепления деталей и агрегатов – все это может привести к выходу автомобиля из строя и аварии. Поэтому в Правилах дорожного движения указываются технические неисправности, при наличии которых эксплуатация автомобиля считается недопустимой по соображениям безопасности.

Однако учет только одного технического состояния автомобилей оказался недостаточным. Подробный анализ ДТП показал, что в настоящее время большинство аварий происходит с технически исправными, часто даже новыми автомобилями, а тяжесть последствий ДТП определяется не столько техническим состоянием транспортного средства, сколько соответствием конструкции автомобилей сложным условиям дорожного движения. Стала очевидной необходимость определения совершенства конструкции автомобиля в плане его безопасности и разработки системы показателей для ее количественной оценки.

Развитие международных перевозок грузов и пассажиров, расширение международного туризма потребовали унификации Правил дорожного движения и норм безопасности. В 1958 г. в рамках Комитета по внутреннему транспорту Европейской экономической комиссии Организации Объединенных Наций (ЕЭК ООН) в Женеве с участием СССР было подписано Соглашение о принятии единообразных технических предписаний для колесных транспортных средств, предметов оборудования и частей, которые могут быть установлены и/или использованы на колесных транспортных средствах, и об условиях взаимного признания официальных утверж-

дений, выдаваемых на основе этих предписаний (документ ЕЭК E/ECE/324-E/ECE TRANS 505).

В Соглашении участники обязались:

1. Разрабатывать и принимать единые рекомендации, предусматривающие требования к тому или иному узлу или параметру транспортного средства, методику испытаний на соответствие этим требованиям, знак официального утверждения.

2. Вводить данные рекомендации в качестве законоположений в своих странах, если это будет признано целесообразным. Любая из стран-участниц может, если имеет соответствующее оборудование, проводить испытания по рекомендуемым методикам, проверяя соответствие узла или параметра автомобиля требованиям, содержащимся в рекомендациях. В случае удовлетворительных результатов испытаний присваивать описанный в данной рекомендации знак официального утверждения транспортного средства в отношении этого требования.

3. На территории всех стран-участниц Соглашения признавать знак международного утверждения, присвоенный страной, проводившей испытания. Считать, что узел или параметр автомобиля, которому присвоен знак международного утверждения, отвечает требованию законодательства во всех странах-участницах, применивших рекомендацию, принятую ЕЭК ООН.

ЕЭК ООН в качестве приложений к Соглашению 1958 г. приняла 40 Правил (сейчас 125), в которых содержатся конкретные требования к различным системам, узлам, агрегатам и приборам автомобилей в отношении их безопасности. Сформулированы, например, требования к световым и сигнальным приборам (Правила ЕЭК ООН №№ 1–8, 19, 20, 23, 31, 37, 38), к ремням безопасности и сидениям (Правила ЕЭК ООН №№ 14, 16, 17, 25), к рулевому управлению (Правила ЕЭК ООН № 79), к тормозной системе (Правила ЕЭК ООН № 13), к шинам (Правила ЕЭК ООН № 30).

Согласно классификации, принятой ЕЭК ООН, а также в соответствии с ГОСТ 31286–2005 «Транспорт дорожный. Основные термины и определения. Классификация» транспортные средства делятся на шесть категорий, обозначаемых индексами L, M, N, O, T, G соответственно.

Категория L – механические транспортные средства, имеющие менее четырех колес, и квадрициклы:

– категория L₁: двухколесный мопед – транспортное средство с рабочим объемом двигателя не более 50 см³ и максимальной скоростью, не превышающей 50 км/ч;

– категория L₂: трехколесный мопед – транспортное средство с любым расположением колес с рабочим объемом двигателя не более 50 см³ и максимальной скоростью, не превышающей 50 км/ч;

– категория L₃: мотоцикл – транспортное средство с рабочим объемом двигателя более 50 см³ и максимальной скоростью, превышающей 50 км/ч;

– категория L₄: мотоцикл с коляской – транспортное средство с тремя колесами, асимметричными по отношению к средней продольной плоскости, с рабочим объемом двигателя более 50 см³ и максимальной скоростью, превышающей 50 км/ч;

– категория L₅: трицикл – транспортное средство с тремя колесами, симметричными по отношению к средней продольной плоскости, с рабочим объемом двигателя более 50 см³ и максимальной скоростью, превышающей 50 км/ч;

– категория L₆: легкий квадрицикл – четырехколесное транспортное средство, ненагруженная масса которого не превышает 350 кг, с рабочим объемом двигателя не более 50 см³ и максимальной скоростью, не превышающей 50 км/ч;

– категория L₇: квадрицикл – четырехколесное транспортное средство, ненагруженная масса которого не превышает 400 кг и максимальная эффективная мощность двигателя не превышает 15 кВт.

Категория М – механические транспортные средства, имеющие не менее четырех колес и используемые для перевозки пассажиров:

– категория М₁: транспортные средства, имеющие, кроме места водителя, не более восьми мест для сидения;

– категория М₂: транспортные средства, имеющие, кроме места водителя, более восьми мест для сидения, максимальная масса которых не превышает 5 т;

– категория М₃: транспортные средства, имеющие, кроме места водителя, более восьми мест для сидения, максимальная масса которых превышает 5 т.

Категория N – механические транспортные средства, имеющие не менее четырех колес и предназначенные для перевозки грузов:

– категория N₁: транспортные средства, максимальная масса которых не превышает 3,5 т;

– категория N₂: транспортные средства, максимальная масса которых превышает 3,5 т, но не превышает 12 т;

– категория N₃: транспортные средства, максимальная масса которых превышает 12 т.

Категория O – прицепы (включая полуприцепы):

– категория O₁: прицепы, максимальная масса которых не превышает 0,75 т;

– категория O₂: прицепы, максимальная масса которых превышает 0,75 т, но не превышает 3,5 т;

– категория O₃: прицепы, максимальная масса которых превышает 3,5 т, но не превышает 10 т;

– категория O₄: прицепы, максимальная масса которых превышает 10 т.

Категория T – сельскохозяйственные и лесные тракторы.

Категория G – транспортные средства повышенной проходимости.

Необходимо отметить, что буква G для обозначения категории транспортных средств отдельно не применяется. Обозначения категории M и N могут быть дополнены обозначением G. Например, транспортное средство повышенной проходимости категории N₁ обозначается как N₁G.

Разработанные предписания для каждой категории транспортных средств систематически перерабатываются, дополняются и уточняются. Упраздняются старые нормативы, и вводятся новые, более жесткие требования. Разрабатываются специальные предписания по методам испытаний различных систем и устройств автомобилей, обеспечивающих повышение их безопасности.

Изменение требований Правил ЕЭК ООН к какой-либо системе или узлу автомобиля обозначается порядковым номером поправки, которая включается в номер Правила в виде добавления двух цифр, заключенных в скобки. Например, Правила ЕЭК ООН № 13 с десятой поправкой обозначаются как Правила ЕЭК ООН № 13 (10).

Транспортные средства всех категорий, производимые в Республике Беларусь или ввозимые на ее территорию, подлежат обязательной сертификации, при проведении которой должно быть подтверждено их соответствие предъявляемым к ним требованиям Правил ЕЭК ООН и национальных стандартов. Сертификацию проводят уполномоченные органы по сертификации, входящие в структуру Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь.

2. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА АВТОМОБИЛЕЙ

2.1. Автомобиль – основной элемент транспортного потока. Основные эксплуатационные свойства автомобиля

Для современных автомобильных дорог характерно наличие большого количества разнообразных транспортных средств, движущихся одновременно и образующих единый транспортный поток. Параметры движения этого потока зависят от его состава, то есть от соотношения в нем транспортных средств различного типа.

Состав транспортного потока может быть на разных дорогах различным. В городских условиях он состоит из легковых и грузовых автомобилей, автобусов, троллейбусов, трамваев, мотоциклов и автопоездов. На загородных дорогах трамваи и троллейбусы отсутствуют, число мотоциклов и автобусов уменьшается, зато появляются тракторы и тракторные поезда, а также различного рода сельскохозяйственные и дорожные машины и механизмы (грейдеры, бульдозеры, краны и т. д.).

Наблюдения за транспортными потоками показывают, что основную их массу составляют автомобили, на долю которых приходится, как правило, 75–80 % всех транспортных средств. Соответственно высока и доля участия автомобилей в ДТП. В среднем из общего числа происшествий случаи с автомобилями составляют 80–85 %, с тракторами и самоходными механизмами – 10–15 %, с мотоциклами – 2–3 %, с трамваями и троллейбусами – 1–2 %. Таким образом, видно, что автомобиль является основным элементом транспортного потока и от его безопасности во многом зависит безопасность дорожного движения в целом. Поэтому безопасность транспортных средств изучают в первую очередь применительно к автомобилю. У других транспортных средств рассматриваются лишь специфические особенности, влияющие на безопасность.

Эксплуатационные свойства автомобиля характеризуют возможность его эффективного использования в определенных условиях, позволяют оценить, в какой мере конструкция автомобиля соответствует требованиям эксплуатации.

К основным эксплуатационным свойствам автомобиля относятся: динамика, топливная экономичность, управляемость, устойчивость, проходимость, плавность хода, вместимость, надежность.

Динамика автомобиля – свойство автомобиля перевозить грузы и пассажиров с максимально возможной скоростью (средней) при заданных дорожных условиях. Чем лучше динамика автомобиля, тем меньше время, затрачиваемое на перевозку, следовательно, тем больше производительность автомобиля, то есть тем большее количество грузов или число пассажиров, перевезенное на определенное расстояние в единицу времени.

Динамика автомобиля зависит как от тяговых, так и от тормозных свойств, так как чем выше скорость автомобиля, тем лучше должны быть тормозные свойства. Поэтому в дальнейшем динамика автомобиля будет изучаться в двух аспектах: тяговая динамика и тормозная динамика.

Топливная экономичность – свойство автомобиля рационально использовать для движения энергию сжигаемого топлива. Топливная экономичность является важным эксплуатационным свойством, так как затраты на топливо составляют значительную часть общей себестоимости перевозок. Чем меньше расход топлива, тем дешевле эксплуатация автомобиля.

Управляемость – свойство автомобиля двигаться в направлении, заданном водителем.

Устойчивость – свойство автомобиля противостоять заносу (боковому скольжению) и опрокидыванию.

Проходимость – свойство автомобиля работать в тяжелых дорожных условиях и вне дорог (снежная целина, песок, размокший грунт, болотистая местность). Проходимость имеет важное значение для автомобилей, работающих в сельском хозяйстве, лесной промышленности, на строительстве, а также для других автомобилей, которые работают в условиях бездорожья.

Плавность хода автомобиля – свойство автомобиля двигаться с высокой скоростью по неровным дорогам без больших колебаний кузова. От плавности хода в большой степени зависят средняя скорость движения, сохранность грузов при перевозке и комфортабельность езды в автомобиле, влияющая на утомляемость водителя и пассажиров.

Вместимость автомобиля характеризуется количеством грузов или числом пассажиров, которые могут быть одновременно перевезены автомобилем. Вместимость грузового автомобиля зависит от его

грузоподъемности и внутренних размеров кузова. Вместимость пассажирского автомобиля определяется количеством мест для сидения.

Надежность – свойство автомобиля безотказно перевозить грузы и пассажиров в течение определенного срока без ухудшения основных эксплуатационных свойств.

2.2. Измерители и показатели эксплуатационных свойств автомобиля

Конструктивная сложность автомобиля и многообразие требований, предъявляемых к нему, не позволяют оценить его эксплуатационные свойства одним универсальным критерием. Поэтому соответствие конструкции автомобиля условиям его работы и эффективность использования автомобиля в конкретной обстановке оценивают всем комплексом эксплуатационных свойств, что позволяет выявить преимущества и недостатки принятых конструктивных решений.

Эксплуатационные свойства автомобиля рассматриваются обычно изолированно друг от друга, однако это делается лишь для простоты их изучения. В действительности все эксплуатационные свойства тесно связаны между собой и изменение конструктивных параметров автомобиля, предпринятое для изменения одного из свойств, неизбежно отражается на остальных. Так, для улучшения устойчивости автомобиля конструкторы стремятся расположить центр тяжести как можно ниже, однако при этом ухудшается проходимость автомобиля. Скорость движения автомобиля зависит, прежде всего, от его динамики, однако на скользких дорогах максимальная скорость ограничивается требованиями сохранения устойчивости, а на неровных дорогах – плавностью хода. Увеличение средней скорости движения автомобиля, имеющее решающее значение для повышения его производительности, связано обычно с повышением расхода топлива.

Взаимосвязь эксплуатационных свойств и противоречивость требований, предъявляемых к конструкции автомобиля, приводят к необходимости отыскивать компромиссные решения. При этом неизбежно ограничение одних свойств, менее существенных для данного типа автомобиля, и повышение за их счет других, имеющих большую значимость.

Для оценки отдельных эксплуатационных свойств служит система измерителей и показателей.

Измеритель – это параметр, характеризующий эксплуатационное свойство автомобиля с качественной стороны. Например, измерителем продольной устойчивости автомобиля является угол подъема дороги, который он преодолевает без буксования ведущих колес. Иногда для полной оценки эксплуатационного свойства необходимо несколько измерителей. Так, измерителями тормозной динамики автомобиля являются замедление, путь и время торможения.

Показатель – это число, характеризующее величину измерителя, его количественное значение. Показатель позволяет оценить эксплуатационное свойство автомобиля при определенных условиях работы. Обычно показатель используют для установления граничных возможностей автомобиля в конкретных условиях эксплуатации. Так, одним из показателей тяговой динамики автомобиля является максимальная скорость, развиваемая им на горизонтальном участке дороги с ровным покрытием.

Показатели эксплуатационных свойств определяют экспериментальным путем или расчетным способом. В экспериментальных условиях автомобиль испытывают на стендах или непосредственно на дороге и при помощи специальной аппаратуры замеряют отдельные параметры, по которым количественно оценивают эксплуатационные свойства автомобиля. Эксперименты позволяют определить поведение автомобиля в условиях максимально приближенных к эксплуатационным. Однако проведение экспериментов требует значительных материальных затрат и длительной подготовки. Кроме того, экспериментом не всегда удается охватить весь диапазон эксплуатационных условий работы автомобиля. Поэтому испытания автомобиля сочетают с теоретическим анализом эксплуатационных свойств и расчетом их показателей. Недостатком расчетного метода является его приближенность.

В процессе изучения причин аварийности и поисков путей ее уменьшения стала очевидной необходимость комплексного изучения всех факторов, влияющих на безопасность автомобилей. С этой целью было введено понятие о конструктивной безопасности автомобиля, как о его особом эксплуатационном свойстве. Такое понятие дает возможность всесторонне изучить преимущества и недостатки принятых конструктивно-технологических решений. Конструктивная безопасность является одним из обобщающих свойств автомобиля. Для ее количественной оценки применяют как показа-

тели других эксплуатационных свойств (минимальный тормозной путь, максимальное замедление, критические скорости по условиям заноса и опрокидывания и т. п.), так и новые показатели, специфические только для отдельных аспектов безопасности.

Отличительной чертой конструктивной безопасности автомобиля, по сравнению с другими эксплуатационными свойствами, является необходимость сохранения всех ее показателей на допустимом уровне в течение всего срока службы автомобиля. Так, можно, например, примириться с некоторым ухудшением топливной экономичности автомобиля в процессе его эксплуатации, но этого нельзя делать в отношении безопасности. Автомобиль должен быть безопасным в любое время, при любой погоде, в любых дорожных ситуациях.

3. КОМПОНОВОЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ АВТОМОБИЛЯ

В целях обеспечения безопасности дорожного движения все транспортные средства, допускаемые к эксплуатации на дорогах общего пользования, должны удовлетворять требованиям, ограничивающим их габаритные размеры и массу. Такие требования во всех странах устанавливаются в законодательном порядке. В Республике Беларусь они установлены государственным стандартом СТБ 1878–2008 «Транспорт дорожный. Массы, нагрузки на оси, габариты».

3.1. Габаритные параметры автомобиля

Геометрические параметры автомобиля (габаритные длина L_a и ширина B_a , база L , колея B , радиус поворота R , передний свес C), приведенные на рис. 3.1, имеют большое значение для формирования транспортного потока по ширине и длине, а также для его безопасности.

Сначала определим каждый из перечисленных параметров для того, чтобы были понятны дальнейшие рассуждения.

L_a – габаритная длина – расстояние между крайними передней и задней точками автомобиля;

L – база – расстояние между передней и задней осями автомобиля;

C – передний свес – расстояние между передней осью и крайней передней точкой автомобиля;

B_a – габаритная ширина – расстояние между крайними боковыми точками автомобиля;

B – колея – расстояние между серединами колес одной оси.

У легковых автомобилей колея передних колес, как правило, больше, чем задних. Так, например, у автомобиля ВАЗ-2109: $B_{\text{пер}} - B_{\text{зад}} = 30$ мм.

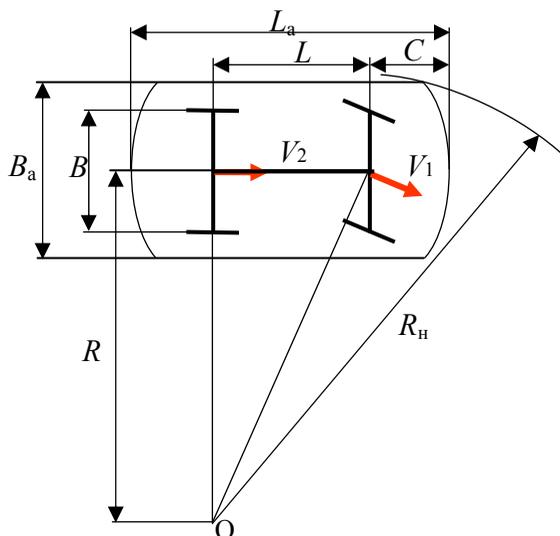


Рис. 3.1. Основные геометрические параметры автомобиля

При отсутствии увода и скольжения вектор скорости V_2 середины задней оси параллелен плоскости задних колес, соответственно вектор скорости V_1 середины передней оси при повороте управляемых колес параллелен их плоскости. Для определения мгновенного центра поворота автомобиля необходимо восстановить перпендикуляры к векторам скоростей V_1 и V_2 . Точка их пересечения и будет являться мгновенным центром поворота O .

Расстояние от центра поворота O до середины заднего моста называется радиусом поворота автомобиля R . Расстояние от центра поворота до наиболее удаленной от него точки автомобиля (обычно это левый или правый край переднего бампера) называется наружным габаритным радиусом автомобиля R_n .

Габаритная высота H_a имеет значение при проезде автомобилей под путепроводами и проводами контактной сети. Кроме того, чрезмерно высокие транспортные средства (полуприцепы-панелевозы, автомобили-фургоны, полуприцепы-контейнеровозы) с высоко расположенным центром тяжести испытывают значительные угловые колебания в поперечной плоскости. При движении по неровной дороге они могут верхним углом задеть столб или мачту.

Учитывая большое влияние геометрических параметров транспортных средств на безопасность движения, СТБ 1878–2008 устанавливает их следующие максимально допустимые значения, которые приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Максимально допустимые габариты транспортных средств

Габариты транспортного средства с грузом или без груза	Допустимая величина габарита, м
Длина:	
грузового автомобиля	12
автобуса	12
автобуса (с числом осей более двух)	15
сочлененного автобуса	18
автопоезда, седельного автопоезда	20
Ширина:	
транспортного средства с изотермическим кузовом	2,6
автомобиля с односкатной ошиновкой	2,7
других транспортных средств	2,55
Высота	4
Выступ груза	2

3.2. Динамический коридор автомобиля

3.2.1. Динамический коридор автомобиля при прямолинейном движении

При движении автомобиль подвергается воздействию различных случайных возмущений, которые стремятся изменить заданный режим и направление движения. К таким возмущениям относятся удары колес о неровности покрытия дороги, изменение ее поперечного

уклона, боковой ветер, случайный поворот управляемых колес и т. п. В результате этих возмущений автомобиль постоянно отклоняется от принятого направления движения, и водитель вынужден поворачивать рулевое колесо, возвращая автомобиль в исходное положение. Вследствие этого даже на строго прямых участках дороги автомобиль движется не прямолинейно, а по кривым больших радиусов. При этом значительную часть времени он находится под углом к оси дороги, и размер полосы необходимой для его движения, так называемый динамический коридор, превышает его габаритную ширину.

Ширина динамического коридора зависит от габаритных размеров автомобиля и скорости его движения. Рассмотрим случай, когда передние колеса автомобиля повернулись на некоторый угол в результате случайного возмущения (рис. 3.2, положение I).

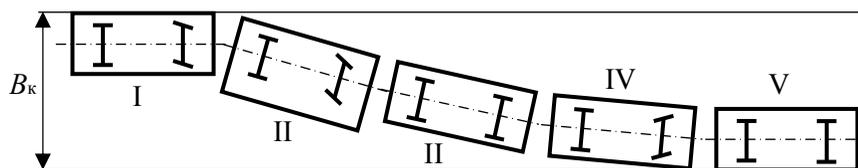


Рис. 3.2. Динамический коридор автомобиля при прямолинейном движении

За время реакции водителя автомобиль, двигаясь криволинейно, переместился в положение II. Затем водитель, вращая рулевое колесо, сначала вернул управляемые колеса в нейтральное положение (положение III), а после этого, повернув их в обратном направлении (положение IV), установил автомобиль параллельно прежнему направлению движения (положение V). Естественно, что чем выше скорость автомобиля, тем большее расстояние он пройдет, находясь под углом к оси дороги, тем шире динамический коридор.

Строительные нормы на проектирование дорог предусматривают для дорог с интенсивностью движения свыше 3000 автомобилей в сутки ширину полосы движения 3,75 м, а для дорог с меньшей интенсивностью – 3,0–3,5 м. Эти размеры не всегда обеспечивают безопасный разъезд автомобилей, поэтому водитель, чтобы избежать столкновения, вынужден снижать скорость. Чем меньше ширина полосы движения на дороге и чем больше габаритные размеры автомобиля, тем более жесткие требования предъявляются к водителю, тем больше его нервное напряжение при управлении автомобилем.

В технической литературе приводятся эмпирические выражения для определения ширины динамического коридора B_k в зависимости от габаритной ширины автомобиля и скорости его движения. Одно из таких выражений имеет вид [1]

$$B_k = 0,054V + B_a + 0,3,$$

где V – в м/с;

B_a – в м.

Для автопоездов ширина динамического коридора с увеличением скорости возрастает быстрее, чем для одиночного автомобиля. Это происходит вследствие угловых колебаний прицепов и полуприцепов в горизонтальной плоскости так называемого виляния. При определенной скорости размахи прицепов становятся настолько большими, что водитель не может устранить их поворотом рулевого колеса и вынужден снижать скорость.

3.2.2. Динамический коридор одиночного автомобиля на повороте

Еще более заметно влияние геометрических параметров на безопасность движения при криволинейном движении автомобиля.

Рассмотрим движение одиночного автомобиля на повороте (рис. 3.3).

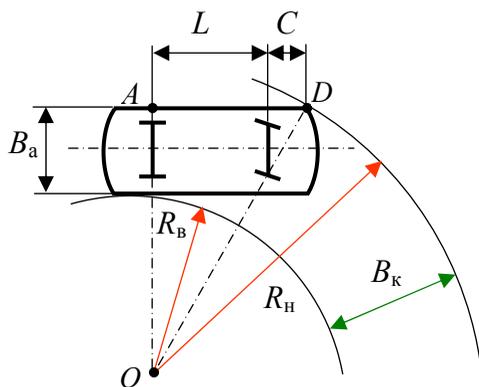


Рис. 3.3. Динамический коридор автомобиля при криволинейном движении

Из рисунка видно, что ширина динамического коридора при движении одиночного автомобиля на повороте определяется как разность наружного и внутреннего габаритных радиусов поворота:

$$B_k = R_n - R_b, \text{ м.}$$

При заданном наружном габаритном радиусе R_n внутренний габаритный радиус определяется из прямоугольного треугольника OAD :

$$AO = \sqrt{OD^2 - AD^2} = \sqrt{R_n^2 - (L + C)^2},$$

тогда

$$R_b = AO - B_a = \sqrt{R_n^2 - (L + C)^2} - B_a, \text{ м;}$$

окончательно

$$B_k = R_n - R_b = R_n - \sqrt{R_n^2 - (L + C)^2} + B_a, \text{ м,}$$

где B_a – габаритная ширина автомобиля;

L – база автомобиля;

C – передний свес.

Согласно полученному выражению при малых значениях базы и переднего свеса ширина динамического коридора незначительно отличается от габаритной ширины автомобиля, то есть $B_k \approx B_a$. При $L + C \approx R_n$ величина B_k может значительно превышать B_a , что вынуждает строителей расширять полосы движения на криволинейных участках дорог.

3.2.3. Динамический коридор автомобиля с прицепом на повороте

Рассмотрим теперь движение автопоезда на повороте (рис. 3.4).

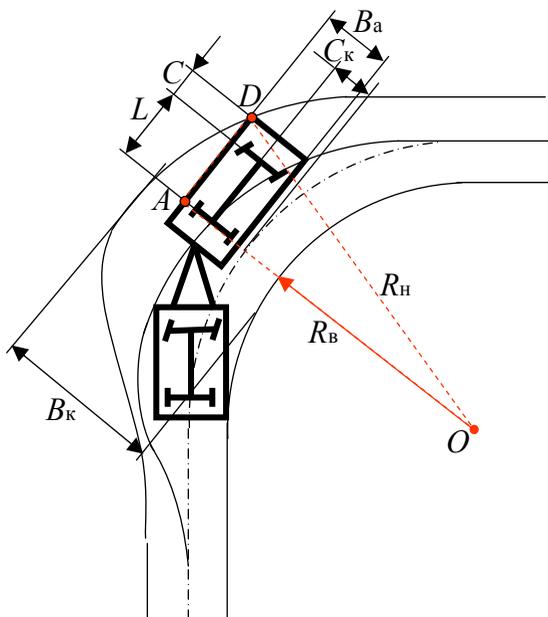


Рис. 3.4. Схема движения автомобиля с прицепом на повороте

Как видно из рисунка, полоса движения автопоезда имеет сложную конфигурацию. С внешней стороны по отношению к центру поворота она ограничена траекторией края переднего крыла или бампера тягача, то есть наружным габаритным радиусом R_n автомобиля-тягача, а с внутренней – задним углом прицепа. Ширина динамического коридора при входе в поворот и выходе из него примерно равна габаритной ширине автопоезда. Наибольшей величины динамический коридор достигает в середине поворота и по аналогии с движением одиночного автомобиля на повороте определяется как разность наружного и внутреннего габаритных радиусов поворота:

$$B_k = R_n - R_b, \text{ м.}$$

Внутренний габаритный радиус R_b автопоезда определим из прямоугольного треугольника OAD :

$$R_{\text{в}} = \sqrt{R_{\text{н}}^2 - (L + C)^2} - B_{\text{а}} - C_{\text{к}}, \text{ м},$$

где $C_{\text{к}}$ – сдвиг заднего моста прицепа относительно заднего моста тягача.

Тогда динамический коридор автомобиля с прицепом на повороте будет

$$B_{\text{к}} = R_{\text{в}} - \sqrt{R_{\text{н}}^2 - (L + C)^2} + B_{\text{а}} + C_{\text{к}}, \text{ м}.$$

Величина сдвига заднего моста прицепа $C_{\text{к}}$ зависит от числа прицепов, их базы и длины сцепного устройства. При движении автопоезда по дуге минимального радиуса величина сдвига для первого прицепа составляет 0,7–1,0 м, для второго – 1,4–2,0 м. Ширина динамического коридора автопоезда значительно больше, чем у одиночного автомобиля с той же габаритной шириной. Так, например, для грузового автомобиля с прицепом при $R_{\text{н}} = 6$ м и $C_{\text{к}} = 1$ м максимальная ширина динамического коридора может достигать 6 м, что более чем вдвое превышает габаритную ширину тягача.

При значительной длине седельного автопоезда для улучшения маневренности и уменьшения ширины динамического коридора управляемыми выполняют задние колеса полуприцепа. В этом случае каждое из колес осей полуприцепа поворачивается вокруг своего шкворня на соответствующий угол с помощью системы рулевых тяг (сочлененный автобус или троллейбус, панелевозы, контейнеровозы и др.).

3.3. Массовые параметры автомобиля

Масса транспортного средства косвенно влияет на безопасность движения. Она сказывается в основном на сроках службы дорожного покрытия. Многократное динамическое воздействие транспортных средств на дорогу приводит к накоплению пластических деформаций в дорожной одежде, нарушению внутренних связей между ее слоями и, как следствие, к разрушению дорожного полотна. Покрытие с достаточным запасом прочности, рассчитанное на однократное воздействие нагрузки, разрушается при многократном ее приложении. Чем больше масса транспортного средства, тем

больше динамические нагрузки на дорогу, тем меньше срок службы дорожного покрытия.

Несмотря на очевидные преимущества использования транспортных средств большой грузоподъемности для сохранения дорожного покрытия СТБ 1878–2008 «Транспорт дорожный. Массы, нагрузки на оси и габариты» введены максимальные разрешенные общие массы транспортных средств, которые приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Максимальные разрешенные общие массы транспортных средств

Наименование транспортного средства	Общая масса, т		
	Для дорог с несущей способностью дорожной одежды, кН, на ось		
	115	100	60
Грузовой автомобиль, седельный тягач			
двухосный	20	18	12
трехосный	25	24	16
трехосный с ведущей осью, имеющей две пары колес, оборудованных пневматической подвеской, или каждая ось снабжена двойными шинами	26	25	16,5
четырёхосный	35	32	23
с пятью и более осями	41	38	28,5
Седельный автопоезд			
двухосный тягач с одноосным полуприцепом	32	28	18
двухосный тягач с двухосным полуприцепом при расстоянии между осями полуприцепа до 1,8 м включительно	38	36	24
двухосный тягач с двухосным полуприцепом при расстоянии между осями полуприцепа от 1,8 до 2,5 м включительно	40	38	28,5
двухосный тягач с трехосным полуприцепом	40	38/40 ¹⁾	28,5
трехосный тягач с двух- или трехосным полуприцепом	42	40	28,5
трехосный тягач с двух- или трехосным полуприцепом 40-футовым ISO-контейнером, используемым для смешанных перевозок	44	40/44 ²⁾	28,5
трехосный тягач с одноосным полуприцепом	36	35	24
другие седельные автопоезда	41	38	28,5

Окончание табл. 3.2

Наименование транспортного средства	Общая масса, т		
	Для дорог с несущей способностью дорожной одежды, кН, на ось		
	115	100	60
Автопоезд			
двухосные автомобиль-тягач, трактор с одноосным прицепом	32	28	18
двухосные автомобиль-тягач, трактор с двухосным прицепом	40	36	24
трехосный автомобиль-тягач с одноосным прицепом	36	34	22
трехосный автомобиль-тягач с двухосным прицепом	42	40/42 ¹⁾	28,5
трехосный автомобиль-тягач с трехосным или четырехосным прицепом	44/47 ¹⁾	40/44 ¹⁾	28,5
другие автопоезда	42	38	28,5
Автобус			
двухосный	21	18	18
трех-, четырехосный	28	24,5/26 ¹⁾	24
трех-, четырехосный сочлененный	32	28	26

Примечание.

¹⁾ Для задней пневмоподвески тягача, автобуса, прицепа и полуприцепа.

²⁾ Только для трехосного тягача с трехосным прицепом.

Еще одним массовым параметром автомобиля является осевая нагрузка (нагрузка на ось), то есть усилие, передаваемое через ось (оси) транспортным средством или его частью на горизонтальную плоскость контакта с дорогой в статическом состоянии, которая соответствует несущей способности дорожной одежды.

Максимальные разрешенные осевые нагрузки транспортного средства для дорог в зависимости от несущей способности (прочности) дорожных одежд, установленные СТБ 1878–2008 «Транспорт дорожный. Массы, нагрузки на оси и габариты», приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

**Максимальные разрешенные осевые нагрузки
транспортных средств**

Типы осей транспортных средств	Несущая способность дорожной одежды, кН на ось					
	115	100	60	115	100	60
	Тип колес					
	Двухскатные			Односкатные		
Нагрузка на ось, кН						
Одиночные оси						
Ведущие	115	100	60	105	90	55
Не ведущие	100	100	60	90	80	55
Смежные оси грузовых автомобилей, автомобилей-тягачей, седельных тягачей, прицепов или полуприцепов с количеством осей более трех при расстоянии между осями						
до 1 м	57	55	40	52	50	36
от 1 м до 1,3 м включительно	70	65	45	65	60	40
от 1,3 м до 1,8 м включительно	80	75	50	75	70	45
от 1,8 м до 2,5 м	95	85	55	90	80	50
Сдвоенные оси грузовых автомобилей, автомобилей-тягачей, седельных тягачей, прицепов или полуприцепов при расстоянии между осями						
до 1 м	12,5	11	9	11,5	10	8
от 1 м до 1,3 м включительно	16	14	10	14	13	9
от 1,3 м до 1,8 м	18/19 ¹⁾	16/17 ¹⁾ 18/19 ²⁾	11	17/18 ¹⁾	15/16 ¹⁾	10
от 1,8 м	20	18/20 ¹⁾	11	18	17/18	10,5
Строенные оси грузовых автомобилей, автомобилей-тягачей, седельных тягачей, прицепов или полуприцепов при расстоянии между осями						
до 1,3 м	21	19,5	13,5	20	18,3	12
от 1,3 м до 1,8 м включительно	24	22,5	15	24	21/22,5 ¹⁾	13,5
от 1,8 м	26	23	16,5	25	22	15

Примечание.

¹⁾ Для пневматической подвески.

²⁾ Для грузового автомобиля, автомобиля-тягача, седельного тягача.

4. ТЯГОВАЯ ДИНАМИКА АВТОМОБИЛЯ

4.1. Измерители и показатели тяговой динамики

Тяговая динамика автомобиля имеет важнейшее значение для повышения его производительности и снижения затрат на перевозки. Чем динамичнее автомобиль, тем быстрее он перевозит пассажиров и грузы и тем выше его средняя скорость. Условия движения автомобиля непрерывно меняются, что приводит к изменению его скорости. Для обеспечения безопасности необходимо, чтобы скорость движения в любой момент времени соответствовала дорожным условиям и психофизиологическим возможностям водителя.

Во время дорожного движения происходят события, нарушающие это соответствие и влекущие за собой отрицательные последствия. Тяжесть этих последствий, как правило, возрастает с увеличением скорости. Таким образом, для дорожного движения характерно наличие двух тенденций. С одной стороны, желательно увеличить скорость транспортного потока, так как это сокращает время доставки грузов и пассажиров, повышает производительность подвижного состава, с другой стороны – с ростом скорости движения увеличивается вероятность возникновения ДТП с тяжелыми последствиями. Поэтому повышение скорости автомобилей возможно лишь при одновременном обеспечении безопасности их движения.

Показателями тяговой динамики автомобиля являются максимальная скорость и ускорение, минимальные время и путь разгона.

Повышение этих показателей должно сопровождаться повышением конструктивной безопасности автомобиля, улучшением дорожных условий и организации движения.

При определении показателей тяговой динамики считают, что возможности автомобиля ограничены лишь мощностью двигателя, работающего с полной нагрузкой, и сцеплением ведущих колес с дорогой. В связи с этим будет рассматриваться только прямолинейное движение автомобиля, а особенности криволинейного движения изучаются в разделах, посвященных устойчивости и управляемости автомобиля.

4.2. Уравнение движения автомобиля

Автомобиль движется в результате действия на него различных сил. Их можно разделить на силы, движущие автомобиль, и силы, оказывающее сопротивление его движению.

Движущей силой автомобиля является сила тяги, приложенная к ведущим колесам, которая возникает в результате работы двигателя и взаимодействия ведущих колес и дороги.

К силам сопротивления относятся сила сопротивления дороги, сила сопротивления воздуха и сила инерции автомобиля.

Рассмотрим последовательно эти силы.

Сила тяги P_T представляет собой отношение крутящего момента M_T на полуосях ведущих колес к радиусу их качения r при равномерном движении автомобиля:

$$P_T = \frac{M_T}{r} = \frac{M_e U_{тр} \eta_{тр}}{r}, \text{ Н}\cdot\text{м},$$

где M_e – эффективный крутящий момент двигателя, Н·м;

$U_{тр}$ – передаточное число;

$\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии;

r – радиус качения ведущего колеса, м.

Мощность от двигателя к ведущим колесам передается агрегатом трансмиссии. При этом часть мощности затрачивается на преодоление трения в зацеплениях зубчатых колес агрегатов трансмиссии, в карданных шарнирах, подшипниках и сальниках, на перемешивание масла в картерах коробки передач, раздаточной коробки и ведущего моста. Все эти потери учитываются коэффициентом полезного действия трансмиссии $\eta_{тр}$, который для различных типов автомобилей при работе двигателя с полной нагрузкой равен:

легковые автомобили	0,90–0,92;
грузовые автомобили и автобусы	0,85–0,90;
автомобили повышенной проходимости	0,80–0,85.

Эффективный крутящий момент двигателя, работающего с полной нагрузкой, то есть при полной подаче топлива, определяют по данным стендовых испытаний двигателей. При отсутствии экспериментальных данных используют эмпирические формулы.

Наибольшее распространение получила формула

$$M_e = \frac{N_{e \max}}{\omega_N} \left[a_M + b_M \frac{\omega}{\omega_N} - c_M \left(\frac{\omega}{\omega_N} \right)^2 \right],$$

где $N_{e \max}$ – максимальная мощность двигателя, кВт;

ω_N – угловая скорость коленчатого вала при $N_{e \max}$, рад/с;

a_M , b_M и c_M – эмпирические коэффициенты, зависящие от типа двигателя (для четырехтактных бензиновых двигателей $a_M = b_M = c_M = 1$; для четырехтактных дизелей $a_M = 0,53$; $b_M = 1,56$; $c_M = 1,09$);

ω – текущее значение угловой скорости коленчатого вала двигателя.

Скорость автомобиля V связана с угловой скоростью коленчатого вала двигателя ω следующей зависимостью:

$$V = \frac{\omega r}{U_{\text{тр}}}, \text{ откуда } \omega = \frac{V U_{\text{тр}}}{r}.$$

Поэтому формулу для получения M_e можно записать следующим образом:

$$M_e = \frac{N_{e \max} r}{V_N U_{\text{тр}}} \left[a_M + b_M \frac{V}{V_N} - c_M \left(\frac{V}{V_N} \right)^2 \right],$$

тогда силу тяги можно получить так:

$$P_T = \frac{N_{e \max} \eta_{\text{тр}}}{V_N} \left[a_M + b_M \frac{V}{V_N} - c_M \left(\frac{V}{V_N} \right)^2 \right].$$

В этих формулах V_N – скорость автомобиля, соответствующая максимальной мощности.

Сила сопротивления дороги. Взаимодействие автомобиля и дороги сопровождается затратами энергии, которые можно разделить на две группы: затраты энергии на подъем автомобиля при движе-

нии в гору и затраты энергии на деформацию шин и дороги. Рассмотрим движение автомобиля на подъеме (рис. 4.1).

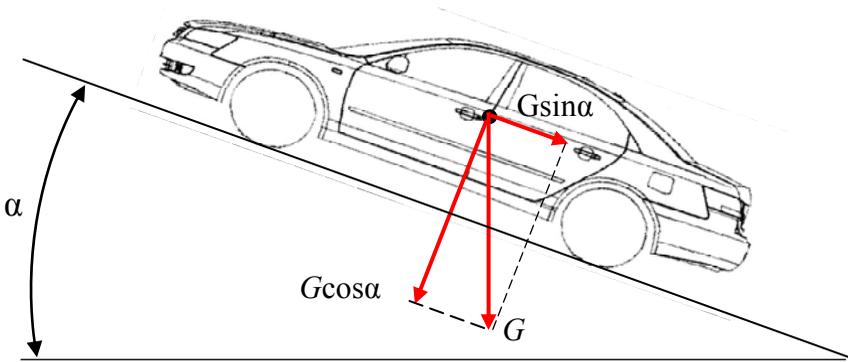


Рис. 4.1. Силы, действующие на автомобиль при движении на подъем

Разложим силу веса автомобиля G на две составляющие: силу $G \sin \alpha$, параллельную поверхности дороги, и силу $G \cos \alpha$, перпендикулярную к ней.

Силу $G \sin \alpha$ называют силой сопротивления подъему и обозначают $P_{\text{п}}$

$$P_{\text{п}} = G \sin \alpha, \text{ Н.}$$

Сила сопротивления качению зависит от деформации шины и дороги и определяется коэффициентом сопротивления качению f , который численно равен отношению силы $P_{\text{к}}$, вызывающей равномерное качение колеса, к нормальной реакции дороги R_z . Отсюда сила сопротивления качению колеса

$$P_{\text{к}} = fR_z, \text{ Н.}$$

Принимая коэффициент сопротивления качению f одинаковым для всех колес автомобиля, получим силу сопротивления качению автомобиля:

$$P_{\text{к}} = fG, \text{ Н,}$$

или в общем случае

$$P_k = fG \cos \alpha, \text{ Н.}$$

При скорости до 15 м/с коэффициент сопротивления качению можно считать постоянным. При движении с большей скоростью f он возрастает, так как шина не успевает распрямиться после выхода из области контакта с дорогой, а также возрастает внутреннее трение в покрышке.

Для определения коэффициента сопротивления качению в зависимости от скорости движения пользуются эмпирическими формулами, например:

$$f = f_0(1 + V^2/1500),$$

где f_0 – коэффициент сопротивления качению при движении со скоростью до 15 м/с;

V – скорость автомобиля.

Средние значения коэффициентов сопротивления качению для различных дорог равны [1]:

шоссе в отличном состоянии	0,016–0,018
в хорошем состоянии	0,018–0,020
бульжная дорога	0,023–0,030
гравийная дорога	0,020–0,025
грунтовая дорога:	
сухая	0,025–0,030
после дождя	0,050–0,150

Коэффициент сопротивления качению и уклон дороги в совокупности характеризуют качество дороги. Поэтому введено понятие о силе сопротивления дороги P_d , равной сумме сил P_k и P_{π} :

$$P_d = P_k + P_{\pi} = G(f \cos \alpha + \sin \alpha), \text{ Н.}$$

На дорогах с усовершенствованным покрытием углы подъема α не превышают 4–5°, и без большой ошибки можно записать:

$$P_d = G(f + \sin \alpha), \text{ Н.}$$

Выражение в скобках называют коэффициентом сопротивления дороги и обозначают буквой ψ , тогда сила сопротивления дороги

$$P_d = \psi G, \text{ Н.}$$

Сила сопротивления воздуха. При движении автомобиль перемещает перед собой частицы воздуха и в каждой точке поверхности кузова автомобиля в результате соприкосновения с воздушной средой возникают элементарные силы, нормальные к этой поверхности и касательные к ней. Касательные силы являются силами трения, а нормальные силы создают давление на кузов автомобиля. Для упрощения элементарные силы заменяют сосредоточенной силой сопротивления воздуха P_v . Опытным путем установлено, что сила сопротивления воздуха

$$P_v = K_v F_v V^2, \text{ Н,}$$

где K_v – коэффициент сопротивления воздуха (коэффициент обтекаемости), зависящий от формы и качества отделки поверхности кузова автомобиля, $\text{Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$;

F_v – лобовая площадь автомобиля, м^2 ;

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

Коэффициент обтекаемости K_v численно равен силе сопротивления воздуха, создаваемой 1 м^2 лобовой площади автомобиля при его движении со скоростью $1 \text{ м}/\text{с}$.

Лобовой площадью F_v автомобиля называют площадь его проекции на плоскость, перпендикулярную продольной оси автомобиля. Определить точное значение лобовой площади достаточно сложно, поэтому пользуются приближенными формулами для определения F_v :

для грузового автомобиля и автобуса

$$F_v = BH_a,$$

где B – колея передних колес, м ;

H_a – габаритная высота, м ;

для легкового автомобиля

$$F_{\text{в}} = 0,78B_{\text{а}}H_{\text{а}},$$

где $B_{\text{а}}$ – габаритная ширина автомобиля, м.

Произведение $K_{\text{в}}F_{\text{в}}$ называют фактором обтекаемости и обозначают буквой $W_{\text{в}}$, тогда

$$P_{\text{в}} = W_{\text{в}}V^2, \text{ Н.}$$

Таким образом, можно написать уравнение равномерного движения автомобиля:

$$P_{\text{т}} - P_{\text{к}} - P_{\text{п}} - P_{\text{в}} = 0 \quad \text{или} \quad P_{\text{т}} - P_{\text{д}} - P_{\text{в}} = 0.$$

Сила инерции. При неравномерном движении автомобиля возникают силы инерции как всей массы автомобиля, так и вращающихся деталей двигателя и трансмиссии, а также колес.

Так называемую приведенную силу инерции автомобиля $P_{\text{и}}$ определяют по следующей формуле:

$$P_{\text{и}} = Mj\delta_{\text{вр}}, \text{ Н,}$$

где M – масса автомобиля, кг;

j – ускорение автомобиля, м/с^2 ;

$\delta_{\text{вр}}$ – коэффициент учета вращающихся масс.

Коэффициент учета вращающихся масс $\delta_{\text{вр}}$ показывает, во сколько раз энергия, затрачиваемая при разгоне вращающихся и поступательно движущихся масс автомобиля, больше энергии, необходимой для разгона автомобиля, все детали которого движутся только поступательно.

Для определения $\delta_{\text{вр}}$ используется выражение

$$\delta_{\text{вр}} = 1 + \frac{J_{\text{м}}\eta_{\text{тр}}u_{\text{тр}}^2 + J_{\text{к}}}{Mr^2},$$

где J_M – момент инерции маховика и связанных с ним деталей двигателя и сцепления;

J_K – суммарный момент инерции всех колес автомобиля.

Если точное значение моментов инерции J_M и J_K неизвестно, то коэффициент $\delta_{вр}$ определяют по эмпирической формуле:

$$\delta_{вр} = \frac{1 + (\delta' + \delta'' U_K^2) M_a}{M},$$

где δ' , δ'' – эмпирические коэффициенты ($\delta' \approx 0,03-0,05$; $\delta'' \approx 0,04-0,06$);

U_K – передаточное число коробки передач;

M_a – масса автомобиля с полной нагрузкой, кг;

M – масса автомобиля с данной нагрузкой, кг.

Уравнение движения автомобиля в общем виде можно записать следующим образом:

$$P_T - P_d - P_B - P_{и} = 0.$$

4.3. Максимальная скорость автомобиля

Максимальную скорость автомобиля можно определить аналитическим или графоаналитическим способом.

Для расчетного определения максимальной скорости подставим в уравнение движения автомобиля выражения для определения сил $P_T, P_d, P_B, P_{и}$.

В результате получим:

$$\frac{N_e \max \eta_{гр}}{V_N} \left[a_M + b_M \frac{V}{V_N} - c_M \left(\frac{V}{V_N} \right)^2 \right] - G \left[f_0 (1 + V^2 / 1500) + \sin \alpha \right] - m \delta_{вр} j - W_B V^2 = 0.$$

Сгруппировав члены с одинаковыми степенями V , получим

$$A_c V^2 - B_c V - C_c + D_c j = 0,$$

где

$$A_c = -\frac{N_e \max \eta_{\text{тр}} c_M}{V_N^3} - \frac{Gf_0}{1500} - W_B;$$

$$-B_c = \frac{N_e \max \eta_{\text{тр}} b_M}{V_N^2};$$

$$-C_c = \frac{N_e \max \eta_{\text{тр}} a_M}{V_N} - G(f_0 + \sin \alpha);$$

$$D_c = -m \delta_{\text{вр}}.$$

Достигнув максимальной скорости, автомобиль перестанет разгоняться, то есть его ускорение будет равным нулю ($j = 0$). Тогда получаем квадратное уравнение:

$$A_c V^2 - B_c V - C_c = 0.$$

Решая это уравнение, находим максимальную скорость автомобиля V_{\max} :

$$V_{\max} = \frac{B_c + \sqrt{B_c^2 + 4A_c C_c}}{2A_c}, \text{ м/с.}$$

При графоаналитическом способе определения максимальной скорости автомобиля используют метод силового баланса и поступают следующим образом. Пользуясь формулой для определения силы тяги, определяют ее величину для нескольких значений скорости и по этим точкам строят кривую P_T для высшей передачи в координатах $V-P$ (рис. 4.2). На том же графике строят кривую сопротивления дороги P_d для одного значения угла α и вверх от этой кривой откладывают величины сопротивления воздуха P_B .

Кривая суммарного сопротивления $P_d + P_B$ определяет силу тяги, необходимую для движения автомобиля по данной дороге с посто-

янной скоростью. Если кривая силы тяги P_T проходит выше кривой $P_d + P_b$, то отрезки P_3 , заключенные между этими кривыми, представляют собой нереализованную часть (запас) силы тяги. Этот запас можно использовать для разгона автомобиля. Максимальную скорость находят по абсциссе точки пересечения кривых P_T и $P_d + P_b$, так как при этом запас силы тяги, а следовательно и ускорение, равны нулю.

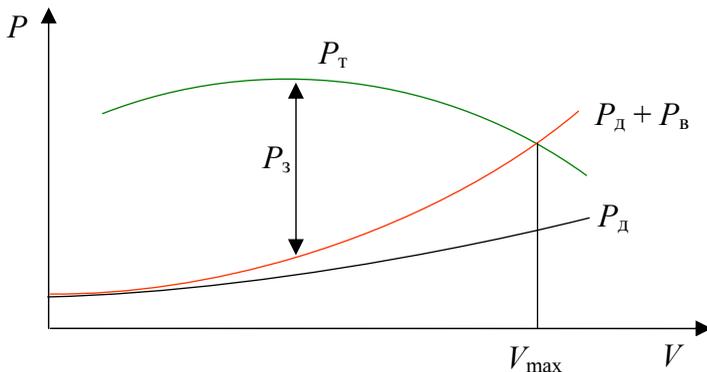


Рис. 4.2. График определения максимальной скорости автомобиля методом силового баланса

4.4. Максимальное ускорение автомобиля

Максимальное для данного автомобиля ускорение тоже можно определить как аналитическим, так и графоаналитическим способом.

Для аналитического способа определения ускорения воспользуемся формулой, полученной из уравнения движения автомобиля, для определения максимальной скорости, решив ее относительно j .

$$j = \frac{(-A_c V^2 + B_c V + C_c)}{D_c}.$$

Продифференцировав это выражение по V и приравняв производную нулю, получим

$$-2A_c V + B_c = 0.$$

Отсюда найдем значение скорости, при которой ускорение автомобиля достигает максимального значения:

$$V = \frac{B_c}{2A_c}.$$

Подставив значение V в формулу для определения j , получим максимальное ускорение автомобиля на данной передаче:

$$j_{\max} = \frac{\left(\frac{-A_c B_c^2}{4A_c^2} + \frac{B_c^2}{2A_c} + C_c \right)}{D_c}$$

или

$$j_{\max} = \frac{\left(\frac{-B_c^2 + 2B_c^2}{4A_c} + C_c \right)}{D_c}.$$

Упростив это выражение, получим

$$j_{\max} = \frac{\left(\frac{B_c^2}{4A_c} + C_c \right)}{D_c}.$$

При графоаналитическом определении j_{\max} задают несколькими значениями скорости и рассчитывают величины ускорения, например, на высшей передаче коробки при работе двигателя с полной нагрузкой.

Построив по точкам в координатах $V-j$ кривую ускорений, проводят касательную к ней параллельно оси абсцисс (рис. 4.3). Ордината точки касания определяет величину ускорения максимально возможного на данной передаче и на данной дороге.

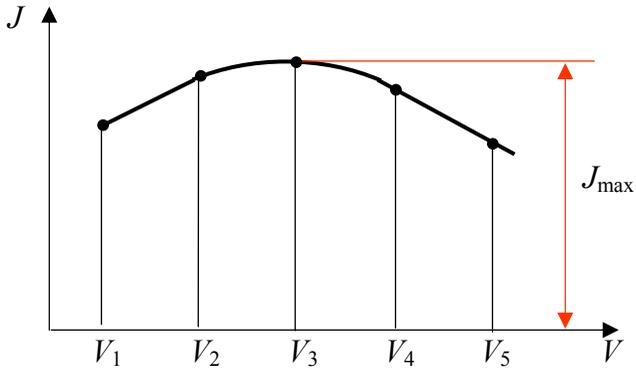


Рис. 4.3. График ускорений автомобиля

4.5. Время и путь разгона автомобиля

Ускорение автомобиля можно определить по следующей формуле:

$$j = \frac{dV}{dt},$$

отсюда

$$dt = \frac{1}{j} dV.$$

Тогда время разгона в интервале скорости от V_1 до V_2

$$t = \frac{1}{j} \int_{V_1}^{V_2} dV.$$

Ввиду отсутствия аналитической связи между ускорением j и скоростью автомобиля V время разгона определяют графоаналитическим методом. Для этого строят графики ускорения автомобиля на всех передачах переднего хода.

Изобразим такой график для автомобиля с четырехступенчатой коробкой передач (рис. 4.4).

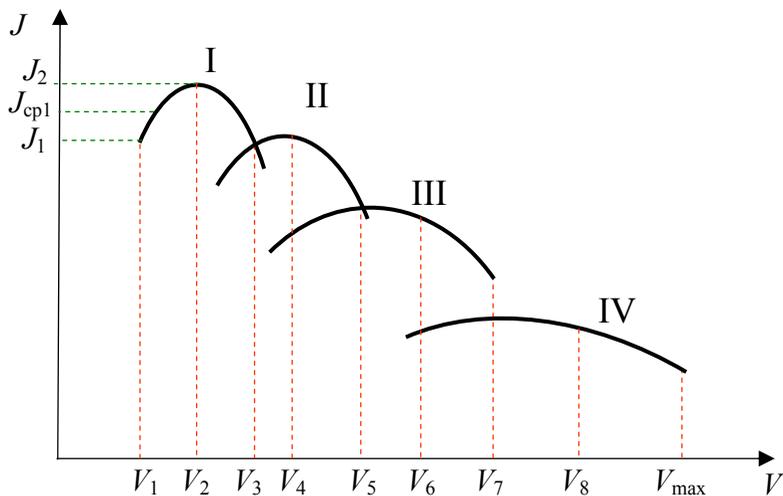


Рис. 4.4. График ускорений автомобиля

Затем кривую ускорений разбивают на ряд интервалов скорости, считая, что в каждом интервале автомобиль разгоняется с постоянным средним ускорением. Например, среднее ускорение в интервале скорости от V_1 до V_2

$$j_{cp1} = 0,5(j_1 + j_2).$$

Среднее ускорение можно также рассчитать, зная значения скорости в начале и в конце интервала. Так, например, при изменении скорости от V_1 до V_2 среднее ускорение будет

$$j_{cp1} = \frac{V_2 - V_1}{t_1} = \frac{\Delta V_1}{t_1}.$$

Из последнего выражения определяем время разгона t_1 в интервале скорости от V_1 до V_2 :

$$t_1 = \frac{\Delta V_1}{j_{cp1}}.$$

Таким же образом получаем значения среднего ускорения в интервале скорости $V_2 - V_3$:

$$j_{\text{cp}2} = 0,5(j_2 + j_3) \quad \text{и} \quad j_{\text{cp}2} = \frac{V_3 - V_2}{t_2} = \frac{\Delta V_2}{t_2}.$$

Тогда время разгона от V_2 до V_3

$$t_2 = \frac{\Delta V_2}{j_{\text{cp}2}}.$$

Проведя аналогичные расчеты для всех интервалов, получим общее время разгона от скорости V_1 до скорости V_n , то есть до максимальной скорости:

$$t_p = t_1 + t_2 + \dots + t_n.$$

По значениям времени разгона автомобиля t , полученным для различных скоростей движения, строим график зависимости времени разгона автомобиля от скорости V_1 . Для этого для скорости V_2 откладывают значение t_1 , для скорости V_3 – значение $t_1 + t_2$ и т. д. Полученные точки соединяют плавной кривой. Примерный вид графика времени разгона автомобиля представлен на рис. 4.5.

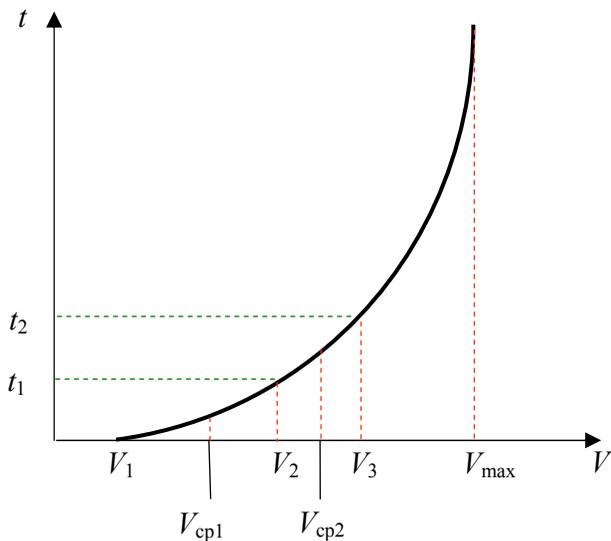


Рис. 4.5. График времени разгона автомобиля

По мере приближения к максимальной скорости ускорение автомобиля стремится к нулю и разгон становится неощутимым уже при скорости $V = (0,9-0,95) V_{\max}$. Поэтому примерно до этой скорости и необходимо вести расчет времени разгона. На практике же для легковых автомобилей одним из показателей тяговой динамики принято время разгона до скорости $V = 100$ км/ч.

Следующим показателем тяговой динамики автомобиля является путь разгона, который определяют, исходя из того, что

$$V = \frac{dS}{dt}, \text{ а значит, } dS = Vdt,$$

и, следовательно, за время t_1 путь разгона определится как

$$S = V \int_0^{t_1} dt.$$

Ввиду отсутствия аналитически выраженной функции $V = f(t)$ в этом случае также используется метод графического интегрирования. Для этого график времени разгона автомобиля разбиваем на ряд интервалов, считая, что в каждом интервале изменения скорости автомобиль движется равномерно со средней скоростью $V_{\text{ср}}$.

Так, в интервале скорости от V_1 до V_2 средняя скорость будет

$$V_{\text{ср1}} = 0,5(V_1 + V_2).$$

Тогда путь разгона от скорости V_1 до скорости V_2 за время t_1

$$S_1 = V_{\text{ср1}}t_1.$$

Аналогично для интервала скорости от V_2 до V_3

$$V_{\text{ср2}} = 0,5(V_2 + V_3) \quad \text{и} \quad S_2 = V_{\text{ср2}}t_2.$$

Общий путь разгона от скорости V_1 до скорости V_n :

$$S_p = S_1 + S_2 + \dots + S_n.$$

Связь между временем и путем разгона демонстрирует график интенсивности разгона автомобиля. Для построения этого графика в координатах t - S наносят сначала значения времени t_1 и пути S_1 , соответствующие разгону автомобиля от скорости V_1 до скорости V_2 , затем значения $t_1 + t_2$ и $S_1 + S_2$ для интервала скорости V_1 - V_3 и т. д. После этого полученные точки соединяют плавной кривой (рис. 4.6).

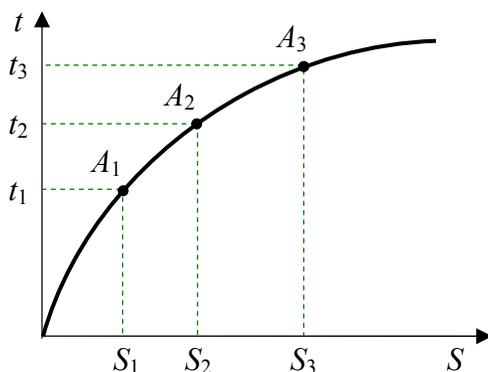


Рис. 4.6. График интенсивности разгона автомобиля

4.6. Время и путь обгона

Автомобили, двигаясь в транспортном потоке, часто обгоняют попутные автомобили. Обгон является одним из самых сложных и опасных маневров, так как связан с выездом на полосу встречного движения и требует наличия свободного пространства перед обгоняющим автомобилем. Во время обгона происходит значительное количество ДТП, тяжесть которых возрастает с увеличением скорости транспортного потока.

Маневр обгона можно условно разделить на три фазы: отклонение обгоняющего автомобиля влево и выезд на полосу встречного движения, движение по этой полосе параллельно с обгоняемым автомобилем и его опережение, возвращение на свою полосу движения.

Для простоты расчетов время, затраченное на переход обгоняющего автомобиля с одной полосы движения на другую, не учитывают, так как оно мало по сравнению с общим временем обгона.

В зависимости от дорожных условий и интенсивности движения обгон может совершаться либо с постоянной скоростью, либо с ускорением.

4.6.1. Обгон с постоянной скоростью

Обгон с постоянной скоростью характерен для свободного, нестесненного движения автомобилей в загородных условиях.

В этом случае водитель обгоняющего автомобиля имеет впереди себя достаточное пространство для предварительного разгона до скорости V_1 большей, чем скорость V_2 обгоняемого автомобиля.

Схема обгона автомобиля представлена на рис. 4.7.

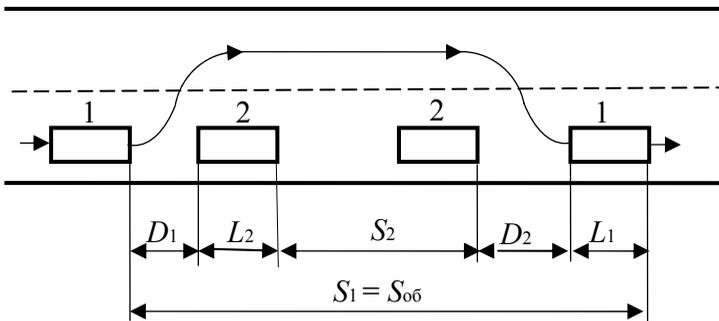


Рис. 4.7. Схема обгона автомобиля

Как следует из схемы обгона, путь обгона будет составлять:

$$S_{об} = D_1 + L_2 + S_2 + D_2 + L_1 \quad \text{или} \quad S_{об} = S_1 = V_1 t_{об},$$

где D_1 и D_2 – дистанции безопасности между обгоняемым и обгоняющим автомобилями в начале и в конце обгона, м;

L_1 и L_2 – габаритные длины обгоняющего и обгоняемого автомобилей, м;

S_2 – путь обгоняемого автомобиля за время обгона, м.

Приравняв выражения для определения пути обгона, с учетом того, что путь обгоняемого автомобиля равен $S_2 = V_2 t_{об}$, получим

$$D_1 + L_2 + V_2 t_{об} + D_2 + L_1 = V_1 t_{об}.$$

Отсюда время обгона

$$t_{об} = \frac{D_1 + D_2 + L_1 + L_2}{V_1 - V_2}.$$

Тогда путь обгона

$$S_{об} = \frac{D_1 + D_2 + L_1 + L_2}{V_1 - V_2} V_1.$$

Полученные формулы показывают, что время и путь обгона в большой степени зависят от скорости обгоняющего автомобиля V_1 . Чем она больше, тем меньше $S_{об}$ и $t_{об}$, следовательно, тем быстрее обгоняющий автомобиль вернется на свою полосу движения, обеспечив необходимую безопасность.

Дистанции безопасности в начале обгона D_1 и в конце обгона D_2 зависят от дорожных условий, типа автомобиля, опыта и квалификации водителя. Точный расчет их невозможен, и эти дистанции между автомобилями выбираются водителем. Для их ориентировочных расчетов пользуются следующими эмпирическими зависимостями, в которых первая дистанция безопасности представлена в виде функции скорости обгоняющего автомобиля, а вторая – в виде функции скорости обгоняемого автомобиля:

$$D_1 = a_{об} V_1^2 + 4,0, \text{ м};$$

$$D_2 = b_{об} V_2^2 + 4,0, \text{ м},$$

где $a_{об}$ и $b_{об}$ – эмпирические коэффициенты, зависящие от типа обгоняемого автомобиля (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Значения коэффициентов $a_{об}$ и $b_{об}$

Тип автомобиля	$a_{об}$	$b_{об}$
Легковые	0,33	0,26
Грузовые средней грузоподъемности	0,53	0,48
Грузовые большой грузоподъемности и автопоезда	0,76	0,67

Для анализа процесса обгона с постоянной скоростью при наличии встречного автомобиля удобно пользоваться схемой, представленной на рис. 4.8, на котором изображены зависимости между временем и перемещением автомобилей.

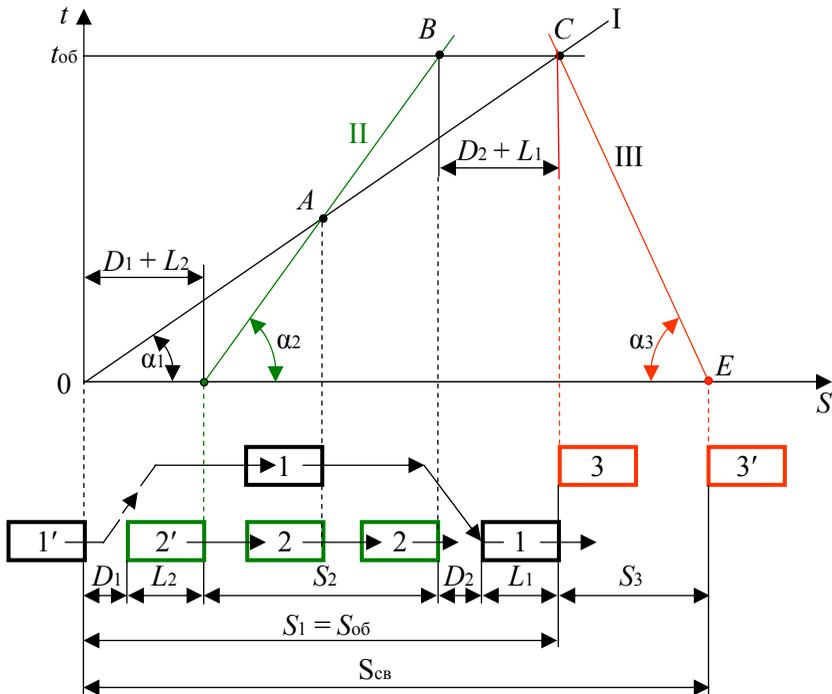


Рис. 4.8. Схема и график обгона

Положение обгоняющего, обгоняемого и встречного автомобилей в начальный момент времени отмечены в нижней части схемы

цифрами 1', 2' и 3' соответственно. Движение их считаем равномерным и соответствующим зависимости $S = S(t)$, которые представляют собой прямые линии I, II и III. Углы наклона α_1 , α_2 и α_3 этих прямых пропорциональны скоростям движения V_1 , V_2 и V_3 автомобилей. В начале обгона расстояние между передними частями обгоняющего и обгоняемого автомобилей равно $D_1 + L_2$. Точка A, находящаяся на пересечении прямых I и II, характеризует момент обгона, когда оба автомобиля сравнялись, после чего обгоняющий автомобиль начинает выходить вперед. Чтобы определить минимально необходимое время и путь обгона, нужно найти на графике такие две точки B и C на линиях I и II, расстояние между которыми по горизонтали было бы равно сумме $D_2 + L_1$. Тогда абсцисса точки C определит путь обгона $S_{об}$, а ордината – время обгона $t_{об}$.

Зная путь обгона $S_{об}$ и скорость встречного автомобиля V_3 , можно определить минимальное безопасное расстояние $S_{св}$, которое должно быть свободно перед обгоняющим автомобилем в начале обгона:

$$\begin{aligned} S_{св} &= S_{об} + S_3 = S_{об} + V_3 t_{об} = S_{об} + V_3 \frac{S_{об}}{V_1} = \\ &= S_{об} \left(1 + \frac{V_3}{V_1} \right) = \frac{D_1 + D_2 + L_1 + L_2}{V_1 - V_2} V_1 \frac{V_1 + V_3}{V_1}. \end{aligned}$$

Окончательно

$$S_{св} = \frac{D_1 + D_2 + L_1 + L_2}{V_1 - V_2} (V_1 + V_3).$$

Анализ формулы показывает, что увеличение скорости обгоняемого автомобиля приводит к резкому увеличению времени и пути обгона и может привести к аварии. Поэтому Правила дорожного движения категорически запрещают водителю обгоняемого автомобиля какими-то действиями препятствовать завершению обгона.

С другой стороны, чем выше скорость обгоняющего автомобиля, тем меньше значения $S_{об}$, $t_{об}$ и $S_{св}$, необходимые для безопасного обгона.

4.6.2. Обгон с ускорением

Обгоны с постоянной скоростью возможны на дорогах с проезжей частью шириной более 7–8 м и интенсивностью движения в обоих направлениях 40–60 автомобилей в час. Значительно сложнее и опаснее обгонять при большой интенсивности движения. В таких условиях водитель быстроходного автомобиля, догнав медленно движущийся, снижает скорость и движется позади его. При появлении перед обгоняемым автомобилем достаточного свободного расстояния водитель быстроходного автомобиля начинает обгон, сочетая его с разгоном.

Для расчета пути и времени обгона в этом случае воспользуемся графиком интенсивности разгона обгоняющего автомобиля, представленном на рис. 4.9.

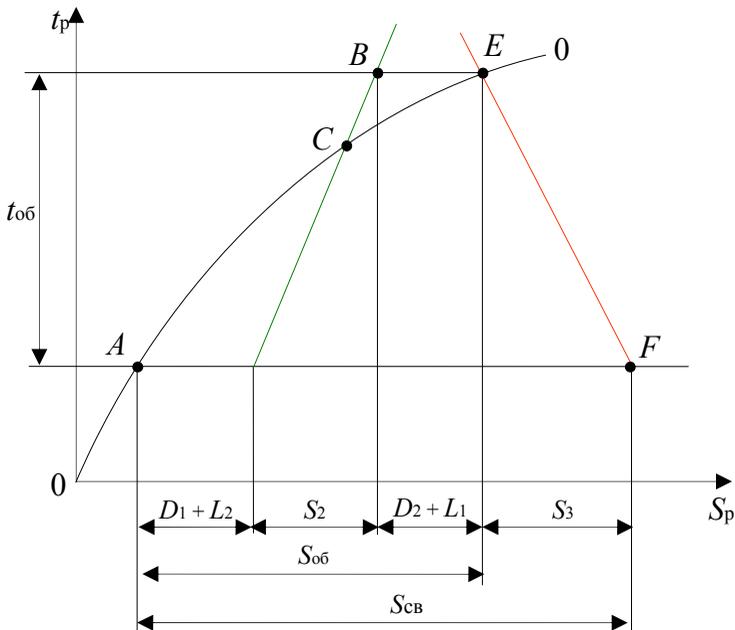


Рис. 4.9. График обгона при ускоренном движении обгоняющего автомобиля

На графике отмечают точку A , соответствующую скорости V_2 обгоняемого автомобиля, и от нее откладывают вправо по горизонтали отрезок, равный $D_1 + L_2$. Из конца отрезка проводят прямую под углом, соответствующим скорости обгоняемого автомобиля. Точка C , расположенная на пересечении этой прямой с кривой OO , соответствует моменту времени, когда передние части обоих автомобилей сравнялись. Затем обгоняющий автомобиль начинает выходить вперед. Чтобы определить минимально необходимый путь и время обгона, нужно на графике найти две точки B (на прямой, соответствующей скорости обгоняемого автомобиля) и E (на кривой интенсивности разгона обгоняющего автомобиля), расстояние между которыми по горизонтали было равно сумме $D_2 + L_1$.

Зная положение начальной и конечной точки обгона, по координатам S_p и t_p находят путь и время обгона, сочетаемого с разгоном. Если нужно учесть возможность появления встречного автомобиля, то из точки E проводят наклонную прямую под углом, соответствующим скорости этого автомобиля, до пересечения с продолжением горизонтальной прямой, проведенной из начальной точки A (точка F). Минимальное расстояние, которое должно быть свободным перед обгоняющим автомобилем для безопасного обгона, определяется длиной отрезка AF .

Расчеты пути и времени обгона, сочетаемого с разгоном, существенно упрощаются, если принять, что обгоняющий автомобиль движется с постоянным ускорением j . При равноускоренном движении обгоняющего автомобиля с начальной скорости, равной V_2 , путь обгона

$$S_{об} = S_1 = V_2 t_{об} + j t_{об}^2 / 2.$$

С другой стороны:

$$S_{об} = D_1 + D_2 + L_1 + L_2 + V_2 t_{об}.$$

Тогда время обгона определится как

$$t_{об} = \sqrt{\frac{2(D_1 + D_2 + L_1 + L_2)}{j}}.$$

В случае обгона, сочетаемого с разгоном, большое значение имеют высокие динамические качества обгоняющего автомобиля, то есть его способность быстро набирать скорость. Чем больше максимальное ускорение автомобиля, тем быстрее будет закончен обгон, тем он будет безопаснее.

Необходимо отметить, что при совершении обгона, кроме скорости обгоняющего автомобиля и его динамических качеств, необходимо учитывать также расстояние видимости, потому что гарантированное расстояние видимости может быть меньше безопасного пути обгона и возникает опасность столкновения со встречным автомобилем.

4.7. Влияние технического состояния автомобиля на тяговую динамику

Выясним сначала, что такое техническое состояние автомобиля. Это степень его готовности к работе, то есть степень соответствия его агрегатов, механизмов и приборов нормам, установленным правилами технической эксплуатации. В первое время после выпуска автомобиля с завода детали его агрегатов и узлов прирабатываются, техническое состояние автомобиля улучшается. Затем длительное время оно остается примерно одинаковым, после чего вследствие изнашивания деталей, изменения их размеров, образования повышенных зазоров, а также возникновения усталостных повреждений, техническое состояние автомобиля начинает ухудшаться.

Ухудшение технического состояния двигателя прежде всего сказывается на уменьшении его мощности. Вследствие изнашивания поршневых колец, поршней и цилиндров, обгорания и неполного прилегания клапанов к их седлам снижается компрессия, что приводит к падению мощности двигателя на 15–20 %.

Из-за образования нагара на стенках камеры сгорания или смолистых отложений на стенках впускного трубопровода происходит снижение наполнения цилиндров горючей смесью, в результате чего двигатель развивает лишь 80–85 % от номинальной мощности.

Неправильная установка зажигания (для бензиновых двигателей) или момента впрыска топлива (для дизелей) приводят к уменьшению эффективной мощности двигателя. Например, в случае установки позднего зажигания мощность двигателя может упасть на 25–30 %.

Работа двигателя даже при одной неисправной свече зажигания также приводит к снижению его мощности.

В процессе эксплуатации изменяется и техническое состояние агрегатов шасси автомобиля. При неправильном зацеплении шестерен в коробке передач или ведущем мосту, а также при чрезмерной затяжке конических подшипников главной передачи и ступиц колес возрастают затраты энергии в трансмиссии и ходовой части, приводящие к ухудшению тяговой динамики. То же происходит при неправильных углах установки управляемых колес или задевании тормозных накладок за барабаны или диски при движении автомобиля.

Большое значение для тяговой динамики автомобиля имеет техническое состояние шин. Недостаточное давление в них повышает сопротивление качению, а износ протектора ухудшает сцепные свойства и увеличивает склонность к пробуксовке колес при трогании автомобиля с места и разгоне.

Снижение показателей тяговой динамики автомобиля при ухудшении его технического состояния сказывается прежде всего на уменьшении максимальной скорости и ускорения, а также на увеличении времени разгона.

Ухудшение тяговой динамики изношенного автомобиля отрицательно сказывается на его безопасности. Такие автомобили медленно разгоняются, с трудом преодолевают подъемы, для обгона попутных транспортных средств им необходимо на 25–35 % больше времени, чем таким же автомобилям в технически исправном состоянии. Соответственно снижается и активная безопасность автомобиля.

4.8. Пути повышения тяговой динамики автомобиля

Совершенствование конструкции автомобиля с целью улучшения его тяговой динамики возможно по нескольким направлениям.

Одним из направлений является уменьшение массы автомобиля путем применения высокопрочных легированных сталей, легких сплавов и пластмасс.

Блоки двигателей, картеры коробок передач, сцепления и раздаточных коробок изготавливают из алюминиевых и магниевых сплавов. Рамы грузовых автомобилей делают из легированных ста-

лей, это позволяет уменьшить толщину их профиля и, соответственно, массу.

В автомобилестроении широко внедряются многие виды пластмасс с меньшей плотностью, чем у металлов, более пластичные, что важно при изготовлении деталей сложной формы, и обладающие высокой антикоррозийной стойкостью.

Развитие и совершенствование автомобильных двигателей идет в направлении повышения их литровой мощности, уменьшения габаритных размеров и массы, а также уменьшения удельного расхода топлива. В этом направлении большой эффект дает применение турбонаддува. В этом случае воздух в цилиндры двигателя подается под давлением, создаваемым турбиной, что обеспечивает полное сгорание увеличенной дозы топлива и увеличение мощности двигателя.

Для повышения максимальной мощности двигатель должен получать как можно больше топливно-воздушной смеси за кратчайшее время. Чтобы достичь этого, применяют многоклапанные головки блоков двигателей. Так, многие двигатели Mercedes имеют по три клапана на цилиндр – два впускных и один выпускной. Некоторые двигатели Volkswagen и автомобилей японских производителей оборудуются головками блока цилиндров с пятью клапанами на цилиндр – по три впускных и два выпускных. Однако наибольшее распространение получили двигатели с четырьмя клапанами на каждый цилиндр – по два впускных и два выпускных.

Применение многоклапанных головок блока повышает максимальную мощность двигателей, но несколько усложняет их конструкцию, так как в этом случае необходимо устанавливать два распределительных вала, один из которых служит для открытия впускных клапанов, а другой – выпускных.

В традиционных двигателях фазы газораспределения остаются неизменными во всех диапазонах работы, что не позволяет оптимизировать процесс смесеобразования. Поэтому современные двигатели некоторых производителей, например BMW, применяют системы изменения фаз газораспределения путем поворота распределительного вала на угол, величина которого зависит от частоты вращения коленчатого вала. Такие системы позволяют увеличить крутящий момент и мощность двигателя в области высоких частот вращения коленчатого вала.

Улучшения тяговой динамики автомобиля можно достичь за счет повышения качества обработки деталей трансмиссии, применения высококачественных масел, например, синтетических, что приводит к увеличению КПД.

Большое влияние на показатели тяговой динамики оказывает совершенствование аэродинамических форм легковых автомобилей и применение специальных обтекателей на грузовых автомобилях, которые уменьшают завихрение воздушных потоков и, как следствие, силу сопротивления воздуха P_v .

Шины существенно влияют на тяговую динамику автомобиля. Использование шин с радиальным расположением нитей корда в каркасе уменьшает их сопротивление качению на 25–30 % по сравнению с шинами, имеющими диагональное направление нитей корда.

5. ТОРМОЗНАЯ ДИНАМИКА АВТОМОБИЛЯ

5.1. Значение тормозной динамики для безопасности движения. Требования к тормозным системам

Во время движения водитель постоянно изменяет скорость автомобиля в соответствии с дорожной обстановкой и должен в любое время быть готовым к экстренной остановке. Для этого на автомобиле имеются специальные системы, которые создают большое дополнительное сопротивление движению и обеспечивают быстрое снижение его скорости вплоть до полной остановки. Эти системы называются тормозными. Современные автомобили оборудуются четырьмя тормозными системами: рабочей, запасной, стояночной и вспомогательной.

Основной тормозной системой является рабочая. Она предназначена для регулирования скорости автомобиля в любых условиях движения. Запасная система используется в случае отказа рабочей, а стояночная удерживает неподвижный автомобиль на месте. Вспомогательная тормозная система служит для поддержания скорости автомобиля постоянной в течение длительного периода времени на спусках без применения рабочей. На легковых автомобилях и на грузовых малой и средней грузоподъемности в качестве запасной тормозной системы используют стояночную, а в качестве вспомога-

тельной – двигатель. Грузовые автомобили большой грузоподъемности и автобусы большой вместимости оснащаются всеми четырьмя отдельными тормозными системами.

Естественно, наибольшее значение для безопасности дорожного движения имеет рабочая тормозная система. Она используется как для плавного торможения с замедлением $2,5\text{--}3\text{ м/с}^2$, так называемого служебного торможения, так и для резкого снижения скорости с максимально возможным в данных дорожных условиях замедлением $8\text{--}9\text{ м/с}^2$ – экстренного или аварийного торможения.

Для обеспечения безопасности движения автомобиля рабочая тормозная система должна удовлетворять следующим требованиям:

1. Время срабатывания системы должно быть минимальным, а замедление автомобиля – максимальным во всех условиях эксплуатации.

2. Все колеса автомобиля должны затормаживаться одновременно и с одинаковой интенсивностью.

3. Тормозные силы на колесах должны нарастать плавно, в системе не должно быть заеданий и заклиниваний.

4. Работа тормозной системы не должна вызывать потерь устойчивости автомобиля.

5. Усилия, необходимые для приведения системы в действие и перемещения рабочих органов управления (педали и рычаги), не должны превышать физических возможностей водителя.

6. Эффективность системы должна быть постоянной в течение всего срока службы автомобиля, а вероятность отказов минимальной.

Полностью удовлетворить все эти требования затруднительно, хотя работа над усовершенствованием конструкций тормозных механизмов и тормозного привода ведется постоянно.

5.2. Силы, действующие на автомобиль при торможении

Рассмотрим силы, действующие на автомобиль при торможении (рис. 5.1), допуская, что сопротивление дороги и воздуха отсутствуют, а коэффициент учета вращающихся масс равен 1.

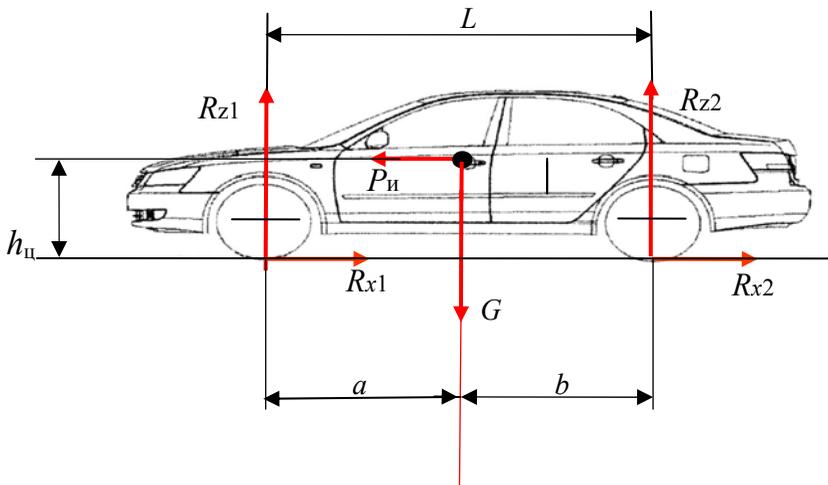


Рис. 5.1. Силы, действующие на автомобиль при торможении:
 a , b и $h_{ц}$ – расстояние от центра тяжести автомобиля до передней и задней осей и до поверхности дороги соответственно, м; L – база автомобиля, м; R_{x1} , R_{x2} , R_{z1} , R_{z2} – касательные и вертикальные реакции дороги на колесах передней и задней осей соответственно, Н; $P_{и}$ – сила инерции автомобиля, Н

При принятых допущениях согласно условиям равновесия можно записать:

$$P_{и} = mj_3 = \frac{G}{g} j_3 = R_{x1} + R_{x2},$$

где m – масса автомобиля, кг;

j_3 – замедление автомобиля при торможении, м/с^2 ;

G – вес автомобиля, Н;

g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

Предельное значение касательной реакции дороги, обусловленное сцеплением шин с дорогой, называется силой сцепления $P_{цн}$ и определяется как

$$R_{x1\max} = P_{цн1} = R_{z1}\varphi_x;$$

$$R_{x2\max} = P_{цн2} = R_{z2}\varphi_x,$$

где φ_x – коэффициент сцепления шин с дорогой.

Составим уравнения моментов сил относительно точек контакта колес передней и задней оси с дорогой:

$$R_{z1}L - P_{и}h_{ц} - Gb = 0;$$

$$-R_{z2}L - P_{и}h_{ц} + Ga = 0.$$

Отсюда определим вертикальные реакции на колесах передней и задней оси автомобиля:

$$R_{z1} = \frac{Gb + P_{и}h_{ц}}{L};$$

$$R_{z2} = \frac{Ga - P_{и}h_{ц}}{L}.$$

Как видно из полученных выражений, при торможении автомобиля вертикальная реакция на передних колесах R_{z1} растет, а на задних R_{z2} – уменьшается.

Максимальное значение касательных реакций или сил сцепления определится как

$$P_{сц1} = R_{x1\max} = R_{z1}\varphi_x = \frac{Gb + P_{и}h_{ц}}{L}\varphi_x;$$

$$P_{сц2} = R_{x2\max} = R_{z2}\varphi_x = \frac{Ga - P_{и}h_{ц}}{L}\varphi_x.$$

Получим соотношение между касательными реакциями R_{x1} и R_{x2} для случая полного использования сцепления всех шин автомобиля с дорогой:

$$\frac{R_{x1}}{R_{x2}} = \frac{(Gb + P_{и}h_{ц})\varphi_x}{(Ga - P_{и}h_{ц})\varphi_x} = \frac{Gb + \frac{G}{g}j_3h_{ц}}{Ga - \frac{G}{g}j_3h_{ц}} = \frac{bg + h_{ц}j_3}{ag - h_{ц}j_3}.$$

Как было указано выше:

$$P_{\text{и}} = mj_3 = \frac{G}{g} j_3 = R_{x1} + R_{x2},$$

но при максимальном использовании сцепления шин с дорогой

$$R_{x1\text{max}} + R_{x2\text{max}} = (R_{z1} + R_{z2})\varphi_x = G\varphi_x = P_{\text{и}} = \frac{G}{g} j_3.$$

Тогда максимально возможное замедление по условию сцепления шин с дорогой будет

$$j_{3\text{max}} = \frac{G\varphi_x}{G} g = g\varphi_x.$$

Окончательно при максимально возможном замедлении

$$\frac{R_{x1}}{R_{x2}} = \frac{b + h_{\text{ц}}\varphi_x}{a - h_{\text{ц}}\varphi_x}.$$

Таким образом, конструкция тормозной системы должна создавать разное соотношение тормозных сил R_{x1} и R_{x2} при торможении с различной интенсивностью. Указанное требование трудновыполнимо, и многие автомобили имеют тормозные системы, обеспечивающие постоянное соотношение тормозных сил. У таких автомобилей колеса передней и задней оси блокируются не одновременно. Этот недостаток устраняют путем применения регуляторов давления и антиблокировочных устройств, которые мы рассмотрим позже.

5.3. Процесс торможения автомобиля

Водитель, увидев препятствие, оценивает дорожную обстановку, принимает решение о торможении и переносит ногу с педали подачи топлива на педаль тормоза. Время совершения этих действий – время реакции t_p – находится в пределах 0,3–2,5 с. Оно зависит от

квалификации водителя, его возраста, степени утомления, состояния здоровья и других факторов. При неожиданном возникновении опасности это время больше. При расчетах время реакции t_p обычно принимают равным 0,8 с.

Далее водитель начинает нажимать на тормозную педаль, в приводе тормозов перемещаются детали и выбираются зазоры. Время, затрачиваемое на это, называется временем срабатывания или запаздывания тормозной системы t_c . Оно зависит от конструкции и технического состояния тормозного привода и составляет в среднем от 0,2–0,3 с для гидравлического, до 0,6–0,8 с для пневматического привода. У автопоездов с пневматическим приводом тормозов t_c может достигать 2–3 с. В течение времени $t_p + t_c$ автомобиль продолжает двигаться равномерно с начальной скоростью V_0 . В конце этого периода возникают тормозные силы, вызывающие замедление автомобиля.

Если заторможенные колеса еще продолжают вращаться, то есть не заблокированы, то касательные реакции R_{x1} и R_{x2} приблизительно можно считать пропорциональными тормозным моментам:

$$R_{x1} = \frac{M_{\text{торм}1}}{r}, \quad R_{x2} = \frac{M_{\text{торм}2}}{r},$$

где $M_{\text{торм}1}$ и $M_{\text{торм}2}$ – тормозные моменты на колесах переднего и заднего моста.

Величины тормозных моментов зависят от конструкции рабочей тормозной системы, ее технического состояния и от управляющего воздействия водителя, то есть силы и темпа нажатия на педаль тормоза. При экстренной остановке тормозные моменты для тормозной системы с гидроприводом можно считать линейными функциями времени; для тормозных систем с пневмоприводом эти зависимости ближе к экспоненциальным, но и их можно без большой погрешности аппроксимировать линейными уравнениями. Таким образом, до начала блокировки колес касательные реакции можно считать пропорциональными времени:

$$R_{x1} = K_1 t; \quad R_{x2} = K_2 t,$$

где K_1 и K_2 – скорости нарастания тормозных сил; для гидросистем $K = 15\text{--}30$ кН/с, для пневмосистем $K = 25\text{--}100$ кН/с.

Величины K_1 и K_2 , обуславливающие значение этих реакций и относительное расположение соответствующих линий на графике, зависят от типа автомобиля. У легковых автомобилей центр тяжести расположен примерно посередине базы. Поэтому при торможении нагрузка на переднюю ось больше, чем на заднюю, и тормозную систему конструируют так, чтобы обеспечить $K_1 > K_2$. У грузовых автомобилей и автобусов основная часть нагрузки (до 70 %) приходится на заднюю ось и тормозная сила, действующая на ее колеса, должна расти быстрее, чем тормозная сила на колесах передней оси, то есть $K_1 < K_2$.

Увеличение тормозного момента, приложенного к колесу, вызывает рост касательной реакции, который продолжается до тех пор, пока она не достигнет максимального значения, обусловленного сцеплением шины с дорогой.

Изменение касательных реакций R_{x1} и R_{x2} во времени показано на рис. 5.2.

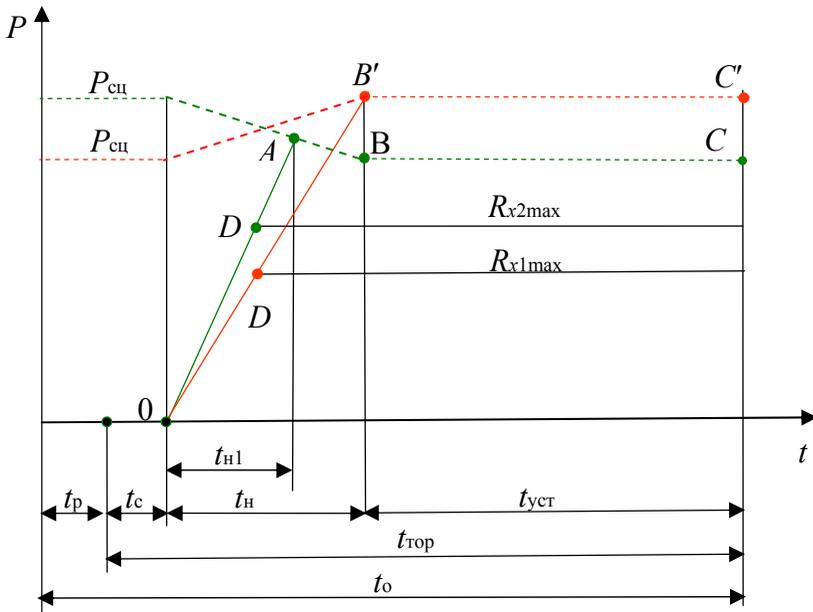


Рис. 5.2. График изменения тормозных сил:

t_p — время реакции водителя; t_c — время срабатывания тормозного привода; $t_{н1}$ — время нарастания касательных реакций на колесах задней оси; $t_н$ — время нарастания касательных реакций на колесах передней оси; $t_{уст}$ — время установившегося замедления; $t_{тор}$ — время торможения; t_o — остановочное время

Как мы уже выяснили, нормальные реакции дороги R_{z1} и R_{z2} , действующие на переднюю и на заднюю ось автомобиля, зависят от интенсивности торможения, то есть от замедления j_3 .

Сила инерции в начальный период торможения

$$P_{и} = R_{x1} + R_{x2} = (K_1 + K_2)t.$$

Тогда силы сцепления в этот период:

$$P_{сц1} = \frac{Gb + (K_1 + K_2)th_{ц}}{L} \varphi_x;$$

$$P_{сц2} = \frac{Ga - (K_1 + K_2)th_{ц}}{L} \varphi_x.$$

Таким образом, в первый период торможения сила сцепления на колесах передней оси увеличивается с течением времени, а на колесах задней оси – уменьшается. Если считать коэффициент сцепления φ_x постоянным, то силы $P_{сц1}$ и $P_{сц2}$ после начала торможения изменяются пропорционально времени, как показано рисунке штриховыми линиями.

За время нарастания замедления $t_{н1}$ касательная реакция на колесах задней оси достигает предельного значения по условиям сцепления, и они блокируются (точка A).

Сила инерции автомобиля после блокировки задних колес

$$P_{и} = P_{сц2} + K_1t.$$

Подставим это значение $P_{и}$ в формулу для определения $R_{сц2}$:

$$P_{сц2} = \frac{Ga - (P_{сц2} + K_1t)h_{ц}}{L} \varphi_x.$$

Решив это уравнение относительно $P_{сц2}$, получим

$$P_{сц2} = \frac{Ga - K_1h_{ц}t}{L + h_{ц}\varphi_x} \varphi_x.$$

Касательная реакция R_{x2} (участок AB) уже не зависит от тормозного момента. Водитель может прикладывать к тормозной педали сколько угодно большое усилие, все равно R_{x2} будет равна силе сцепления $P_{cн2}$ и будет уменьшаться.

Уменьшение касательной реакции на задних колесах вызывает уменьшение силы инерции $P_{и}$, что отражается на динамическом перераспределении нагрузок и величинах нормальных реакций дороги.

Подставим полученное значение силы сцепления задних колес с дорогой в формулу для определения $P_{cн1}$:

$$\begin{aligned}
 P_{cн1} &= \frac{Gb + \left(\frac{Ga - K_1 h_{ц} t}{L + \varphi_x h_{ц}} \varphi_x + K_1 t \right) h_{ц}}{L} \varphi_x = \\
 &= \frac{Gb + \frac{(Ga - K_1 h_{ц} \varphi_x + K_1 t L + K_1 t \varphi_x h_{ц}) h_w}{L + \varphi_x h_{ц}} \varphi_x}{L} \varphi_x = \\
 &= \frac{GbL + Gb\varphi_x h_{ц} + Ga\varphi_x h_{ц} + K_1 t L h_{ц}}{L(L + \varphi_x h_{ц})} \varphi_x = \\
 &= \frac{GbL + G\varphi_x h_{ц} (a + b) + K_1 t L h_{ц}}{L(L + \varphi_x h_{ц})} \varphi_x.
 \end{aligned}$$

Окончательно

$$P_{cн1} = \frac{G(b + h_{ц} \varphi_x) + K_1 h_{ц} t}{L + h_{ц} \varphi_x} \varphi_x.$$

После блокировки колес задней оси автомобиля сила сцепления передних колес с дорогой $P_{cн1}$ продолжает расти.

Спустя время $t_{н}$ блокируются колеса передней оси автомобиля, так как сила R_{x1} (точка B') достигает предельного значения по условиям сцепления.

После этого касательные реакции на колесах обеих осей автомобиля становятся равными силам сцепления (участки BC и $B'C'$), то есть достигают максимальных значений, и суммарная сила сцепления всех колес в третьем заключительном периоде торможения будет

$$R_{x1} + R_{x2} = (R_{z1} + R_{z2})\varphi_x = G\varphi_x.$$

Если считать коэффициент сцепления φ_x постоянным, то в третьем периоде (время установившегося замедления или полного торможения) касательные реакции тоже постоянны.

Закон изменения касательных реакций на колесах передней оси в процессе торможения характеризуется линией $OB'C'$, а на колесах задней оси – линией $OABC$.

В рассуждениях предполагалось, что тормозные силы беспрепятственно могут достигать предельных значений по условиям сцепления. Практически же у грузовых автомобилей, оборудованных тормозной системой с гидроприводом, предельная величина тормозных сил ограничена физическими возможностями водителя. Усилие, развиваемое им при экстренном нажатии на тормозную педаль, составляет в среднем 500–600 Н и не превышает 1000–1200 Н. У автомобилей с пневмоприводом рост тормозных сил ограничивается мощностью компрессора и давлением воздуха в магистрали. В обоих случаях тормозных сил часто недостаточно для блокировки колес даже при полном использовании конструктивных возможностей автомобиля и колеса продолжают вращаться до остановки автомобиля. Рост касательных реакций прекращается в точках D и D' , после чего они остаются примерно постоянными и равными $R_{x1\max}$ и $R_{x2\max}$.

При большом желании можно было бы сконструировать тормозные механизмы, позволяющие довести колеса автомобилей большой массы до блокировки, но тогда необходимы тормоза с большими поверхностями трения, которые нуждаются в интенсивном охлаждении. Однако большие тормозные механизмы сложно разместить внутри колес, а увеличение их массы ведет к увеличению непрессоренных масс автомобиля, что приводит к ухудшению плавности хода. Поэтому максимальные значения касательных реакций на колесах грузовых автомобилей большой грузоподъемности и ав-

тобусов большой вместимости при движении по сухим дорогам обычно меньше сил сцепления. Показатели тормозной динамики у таких автомобилей ниже, чем у автомобилей меньшей массы.

5.4. Замедление, время и путь торможения автомобиля

Измерителями тормозной динамики являются замедление, время и путь торможения, а оценочными показателями являются замедление за время установившегося замедления (полного торможения) и путь автомобиля от начала воздействия водителя на орган управления до полной остановки, то есть за время $t_c + t_n + t_{уст}$, где t_c – время срабатывания тормозной системы;

t_n – время нарастания замедления;

$t_{уст}$ – интервал времени, в котором замедление постоянно.

Для получения сравнимых результатов эти показатели определяют при экстренном торможении автомобиля на горизонтальном участке дороги с сухим и твердым покрытием. Основным, часто и единственным, показателем тормозной динамики более чем в половине международных нормативных документов считается тормозной путь. Приблизительно в 40 % таких документов фигурирует установившееся замедление. Значения показателей, конкретизированные для отдельных типов автомобилей, используют в качестве нормативов эффективности тормозных систем.

Определим показатели тормозной динамики автомобиля на различных этапах торможения.

В течение времени $t_{н1}$ касательная реакция на колесах задней оси изменяется пропорционально времени

$$R_{x2} = K_2 t_{н1},$$

а в конце этого периода наступает блокировка задних колес, то есть касательная реакция становится равной силе сцепления

$$P_{сц2} = \frac{Ga - K_1 t_{н1} h_{ц}}{L + \varphi_x h_{ц}} \varphi_x.$$

Приравняв эти выражения, определим продолжительность периода $t_{\text{н1}}$ от начала торможения до блокировки колес задней оси:

$$K_2 t_{\text{н1}} = \frac{Ga - K_1 t_{\text{н1}} h_{\text{ц}}}{L + \varphi_x h_{\text{ц}}} \varphi_x,$$

откуда

$$t_{\text{н1}} = \frac{Ga \varphi_x}{LK_2 + (K_1 + K_2) h_{\text{ц}} \varphi_x}.$$

Сила инерции и замедление в этом периоде изменяются прямо пропорционально времени, так как

$$P_{\text{и}} = m j_3' = (K_1 + K_2) t_{\text{н1}},$$

откуда

$$j_3' = \frac{K_1 + K_2}{m} t_{\text{н1}} = \alpha_{\text{T}} t_{\text{н1}} = \frac{dV}{dt},$$

где $\alpha_{\text{T}} = \frac{K_1 + K_2}{m}$.

Из предыдущей формулы выразим dV :

$$dV = \alpha_{\text{T}} t_{\text{н1}} dt.$$

Проинтегрировав это выражение, получаем значение скорости V_1 в конце первого периода:

$$V_1 = V_0 - \frac{\alpha_{\text{T}} t_{\text{н1}}^2}{2},$$

где V_0 – начальная скорость автомобиля.

Проинтегрировав полученное выражение, получаем значение пути S_1 , который проходит автомобиль за время первого периода $t_{\text{н1}}$:

$$S_1 = V_0 t_{\text{н1}} - \frac{\alpha_{\text{T}} t_{\text{н1}}^3}{6}.$$

В большинстве случаев последним числом в уравнении пути пренебрегают, тогда

$$S_1 \approx V_0 t_{н1}.$$

Продолжительность периода t_n находим из условия равенства касательной реакции R_{x1} на колесах передней оси силе сцепления $P_{сц1}$ в конце этого периода:

$$R_{x1} = K_1 t_n, \quad P_{сц1} = \frac{G(b + h_{ц} \varphi_x) + K_1 h_{ц} t_n}{L + h_{ц} \varphi_x} \varphi_x.$$

Решая совместно эти уравнения, получаем

$$\frac{G(b + h_{ц} \varphi_x) + K_1 h_{ц} t_n}{L + h_{ц} \varphi_x} \varphi_x = K_1 t_n$$

или

$$G(b + h_{ц} \varphi_x) \varphi_x + K_1 h_{ц} t_n \varphi_x = K_1 t_n L + K_1 t_n h_{ц} \varphi_x,$$

отсюда

$$t_n = \frac{G(b + h_{ц} \varphi_x)}{K_1 L} \varphi_x.$$

После блокировки колес задней оси сила инерции автомобиля

$$P_{и} = P_{сц2} + K_1 t_n = \frac{(Ga - K_1 t_n h_{ц}) \varphi_x}{L + h_{ц} \varphi_x} + K_1 t_n = j_3'' m,$$

тогда замедление в период времени t_n будет

$$j_3'' = \left(\frac{Ga \varphi_x - K_1 h_{ц} \varphi_x t}{L + h_{ц} \varphi_x} + K_1 t_n \right) / m$$

или

$$j_3'' = \frac{Ga\varphi_x - K_1 h_{ц} \varphi_x t_H + K_1 t_H L + K_1 h_{ц} \varphi_x t_H}{m(L + h_{ц} \varphi_x)} = \frac{Ga\varphi_x}{m(L + h_{ц} \varphi_x)} + \frac{K_1 L}{m(L + h_{ц} \varphi_x)} t_H.$$

Обозначив

$$\beta_T = \frac{Ga\varphi_x}{m(L + h_{ц} \varphi_x)}, \quad \gamma_T = \frac{K_1 L}{m(L + h_{ц} \varphi_x)},$$

получим

$$j_3'' = \beta_T + \gamma_T t_H.$$

Проинтегрировав последнее выражение, получим скорость автомобиля V_2 , а проинтегрировав его второй раз, получим путь автомобиля S_2 до момента блокировки колес передней оси.

В заключительном периоде торможения, когда колеса обеих осей заблокированы, сила инерции $P_{и} = G\varphi_x$, а замедление $-j_3''' = g\varphi_x$, так как

$$j_3''' = \frac{P_{и}}{m} = \frac{G\varphi_x}{m} g\varphi_x.$$

Значит, замедление в этот период торможения постоянно (время установившегося замедления $t_{уст}$), а автомобиль движется равномерно замедленно, и его скорость равномерно падает, то есть

$$V_3 = V_2 - j_3''' t_{уст}.$$

В конце третьего периода скорость автомобиля $V_3 = 0$, и продолжительность этого периода определится как

$$t_{уст} = \frac{V_2}{j_3'''} = \frac{V_2}{g\varphi_x}.$$

Таким образом, время от начала воздействия водителя на педаль тормоза до остановки автомобиля (время торможения)

$$t_{\text{тор}} = t_{\text{с}} + t_{\text{н}} + t_{\text{уст}}.$$

Время от того момента, когда водитель увидел препятствие, до остановки автомобиля (остановочное время) включает еще и время реакции водителя:

$$t_{\text{о}} = t_{\text{р}} + t_{\text{с}} + t_{\text{н}} + t_{\text{уст}}.$$

Путь автомобиля за время $t_{\text{уст}}$ определим следующим образом.

Если $j = \frac{dV}{dt}$, то $dt = \frac{dV}{j}$, а если $V = \frac{ds}{dt}$, то $dS = Vdt$.

Подставив в последнее выражение значение dt , получим

$$dS = \frac{VdV}{j}.$$

Интегрируя это выражение, получаем

$$S_{\text{уст}} = \frac{V_2^2}{2j_{\text{уст}}} = \frac{V_2^2}{2g\varphi_x}.$$

Тогда тормозной путь автомобиля определится как

$$S_{\text{т}} = S_{\text{с}} + S_{\text{н}} + S_{\text{уст}},$$

где $S_{\text{с}}$, $S_{\text{н}}$, $S_{\text{уст}}$ – путь, проходимый автомобилем за время $t_{\text{с}}$, $t_{\text{н}}$, $t_{\text{уст}}$ соответственно.

Остановочный путь автомобиля

$$S_{\text{о}} = S_{\text{р}} + S_{\text{с}} + S_{\text{н}} + S_{\text{уст}},$$

где $S_{\text{р}}$ – путь, пройденный автомобилем за время реакции водителя $t_{\text{р}}$.

Все полученные формулы дают возможность определить скорость, путь, время и замедление автомобиля в любой момент торможения и учитывают основные факторы, влияющие на этот процесс, в том числе конструктивные особенности автомобиля: массу, расположение центра тяжести, базу, скорости нарастания тормозных сил и т. д.

5.5. Путь торможения при заданных значениях t_c , t_n и $t_{уст}$

Если известны значения времени срабатывания тормозного привода t_c , времени нарастания замедления t_n и времени установившегося замедления $t_{уст}$, то тормозной путь можно рассчитать следующим образом.

Допустим, что в течение времени t_n автомобиль движется равнозамедленно с замедлением, равным $0,5j_{уст}$. Найдем его скорость V_n в конце времени нарастания замедления t_n :

$$V_n = V_0 - 0,5j_{уст}t_n.$$

Путь автомобиля за время t_n найдем, проинтегрировав выражение для получения V_n :

$$S_n = V_0t_n - 0,25j_{уст}t_n^2 \approx V_0t_n.$$

Получаем путь автомобиля за время установившегося замедления $t_{уст}$:

$$S_{уст} = \frac{V_n^2}{2j_{уст}} = \frac{(V_0^2 - V_0j_{уст}t_n + 0,25j_{уст}^2t_n^2)}{2} \approx \frac{V_0^2}{2j_{уст}} - 0,5V_0t_n.$$

Следовательно, тормозной путь автомобиля

$$S_T = S_c + S_n + S_{уст} = V_0(t_c + 0,5t_n) + \frac{V_0^2}{2j_{уст}},$$

а остановочный путь автомобиля

$$S_0 = V_0(t_p + t_c + 0,5t_n) + \frac{V_0^2}{2j_{уст}}$$

При полном сцеплении с дорогой всех колес автомобиля установившееся замедление составляет $j_{уст} = g\varphi_x$, тогда остановочный путь

$$S_0 = V_0(t_p + t_c + 0,5t_n) + \frac{V_0^2}{2g\varphi_x}$$

Как указывалось раньше, у многих автомобилей не удастся достичь одновременной блокировки всех колес как по причинам конструктивного характера, так и вследствие ухудшения эффективности тормозной системы и износа шин в процессе эксплуатации. Поэтому для приближения результатов расчета к реальным данным в формулы вводят поправочный коэффициент K_s – коэффициент эффективности торможения, значения которого для сухого асфальтового или цементобетонного покрытия ($\varphi_x = 0,7$) приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Значения коэффициента эффективности торможения K_s ,
для различных типов автомобилей

Тип автомобиля	Весовое состояние	
	без нагрузки	с полной нагрузкой
Легковые автомобили	1,10–1,15	1,15–1,20
Грузовые автомобили массой до 10 т и автобусы длиной до 7,5 м	1,1–1,3	1,5–1,6
Грузовые автомобили массой более 10 т и автобусы длиной от 7,5 м	1,4–1,6	1,6–1,8

С учетом коэффициента K_3 , формулы для замедления, остановочного времени и пути приобретают следующий вид:

$$j_{\text{уст}} = \frac{g\varphi_x}{K_3};$$

$$t_0 = t_p + t_c + 0,5t_n + \frac{K_3V_0}{g\varphi_x};$$

$$S_0 = (t_p + t_c + 0,5t_n)V_0 + \frac{K_3V_0^2}{2g\varphi_x}.$$

При низком коэффициенте сцепления φ_x величина тормозных сил у любого автомобиля достаточна для доведения всех его колес до блокировки. Поэтому при $\varphi_x \leq 0,4$ следует принимать $K_3 = 1$ для автомобилей всех типов.

5.6. Влияние технического состояния автомобиля на тормозную динамику

Неудовлетворительное техническое состояние тормозных систем автомобилей является самой распространенной причиной дорожно-транспортных происшествий, возникающих из-за технических неисправностей транспортных средств. Число таких ДТП составляет в среднем более 50 %. Около 15 % аварий со смертельным исходом происходит вследствие неисправности тормозных систем.

Ухудшение тормозной динамики может быть вызвано увеличением зазоров между тормозными накладками и барабанами или дисками вследствие их износа, а также из-за неправильной регулировки, попадания масла, тормозной жидкости или воды на поверхности трения, наличия воздуха в гидравлических системах, недостаточным давлением в тормозных системах с пневмоприводом.

Исследования показали, что увеличение зазора между тормозными накладками и барабанами или дисками ухудшает эффективность тормозов. Так, увеличение этого зазора на 0,5 мм приводит к увеличению тормозного пути примерно на 25 %.

На автомобилях с гидроприводом тормозов увеличение зазора вызывает также увеличение хода тормозной педали и, как следствие, возрастание времени срабатывания тормозной системы t_c . Так, при движении автомобиля со скоростью 30 км/ч с последующим торможением при зазоре $\Delta_3 = 0,25$ мм время t_c составляет 0,15–0,25 с, а при зазоре $\Delta_3 = 0,5$ мм оно увеличивается до 0,4–0,45 с. Тормозной путь при этом также возрастает на 25 %.

У автомобилей с пневмоприводом тормозов неисправный компрессор или регулятор давления могут быть причиной недостаточного давления в системе и соответственно увеличения времени t_c и пути S_T . При уменьшении давления в тормозной магистрали с 0,5 до 0,3 МПа у грузового автомобиля, движущегося со скоростью 30 км/ч, тормозной путь увеличивается почти вдвое.

Замасливание фрикционных накладок уменьшает замедление и увеличивает тормозной путь автомобиля в 4–5 раз. При нарушении установленного свободного хода тормозной педали или регулировки клапанов тормозного крана время t_c возрастает на 15–25 %, а замедление уменьшается на 5–7 %. Кроме того, усложняется управление автомобилем, так как водителю труднее ощущать начало рабочего хода тормозной педали.

Некоторые дефекты непосредственно не влияют на показатели тормозной динамики, но сказываются на работоспособности узлов и деталей тормозной системы, уменьшая ее надежность. Износ цилиндропоршневой группы компрессора вызывает попадание масла в тормозную систему, а неправильная настройка регулятора давления – работу системы с повышенным давлением. Обе неисправности ведут к ускоренному износу резиновых элементов (шлангов, диафрагм тормозных камер), вызывая их внезапные разрывы, ведущие к их отказу и возникновению ДТП.

Ухудшение тормозной динамики автомобиля вызывают также дефекты передней подвески, перекосы мостов, неодинаковое давление в шинах, различная степень износа их протектора.

5.7. Способы повышения тормозной динамики автомобиля

Для повышения тормозной динамики и, соответственно, активной безопасности автомобиля применяют различного рода устрой-

ства и регуляторы, обеспечивающие более полное использование сцепления с дорогой всех колес, а также антиблокировочные системы, предотвращающие блокировку заторможенных колес.

Ранее мы определили, что при торможении вследствие действия силы инерции автомобиля вертикальная реакция на колесах передней оси больше, чем на колесах задней. Поэтому, чтобы более полно использовать сцепную массу автомобиля при торможении, передние тормоза делают более мощными с отдельным приводом на каждую колодку при барабанных тормозах, применяя передние дисковые тормоза при барабанных задних. При всех дисковых тормозах передние диски имеют больший диаметр.

Поскольку задняя ось автомобиля при торможении разгружается, то для блокировки ее колес нужен меньший тормозной момент. Поэтому для предотвращения блокировки задних колес во время торможения, приводящей к снижению эффективности торможения и возможности заноса, применяют регуляторы тормозных сил, автоматически уменьшающие давление тормозной жидкости в приводе тормозных механизмов задних колес в зависимости от вертикальной нагрузки.

Ранее мы отмечали, что на путь и время торможения значительно влияет величина зазора Δ_3 между фрикционной накладкой и тормозным барабаном или диском. Для автоматической регулировки этого зазора в процессе эксплуатации используются специальные устройства в приводе тормозов.

Для облегчения труда водителя и повышения эффективности тормозной системы применяют усилители тормозного привода: вакуумные, гидровакуумные и пневматические.

Вакуумный усилитель устанавливается между тормозной педалью и главным тормозным цилиндром, гидровакуумный усилитель – между главным тормозным цилиндром и тормозной гидравлической магистралью. Принцип их действия одинаков и основан на действии разрежения во впускном трубопроводе двигателя. В обоих усилителях корпус разделен диафрагмой на две полости. При нажатии на тормозную педаль одна полость соединяется с атмосферой, а вторая – с впускным трубопроводом двигателя. Из-за разного давления по обе стороны диафрагмы создается дополнительное усилие, действующее на шток главного тормозного цилиндра. Коэффициент усиления таких усилителей составляет 2–2,5.

Пневмоусилитель применяется, например, на автомобилях «Урал», имеющих гидравлическую тормозную систему. Принцип действия такого усилителя состоит в том, что усилие на штоке главного тормозного цилиндра создается не с помощью мышечной силы водителя, а посредством давления воздуха из пневмосистемы автомобиля. Водитель ногами только управляет краном подачи воздуха.

Надежность работы тормозной системы значительно повышается при использовании раздельного (двухконтурного) привода. У автомобиля с обычным (одноконтурным) тормозным приводом утечка жидкости или воздуха при нарушении герметичности соединений или вследствие разрыва резинового шланга вызывает отказ всех тормозных механизмов автомобиля. При раздельном приводе главный тормозной цилиндр имеет два поршня, каждый из которых создает давление в отдельном контуре. Схемы двухконтурных тормозных систем приведены на рис. 5.3.

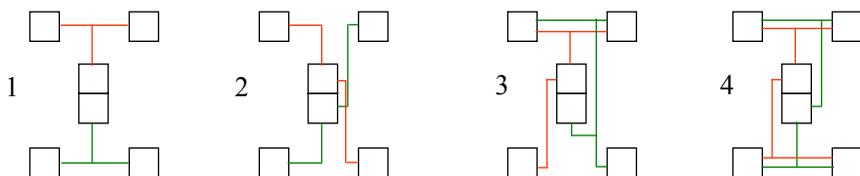


Рис. 5.3. Схемы двухконтурных тормозных приводов

В первой схеме один контур приводит в действие тормозные механизмы передних колес, а другой – задних. Недостатком такой схемы является то, что остаточная эффективность тормозной системы разная при выходе из строя одного из контуров. Она больше при отказе заднего контура и меньше при выходе из строя переднего.

Наиболее распространена вторая диагональная схема. В этой схеме один контур управляет тормозными механизмами правого переднего и левого заднего колеса, а второй – левого переднего и правого заднего. В этом случае остаточная эффективность тормозной системы остается одинаковой при выходе из строя любого из контуров. Недостатком этой схемы является вероятность заноса автомобиля при скольжении дорожном покрытии.

В так называемой шведской схеме (схема 3) каждый контур за тормаживает оба передних колеса и одно из задних. При этом обеспечивается высокая остаточная эффективность каждого контура.

Самой безопасной, но и самой дорогой, является четвертая схема, в которой каждый контур обслуживает тормозные механизмы всех четырех колес. Но в этом случае на каждом колесе необходимо установить по две пары рабочих тормозных цилиндров.

Наиболее эффективным, с точки зрения улучшения тормозных свойств и повышения безопасности движения, является применение антиблокировочных систем (АБС), автоматически предотвращающих блокировку колес при торможении.

Конструкции АБС разнообразны, но в каждой из них используется зависимость коэффициента сцепления ϕ_x от степени проскальзывания колеса λ , которая определяется по формуле

$$\lambda = \frac{(V_k - \omega_k r)}{V_k},$$

где V_k – линейная скорость центра колеса;

ω_k – угловая скорость центра колеса.

При $V_k = \omega_k r$ имеет место чистое качение колеса и $\lambda = 0$. При $V_k > \omega_k r$ колесо катится с проскальзыванием и $0 < \lambda < 1$. Если $\omega_k r = 0$, то $\lambda = 1$, колесо движется не вращаясь, оно блокируется. При $V_k < \omega_k r$ колесо движется с пробуксовкой и $\lambda < 0$. При $V_k = 0$ колесо вращается, но автомобиль остается на месте и λ стремится к $-\infty$.

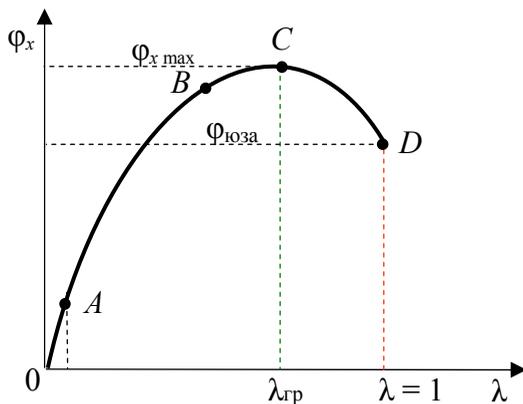


Рис. 5.4. Зависимость коэффициента сцепления ϕ_x от степени проскальзывания колеса λ

На рис. 5.4 представлена экспериментальная зависимость $\varphi_x = f(\lambda)$. Если тормозной момент отсутствует, колесо автомобиля нагружено только силами сопротивления движению, касательная реакция дороги невелика. Соответственно, малы касательная деформация шины, коэффициент сцепления φ_x и степень проскальзывания λ (участок OA). При возникновении тормозного момента возрастает касательная реакция дороги, вызывающая увеличение касательной деформации шины и упругое проскальзывание ее элементов относительно дороги. Коэффициент φ_x в этот период изменяется примерно пропорционально λ (участок AB), а взаимодействие шины с дорогой определяется в основном трением покоя. Дальнейший рост тормозного момента вызывает прогрессивное увеличение числа скользящих элементов шины в зоне контакта до тех пор, пока φ_x не достигнет максимума (точка C). Максимальный коэффициент $\varphi_{x \max}$ и граничная степень проскальзывания $\lambda_{\text{гр}}$ соответствуют наиболее эффективному режиму торможения. С дальнейшим увеличением тормозного момента по дороге скользит почти вся зона контакта и, поскольку трение скольжения меньше трения покоя, касательная реакция дороги уменьшается в связи с уменьшением φ_x . Это снижает эффективность торможения, приводя в итоге к блокировке колеса, при которой степень проскальзывания $\lambda = 1$, а коэффициент сцепления $\varphi_x = \varphi_{\text{юза}}$ (точка D). После блокировки колеса коэффициент сцепления $\varphi_{\text{юза}}$ меньше коэффициента $\varphi_{x \max}$ на 10–15 % при движении автомобиля по сухому покрытию, а по мокрому – на 20–30 %.

Основным назначением АБС, которые входят в штатную комплектацию большинства современных автомобилей, является регулирование тормозного момента, при котором степень проскальзывания колеса была бы близка к $\lambda_{\text{гр}}$, а коэффициент сцепления φ_x – к максимально возможному значению. Это улучшает тормозные свойства на скользких покрытиях, снижает требования к уровню водительского мастерства и, самое главное, сохраняет управляемость автомобиля даже при экстренном торможении.

Современные автомобили, кроме АБС, оснащаются рядом систем, помогающих водителю безопасно управлять автомобилем.

EBD (Electronic Brake Distribution) – система распределения тормозных усилий. В этой системе электроника не только контролирует вращение каждого колеса, не допуская полной его блокировки, но и распределяет тормозные силы таким образом, чтобы исключить влияние заторможенных колес на способность автомобиля «держатъ дорогу». Особенно ярко возможности этой системы проявляются при торможении в повороте или на разнородном покрытии, когда под одними колесами – относительно чистый асфальт, а под другими – лед. В такой ситуации обычный автомобиль начнет разворачивать или бросит в сторону. Система EBD позволяет стабилизировать начавшееся вращение автомобиля.

ESP (Electronic Stability Program) – электронная система динамической стабилизации (может также называться ECS, VDS, DSC или DSTC). Система призвана бороться с возможными срывами в занос автомобиля при маневрировании в сложных погодных условиях на высокой скорости. Принцип работы основан на создании противодействующего поворачивающего момента за счет выборочного подтормаживания колес на дуге поворота. Электроника может также нейтрализовать такие опасные факторы, как чрезмерно резкий поворот рулевого колеса в аварийной ситуации, слишком высокая скорость входа в поворот или при их комбинации.

5.8. Незавершенный обгон, его путь и время

Изучая тяговую динамику автомобиля, мы рассматривали процесс обгона, когда обгоняющий автомобиль возвращался на свою полосу движения впереди обгоняемого. На практике часто встречаются случаи, когда водителю, начавшему обгон, не удастся его закончить из-за внезапного появления препятствия либо из-за неверного первоначального расчета. Водитель должен снизить скорость и вернуться на прежнюю полосу движения позади автомобиля, который он намеревался обогнать. Такой обгон называется незавершенным. Рассмотрим схему такого обгона (рис. 5.5).

Вначале незавершенного обгона (время t') обгоняющий автомобиль, двигаясь со скоростью V_1 , выезжает на встречную полосу движения. Затем, решив отказаться от обгона, водитель этого автомобиля снижает скорость до скорости V_1' , ниже скорости V_2 обго-

няемого автомобиля, ведет его с этой скоростью, пропускает вперед обгоняемый автомобиль и возвращается на прежнюю полосу движения (время t''). Возможность выполнения такого маневра зависит как от тяговой, так и от тормозной динамики автомобиля.

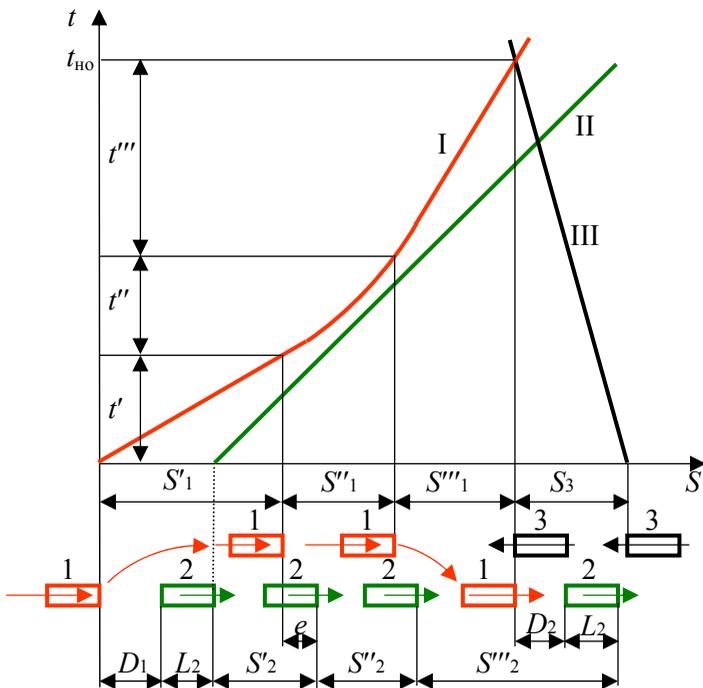


Рис. 5.5. Схема незавершенного обгона

Перемещение обгоняющего автомобиля на первом этапе обгона

$$S'_1 = Vt' = D_1 + L_2 + S'_2 - e,$$

где S'_2 – перемещение обгоняемого автомобиля на первом этапе, то есть за время t' ;

e – расстояние между передними частями обгоняющего и обгоняемого автомобилей в момент окончания первого этапа. Если об-

гоняющий автомобиль не опередил обгоняемый, то «e» имеет знак «минус», если опередил то – знак «плюс».

Перемещение обгоняемого автомобиля на первом этапе

$$S_2' = V_2 t'.$$

Следовательно, время первого этапа можно получить, подставив значение S_2' в выражение для получения S_1' :

$$t' = \frac{D_1 + L_2 - e}{V_1 - V_2}.$$

Тогда путь обгоняющего автомобиля за время первого этапа

$$S_1' = \frac{D_1 + L_2 - e}{V_1 - V_2} V_1.$$

Скорость обгоняющего автомобиля V_1' в конце второго этапа определим, считая, что обгоняющий автомобиль при торможении движется равнозамедленно с постоянным замедлением j_3 :

$$V_1' = V_1 - j_3 t'',$$

откуда время второго этапа

$$t'' = \frac{(V_1 - V_1')}{j_3}.$$

Перемещение обгоняющего автомобиля на втором этапе обгона

$$S_1'' = V_1 t'' - 0,5 j_3 (t'')^2.$$

Далее находим время t_1''' , необходимое для возвращения обгоняющего автомобиля на свою полосу движения, и его путь S_1''' .

В соответствии со схемой незавершенного обгона можно записать

$$S_1'' + S_1''' + L_2 + D_2 = S_2'' + S_2''' + e.$$

Поскольку

$$S_1''' = V_1' t''' \quad \text{и} \quad S_2''' = V_2 t''',$$

$$S_1'' + V_1' t''' + L_2 + D_2 = S_2'' + V_2 t''' + e,$$

отсюда

$$t''' = \frac{S_1'' + L_2 + D_2 - e - S_2''}{V_2 - V_1'}.$$

Путь обгоняющего автомобиля за время t'''

$$S_1''' = \frac{S_1'' + L_2 + D_2 - e - S_2''}{V_2 - V_1'} V_1'.$$

Зная время и путь движения обгоняющего автомобиля на каждом этапе, находим путь и время незавершенного обгона:

$$S_{\text{н.о}} = S_1' + S_1'' + S_1''' \quad \text{и} \quad t_{\text{н.о}} = t' + t'' + t''.$$

Для того, чтобы водитель, убедившись в опасности начатого обгона, успел его прервать и своевременно вернуться на прежнюю полосу движения, необходимо, чтобы в момент начала обгона расстояние до встречного автомобиля, движущегося со скоростью V_3 , было

$$S_{\text{св}} \geq S_{\text{н.о}} + V_3 t_{\text{н.о}}.$$

6. УСТОЙЧИВОСТЬ АВТОМОБИЛЯ

6.1. Показатели устойчивости автомобиля

Устойчивость автомобиля – это совокупность его качеств, обеспечивающих движение в требуемом направлении без бокового скольжения (заноса) или опрокидывания. Устойчивость является одним из важнейших эксплуатационных свойств автомобиля, от которого во многом зависит безопасность движения. Управляя неустойчивым автомобилем, водитель вынужден внимательнее следить за дорожной обстановкой и постоянно корректировать движение автомобиля, чтобы он не выехал за пределы дороги. Длительно управляя таким автомобилем, водитель испытывает нервное перенапряжение и быстро утомляется, а это повышает вероятность возникновения ДТП.

В зависимости от направления бокового скольжения или опрокидывания различают поперечную и продольную устойчивость. Более вероятна и опасна потеря поперечной устойчивости, возникающей вследствие действия различных боковых сил. Потеря поперечной устойчивости может произойти как при криволинейном, так и при прямолинейном движении. Показателями поперечной устойчивости автомобиля при криволинейном движении являются максимальные (критические) скорости движения по дуге окружности, соответствующие началу заноса V_3 и началу опрокидывания $V_{\text{опр}}$.

Потеря поперечной устойчивости при прямолинейном движении может наступить, если автомобиль движется по косоугору, то есть по дороге с поперечным уклоном. В этом случае показателями поперечной устойчивости являются максимальный (критический) угол косоугора, соответствующий началу поперечного скольжения колес β_3 и максимальный (критический) угол косоугора, соответствующий началу опрокидывания автомобиля $\beta_{\text{опр}}$.

Опрокидывание автомобиля в продольной плоскости практически не встречается. Потеря автомобилем продольной устойчивости выражается, как правило, в буксовании ведущих колес, которое особенно часто наблюдается при преодолении автопоездом затяжных крутых подъемов со скользкой поверхностью. Показателем продольной устойчивости служит максимальный угол подъема, преодолеваемый автомобилем без буксования ведущих колес.

Свойство автомобиля двигаться прямолинейно без корректирующих действий водителя, то есть при неизменном положении рулевого колеса, называется курсовой устойчивостью. Автомобиль с плохой курсовой устойчивостью самопроизвольно меняет направление движения (рыскает по дороге), создавая угрозу другим транспортным средствам и пешеходам.

6.2. Курсовая устойчивость автомобиля

Нарушение курсовой устойчивости при прямолинейном движении автомобиля может произойти из-за воздействия бокового ветра, ударов колес о неровности дороги, разных по величине тяговых или тормозных сил на колесах правой и левой стороны. Это может быть вызвано и неправильными приемами вождения (резким торможением или разгоном), а также техническими неисправностями (неправильная регулировка тормозных механизмов, прокол или разрыв шины и т. п.).

Часто предпосылкой потери курсовой устойчивости является скорость автомобиля, не соответствующая дорожным условиям, когда тяговая сила P_T на ведущих колесах приближается к силе сцепления $P_{сц}$ и возможно их буксование. Условие отсутствия буксования для заднеприводного автомобиля

$$P_T \leq P_{сц2}.$$

Сила тяги при ускоренном движении

$$P_T = G \left(f + \sin \alpha + \frac{\delta_{вр} j}{g} \right) + W_B V^2.$$

Как видно из рис. 6.1, при разгоне сила инерции автомобиля уравновешивается касательной реакцией на ведущих колесах:

$$P_{и} = R_{x2} = R_{z2} \varphi_x.$$

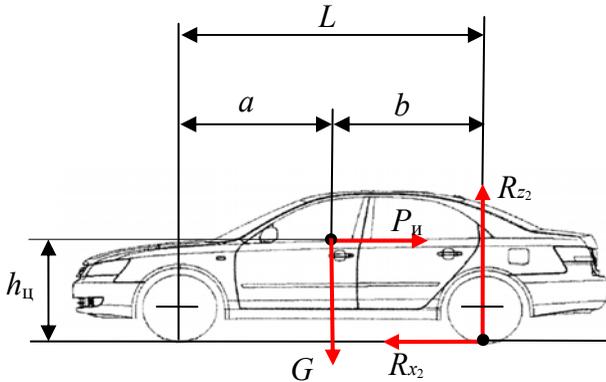


Рис. 6.1. Силы, действующие на автомобиль при разгоне

Составим уравнение моментов сил относительно точки контакта передних колес автомобиля с дорогой и определим из него значение вертикальной реакции на задних колесах автомобиля:

$$R_{z2}L - R_{z2}\varphi_x h_{ц} - Ga = 0, \quad \text{откуда} \quad R_{z2} = \frac{Ga}{L - \varphi_x h_{ц}}.$$

Тогда сила сцепления

$$P_{ц2} = \frac{Ga\varphi_x}{L - \varphi_x h_{ц}}.$$

Приравняв силу сцепления и силу тяги, получим

$$\frac{Ga\varphi_x}{L - \varphi_x h_{ц}} = G \left(f + \sin \alpha + \frac{\delta_{вр} j}{g} \right) + W_B V^2.$$

Отсюда максимально допустимая скорость прямолинейного движения автомобиля без пробуксовки ведущих колес

$$V_{букс} = \sqrt{\frac{G}{W_B} \left(\frac{a\varphi_x}{L - \varphi_x h_{ц}} - f - \sin \alpha - \frac{\delta_{вр} j}{g} \right)}.$$

Из полученного выражения видно, что $V_{\text{букс}}$ уменьшается при снижении коэффициента сцепления φ_x , увеличении ускорения j и коэффициента сопротивления дороги ψ . Поэтому потеря курсовой устойчивости более вероятна на скользких дорогах с подъемами. Движение автомобиля со скоростью, близкой к $V_{\text{букс}}$, является лишь одной из предпосылок к заносу. Теоретически с этой скоростью автомобиль может двигаться сколь угодно долго без потери курсовой устойчивости. В реальных условиях имеются возмущающие силы и моменты, которые невелики при малой скорости. При движении автомобиля по неровной дороге со скоростью, близкой к $V_{\text{букс}}$, наезд колеса на выступ или впадину приводит к изменению вертикальной и, соответственно, касательной реакции на одном из ведущих колес автомобиля, что приводит к заносу. Поэтому большая скорость сама по себе не может нарушить курсовую устойчивость, но она усиливает вероятность опасных последствий. Вместе с тем водитель имеет возможность уменьшить силу тяги, уменьшив подачу топлива. Поэтому начавшееся буксование колес может привести к аварии только в результате неправильных или несвоевременных действий водителя.

6.3. Устойчивость автомобиля при криволинейном движении

Центробежная сила – поперечная сила, вызывающая занос или опрокидывание автомобиля при криволинейном движении. Для ее определения рассмотрим схему движения автомобиля на повороте, допустив, что автомобиль является плоской фигурой, а увод и скольжение колес отсутствуют (рис. 6.2).

На участке 1–2 автомобиль движется прямолинейно и его управляемые колеса находятся в нейтральном положении.

На участке 2–3 водитель поворачивает рулевое колесо и автомобиль движется по кривой уменьшающегося радиуса. На участке 3–4 управляемые колеса остаются повернутыми на угол θ , а автомобиль движется по дуге постоянного радиуса. На участке 4–5 водитель поворачивает рулевое колесо в обратном направлении и радиус траектории движения увеличивается. На участке 5–6 управляемые колеса находятся в нейтральном положении и автомобиль снова движется прямолинейно.

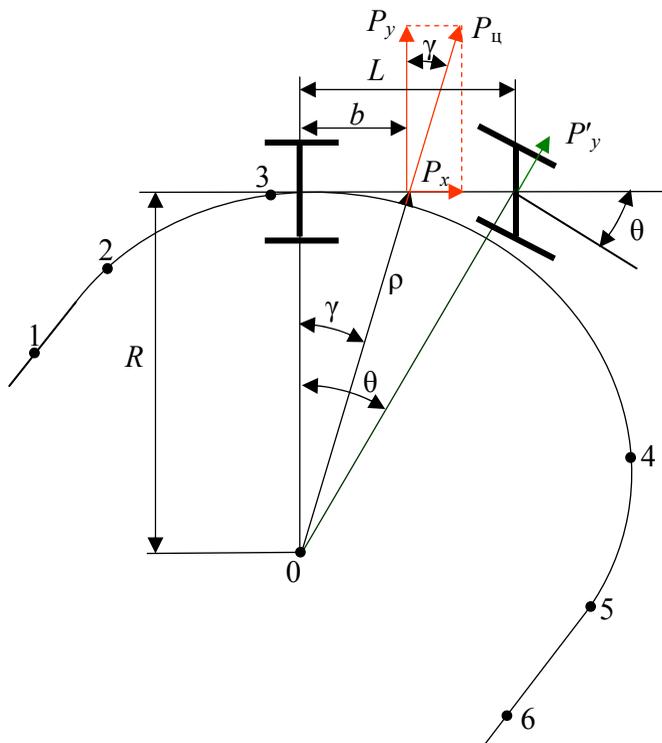


Рис. 6.2. Схема криволинейного движения автомобиля

Из приведенной схемы радиус поворота автомобиля определится как

$$R = \frac{L}{\operatorname{tg} \theta}.$$

При углах поворота управляемых колес $\theta \leq 20^\circ$ можно записать $R = \frac{L}{\theta}$.

При равномерном движении по дуге постоянного радиуса центробежная сила

$$P_{ц} = m\omega^2\rho,$$

где m – масса автомобиля, кг;

ω – угловая скорость автомобиля на повороте, рад/с;

ρ – расстояние от центра поворота до центра тяжести автомобиля, м.

С учетом того, что

$$\omega = \frac{V}{R} \quad \text{и} \quad \rho = \frac{R}{\cos \gamma},$$

центробежная сила, действующая на автомобиль при его равномерном движении по дуге постоянного радиуса R , будет

$$P_{\text{ц}} = \frac{mV^2}{R \cos \gamma},$$

а ее поперечная составляющая

$$P_y = P_{\text{ц}} \cos \gamma = \frac{mV^2}{R} = mV^2 \frac{\theta}{L},$$

где γ – угол между радиусом ρ центра тяжести автомобиля и радиусом поворота R .

При движении автомобиля по переходным кривым на него действует также сила, вызванная изменением кривизны траектории. Поперечная составляющая этой силы P'_y создается массой m_1 передней части автомобиля и пропорциональна скорости автомобиля и угловой скорости поворота управляемых колес $\omega_{y,к}$

$$P'_y = m_1 V \omega_{y,к} = \frac{mVb\omega_{y,к}}{L}.$$

Чем выше скорость автомобиля и чем быстрее водитель поворачивает рулевое колесо, тем больше сила P'_y и вероятнее потеря устойчивости автомобиля.

Следовательно, суммарная боковая сила, действующая на автомобиль при криволинейном движении:

$$P_{\text{сум}} = P_y + P'_y = \frac{m(V^2\theta \pm Vb\omega_{y,к})}{L}.$$

Сила P'_y действует только во время поворота передних колес. При входе автомобиля в поворот скорость $\omega_{y,к}$ положительна и сила P'_y , складываясь с силой P_y , увеличивает опасность опрокидывания или заноса. При выходе из поворота скорость $\omega_{y,к}$ отрицательна и автомобиль может двигаться с большей скоростью без потери устойчивости. На участке постоянного радиуса $P'_y = 0$, так как $\omega_{y,к} = 0$.

Определим критические скорости автомобиля по условиям опрокидывания и заноса при его движении по дуге постоянного радиуса (рис. 6.3).

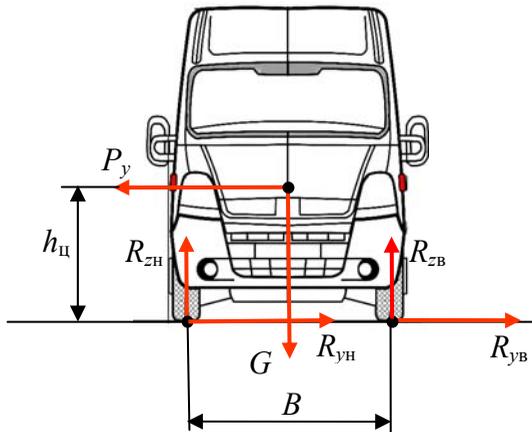


Рис. 6.3. Схема сил, действующих на автомобиль при криволинейном движении

Под действием центробежной силы P_y автомобиль может опрокинуться относительно оси, проходящей через центры контактов

шин наружных (по отношению к центру поворота) колес с дорогой. Составим уравнение моментов сил относительно этой оси:

$$R_{зв}B = \frac{GB}{2} - P_y h_{ц},$$

где $R_{зв}$ – сумма нормальных реакций дороги внутренних колес автомобиля.

В момент отрыва внутренних колес от дороги, то есть в момент начала опрокидывания, вертикальная реакция $R_{зв} = 0$:

$$\frac{GB}{2} = P_y h_{ц}.$$

Подставив вместо силы P_y ее значение, получим

$$\frac{GB}{2} = \frac{mV^2}{R} h_{ц} = \frac{GV^2}{gR} h_{ц},$$

тогда выражение для критической скорости по условиям опрокидывания

$$V_{\text{опр}} = \sqrt{\frac{BRg}{2h_{ц}}}.$$

Чем шире колея автомобиля, больше радиус поворота и ниже центр тяжести, тем больше скорость, при которой возможно опрокидывание.

В результате действия силы P_y также может начаться скольжение шин по дороге в поперечном направлении. Сумма поперечных реакций дороги R_{yh} и R_{yv} в этом случае равна сумме сил сцепления с дорогой всех колес автомобиля:

$$R_{yh} + R_{yv} = G\varphi_y = P_y = \frac{mV^2}{R},$$

где φ_y – коэффициент поперечного сцепления шин с дорогой.

Отсюда критическая скорость по условиям скольжения

$$V_3 = \sqrt{\frac{G\varphi_y R}{m}},$$

но $\frac{G}{m} = g$, тогда окончательно

$$V_3 = \sqrt{gR\varphi_y}.$$

Для обеспечения безопасности движения автомобиля по кривым малого радиуса на дороге устраивают виражи, на которых проезжая часть и обочины имеют поперечный наклон к центру кривой.

6.4. Устойчивость автомобиля при движении по косоугору

При движении автомобиля по косоугору (дороге с поперечным уклоном) возмущающей силой, которая может вызвать потерю поперечной устойчивости, является поперечная составляющая силы веса автомобиля $G \sin \beta$ (рис. 6.4).

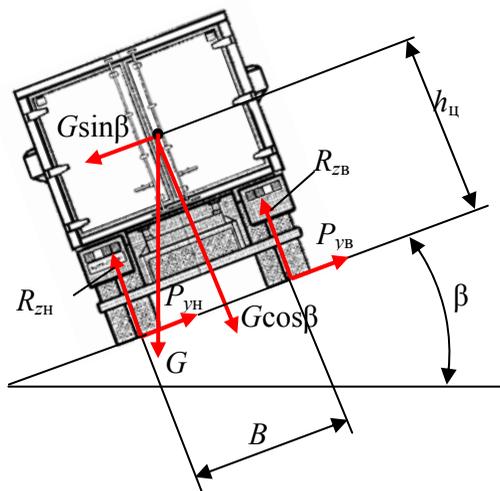


Рис. 6.4. Схема сил, действующих на автомобиль при движении по косоугору

Составим уравнение моментов сил, действующих на автомобиль, относительно оси, проходящей через центры контактов шин наружных колес с дорогой:

$$-R_{зв}B - G\sin\beta h_{ц} + G\cos\beta \frac{B}{2} = 0.$$

В момент начала опрокидывания автомобиля реакция $R_{зв} = 0$, тогда, разделив левую и правую части формулы на $G\cos\beta$, получим

$$\frac{G\sin\beta h_{ц}}{G\cos\beta} = \frac{G\cos\beta \frac{B}{2}}{G\cos\beta}$$

или

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{B}{2h_{ц}}.$$

Критический угол косогора по условиям опрокидывания

$$\beta_{\text{опр}} = \operatorname{arctg} \frac{B}{2h_{ц}}.$$

Критический угол косогора по условиям бокового скольжения (заноса) определим, спроецировав все силы на плоскость дороги:

$$G\sin\beta = R_{yh} + R_{yv}.$$

По условиям сцепления шин с дорогой сумма поперечных реакций в момент начала заноса

$$R_{yh} + R_{yv} = G\cos\beta\varphi_y.$$

Тогда

$$G\sin\beta = G\cos\beta\varphi_y \quad \text{или} \quad \operatorname{tg}\beta = \varphi_y.$$

Следовательно, критический угол косогора по условиям заноса

$$\beta_3 = \operatorname{arctg} \varphi_y.$$

6.5. Устойчивость автомобиля с учетом крена кузова

Ранее мы считали, что автомобиль является твердым телом. В действительности он представляет собой сложную систему масс с шарнирными и упругими связями. Можно выделить две основные группы масс: поддресоренные массы (кузов), вес которых G_k воспринимается подвеской, и неподдресоренные массы (мосты и колеса), вес которых G_n воспринимается шинами.

На рис. 6.5 показано, что центр тяжести C_1 поддресоренных масс не совпадает с центром тяжести C всего автомобиля. Точка C_1 расположена выше точки C и обычно ближе к переднему мосту, поэтому $h_k > h_{ц}$ и $b_k > b$.

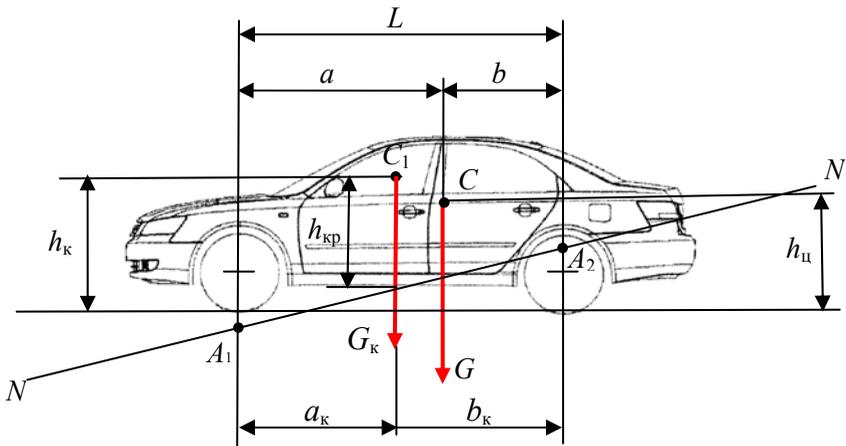


Рис. 6.5. Ось крена кузова

Под действием поперечных сил кузов автомобиля поворачивается в поперечном направлении, при этом упругие элементы подвески деформируются. Осью крена называют прямую NN , относительно которой поворачивается кузов. Точки A_1 и A_2 пересечения оси крена с вертикальными плоскостями, проведенными через середины мостов автомобиля, называются центрами крена: A_1 – передний, A_2 – задний. Их положение зависит от конструкции подвески. При независимой подвеске центр крена расположен близко к поверхности дороги, при зависимой – он находится несколько выше центра ко-

леса. Поэтому у легковых автомобилей с передней независимой и задней зависимой подвесками ось крена наклонена вперед. У грузовых – ось крена примерно параллельна дороге.

Рассмотрим движение автомобиля с учетом крена кузова на повороте, схема которого представлена на рис. 6.6.

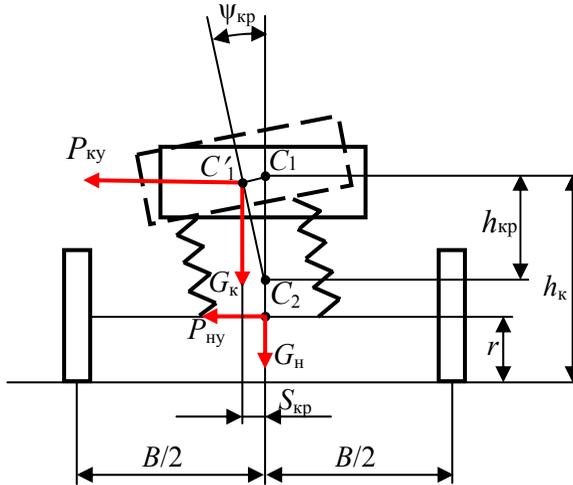


Рис. 6.6. Схема поперечного крена кузова

К центру тяжести кузова C_1 приложены его вес G_k и поперечная сила $P_{ку}$, а к центру тяжести недрессоренных масс C_2 – их вес G_n и поперечная сила $P_{ну}$. Под действием силы $P_{ку}$ кузов поворачивается на угол $\psi_{кр}$ и точка C_1 смещается в точку C'_1 . Обычно $\psi_{кр} \leq 10^\circ$, поэтому можно считать $h_k \approx \text{const}$. Тогда поперечное смещение центра тяжести кузова

$$S_{кр} = h_{кр} \operatorname{tg} \psi_{кр} \approx h_{кр} \psi_{кр},$$

где $h_{кр}$ – плечо крена (расстояние от центра тяжести кузова до оси крена).

Моменты сил $P_{ку}$ и G_k уравновешиваются моментом упругих сил подвески:

$$P_{\text{ку}} h_{\text{кр}} + G_{\text{к}} S_{\text{кр}} = C_{\text{y.a}} \Psi_{\text{кр}},$$

где $C_{\text{y.a}}$ – угловая жесткость подвески (отношение момента, вызывающего поперечный крен кузова, к углу крена). До включения ограничителей подвески можно считать $C_{\text{y.a}} \approx \text{const}$.

С учетом того, что $S_{\text{кр}} = h_{\text{кр}} \Psi_{\text{кр}}$, получим угол крена

$$\Psi_{\text{кр}} = \frac{P_{\text{ку}} h_{\text{кр}}}{C_{\text{y.a}} - G_{\text{к}} h_{\text{кр}}}.$$

Определим критическую скорость автомобиля по условиям опрокидывания с учетом крена кузова.

Для этого составим уравнение моментов сил относительно середины контакта наружных колес с дорогой в момент отрыва внутренних колес от дороги:

$$P_{\text{ку}} h_{\text{к}} - G_{\text{к}} (0,5B - h_{\text{кр}} \Psi_{\text{кр}}) + P_{\text{ну}} r - 0,5B G_{\text{н}} = 0.$$

Пренебрегая малыми моментами сил $P_{\text{ну}}$ и $G_{\text{н}}$, получим

$$P_{\text{ку}} h_{\text{к}} - G_{\text{к}} (0,5B - h_{\text{кр}} \Psi_{\text{кр}}) = 0.$$

Поперечная составляющая центробежной силы подрессоренных масс

$$P_{\text{ку}} = \frac{G_{\text{к}} V^2}{gR}.$$

После подстановки значений $\Psi_{\text{кр}}$ и $P_{\text{ку}}$ в уравнение моментов сил получаем

$$\frac{G_{\text{к}} V^2 h_{\text{к}}}{gR} - 0,5G_{\text{к}} B + \frac{G_{\text{к}}^2 V^2 h_{\text{кр}}^2}{gR(C_{\text{y.a}} - G_{\text{к}} h_{\text{кр}})} = 0.$$

Решив полученное уравнение относительно V , найдем критическую скорость автомобиля по опрокидыванию с учетом крена кузова

$$V_{\text{опр}} = \sqrt{\frac{0,5BRg}{h_{\text{к}} + \frac{G_{\text{к}}h_{\text{кр}}^2}{C_{\text{y.a}} - G_{\text{к}}h_{\text{кр}}}}$$

Сравнение формулы для определения критической скорости автомобиля по опрокидыванию без учета крена кузова с полученной показывает, что в последнем случае критическая скорость меньше (в среднем на 10–15 %). Для уменьшения вероятности опрокидывания следует увеличивать угловую жесткость подвески и уменьшать плечо крена. Для увеличения $C_{\text{y.a}}$ устанавливают стабилизаторы поперечной устойчивости, позволяющие уменьшать угол крена кузова без увеличения вертикальной жесткости подвески.

На автомобиль в процессе криволинейного движения действуют два момента: опрокидывающий момент силы $P_{\text{кy}}$ и восстанавливающий момент силы веса $G_{\text{к}}$. При равенстве этих моментов внутренние колеса автомобиля начинают отрываться от дороги. Если после этого опрокидывающий момент увеличится из-за возрастания скорости движения автомобиля V или уменьшения радиуса поворота R , то автомобиль начнет опрокидываться.

Однако отрыв колес от дороги не всегда ведет к опрокидыванию автомобиля. Если опрокидывающий и восстанавливающий моменты равны, то автомобиль может двигаться только на внешних колесах. Это явление можно наблюдать на автородео, когда опытный водитель, манипулируя рулевым колесом, ведет автомобиль довольно долго на внешних колесах.

6.6. Устойчивость переднего и заднего мостов

Рассматривая поперечную устойчивость автомобиля, мы предполагали, что при заносе колеса обоих мостов начинают скользить в поперечном направлении одновременно. На практике сначала начинают скользить колеса либо переднего, либо заднего моста, поэтому рассматривать необходимо не устойчивость автомобиля в целом, а одного из его мостов.

При качении на колесо действуют касательная R_x , поперечная R_y и нормальная R_z реакции дороги (рис. 6.7).

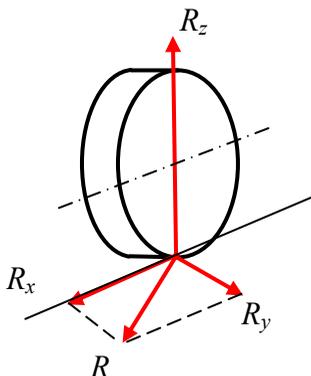


Рис. 6.7. Силы, действующие на колесо при качении

Для качения колеса без поперечного и продольного проскальзывания необходимо соблюдения условия

$$P_{\text{сц}} = R_z \varphi \geq \sqrt{R_x^2 + R_y^2}.$$

Отсюда

$$\varphi \geq \sqrt{\frac{R_x^2}{R_z^2} + \frac{R_y^2}{R_z^2}} = \sqrt{\chi^2 + \frac{R_y^2}{R_z^2}},$$

где $\chi = \frac{R_x}{R_z}$ – удельная касательная реакция:

– для колеса, нагруженного тяговой силой, $\chi = \frac{P_T}{R_z}$;

– для колеса, нагруженного тормозной силой, $\chi = \frac{P_{\text{тор}}}{R_z}$;

– для ведомого колеса, нагруженного силой сопротивления качению, $\chi = \frac{P_k}{R_z} = \frac{R_z f}{R_z} = f$.

Рассмотрим силы, действующие на автомобиль, при движении на повороте (рис. 6.8).

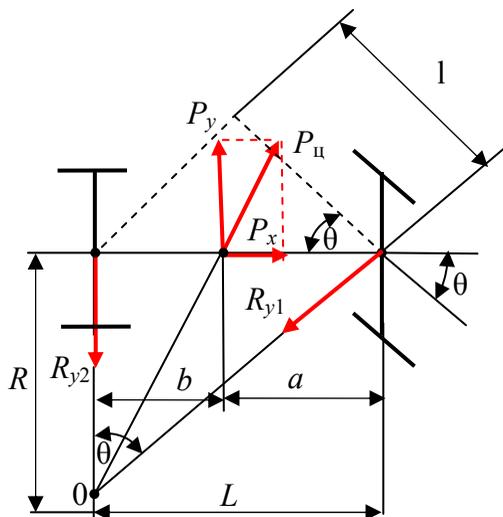


Рис. 6.8. Силы, действующие на автомобиль на повороте:
 $P_{ц}$ – центробежная сила, действующая на автомобиль на повороте; P_y – поперечная составляющая центробежной силы $P_{ц}$; P_x – продольная составляющая центробежной силы $P_{ц}$; R_{y1} и R_{y2} – поперечные реакции дороги на колесах переднего и заднего мостов соответственно

Для определения реакций R_{y1} и R_{y2} составим уравнения равновесия относительно середин переднего и заднего мостов

$$R_{y2}L - P_y a = 0; \quad R_{y1}l - P_y b = 0; \quad l = L \cos \theta,$$

отсюда

$$R_{y1} = P_y \frac{b}{L \cos \theta}; \quad R_{y2} = P_y \frac{a}{L}.$$

С учетом того, что

$$P_y = \frac{mV^2}{R} = \frac{GV^2}{gR},$$

получаем значения поперечных реакций дороги, действующих на передний и задний мосты автомобиля:

$$R_{y1} = \frac{GV^2 b}{gRL \cos \theta}, \quad R_{y2} = \frac{GV^2 a}{gRL}.$$

Подставив полученные значения поперечных реакций дороги в формулу $\varphi \geq \sqrt{\chi^2 + \frac{R_y^2}{R_z^2}}$, определим критические скорости автомобиля по заносу переднего и заднего мостов.

Для переднего моста

$$\varphi = \sqrt{\chi^2 + \frac{R_{y1}^2}{R_{z1}^2}} = \sqrt{\chi^2 + \left(\frac{GV^2 b}{gRL \cos \theta R_{z1}} \right)^2}, \quad \text{но } R_{z1} = G_1 = G \frac{b}{L},$$

тогда

$$\varphi = \sqrt{\chi^2 + \left(\frac{GV^2 b L}{gRL \cos \theta G b} \right)^2} = \sqrt{\chi^2 + \left(\frac{V^2}{gR \cos \theta} \right)^2},$$

отсюда

$$V_{\text{ск1}} = \sqrt{gR \cos \theta \sqrt{\varphi^2 - \chi^2}}.$$

Аналогично для заднего моста

$$\varphi = \sqrt{\chi^2 + \left(\frac{GV^2 a}{gRL R_{z2}} \right)^2}, \quad \text{но } R_{z2} = G_2 = G \frac{a}{L},$$

тогда

$$\varphi = \sqrt{\chi^2 + \left(\frac{GV^2 aL}{gRLGa} \right)^2} = \sqrt{\chi^2 + \left(\frac{V^2}{gR} \right)^2},$$

отсюда

$$V_{\text{ск2}} = \sqrt{gR\sqrt{\varphi^2 - \chi^2}}.$$

Анализ полученных выражений показывает, что критическая скорость по заносу с учетом продольных сил, действующих на колеса автомобиля, на 10–20 % меньше, чем без их учета.

Рассмотрим автомобиль, движущийся криволинейно по дуге радиуса R (рис. 6.9).

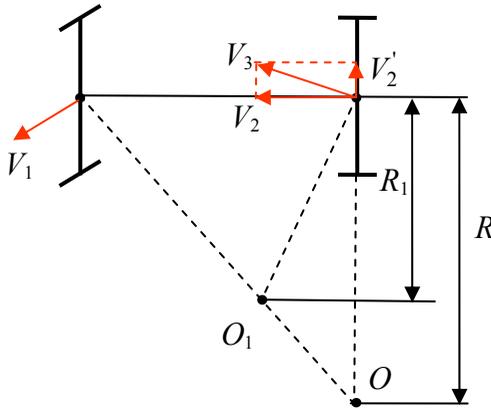


Рис. 6.9. Схема заноса заднего моста

Если скорость автомобиля V превысит критическое значение $V_{\text{ск2}}$, то колеса заднего моста будут скользить в поперечном направлении с некоторой скоростью V_2' . В результате сложения скоростей задний мост начнет перемещаться по направлению вектора V_3 и радиус поворота R уменьшится до значения R_1 . Уменьшение радиуса вызовет увеличение центробежной силы, что в свою очередь приведет

к дальнейшему уменьшению радиуса и увеличению центробежной силы. Таким образом, автомобиль будет двигаться непрерывно по дуге уменьшающего радиуса. Такое движение автомобиля называется заносом, который чрезвычайно опасен, так как развивается очень быстро и может привести к выходу автомобиля за пределы полосы движения или к опрокидыванию.

Если создались такие условия, при которых скорость автомобиля V превысила критическое значение $V_{\text{кр}1}$, начнется поперечное скольжение переднего моста со скоростью V_1' (рис. 6.10).

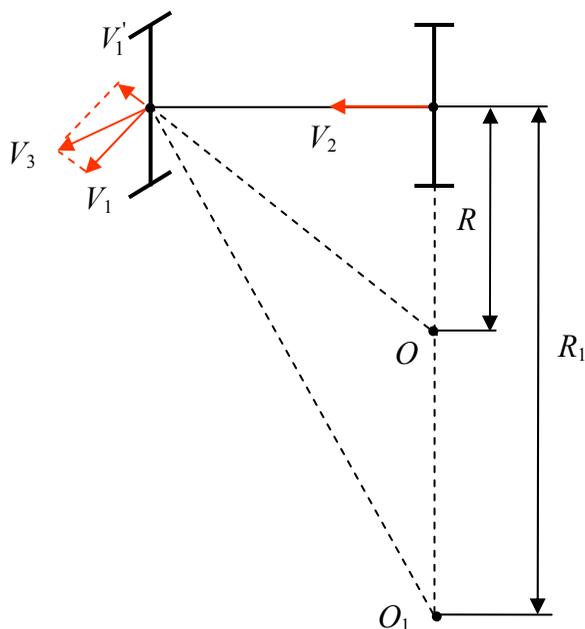


Рис. 6.10. Схема заноса переднего моста

В этом случае передний мост перемещается по направлению вектора V_3 и радиус поворота R увеличивается до R_1 . Увеличение радиуса поворота приводит к уменьшению центробежной силы, и скорость поперечного скольжения переднего моста V_1' уменьшается, в результате чего занос передних колес автоматически прекращается.

Для того чтобы прервать начавшийся занос заднего моста автомобиля, необходимо прежде всего уменьшить касательную реакцию на ведущих колесах, прекратив торможение или уменьшив подачу топлива, то есть уменьшить величину χ . Кроме того, необходимо повернуть передние колеса в сторону заноса заднего моста.

Пусть в момент начала заноса передние колеса были в нейтральном положении и центр поворота находился в точке O (рис. 6.11). После поворота передних колес на угол θ вектор скорости переднего моста V_1 повернется на такой же угол и центр поворота сместится в точку O_1 . Радиус поворота автомобиля R увеличится до R_1 , что уменьшит центробежную силу, вызвавшую занос.

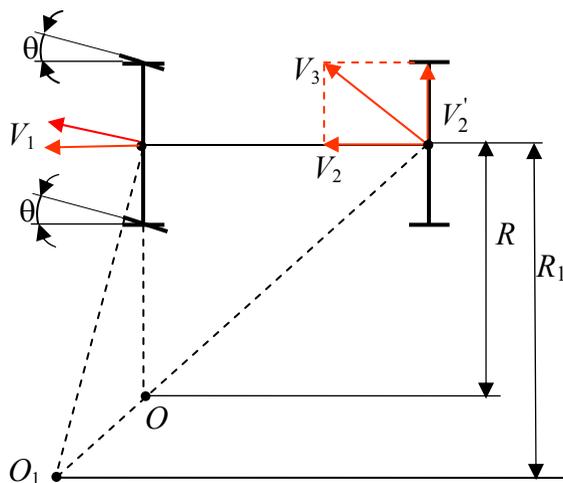


Рис. 6.11. Схема вывода автомобиля из заноса

Для более активного противодействия заносу заднего моста нужно повернуть рулевое колесо на еще больший угол, вследствие чего центр поворота переместится по другую сторону автомобиля и центробежная сила, изменив свое направление, будет препятствовать заносу. Поэтому чтобы не начался занос заднего моста в противоположную сторону, необходимо сразу после прекращения заноса вернуть управляемые колеса в нейтральное положение.

6.7. Продольная устойчивость автомобиля

У современных автомобилей с низко расположенным центром тяжести опрокидывание в продольной плоскости маловероятно и практически исключено. Потеря продольной устойчивости может проявиться в буксовании ведущих колес, вызывающем сползание автомобиля, например, во время преодоления автопоездом крутого подъема большой длины (рис. 6.12).

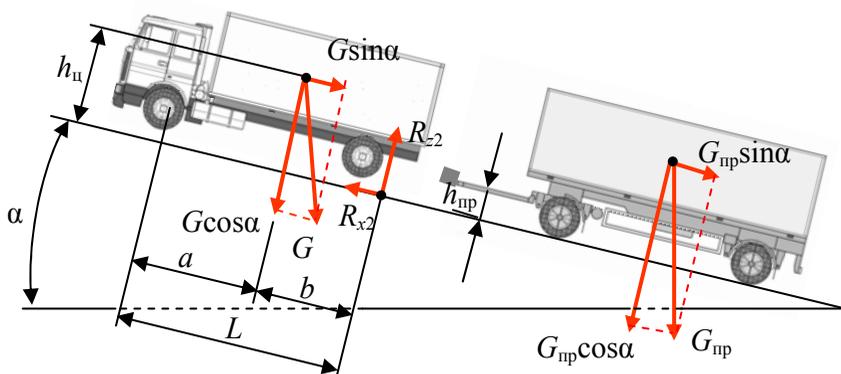


Рис. 6.12. Схема движения автопоезда на подъем

Определим максимальный угол подъема α , который при равномерном движении может преодолеть автопоезд без буксования ведущих колес тягача. Примем, что силы сопротивления качению и силы воздуха отсутствуют.

Из условий равновесия тягача имеем

$$R_{x2} = (G + G_{\text{пр}}) \sin \alpha.$$

Второе уравнение составляем из условия равновесия моментов сил относительно точки контакта передних колес с дорогой:

$$G \cos \alpha a + G \sin \alpha h_{\text{ц}} - R_{z2} L + G_{\text{пр}} \sin \alpha h_{\text{пр}} = 0,$$

где $G_{\text{пр}}$ – вес прицепа;

$h_{\text{пр}}$ – высота сцепного устройства.

Выразим из этого уравнения R_{z2} :

$$R_{z2} = \frac{G \cos \alpha a + G \sin \alpha h_{ц} + G_{пр} \sin \alpha h_{пр}}{L}.$$

Максимальная величина касательной реакции ограничена сцеплением шин с дорогой, то есть

$$R_{x2} = R_{z2} \varphi_x = \frac{G \cos \alpha a + G \sin \alpha h_{ц} + G_{пр} \sin \alpha h_{пр}}{L} \varphi_x.$$

Приравняем два выражения для определения R_{x2} :

$$(G + G_{пр}) \sin \alpha = \frac{G \cos \alpha a + G \sin \alpha h_{ц} + G_{пр} \sin \alpha h_{пр}}{L} \varphi_x$$

или

$$L(G + G_{пр}) \sin \alpha = (G \cos \alpha a + G \sin \alpha h_{ц} + G_{пр} \sin \alpha h_{пр}) \varphi_x.$$

Раскрыв скобки и разделив обе части этого уравнения на $\cos \alpha$, получим

$$LG \operatorname{tg} \alpha + LG_{пр} \operatorname{tg} \alpha = Ga \varphi_x + Gh_{ц} \varphi_x \operatorname{tg} \alpha + G_{пр} h_{пр} \varphi_x \operatorname{tg} \alpha.$$

Отсюда получаем выражение для критического угла подъема, при котором возможно движение автопоезда без буксования ведущих колес тягача

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{букс}} = \frac{Ga \varphi_x}{G(L - h_{ц} \varphi_x) + G_{пр}(L - h_{пр} \varphi_x)}$$

или

$$\alpha_{\text{букс}} = \operatorname{arctg} \frac{Ga \varphi_x}{G(L - h_{ц} \varphi_x) + G_{пр}(L - h_{пр} \varphi_x)}.$$

Согласно полученному выражению критический угол $\alpha_{\text{букс}}$ во многом зависит от коэффициента сцепления φ_x . Для автопоездов при коэффициенте сцепления $\varphi_x = 0,3$ этот угол не превышает $4-6^\circ$. Этим объясняется часто наблюдаемое в зимнее время буксование ведущих колес тягача автопоезда на сравнительно пологих подъемах.

Для одиночного автомобиля $G_{\text{пр}} = 0$, поэтому

$$\alpha_{\text{букс}} = \arctg \frac{a\varphi_x}{L - h_{\text{ц}}\varphi_x}.$$

Для одиночных автомобилей классической компоновки с колесной формулой 4×2 критический угол подъема $\alpha_{\text{букс}}$ находится в пределах $10-12^\circ$.

Для переднеприводного одиночного автомобиля

$$\alpha_{\text{букс}} = \arctg \frac{b\varphi_x}{L + h_{\text{ц}}\varphi_x}.$$

Для двухосного полноприводного автомобиля максимальное значение касательных реакций на колесах

$$R_{x1} + R_{x2} = (R_{z1} + R_{z2})\varphi_x = G \cos \alpha \varphi_x.$$

Из условий равновесия получаем

$$R_{x1} + R_{x2} = G \sin \alpha.$$

Приравняв эти выражения и разделив полученное уравнение на $\cos \alpha$, получим

$$\alpha_{\text{букс}} = \arctg \varphi_x.$$

Такие автомобили могут преодолевать крутые подъемы без потери продольной устойчивости даже на мокрых и скользких дорогах ($\alpha_{\text{букс}} = 17-19^\circ$).

7. УПРАВЛЯЕМОСТЬ АВТОМОБИЛЯ

7.1. Значение управляемости автомобиля для безопасности движения

Дорожная обстановка непрерывно меняется, требуя от водителя постоянной готовности изменить характер движения автомобиля. Для этого автомобиль должен иметь возможность под действием водителя легко и быстро изменять свое положение на дороге.

Управляемостью называется свойство автомобиля обеспечивать движение в направлении, заданном водителем.

При плохой управляемости автомобиля действительное направление движения не совпадает с желаемым и поэтому необходимы дополнительные управляющие воздействия со стороны водителя. Это приводит к «рысканию» автомобиля по дороге, увеличению динамического коридора и утомлению водителя. При особенно неблагоприятных обстоятельствах плохая управляемость может стать причиной столкновений автомобилей, наездов на пешеходов или выезда за пределы дороги.

Управляемость автомобиля оценивают по следующим измерителям: критическая скорость по управляемости, поворачиваемость автомобиля, стабилизация управляемых колес и их угловые колебания.

7.2. Критическая скорость автомобиля по условиям управляемости

Если автомобиль на повороте достиг такой скорости, при которой управляемые колеса скользят в поперечном направлении, то в этом случае их поворот не изменяет направление движения автомобиля, то есть автомобиль теряет управляемость. Определим так называемую критическую скорость по условиям управляемости. Мы частично касались этого вопроса в разделе «Устойчивость автомобиля», но тогда при определении условий устойчивости переднего моста автомобиля мы учитывали только действие центробежной силы, а вернее, ее поперечной составляющей, действующей на передний мост, которая, как мы определили:

$$P_{y1} = P_y \frac{b}{L \cos \theta} = \frac{mV^2 b}{LR \cos \theta},$$

но

$$\frac{mb}{L} = m_1,$$

где m_1 – масса автомобиля, приходящаяся на передний мост.

Тогда

$$P_{y1} = \frac{m_1 V^2}{R \cos \theta}.$$

При движении автомобиля классической компоновки на повороте на его передний мост, кроме центробежной силы, действует толкающая сила от задних колес P . Продольная составляющая этой силы P_x параллельна плоскости вращения управляемых колес, а поперечная P_y перпендикулярна к ней (рис. 7.1).

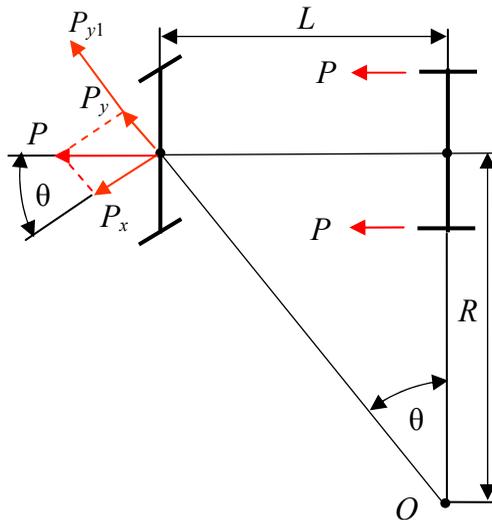


Рис. 7.1. Силы, действующие на передний мост автомобиля на повороте

При равномерном движении продольная составляющая P_x равна силе сопротивления качению колес переднего моста $P_x = P_{к1} = G_1 f$, а поперечная составляющая – $P_y = P_x \operatorname{tg} \theta = G_1 f \operatorname{tg} \theta$.

Сумма сил P_{y1} и P_y образует суммарную поперечную силу $P_{\text{сум}}$, которая стремится вызвать боковое скольжение управляемых колес:

$$P_{\text{сум}} = P_{y1} + P_y = \frac{m_1 V^2}{R \cos \theta} + G_1 f \operatorname{tg} \theta.$$

Условие качения колеса без скольжения

$$P_{\text{ц}} = R_z \varphi = \sqrt{P_x^2 + P_y^2},$$

откуда

$$P_y = \sqrt{R_z^2 \varphi^2 - P_x^2}.$$

Подставим в полученное выражение значения входящих в него сил, действующих на передние колеса:

$$\frac{m_1 V^2}{R \cos \theta} + G_1 f \operatorname{tg} \theta = \sqrt{G_1^2 \varphi^2 - G_1^2 f^2}.$$

Так как $m_1 = \frac{G_1}{g}$, то

$$\frac{V^2}{gR \cos \theta} + f \operatorname{tg} \theta = \sqrt{\varphi^2 - f^2}, \quad \text{но} \quad R = \frac{L}{\operatorname{tg} \theta},$$

тогда

$$\frac{V^2}{gL \cos \theta} \operatorname{tg} \theta + f \operatorname{tg} \theta = \sqrt{\varphi^2 - f^2}.$$

Решив это уравнение относительно V , определим критическую скорость автомобиля по условиям управляемости:

$$V_{\text{упр}} = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{\varphi^2 - f^2}}{\operatorname{tg} \theta} - f \right) gL \cos \theta}.$$

На дорогах с твердым покрытием коэффициент сцепления φ обычно во много раз превышает коэффициент сопротивления качению f , поэтому автомобиль даже при высокой скорости движения сохраняет управляемость. При движении по скользким дорогам с обледенелым покрытием, а также по глубокому песку или снегу значения φ и f сближаются, что приводит к снижению критической скорости по управляемости. Если $\varphi \approx f$, то $V_{\text{упр}} \approx 0$ и автомобиль теряет управляемость.

У переднеприводных автомобилей толкающая сила со стороны колес заднего моста отсутствует и, кроме того, направление силы тяги на передних колесах совпадает с плоскостью их вращения. Поэтому автомобили с передними ведущими колесами обладают лучшей управляемостью в сложных дорожных условиях.

7.3. Поворачиваемость автомобиля

Поворачиваемость называют свойство автомобиля изменять направление движения без поворота управляемых колес. Существуют две основные причины поворачиваемости: увод колес, связанный с поперечной эластичностью шин, и поперечный крен кузова, связанный с эластичностью подвески. Соответственно различают шинную и креновую поворачиваемости автомобиля.

7.3.1. Шинная поворачиваемость автомобиля

Качение эластичного колеса, нагруженного поперечной силой, имеет свои особенности, так как такое колесо может катиться без скольжения под некоторым углом к своей плоскости. Такое качение колеса называют уводом, а угол, который образует вектор ско-

рости центра колеса с его плоскостью вращения, называют углом увода $\delta_{у\text{в}}$ (рис. 7.2).

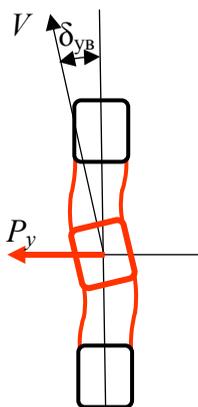


Рис. 7.2. Увод колеса под действием поперечной силы

Поперечная сила P_y и угол увода $\delta_{у\text{в}}$ связаны следующей зависимостью:

$$P_y = K_{у\text{в}} \delta_{у\text{в}},$$

где $K_{у\text{в}}$ – коэффициент сопротивления уводу (первая производная от поперечной силы по углу увода), Н/рад.

Величина $K_{у\text{в}}$ зависит от многих факторов, из которых наибольшее значение имеют вертикальная и касательная реакции, приложенные к колесу, и наклон колеса к вертикали. Зависимость угла увода от поперечной силы имеет сложный характер, однако при малых углах $\delta_{у\text{в}}$ (до $4\text{--}6^\circ$) ее считают примерно линейной, а коэффициент сопротивления уводу постоянным. Для шин легковых автомобилей коэффициент сопротивления уводу принимают $K_{у\text{в}} = 15\text{--}40$ кН/рад; для шин грузовых и автобусов $K_{у\text{в}} = 60\text{--}120$ кН/рад.

Для автомобиля с жесткими шинами углы увода передних и задних колес отсутствуют, то есть $\delta_1 = \delta_2 = 0$, и траектория его движения зависит только от угла поворота управляемых колес θ .

При воздействии поперечной силы на автомобиль с эластичными шинами вследствие их увода он будет двигаться по траектории, отличной от той, по которой он бы двигался на жестких шинах. Кривизна этой траектории зависит от соотношения углов увода передних δ_1 и задних δ_2 колес.

Рассмотрим движение автомобиля на повороте при углах увода колес $\delta_1 = \delta_2 \neq 0$. Вследствие увода центр поворота находится не в точке O , как у автомобиля с жесткими шинами, а в месте пересечения перпендикуляров к векторам скоростей переднего и заднего мостов V_1 и V_2 – точка O_1 (рис. 7.3).

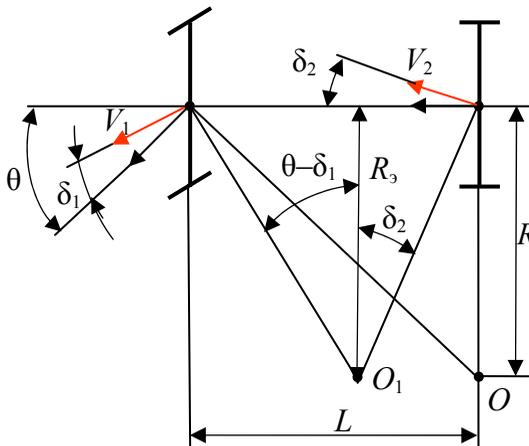


Рис. 7.3. Схема движения на повороте автомобиля с эластичными шинами при углах увода колес $\delta_1 = \delta_2 \neq 0$

Можно записать

$$L = R_3 \operatorname{tg}(\theta - \delta_1) + R_3 \operatorname{tg} \delta_2,$$

где R_3 – радиус поворота автомобиля на эластичных шинах.

Получим из этого выражения R_3 :

$$R_3 = \frac{L}{\operatorname{tg}(\theta - \delta_1) + \operatorname{tg} \delta_2}.$$

Поскольку эти углы обычно невелики, то можно записать

$$R_3 = \frac{L}{\theta - \delta_1 + \delta_2},$$

а при равенстве углов увода $\delta_1 = \delta_2 \neq 0$ получаем

$$R_3 = \frac{L}{\theta} = R.$$

Хотя в этом случае радиусы поворота равны $R_3 = R$, траектория движения автомобиля с жесткими шинами не совпадает с траекторией движения автомобиля с эластичными шинами, так как центры поворота O и O_1 занимают разные положения, а шинную поворачиваемость в этом случае называют нейтральной.

Рассмотрим движение автомобиля на повороте, когда углы увода $\delta_1 > \delta_2$ (рис. 7.4).

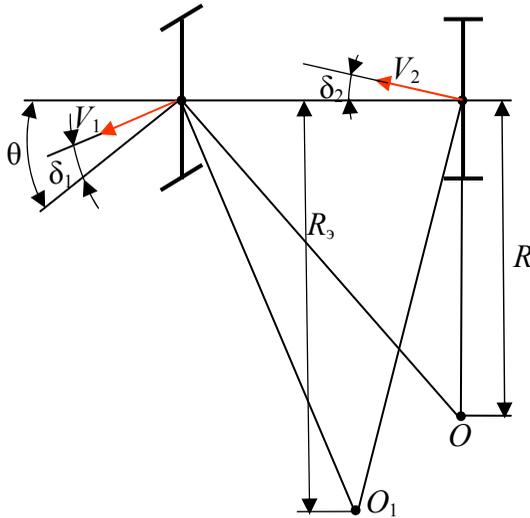


Рис. 7.4. Схема движения автомобиля с эластичными шинами на повороте при углах увода колес $\delta_1 > \delta_2$

При углах увода $\delta_1 > \delta_2$ радиус поворота $R_3 > R$, для движения автомобиля на эластичных шинах по кривой радиусом R управляемые колеса нужно повернуть на больший угол, чем при жестких шинах. В этом случае шинную поворачиваемость автомобиля называют недостаточной.

Если углы увода $\delta_1 < \delta_2$ (рис. 7.5), то радиусы поворота $R_3 < R$. Это означает, что для движения автомобиля с эластичными шинами по кривой радиусом R управляемые колеса нужно повернуть на меньший угол, чем при жестких шинах, и шинную поворачиваемость называют излишней.

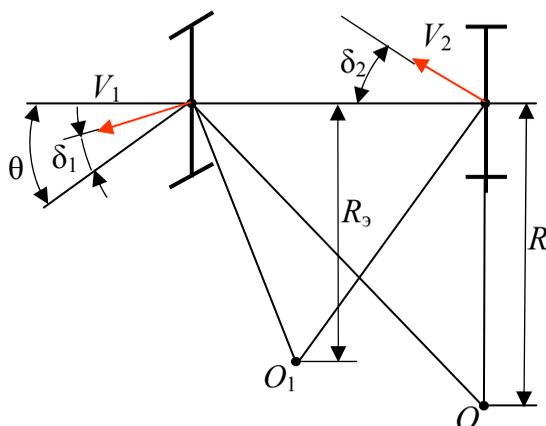


Рис. 7.5. Схема движения автомобиля с эластичными шинами на повороте при углах увода колес $\delta_1 < \delta_2$

Выясним, какой шинной поворачиваемостью должен обладать автомобиль для безопасного движения.

Рассмотрим прямолинейное движение автомобиля с излишней поворачиваемостью при воздействии на него какой-либо боковой силы P_y , например, силы ветра, бокового толчка от неровностей дороги, поперечного наклона дороги (рис. 7.6).

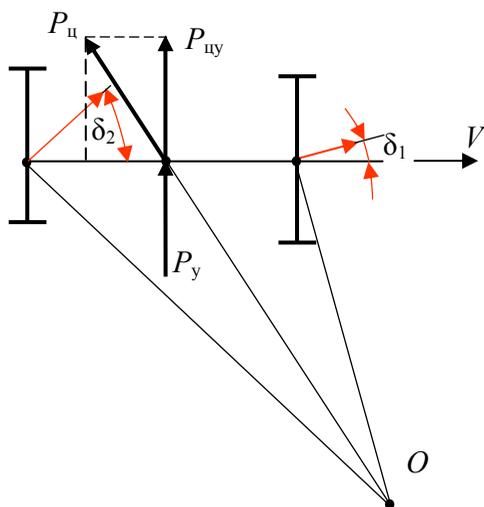


Рис. 7.6. Силы, действующие на автомобиль с излишней поворачиваемостью

Автомобиль начинает поворачиваться вокруг центра O , хотя управляемые колеса находятся в нейтральном положении. В результате его движения по кривой возникает центробежная сила $P_{ц}$, поперечная составляющая которой $P_{цy}$ направлена в сторону действия возмущающей силы P_y и увод увеличивается. Это приводит к дальнейшему увеличению центробежной силы, и если водитель не повернет управляемые колеса в противоположную сторону, то автомобиль начнет двигаться по кривой непрерывно уменьшающегося радиуса, что может привести к заносу или опрокидыванию.

Если при прямолинейном движении боковая сила P_y воздействует на автомобиль с недостаточной поворачиваемостью, то он тоже начнет поворачиваться вокруг центра O , хотя управляемые колеса находятся в нейтральном положении (рис. 7.7).

В результате поворота автомобиля возникает центробежная сила $P_{ц}$, поперечная составляющая которой $P_{цy}$ направлена в сторону, противоположную действию возмущающей силы P_y , и увод шин быстро уменьшается.

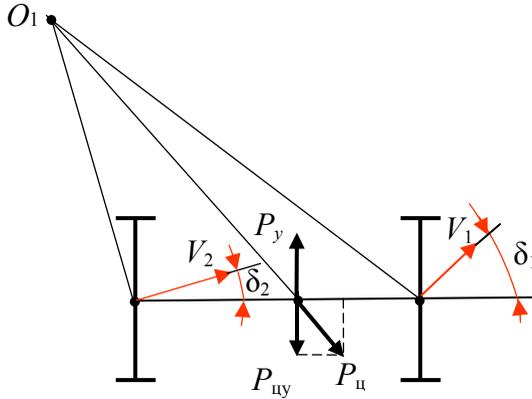


Рис. 7.7. Силы, действующие на автомобиль с недостаточной поворачиваемостью

Автомобиль с недостаточной поворачиваемостью более устойчив и лучше сохраняет заданное направление движения, чем автомобиль с излишней поворачиваемостью. Кроме того, автомобиль с излишней поворачиваемостью может утратить управляемость при достижении определенной скорости.

Определим критическую скорость, при которой вследствие увода шин автомобиль теряет управляемость.

Ранее мы определили, что

$$R_3 = \frac{L}{\theta - \delta_1 + \delta_2}.$$

Отсюда определим угол поворота управляемых колес:

$$\theta = \frac{L}{R_3} - (\delta_2 - \delta_1).$$

Углы увода δ_1 и δ_2 пропорциональны поперечным силам P_{y1} и P_{y2} , которые в свою очередь пропорциональны квадрату скорости:

$$\delta_1 = \frac{P_{y1}}{K_{yв1}} = \frac{m_1 V^2}{R_3 K_{yв1}};$$

$$\delta_2 = \frac{P_{y2}}{K_{yв2}} = \frac{m_2 V^2}{R_3 K_{yв2}},$$

где $K_{yв1}$ и $K_{yв2}$ – коэффициенты сопротивления уводу шин переднего и заднего мостов соответственно;

m_1 и m_2 – массы, отнесенные к переднему и заднему мостам.

При увеличении скорости движения автомобиля углы увода также возрастают. При ней у автомобиля с излишней шинной поворачиваемостью угол увода δ_2 растет быстрее угла увода δ_1 .

При некоторой скорости правая часть выражения для определения θ оказывается равной нулю. При этой скорости автомобиль начинает двигаться криволинейно, хотя управляемые колеса находятся в нейтральном положении.

Для определения критической скорости по уводу $V_{yв}$ принимаем $\theta = 0$, тогда

$$0 = \frac{L}{R_3} - \left(\frac{m_2 V^2}{R_3 K_{yв2}} - \frac{m_1 V^2}{R_3 K_{yв1}} \right)$$

или

$$L = V^2 \left(\frac{m_2}{K_{yв2}} - \frac{m_1}{K_{yв1}} \right),$$

откуда

$$V_{yв} = \sqrt{\frac{L}{\frac{m_2}{K_{yв2}} - \frac{m_1}{K_{yв1}}}}.$$

Управлять автомобилем с излишней поворачиваемостью сложно. Так, при критической скорости водитель для движения автомобиля по кривой должен установить управляемые колеса в нейтральное положение. При скорости большей, чем критическая, угол θ становится отрицательным. Это означает, что для поворота автомобиля, например, направо, водитель должен повернуть передние колеса налево. Это противоестественное явление может вызвать замешательство водителя и привести к аварии.

У автомобиля с недостаточной или с нейтральной шинной поворачиваемостью критическая скорость по уводу отсутствует, так как при $\delta_1 > \delta_2$ подкоренное выражение отрицательно и $V_{ув}$ является мнимой величиной, а при $\delta_1 = \delta_2$ она равна бесконечности.

7.3.2. Креновая поворачиваемость автомобиля

Креновая поворачиваемость автомобиля связана с конструкцией его подвески (рис. 7.8).

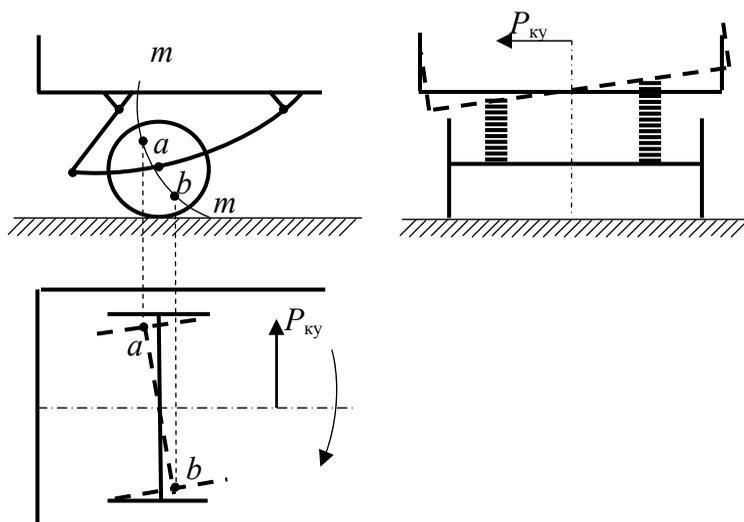


Рис. 7.8. Поворот моста автомобиля при крене кузова

На рисунке показан задний мост автомобиля с рессорной подвеской при совершении поворота. Передние концы рессор соединены с кузовом простым шарниром, а задние – с помощью серьги. При прогибах рессоры задний мост перемещается по дуге mm . При повороте под действием поперечной силы $P_{ку}$ кузов автомобиля наклоняется, вызывая сжатие левых рессор и распрямление правых. Левая рессора, сжимаясь, перемещает мост назад (в точку a), а правая, распрямляясь, перемещает мост вперед (в точку b). В результате мост автомобиля поворачивается в горизонтальной плоскости.

Если углы поворота переднего и заднего мостов неодинаковы по величине или направлению, то автомобиль вследствие крена кузова поворачивается, хотя управляемые колеса находятся в нейтральном положении.

Поэтому по аналогии с шинной поворачиваемостью автомобиль, у которого угол поворота передней оси больше угла поворота задней оси, имеет недостаточную креновую поворачиваемость, а автомобиль, у которого угол поворота задней оси больше угла поворота передней, имеет излишнюю креновую поворачиваемость.

На рис. 7.9 изображены автомобили, у которых передняя и задняя оси поворачиваются в противоположных направлениях. При действии одной и той же возмущающей поперечной силы P_y автомобиль A повернется вправо, а автомобиль B – влево. Возникающая при этом центробежная сила $P_{ц}$ у автомобиля A направлена в противоположную сторону по сравнению с поперечной силой P_y , а у автомобиля B – в ту же сторону. Поэтому автомобиль A лучше сохраняет направление движения под действием возмущающих поперечных сил. В этом случае можно сказать, что автомобиль A имеет недостаточную, а автомобиль B – излишнюю креновую поворачиваемость.

У автомобиля с излишней креновой поворачиваемостью, на который действует поперечная сила, кривизна траектории непрерывно увеличивается. Это приводит к росту центробежной силы и дальнейшему уменьшению радиуса поворота. Однако максимальное значение угла поперечного крена кузова обычно ограничено упорами, предусмотренными в конструкции подвески. Поэтому креновая поворачиваемость в отличие от шинной не может увеличиваться беспредельно.

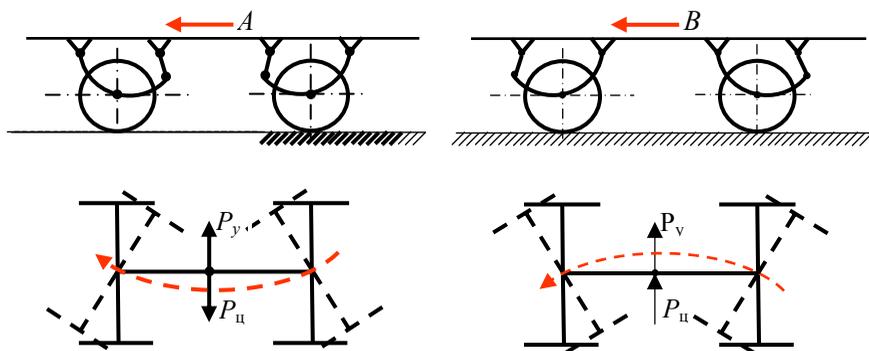


Рис. 7.9. Схема движения автомобилей с различной креновой поворачиваемостью

7.4. Угловые колебания управляемых колес автомобиля

В процессе движения управляемые колеса автомобилей, имеющие зависимую подвеску, могут колебаться вместе с передним мостом в вертикальной плоскости, а вместе с рулевой трапецией – вокруг шкворней (осей поворота) в горизонтальной плоскости.

Угловые колебания управляемых колес вокруг шкворней недопустимы, потому что детали ходовой части и рулевого привода воспринимают значительные знакопеременные нагрузки, что может привести к их поломкам, а колебания с большой амплитудой приводят к потере управляемости. Наиболее опасными являются устойчивые колебания колес, так как они непрерывно повторяются (самовозбуждаются).

Причинами, вызывающими такие колебания, являются гироскопическая связь между поворотом управляемых колес вокруг шкворней и перекосом переднего моста, а также неуравновешенность колес (дисбаланс).

Передние колеса движущегося автомобиля представляют собой гироскопы и реагируют на всякое угловое перемещение их оси вращения. При наезде одного из колес на неровность дороги происходит перекосом переднего моста. Управляемые колеса наклоняются, и изменяется положение их оси вращения. Это приводит к возникновению гироскопического момента $M'_Г$, который действует в го-

ризонтовой плоскости и поворачивает управляемые колеса вокруг шкворней (рис. 7.10).

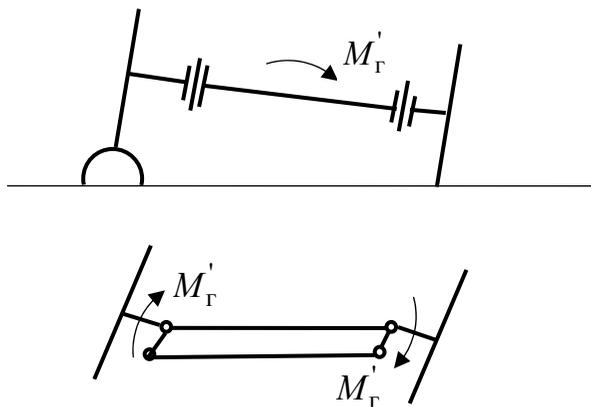


Рис. 7.10. Схема возникновения самовозбуждающихся колебаний управляемых колес при зависимой подвеске

Поворот колес вокруг шкворней вызывает появление другого гироскопического момента $M'_Г$, действующего в вертикальной плоскости и стремящегося увеличить перекося моста и наклон колес.

Таким образом, перекося переднего моста вызывает угловые колебания управляемых колес вокруг шкворней, которые в свою очередь увеличивают перекося моста, то есть обе колебательные системы связаны между собой и влияют друг на друга. С увеличением скорости движения гироскопическая связь усиливается. Возникнув, колебания продолжаютя и после того, как колесо съехало с неровности.

Наряду с рассмотренными собственными колебаниями могут появляться и вынужденные колебания, вызванные периодической возмущающей силой. Такая сила может возникнуть, например, при вращении неуравновешенного колеса (рис. 7.11).

При вращении такого колеса появляется центробежная сила $P_ц$, которую можно разложить на вертикальную силу P_z и горизонтальную P_x . Под действием силы P_z колесо стремится переместиться в вертикальном направлении, а под действием силы P_x – повернуться относительно шкворня. Так как при качении колеса

направление действия сил P_z и P_x изменяются на противоположные, то возникает виляние колеса.

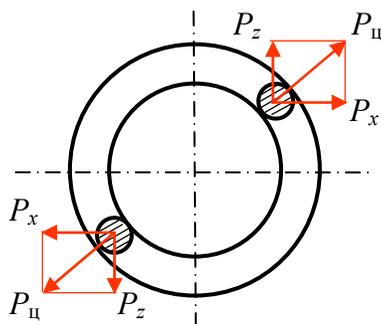


Рис. 7.11. Силы, действующие на неуравновешенное колесо

Основное средство устранения такого опасного явления – применение независимой передней подвески, при которой ось вращения вертикально перемещающихся колес остается параллельной сама себе, и при наезде колеса на неровность не возникает гироскопический момент. Кроме того, колеса автомобиля подвергаются динамической балансировке.

7.5. Стабилизация управляемых колес автомобиля

Во время движения на управляемые колеса автомобиля всегда действуют различные силы (толчки от неровностей дороги, боковой ветер, и др.), стремящиеся отклонить их от положения, соответствующего прямолинейному движению. Это может стать причиной неустойчивого движения автомобиля.

Устойчивое движение автомобиля обеспечивается стабилизацией управляемых колес, то есть их свойством сохранять нейтральное положение, занимаемое ими при прямолинейном движении, и автоматически в него возвращаться. Чем лучше стабилизация управляемых колес, тем легче управлять автомобилем, тем выше безопасность движения.

Стабилизирующий эффект обеспечивается силой веса автомобиля, приходящейся на управляемые колеса, и боковыми реакциями

опорной поверхности, возникающими при отклонении эластичных колес от нейтрального положения.

Для использования силы веса автомобиля в качестве стабилизирующего фактора шкворни поворотных цапф наклоняются в поперечной плоскости на угол α (рис. 7.12). При такой установке шкворней поворот управляемых колес в любую сторону от нейтрального положения сопровождается приподниманием передней части автомобиля. Этому препятствует сила ее веса, стремящаяся вернуть управляемые колеса в нейтральное положение.

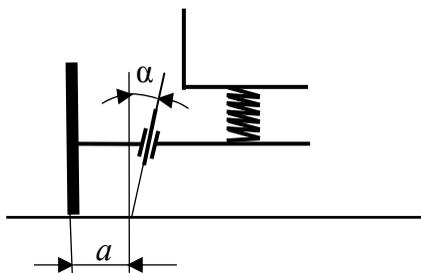


Рис. 7.12. Поперечный наклон шкворня управляемого колеса

Возникающий таким образом стабилизирующий эффект зависит от массы автомобиля, приходящейся на управляемые колеса, угла поперечного наклона шкворня α и плеча обкатки a (расстояние от центра пятна контакта колеса до пересечения его оси поворота с дорогой).

Для того чтобы боковые реакции опорной поверхности R_y при повороте управляемых колес могли обеспечить стабилизирующее воздействие, они должны создать соответствующие восстанавливающие моменты относительно шкворней.

Если боковая реакция дороги приложена в точке опорной поверхности, находящейся на одной вертикали с центром колеса, то она не может создать стабилизирующий момент, так как отсутствует плечо ее действия (рис. 7.13, а).

Для создания такого плеча шкворни поворотных цапф наклоняют в продольной плоскости на угол β , в результате чего образуется плечо b_β (рис. 7.13, б).

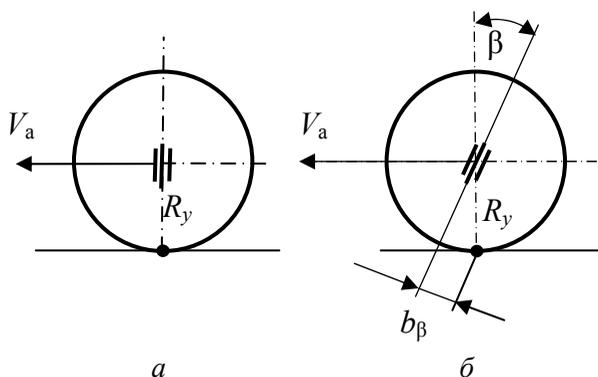


Рис. 7.13. Стабилизация управляемых колес автомобиля за счет наклона шкворня в продольной плоскости

Под действием поперечной силы P_y , действующей на управляемое колесо на повороте, происходит также его увод на угол δ . Деформация в задней части зоны контакта шины с дорогой оказывается больше, чем в передней, вследствие чего элементарные поперечные реакции распределяются по длине контакта неравномерно и равнодействующая реакция $R_y = P_y$ смещена назад на расстояние b_δ (рис. 7.14).

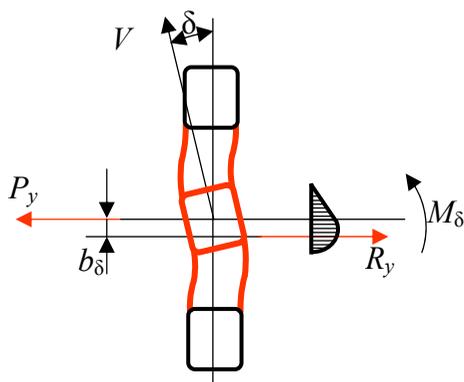


Рис. 7.14. Стабилизация управляемых колес автомобиля за счет увода эластичных шин

В результате этого возникает стабилизирующий момент M_{δ} даже в случае отсутствия продольного наклона шкворня. Таким образом, суммарный стабилизирующий момент, возникающий при продольном наклоне шкворня и вследствие увода: $M_{ст} = R_y b$, где $b = b_{\beta} + b_{\delta}$ – общее плечо устойчивости, на которое приложена боковая реакция R_y (рис. 7.15).

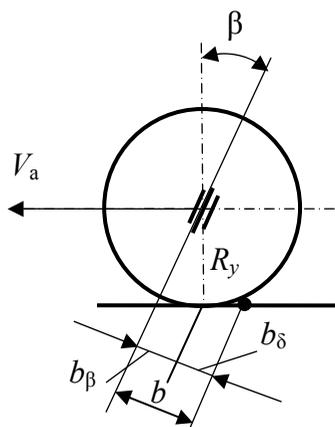


Рис. 7.15. Стабилизация управляемых колес автомобиля за счет наклона шкворня в продольной плоскости и увода эластичных шин

Повышение эластичности современных шин приводит к тому, что обусловленный шиной стабилизирующий момент становится значимым и может существенно превосходить момент, создаваемый продольным наклоном шкворня.

7.6. Установка управляемых колес автомобиля

Управляемость автомобиля зависит также от углов установки управляемых колес, то есть углов развала и схождения.

Угол развала γ создается для того, чтобы уменьшить плечо обкатки «а», не увеличивая поперечного наклона шкворня (рис. 7.16). В результате этого касательные реакции дороги в контакте шин, достигающие в случае торможения или ударов о неровности дороги

значительной величины, не создают больших поворачивающих моментов, что облегчает управление автомобилем.

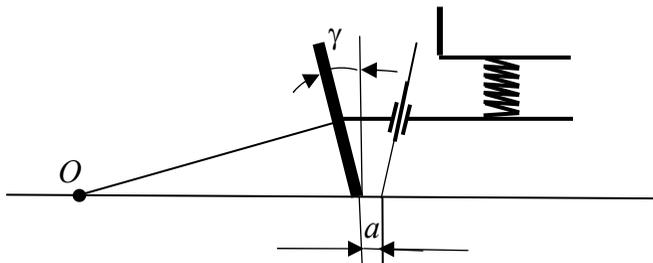


Рис. 7.16. Развал управляемых колес

При наличии развала возникает осевая сила, которая прижимает колесо к внутреннему подшипнику ступицы и тем самым предотвращает виляние колеса в случае появления зазоров в подшипниках ступицы вследствие их износа.

Однако наклоненные колеса стремятся катиться от автомобиля по дугам окружностей, центры O которых находятся на пересечении осей колес с опорной поверхностью.

Поэтому если рулевое колесо находится в нейтральном положении и сцепление шин достаточно велико, то колеса будут двигаться прямолинейно, но в контакте шин с дорогой возникнут элементарные боковые реакции, направленные в сторону наклона (рис. 7.17).

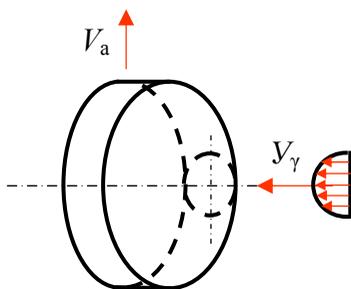


Рис. 7.17. Силы, действующие на наклоненное колесо

Эти реакции дают равнодействующую силу Y_γ , увеличивающую нагрузку в рулевом приводе, сопротивление качению и износ

шин, тем более, что при наличии развала давления по площади контакта распределяются неравномерно.

Для нейтрализации силы Y_γ , действующей в контакте с дорогой управляемых колес, установленных с развалом, им придается схождение в горизонтальной плоскости (рис. 7.18).

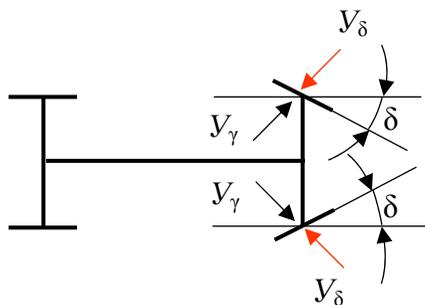


Рис. 7.18. Схождение управляемых колес

Вследствие этого управляемые колеса катятся с уводом, угол которого δ равен половине угла схождения. При этом возникают силы Y_δ , перпендикулярные к плоскостям колес, и моменты $M_\delta = Y_\delta b_\delta$, стремящиеся повернуть их в сторону, противоположную схождению. Боковые реакции Y_γ и Y_δ направлены в противоположные стороны, и их действие в зависимости от соотношения между углами развала и схождения в той или иной мере взаимно нейтрализуются.

Исследования показывают, что наиболее полная нейтрализация боковых сил Y_γ и Y_δ происходит при углах схождения, составляющих 12–18 % от угла развала в зависимости от параметров шин.

8. ПЛАВНОСТЬ ХОДА АВТОМОБИЛЯ

8.1. Значение плавности хода для безопасности движения

Плавностью хода называют свойство автомобиля двигаться по дороге с неровностями без больших колебаний подрессоренных масс (кузова). Динамические нагрузки, сопровождающие колебания, приводят к поломкам деталей автомобиля и ускоренному изнашиванию трущихся поверхностей. При колебаниях повышается сопротивление движению, вследствие увеличения потерь энергии на трение в элементах ходовой части автомобиля возрастает расход топлива. На неровных дорогах водитель вынужден снижать скорость, вследствие чего уменьшается производительность подвижного состава.

Ухудшение безопасности при больших колебаниях кузова автомобиля связано с повышением утомляемости водителя и возможностью отрыва колес от дороги.

Колебания характеризуются амплитудой, частотой, скоростью и ускорением. Наиболее часто применяются для оценки плавности хода следующие измерители: частота собственных колебаний и ускорение, которые непосредственно связаны с ощущениями человека.

Организм человека привык к вертикальным колебаниям при спокойной ходьбе и поэтому хорошо приспособлен к частотам 1,7–2,5 Гц. Длительные вынужденные колебания с частотой 3–5 Гц и большой амплитудой могут вызвать морскую болезнь из-за периодического смещения крови в сосудах. При частоте 5–11 Гц наблюдаются расстройства, вызванные возбуждением вестибулярного аппарата, а также резонансными колебаниями внутренних органов (желудочно-кишечного тракта, печени) и тела в целом. Колебания с частотой 11–45 Гц вызывают тошноту, рвоту. Ухудшается зрение водителя в связи с колебаниями глазных яблок. Сильные колебания с частотой свыше 45 Гц могут привести к серьезному заболеванию – вибрационной болезни.

Ускорения вызывают кратковременное увеличение нагрузок и раздражение вестибулярного аппарата, работа которого связана со многими функциями организма. Пороговые значения линейных ускорений, воспринимаемые вестибулярным аппаратом, невелики (около $0,1 \text{ м/с}^2$) и в несколько раз меньше фактических, испытываемых человеком при движении автомобиля.

Восприятие колебаний сопровождается напряжением мышц торса. У сидящего человека колебания передаются на позвоночник, вызывая его деформацию. Для водителей, имеющих большой стаж работы на автомобиле, характерны пояснично-седалищные боли (ишиас). Колебания плохо сказываются и на внутренних органах человека, не имеющих твердой опоры и подверженных перемещениям при толчках.

Длительные колебания даже небольшой интенсивности приводят к снижению работоспособности – утомлению. Под влиянием утомления уменьшается, прежде всего, готовность к немедленному экстренному действию – бдительность. Утомленный водитель представляет себе дорожную ситуацию упрощенно, упускает существенные детали. Прогнозировать развитие дорожной ситуации такой водитель может также упрощенно, уменьшая число возможных событий. Если на дороге сложится ситуация, не предусмотренная водителем, возможно происшествие. При утомлении ухудшается и моторная деятельность водителя, его движения становятся медленными, вялыми, возрастает число ошибочных и пропущенных действий.

8.2. Отрыв колес от дороги

Основной причиной возникновения колебаний автомобиля является его взаимодействие с дорожными неровностями. Воздействие дороги на автомобиль зависит от формы неровностей, их размеров и чередования. В зависимости от длины различают импульсные неровности (длиной до 0,3 м), выбоины (длиной 0,3–6 м), ухабы (длиной 6–25 м) и уклоны (длиной более 25 м). В зависимости от высоты неровности делят на шероховатости (высота до 1 см), впадины и выступы (высота до 30 см) и препятствия (выбоины глубже 30 см).

Распределение неровностей по дороге, их форма и размеры носят случайный характер, вследствие чего и колебания автомобиля носят такой же характер. Однако среди хаотически распределенных неровностей часто встречаются участки с периодически повторяющимися неровностями – волнами. На асфальтобетонном покрытии длина волн зависит от интенсивности движения и состава транспортного потока. Для городских дорог длина волны составляет 3–5 м, для загородных достигает 8 м. На дорогах с интенсивным движением волны могут образовываться через 1–2 года после укладки покрытия.

При движении автомобиля по таким участкам возможно совпадение частот собственных и вынужденных колебаний и возникновение резонанса и, как следствие, отрыв колеса от дороги.

Колеса также могут оторваться от дороги при проезде автомобилем единичной неровности. В момент удара жесткого колеса о неровность дороги, на него в месте контакта с неровностью действует реакция дороги R , проходящая через центр колеса (рис. 8.1).

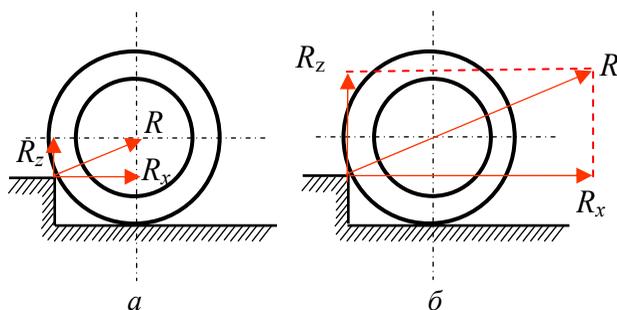


Рис. 8.1. Наезд колеса на неровность

Эту силу можно представить в виде равнодействующей от двух сил: касательной R_x и вертикальной R_z . Касательная реакция является результатом воздействия на неровность силы тяги ведущих колес и силы инерции, возникающей вследствие замедления автомобиля. При наезде с небольшой скоростью на неровность (рис. 8.1, а) сила инерции невелика, вертикальная и горизонтальная составляющие тоже незначительны. При большой скорости наезда на неровность (рис. 8.1, б) замедления достигают больших значений и вертикальная составляющая R_z может превзойти силу веса автомобиля, приходящуюся на передний мост. Колеса отрываются от дороги, а большая продольная сила создает момент, вызывающий «клевок» автомобиля, пассажиры наклоняются вперед и при непристегнутых ремнях безопасности могут удариться о ветровое стекло, панель приборов и другие детали.

Удары о неровности смягчаются шинами автомобиля, которые обладают способностью поглощать колебания при деформации, сглаживать толчки от небольших шероховатостей и выступов. Поэтому неровности, длина которых меньше зоны контакта шины с дорогой, а высота меньше ее статического прогиба, практически не влияют на колебания автомобиля.

8.3. Пути повышения плавности хода автомобиля

Поскольку шины влияют на демпфирование колебаний, то для улучшения плавности хода целесообразно использовать шины меньшей жесткости. Для дополнительного уменьшения жесткости шин в них снижают давление и таким образом увеличивают ширину профиля.

В качестве упругого элемента подвески все чаще используют пружины, а в последнее время и пневматические упругие элементы, режес торсионы. Пружины и торсионы, по сравнению с листовыми рессорами, имеют меньшую массу, большую долговечность, не имеют внутреннего трения, просты в изготовлении и не нуждаются в уходе. Пневматическая подвеска обеспечивает высокую плавность хода благодаря небольшой жесткости и благоприятному характеру изменения упругой характеристики, а также возможности регулирования в широких пределах жесткости подвески и высоты кузова над дорогой.

Для защиты водителя и пассажиров от вредных воздействий колебаний улучшают характеристики сидений. Подушки сиденья делают отдельно от спинки, и они обычно имеют жесткость 80–120 Н/см у легковых автомобилей и 150–200 Н/см у грузовых автомобилей и автобусов.

Для улучшения плавности хода сиденье водителей грузовых автомобилей снабжают отдельным амортизатором с регулировкой жесткости в зависимости от массы тела водителя. На магистральных автопоездах дополнительно подрессоривается вся кабина тягача.

8.4. Влияние технического состояния автомобиля на его устойчивость, управляемость и плавность хода

На устойчивость, управляемость и плавность хода автомобиля прежде всего влияет состояние ходовой части и органов управления. Так, по мере изнашивания и уменьшения высоты протектора шин снижается коэффициент их сцепления с дорогой. Особенно заметно уменьшение ϕ при движении по мокрому покрытию с большой скоростью. Уменьшение коэффициента сцепления ведет к увеличению тормозного и остановочного путей автомобиля, а также к потере им устойчивости. Поэтому Правила дорожного движения запрещают эксплуатацию шин, у которых глубина протектора меньше 1,6 мм (для легковых автомобилей) и меньше 1 мм (для грузовых).

Если с правой и с левой сторон автомобиля установлены шины с различной степенью износа, то при торможении из-за разности величин тормозных сил возникает поворачивающий момент, который может привести к аварии. По мере изнашивания протектора и уменьшения его высоты увеличивается сопротивление шин уводу. Коэффициент увода $K_{ув}$ у полностью изношенных шин на 50–70 % больше, чем у новых. Поэтому при установке на передний мост более изношенных шин автомобиль может приобрести излишнюю поворачиваемость, что ухудшит его управляемость.

Неправильная регулировка тормозных механизмов и замасливание фрикционных накладок могут привести к различной величине тормозных моментов на колесах правой и левой сторон автомобиля и, как следствие, к потере устойчивости. К таким же результатам приводит неисправность одного из тормозных механизмов. Неисправность одного переднего тормозного механизма более опасна, чем неисправность одного заднего, так как автомобиль в первом случае при торможении отклоняется на больший угол, чем во втором.

При изнашивании деталей рулевого управления и переднего моста (рулевого механизма, шаровых шарниров тяг, шкворней и их втулок) увеличивается свободный ход рулевого колеса, что отрицательно сказывается на курсовой устойчивости автомобиля. Движение автомобиля становится трудно контролируемым, резко возрастает частота поворотов рулевого колеса, необходимых для сохранения прямолинейного движения.

При недоброкачественном ремонте или техническом обслуживании автомобиля в результате слишком плотной посадки шкворней во втулки или чрезмерной затяжке гаек рулевых тяг может значительно возрасти усилие, необходимое для поворота управляемых колес, что также осложняет работу водителя и ухудшает управляемость.

Резкое увеличение прикладываемого к рулевому колесу усилия, приводящее к потере управляемости автомобилем, может быть вызвано заклиниванием рулевого управления вследствие поломки деталей рулевого механизма, заедания сухарей в шаровых шарнирах или неисправности противоугонного устройства. Заклинивание рулевого управления обычно приводит к весьма тяжелым последствиям, так как водитель не сразу осознает необходимость экстренного торможения, а некоторое время пытается повернуть рулевое колесо. Автомобиль же, утратив управляемость, продолжает двигаться

ся с повернутыми передними колесами и быстро оказывается на полосе встречного движения или за пределами дороги.

В процессе движения автомобиля даже на дорогах с хорошим покрытием могут возникнуть колебания управляемых колес вследствие их дисбаланса. Эти колебания увеличивают динамические нагрузки на детали ходовой части и рулевого управления, а при больших размахах могут привести к потере управляемости.

Вертикальные колебания колес и кузова обычно гасятся амортизаторами. При их неисправности колебания автомобиля достигают большой величины (происходит раскачивание кузова автомобиля) и медленно затухают. Кроме того, в этом случае возможны отрывы колес от дороги, что влияет на безопасность движения.

9. ИНФОРМАТИВНОСТЬ АВТОМОБИЛЯ

Действия водителя во время движения автомобиля тесно связаны с процессами приема и переработки информации, которую он получает с помощью анализаторов (зрительного, слухового и др.) от внешних раздражителей. Водитель принимает конкретные решения и управляет автомобилем на основе полученной и переработанной информации. Однако в определенных условиях он не успевает переработать необходимую ему информацию, пропускает часть ее и принимает решение слишком поздно, в результате чего возникает ДТП. Такой же результат возможен, когда в поле зрения водителя отсутствует достаточное количество информации, требуемой по условиям сложившейся дорожно-транспортной ситуации. Следовательно, безопасность движения во многом зависит как от количества, так и от качества воспринимаемой водителем информации, в том числе информации, источником которой является автомобиль.

Информативность – свойство транспортного средства обеспечивать участников движения информацией, необходимой для безопасного функционирования системы «водитель–автомобиль–дорога (ВАД)». Информативность является одним из эксплуатационных свойств автомобиля, определяющих его активную безопасность.

Все участники дорожного движения условно могут быть разбиты на две группы: водители-операторы и внешние участники движения (пешеходы, регулировщики, водители других транспортных

средств). Таким образом, водитель в процессе дорожного движения играет две роли одновременно: роль водителя-оператора и роль внешнего участника движения, и должен реагировать на информацию, исходящую как от управляемого им автомобиля (внутренняя информативность), так и от других транспортных средств (внешняя информативность).

Информативность автомобиля может быть визуальной (форма и размеры автомобиля, цвет кузова, система автономного освещения, светосигнальное оборудование, панель приборов, параметры обзорности), звуковой (звуковые сигнализаторы, несущая волна, шум двигателя, трансмиссии и т. д.), тактильной (реакция органов управления на действия водителя).

Ввиду того, что человек более 90 % всей информации получает посредством зрительного анализатора, зрение становится почти единственным каналом, по которому к водителю поступают сведения об окружающей обстановке во время движения. В связи с этим важную роль по обеспечению безопасности движения играет визуальная информативность автомобиля, то есть свойство транспортного средства выдавать визуальную информацию о его местоположении на дороге, состоянии и режиме движения. Визуальная информативность делится на внешнюю и внутреннюю.

9.1. Сигналы и их свойства

Водитель, выполняющий работу, должен постоянно получать информацию об изменениях, происходящих в окружающей среде, о состоянии автомобиля и о собственных действиях. Это информация поступает к нему с помощью сигналов. Такими сигналами являются всевозможные физические процессы, движущиеся объекты (предметы), разнообразные звуковые источники, напряжение мышц и т. д., то есть сигналы, возникающие при нормальном протекании какого-либо процесса, а также сигналы, специально предназначенные для сообщения водителю информации. В первом случае сигналы называются естественными, во втором – искусственными. Искусственные сигналы (в виде звуковых и световых сигнализаторов, указателей и стрелок измерительных приборов и т. п.) используются в тех случаях, когда естественные сигналы трудно воспринимаемы (например, когда процессы, о которых водитель должен полу-

чить информацию, происходят в герметически закрытых агрегатах автомобиля, на больших расстояниях и т. д.).

Сигналы, необходимые водителю для ориентации при выполнении работы, поступают к нему через органы чувств, которые реагируют на физические и химические изменения, происходящие в окружающей среде и в его организме (воздействие света, звука, прикосновение, запах, изменение температуры и т. п.). Эти изменения «стимулируют» органы чувств и вызывают в нервной системе водителя сложные физиологические процессы, которые отражаются в его сознании в форме ощущений – зрительных, слуховых, осязания, тактильных (тактильные ощущения являются одним из видов кожных ощущений и разделяются на ощущения прикосновения, давления, вибрации), кинестетических (мышечных) и других. Для водителя автомобиля наиболее важными являются зрительные ощущения, так как зрительный анализатор поставляет ему более 90 % всей информации, необходимой для управления автомобилем.

Чтобы правильно ориентироваться в пространстве (что является неперемным условием всякого трудового процесса), водитель должен воспринимать приходящие сигналы и понимать их значение. Восприятие сигналов зависит от свойств каждого сигнала, его характеристик. Наиболее важными свойствами сигналов, которыми человек руководствуется при работе являются: цвет, интенсивность, размеры, форма, положение, перемещение, длительность, вероятность появления.

Цвет сигнала. Число цветовых оттенков, которые человек способен различать, превышает несколько тысяч и возрастает по мере накопления опыта. Наиболее сильно различаются между собой основные цвета: красный, зеленый, синий, желтый. Их легче всего различить, поэтому они чаще всего используются для сигнализации. Выразительность цветов зависит от условий освещения. В полутьме или при слабом освещении зрительная грань между отдельными оттенками цветов стирается.

Интенсивность сигнала. Все раздражители, действующие на органы чувств человека, должны достигнуть некоторой величины, чтобы быть воспринятыми. Минимальная величина раздражителя, при которой возможно его восприятие, называется порогом чувствительности. Разница между отдельными оттенками тоже должна достигнуть определенной величины, чтобы человек мог ее воспри-

нимать. Чем сильнее раздражители, тем больше они должны различаться для того, чтобы человек мог воспринять эту разницу. Иначе говоря, чтобы различать слабые раздражители, достаточно небольшая разница между ними, при сильных раздражителях эта разница должна быть сравнительно большой. Однако в системах сигнализации не следует пользоваться слабыми раздражителями, поскольку уже само их обнаружение затруднительно и приводит к повышенному утомлению органов зрения. Слишком большая сила сигналов может, в свою очередь, вызвать такие нежелательные последствия, как ослепление, оглушение и т. д. Существует определенный оптимум силы соответствующих сигналов, который зависит от размеров, освещенности фона (величины контраста) и др.

Размеры сигнала. Обнаружение и различение оптических сигналов зависит от угловых размеров, поскольку один и тот же предмет на малом расстоянии кажется крупнее, чем на большом. Наименьший угол, при котором человек может обнаружить наблюдаемый предмет, составляет около 10 угловых минут. Практически это соответствует темной линии на белом фоне толщиной 0,5 мм на расстоянии 10 м от наблюдателя. С меньшего расстояния, естественно, человек способен различать линии меньшей толщины.

Форма сигнала. Важным свойством сигналов является их форма. С помощью зрения лучше всего различаются предметы правильной формы: точки, черточки, треугольники, круги, квадраты. Гораздо труднее опознать предметы неправильной формы. Опознание таких предметов значительно облегчается, если их контуры напоминают какой-либо реальный предмет (например, упрощенный контур человеческого тела, автомобиля и т. д.). Формы предметов опознаются не только зрением, но и осязанием. Во время управления автомобилем доля участия зрения уменьшается и водитель часто ориентируется, прикасаясь к органам управления.

Положение сигнала. Еще одним фактором восприятия является положение предметов. Если определенный сигнал появляется всегда в одном и том же месте, его положение становится основным признаком его восприятия. Человек в этом случае не реагирует на цвет, размеры, форму сигнала. Если же на этом месте находится другой предмет, то при восприятии легко может быть допущена ошибка (например, пересадка на другой тип автомобиля).

Перемещение сигнала. Для обнаружения и опознавания сигнала важное значение имеет способ его предъявления. Различают статические и подвижные сигналы. Подвижные сигналы подразделяются на дискретные (появляющиеся и исчезающие) и непрерывные (изменяющие свои характеристики во времени, например, увеличивающаяся громкость звукового сигнала). Подвижные сигналы обнаруживаются легче, чем статические. В общем случае реакция человека на подвижный сигнал оказывается более быстрой, чем на статический.

Длительность сигнала. Восприятие сигнала зависит от длительности его подачи. Для обнаружения раздражителя необходимо, чтобы он длился некоторое минимальное время, называемое «пороговым». Кратковременные раздражители (например, короткая вспышка света) могут остаться незамеченными, даже если они обладают достаточной силой. Кроме того, необходим минимальный интервал времени между отдельными сигналами, чтобы их можно было различить и они не слились в один общий. Это время в условиях оптимальной видимости составляет около 0,1 с.

Вероятность появления сигнала. Важной характеристикой каждого сигнала является вероятность его появления. От нее зависит время реакции человека на данный сигнал: чем больше вероятность появления сигнала, тем меньшим будет время реакции; чем меньше вероятность сигнала, тем большее время реакции. Иначе говоря, человек быстрее реагирует на событие, которое он ожидает, чем на неожиданное или маловероятное событие.

9.2. Внешняя визуальная информативность автомобиля

Внешней визуальной информативностью обладают кузов автомобиля, световозвращатели, система автономного освещения и система внешней световой сигнализации.

9.2.1. Кузов автомобиля

Окраска автомобиля должна обеспечивать световой и цветной контраст с дорожным покрытием. Если автобусы, большегрузные автомобили и автопоезда информируют других участников движения о своем присутствии и маневрах прежде всего габаритами и формой, то для автомобилей малых размеров важна окраска.

Исследования показали, что автомобили, окрашенные в яркие, светлые тона, почти в два раза реже попадают в аварии, чем такие же автомобили, имеющие маскировочную окраску: черную, серую, коричневую, зеленую, синюю. Особенно велика вероятность столкновений с такими автомобилями на скоростных магистралях в условиях ограниченной видимости (в тумане, в сумерках или во время дождя). Лучшие цвета, в которые следует окрашивать автомобили: оранжевый, желтый, красный и белый.

Установлено, что всякий цвет на фоне дополнительного цвета воспринимается более насыщенным и ярким. Это явление используется при окраске автомобилей оперативных служб, которые окрашивают в два цвета. При этом один из них относится к группе цветов, отличающихся наибольшей дальностью видимости. К цветографической окраске внешней поверхности таких автомобилей предъявляются два требования: 1) сигнальность, то есть выделение автомобиля из транспортного потока; 2) опознаваемость, то есть обозначение при помощи цвета маркировки и назначения автомобиля. Немаловажную роль играет хорошая читаемость специальных надписей на оперативных автомобилях («милиция», «скорая медицинская помощь», «аварийная служба» и т. д.).

Следует учитывать, что цвета высокой чистоты с большим коэффициентом отражения (яркие), а также многоцветовая гамма при кратковременном наблюдении действуют возбуждающе на водителя, что помогает выделить автомобиль в транспортном потоке. Однако при длительном наблюдении такие цвета оказывают резко утомляющее действие. Таким образом, красный и желтый цвета и их основные оттенки действуют возбуждающе, утомляя водителя. Поэтому их можно применять для окраски небольших по размеру автомобилей. Грузовые автомобили, автопоезда и автобусы следует окрашивать в так называемые холодные (зеленый, голубой, синий и их оттенки) или в темные цвета. Это снижает напряжение зрения и уменьшает утомляемость водителей встречных автомобилей.

9.2.2. Световозвращатели

В темное время суток автомобили могут находиться на проезжей части улиц или дорог или в непосредственной близости от них (остановка или стоянка у тротуара, на обочине, на кромке проезжей

части). Препятствие, которым является автомобиль, стоящий на проезжей части и не обозначенный средствами активной световой сигнализации, опасно для всех участников движения в темное время.

Наиболее эффективным и экономичным средством увеличения информативности автомобилей на дороге в темное время суток является оснащение их специальными световозвращающими знаками, размещенными на кузове автомобиля.

Световозвращающее отражение характеризуется тем, что свет возвращается обратно к источнику излучения по направлениям, близким к направлению его падения. Согласно международным стандартам, световозвращатели предназначены для обозначения габаритов автомобилей в темное время суток путем отражения света, излучаемого источником, находящимся вне этого транспортного средства.

Наиболее простой световозвращатель представляет собой гибкую эластичную пленку толщиной 0,2 мм с микроскопическими (диаметром 20–50 мкм) стеклянными шаровыми линзами, размещенными в слое порошкообразного алюминия (рис. 9.1).

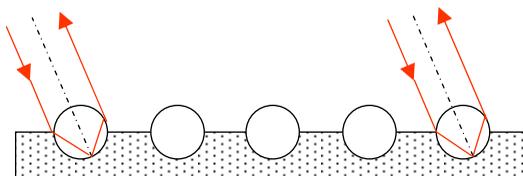


Рис. 9.1. Простейший световозвращатель

После преломления сферическими поверхностями микрочаров световой пучок отражается под углом 180° , направляясь обратно к источнику излучения. Благодаря незначительным углам расхождения пучков, возвращаемых к источнику света, отраженный свет легко воспринимается водителем.

Сегодня применяются так называемые плоскопризмные световозвращатели, изготавливаемые из полимерных материалов и имеющие плоскопризмную оптическую систему, выполненную с высокой точностью расположения трех взаимно перпендикулярных отражающих граней (рис. 9.2).

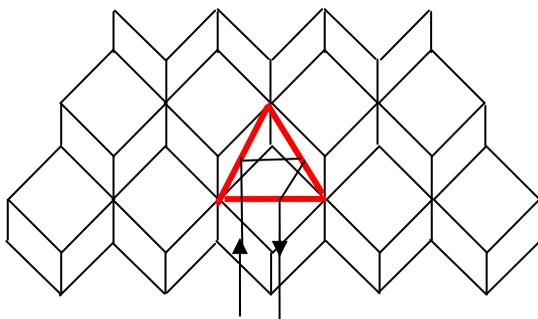


Рис. 9.2. Плоскопризмный световозвращатель

Такие световозвращатели эффективны при сравнительно небольших углах падения света на поверхность (до углов $\pm 35^\circ$), однако дальность видимости их в свете фар составляет около 600 м, что значительно выше дальности видимости шаровых световозвращателей.

Требования к световозвращателям формулируются Правилами ЕЭК ООН № 3, согласно которым световозвращатели делятся на следующие классы: IA, IB – для автомобилей; IIIA, IIIB – для прицепных транспортных средств. Индекс В имеют световозвращатели, сгруппированные с другими сигнальными фонарями.

Световозвращатели класса IA, IB должны иметь форму не похожую на буквы, цифры и треугольник. Допускается форма, напоминающая буквы и цифры простой конфигурации O, I, U и 8. Световозвращатели класса IIIA, IIIB имеют форму равностороннего треугольника и устанавливаются углом вверх в задней части прицепов и полуприцепов.

Для автомобилей обязательно наличие двух задних световозвращателей красного цвета класса IA, IB. На транспортных средствах длиной более 6 м, а также на всех прицепах и полуприцепах на боковой стороне устанавливают световозвращатели оранжевого цвета класса IA, IB. Кроме того, прицепы и полуприцепы должны иметь спереди два световозвращателя белого цвета класса IA, IB.

Перечисленные световозвращатели устанавливаются на высоте от 250 до 900 мм над поверхностью дороги (максимум 1500 мм, если соблюдение величины в 900 мм невозможно из-за формы кузова).

Все автомобильные световозвращатели, отвечающие требованиям Правил ЕЭК ООН, являются плоскопризмными.

9.2.3. Система автономного освещения автомобиля

В темное время суток при слабом освещении значительно усложняется работа водителя из-за ухудшения видимости дороги и объектов на ней. Различают физиологическую и геометрическую видимость.

Физиологическая видимость характеризует зрительный процесс водителя и возможность зрительного обнаружения объекта. Она зависит от яркостей фона L_{ϕ} и объекта $L_{об}$, угловых размеров объекта и оценивается величиной яркостного контраста

$$K = \frac{(L_{об} - L_{\phi})}{L_{\phi}}.$$

Чем выше значение K , тем виднее объект на фоне дороги, тем больше вероятность распознавания его водителем.

Геометрическая видимость (дальность видимости) – основная характеристика условий видимости, так как с ней связаны важнейшие параметры движения – скорость и остановочный путь автомобиля.

При движении автомобиля в темное время суток водитель должен видеть не только в пределах угла острого зрения, но и в пределах так называемых информативных зон.

Информативными зонами видимости водителя называются зоны, в пределах которых ему необходимо получать исчерпывающую зрительную информацию об окружающей обстановке (направление дороги; расположение основных геометрических элементов и элементов обустройства дороги, регулирующих дорожное движение; препятствия в виде пешеходов и других участников движения; разрушения, выбоины и случайные предметы на проезжей части). Перечисленные источники информации обычно находятся на некотором расстоянии от оси зрения водителя, поэтому обеспечение видимости необходимо не только по оптической оси зрения водителя, но и в пределах необходимых для его углов видимости.

Для создания необходимых условий видимости дороги достаточно оборудовать автомобиль фарами четырех типов: ближнего, дальнего, широкоугольно-противотуманного и скоростного света.

Фары ближнего света предназначены для освещения дороги впереди автомобиля при нормальной прозрачности атмосферы с мини-

мально возможным ослеплением водителей других транспортных средств при встречном разъезде и при движении за автомобилем-лидером, когда ослепление возможно через зеркала заднего обзора.

Фары должны быть расположены спереди автомобиля на равном расстоянии от плоскости его симметрии, на одинаковой высоте и в одной плоскости, перпендикулярной к его продольной оси. Цвет фар должен быть белым.

Фары дальнего света используются для освещения дороги впереди автомобиля в свободном режиме движения (при отсутствии встречных транспортных средств) при нормальной прозрачности атмосферы. Автомобиль должен иметь не менее двух фар дальнего света, расположенных спереди автомобиля на равном расстоянии от плоскости его симметрии, на одинаковой высоте и в одной плоскости. Они должны быть белого цвета.

Фары широкоугольно-противотуманного света предназначены для улучшения освещения дороги при движении автомобиля по горизонтальным участкам дорог с закруглениями малого радиуса, проезде пересечений, перекрестков и во всех случаях пониженной прозрачности атмосферы (туман, дождь, снегопад и т. п.). Их светораспределение в наибольшей степени соответствует условиям городского движения.

Цвет противотуманных фар должен быть белым или желтым, но обязательно одинаковым для обеих фар, установленных на автомобиле. Установка противотуманных фар факультативна.

Использование фар скоростного света (фар-прожекторов) возможно при малоинтенсивном движении на прямых участках дорог на автомобилях, к которым предъявляются повышенные требования безопасности.

Фары ближнего света. Наиболее распространенными являются головные фары ближнего света с европейской и американской асимметричной системой светораспределения.

В фарах с европейской системой светораспределения (рис. 9.3) оптический элемент сделан в виде параболического отражателя 1 с углом охвата более 180° . Нить накала ближнего света (цилиндрической формы) 2 расфокусирована вперед по оптической оси. При этом образуется быстросходящийся световой пучок. Часть его, отраженная от верхней части отражателя, направлена вниз, то есть на дорогу, а часть, отраженная от нижней части, – вверх. Чтобы исклю-

чить пучки света, идущие от нижней части отражателя вверх, то есть в сторону глаз водителя встречного автомобиля, нить накала ближнего света перекрывается снизу непрозрачным экраном 3. Экран имеет специальную конструкцию: его правый край горизонтален, а левый наклонен вниз под углом 15° . Благодаря этому часть светового пучка, отраженная от сектора левой нижней части отражателя, открываемого срезом экрана, направляется вправо, за счет чего значительно увеличивается сила света в направлении правой стороны дороги и правой обочины.

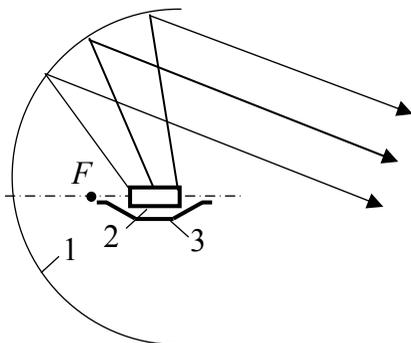


Рис. 9.3. Фара ближнего света с европейской системой светораспределения

Световой пучок ближнего света такой фары имеет ярко выраженный асимметричный характер и резкую светотеневую границу, правая часть которой поднимается под углом 15° (рис. 9.4).

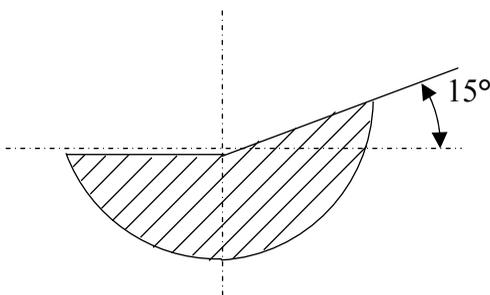


Рис. 9.4. Форма светового пучка европейской фары

Фара с американской системой распределения ближнего света (рис. 9.5) также имеет параболический отражатель с углом охвата более 180° . Нить накала ближнего света расфокусирована вверх и влево, при этом работает весь отражатель.

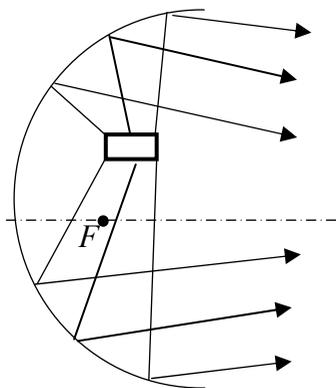


Рис. 9.5. Фара ближнего света с американской системой светораспределения

Лучи, исходящие от нижней части отражателя направлены вверх и влево. Стекло рассеиватель в этом случае имеет большое значение (по сравнению с рассеивателем фары европейского типа), так как система его микроэлементов служит для перераспределения лучей, направленных вверх и влево (от нижней части отражателя), вниз и вправо. Необходимость изменения структуры светового пучка с помощью рассеивателя значительно усложняет его конструкцию и ужесточает требования к точности изготовления микроэлементов.

Благодаря особенностям светооптической схемы преимущественно освещается правая сторона дороги, а сила света в направлении глаз водителя встречного автомобиля снижается. Вся система оптических микроэлементов рассеивателя рассчитывается так, чтобы обеспечить наилучшее распределение только ближнего света, что неизбежно ведет к ухудшению распределения дальнего света.

Световой пучок американской фары ближнего света также имеет ассиметричный характер, но не имеет четких светло-темных границ.

Сравнивая принципиально разные европейскую и американскую системы распределения ближнего света, необходимо отметить сле-

дующее: основой европейской системы является требование не ослеплять водителя встречного автомобиля, которому отвечают все образцы европейских фар; основой американской системы является требование хорошо освещать дорогу, а требование не ослеплять водителя встречного автомобиля выполняется по возможности.

Фары дальнего света. Такие фары как с европейской, так и американской системой светораспределения не имеют принципиального различия. Чаще всего дальний свет совмещается в одной фаре с ближним, кроме четырехфарной системы. Оптический элемент фары (рис. 9.6) состоит из параболического отражателя с углом охвата более 180° , нити накала дальнего света, расположенной в фокусе отражателя. При этой светотехнической схеме все лучи, исходящие от нити накала, попадая на поверхность отражателя, отражаются в направлениях, параллельных оптической оси, образуя узкий пучок большой силы света с незначительным углом рассеяния (см. рис. 9.6).

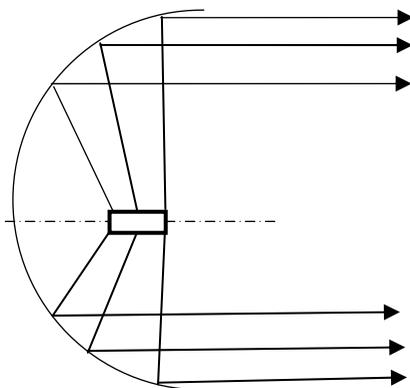


Рис. 9.6. Фара дальнего света

Пройдя через рассеиватель, на внутренней стороне которого расположены отклоняющие призмы, часть светового пучка перераспределяется необходимым образом, что создает на дороге достаточно узкий пучок значительной силы света, обеспечивающий удовлетворительную дальность видимости.

Фары широкоугольно-противотуманного света. Световой поток, проходя через слой туманной атмосферы, частично поглощается и частично рассеивается. Доля поглощенного потока мала по сравнению

с рассеянным, поэтому можно считать, что ослабление светового потока происходит в результате его рассеяния частицами атмосферы.

Во время тумана, просматривая в свете фар дорогу и препятствия на ней, на яркость поверхности препятствия и дорожного покрытия накладывается рассеянная яркость светового пучка – так называемая вуалирующая яркость. Рассеяние света частицами тумана делает путь светового пучка видимым в темноте. Эта толщина светящейся атмосферы на линии зрения водителя ухудшает условия контраста.

Таким образом, действие туманной атмосферы заключается, во-первых, в ослаблении светового потока фар, что приводит к уменьшению освещенности дороги и препятствий на ней, и, во-вторых, в образовании светящейся толщи атмосферы вдоль линии зрения водителя, что приводит к значительному снижению контраста. Чем концентрированнее световой пучок, тем больше снижение контраста.

При высокой точности изготовления элементов рассеивателя противотуманных фар световой пучок в горизонтальной плоскости расширяется и достигается достаточная видимость дороги и препятствий на ней в темное время суток в условиях низкой прозрачности атмосферы, а следовательно, становится возможным увеличение скорости автомобиля при одновременном повышении безопасности движения.

Оптический элемент противотуманной фары состоит из лампы накаливания, нить которой расположена в фокусе параболического отражателя, экрана перед лампой, препятствующего выходу прямых лучей лампы, а также рассеивателя с вертикальными цилиндрическими линзами, служащими для расширения светового пучка в горизонтальной плоскости (отсюда название широкоугольно-противотуманный свет). Цвет излучаемого света не имеет значения (желтый или белый), а качество фары определяется углом расширения светового пучка.

Угол расширения светового пучка противотуманной фары в горизонтальной плоскости должен быть не менее 60° . У лучших образцов фар угол рассеяния превышает 120° . Эта особенность светораспределения противотуманных фар позволяет использовать их при движении автомобиля по горизонтальным участкам дорог с закруглениями, особенно малых радиусов, так как благодаря большому углу рассеяния световой пучок освещает участок дороги, лежащий за поворотом еще до изменения направления движения автомобиля.

Фары скоростного света. Фары такого типа (фары-прожекторы) устанавливаются на автомобили, водителям которых, исходя из особых требований безопасности движения (междугородные и международные автобусы), необходимо создать очень хорошие условия видимости дороги и объектов на ней. В этом случае видимость должна приближаться к дневной, то есть должна быть обеспечена дальность видимости не менее 200 м и угол рассеяния светового пучка в горизонтальной плоскости не менее 30° .

Оптический элемент фары-прожектора имеет светооптическую схему, принципиально подобную схеме фары дальнего света. Он состоит из параболического отражателя, односторонней лампы накаливания повышенной мощности (до 300 Вт) и рассеивателя с несложным набором микроэлементов. Все лучи, исходящие от нити накала, отражаются параллельно оптической оси и образуют узкий световой пучок значительной силы света. Проходя через микроэлементы рассеивателя, световой пучок несколько расширяется в горизонтальной плоскости.

Следует отметить, что на автомобилях других типов применение фар скоростного света строго ограничивается, так как автомобиль с ними при высокой интенсивности движения может стать источником повышенной опасности для всех участников движения.

9.2.4. Пути совершенствования системы автономного освещения автомобиля

Совершенствование системы автономного освещения автомобиля идет сегодня по ряду направлений.

Фары с галогенными лампами. Они представляют собой разновидность ламп накаливания, основной отличительной чертой которых является наличие паров галогена в колбе. Пары галогена, вступающая в реакцию с вольфрамом, осажденным на стенках колбы, образуют неустойчивое при высокой температуре соединение. Около нити накала (область высоких температур) происходит распад соединения галогена с металлом, и последний осаждается обратно на нить, что приводит к ее восстановлению. Главное преимущество галогенных ламп заключается в постоянстве светового потока, так как их внутренняя поверхность со временем не темнеет (на ней не осаждается испарившийся вольфрам). Светоотдача у них выше, чем

у обычных ламп, так как температура тела накала на 30 % выше. Например, обычная лампа накаливания при мощности 55/50 Вт (дальний и ближний свет соответственно) выдает световой поток в пределах 400–550 лм (люмен – единица светового потока), а близкая к ней по мощности галогенная лампа мощностью 60/55 Вт – в пределах 1000–1650 лм. Немаловажно и то, что по сроку службы галогенные лампы превосходят обычные почти вдвое из-за того, что нить накала восстанавливается.

Внутренняя геометрия галогенной лампы близка к геометрии обычной лампы накаливания европейского типа. Дальность действия фар с галогенными лампами значительно больше, чем у обычных ламп накаливания, и может достигать 400 м (у лучших образцов обычных фар – 120–150 м).

В оптических элементах односветовых фар используются однонитевые галогенные лампы типов Н₁, Н₂ и Н₃, стандартизованные ЕЭК ООН. Они отличаются друг от друга в основном различной конструкцией цоколя. Двухнитевая галогенная лампа, предназначенная для установки в двухсветовые фары, получила обозначение Н₄.

Ксеноновые лампы. Они получили свое название из-за того, что колбы таких ламп наполнены газом – ксеноном. Такие лампы имеют индекс D. Они весьма надежны и обладают большей светоотдачей (при электрической мощности 35–40 Вт световой поток достигает 3200 лм). Срок службы газоразрядных ламп – 1500 часов. В ксеноновых газоразрядных лампах светится не раскаленная нить, а сам газ, вернее, электрическая дуга, которая возникает между электродами при газовом разряде при подаче высоковольтного напряжения. Впервые такие лампы (Bosch Litronic) были установлены на серийном BMW 750i в 1991 году. Газоразрядные лампы намного эффективнее самых совершенных ламп накаливания – на бесполезный нагрев здесь расходуется не 40 % электроэнергии, а всего 7–8 %. Соответственно, газоразрядные лампы потребляют меньше энергии (35 Вт против 55 Вт у галогенных) и светят при этом вдвое ярче (3200 против 1500 лм). А поскольку нити накала нет, то и перегорать нечему – ксеноновые газоразрядные лампы служат гораздо дольше обычных. Лампы накаливания имеют очень низкую светоотдачу (15 лм/Вт), и львиная доля электроэнергии тратится на обогрев окружающей среды. У галогенных ламп этот показатель составляет 24 лм/Вт, а у ксеноновых – 80–90 лм/Вт.

Но устройство газоразрядных ламп сложнее. Главная задача – зажечь газовый разряд. Для этого из 12 В постоянного тока бортовой сети нужно получить короткий импульс в 25 кВ, причем переменного тока, с частотой до 300 Гц. Для этого служит специальный модуль зажигания. Когда лампа зажглась (для разогрева требуется некоторое время), электронный блок управления снижает напряжение до 85 В, достаточных для поддержания разряда.

Сложность конструкции ограничила первоначальное применение газоразрядных ламп режимом только ближнего света, а дальний свет обеспечивала галогенная лампа. Объединить ближний и дальний свет в одной фаре, так называемый биксенон, конструкторы смогли через шесть лет. Существуют два способа его получения. В фаре фирмы «Bosch» переключение режимов света осуществляется экраном, который в режиме ближнего света выдвигается и отсекает часть лучей. При включении дальнего света экран прячется и не препятствует световому потоку. В фаре фирмы «Hella» газоразрядная лампа с помощью соленоида перемещается вдоль оптической оси и ее светящийся разряд попадает либо в фокус отражателя (дальний свет), либо перед фокусом (ближний свет).

Компенсаторы нагрузки. Известно, что направление светового пучка фар меняется в зависимости от степени загрузки автомобиля, от конструкции и состояния элементов подвески, шин и т. д. В этой связи необходима возможность изменения положения фар при изменении загрузки автомобиля. Такие устройства называются компенсаторами нагрузки и по принципу действия разбиты на две группы: принудительного действия и автоматические.

Компенсаторами принудительного действия можно управлять снаружи или дистанционно из кабины. Устройства, управляемые снаружи, встроены в фару, всегда имеют механический привод и две или три ступени регулирования. При двух ступенях: первая ступень соответствует положению фар при порожнем, а вторая – при загруженном автомобиле. При трех ступенях: первая ступень – нагрузка только на переднем сиденье, вторая – на переднем и заднем; третья – на переднем, заднем и в багажнике. Дистанционные компенсаторы принудительного действия могут иметь электрический или гидравлический привод. В первом случае отражатель фары поворачивается с помощью реверсивного электродвигателя, во втором – с помощью жидкости.

Автоматические компенсаторы изменяют положение оптических элементов фар в зависимости от нагрузки, без вмешательства водителя, бывают электрические и гидравлические.

Устройство с электроприводом, например, от реверсивного электродвигателя работает следующим образом. Электродвигатель, который изменяет положение фар, управляется с помощью электронного устройства, реагирующего на изменение индуктивности катушек, сердечники которых связаны с подвеской автомобиля.

Гидравлические компенсаторы, автоматически регулирующие положение фар, состоят из систем задающих и исполнительных цилиндров. Задающие цилиндры устанавливаются на шасси автомобиля, а штоки их поршней соединяются с подвеской. Исполнительные цилиндры связаны с фарами. В случае изменения нагрузки поршень задающего цилиндра перемещается на большую или меньшую величину. Соответственно, в исполнительном цилиндре перемещается поршень, шток которого изменяет угол наклона фары в вертикальной плоскости.

Поворачивающиеся фары. Попытки повернуть фары автомобиля вслед за управляемыми колесами предпринимались сразу после появления самих фар. Ведь это удобно – освещать ту часть дороги, куда поворачивает автомобиль. Однако механическая связь фар и рулевого колеса не позволяла соотносить угол поворота лучей со скоростью движения, и так называемый «адаптивный» свет был запрещен.

Теперь идея поворота фар в горизонтальной плоскости реализуется на новом уровне с применением электронного управления. Самое простое решение – дополнительная «боковая» лампа в фаре, которая загорается при повороте рулевого колеса или при включении указателя поворота на скорости до 70 км/ч. Подобные фары имеют, к примеру, Audi A8 и Porsche Cayenne. Следующая ступень – действительно поворотные фары. В них биксеноновая фара с учетом скорости движения, угла поворота рулевого колеса и угловой скорости автомобиля вокруг вертикальной оси («датчик поворота») поворачивается вслед за рулевым колесом в пределах 15–22° наружу и на 7° внутрь. Такими фарами оснащаются BMW, Mercedes, Lexus и даже Opel Astra.

Устройства для автоматического переключения света фар. Такие устройства позволяют переключать свет фар с дальнего на ближний и наоборот при встречном разъезде автомобилей без уча-

ствия водителя. При всем многообразии такие устройства состоят из фотоэлектронного датчика, устанавливаемого в передней части автомобиля, и электрорелейного блока. При освещении датчика светом фар встречного автомобиля происходит переключение дальнего света фар на ближний, а когда освещение исчезает – снова на дальний. При этом предусмотрена и возможность ручного переключения.

9.2.5. Система внешней световой сигнализации автомобиля

Передаваемая светосигнальными приборами информация должна отвечать следующим требованиям: надежно восприниматься в любое время суток и при любых метеорологических условиях; быть понятной для всех участников движения, включая пешеходов; полностью исключать двойственное толкование.

Число, расположение, цвет и видимость сигналов регламентируются Правилами ЕЭК ООН № 48.

К настоящему времени установлен минимальный комплект обязательных для каждого транспортного средства светосигнальных приборов: указатели поворотов, сигналы торможения, габаритные огни, фонарь освещения номерного знака, огонь преимущественного права проезда транспортного средства

Сигнал торможения предупреждает других участников движения о замедлении хода или остановке автомобиля в светлое и темное время суток. Автомобиль должен иметь два сигнала торможения, которые устанавливаются в задней части автомобиля. Сигналы торможения должны быть красного цвета.

Габаритные огни (передние и задние) обозначают габариты автомобиля в темное время суток или в условиях пониженной видимости. Автомобиль должен иметь два передних габаритных огня белого цвета и два задних красного цвета

Указатели поворотов (передние и задние) работают в мигающем режиме в любое время суток и предупреждают других участников движения о намерении водителя автомобиля изменить направление движения. При повороте включаются фонари с той стороны, в какую поворачивает транспортное средство. Автомобиль должен иметь два задних и два передних указателя поворотов оранжевого цвета.

Боковые повторители указателей поворотов работают синхронно с указателями поворотов в любое время суток и предупреждают водителей автомобилей, совершающих обгон, о намерении водителя обгоняемого автомобиля изменить направление движения. Рассеиватель бокового повторителя поворотов должен быть оранжевого цвета.

Фонарь освещения номерного знака освещает задний номерной знак в темное время суток и в условиях ограниченной видимости. Он должен загораться одновременно с габаритными огнями и освещать всюлицевую поверхность заднего номерного знака, не попадая своими прямыми лучами в поле зрения водителей других транспортных средств. Фонарь должен иметь бесцветный рассеиватель.

Огонь преимущественного права проезда транспортного средства обязателен для установки на специальных автомобилях оперативных служб: скорой помощи, пожарных, милицейских и некоторых других. Такой фонарь синего цвета и оснащен круговым мигающим сигналом. Он устанавливается на крыше автомобиля. Водители автомобилей с включенным таким сигналом имеют право отступать от выполнения требований Правил дорожного движения, однако в случае совершения ДТП не освобождаются от ответственности.

Кроме перечисленных обязательных сигналов, существуют дополнительные световые сигналы и фонари: фонари заднего хода, стояночные огни, световой указатель автопоезда, сигнал аварийного состояния автомобиля, сигналы увеличения габаритов, задние противотуманные фонари, боковые габаритные огни.

Фонари (фары) заднего хода устанавливаются на задней части автомобиля (один или два). Они имеют бесцветный рассеиватель и служат для предупреждения участников движения о перемещении автомобиля назад. Эти фонари должны освещать водителю некоторое пространство позади автомобиля (не менее 5 м), поэтому правильнее их называть фарами заднего хода.

Стояночные огни обычно располагают на передней или задней стойках кузова. Их функция – обозначать автомобиль, находящийся на стоянке, все остальные огни которого выключены. Передние стояночные огни должны быть белого цвета, а задние – красного, часто они конструктивно выполняются в одном корпусе.

Световой указатель автопоезда выполняют в виде трех фонарей с рассеивателями оранжевого цвета. Они устанавливаются на

крыше кабины автомобиля-тягача как опознавательный сигнал наличия у него прицепа или полуприцепа и включаются при движении автомобиля в любое время суток.

Сигнал опасного состояния автомобиля (аварийная сигнализация) включается, когда автомобиль из-за технической неисправности или других причин представляет собой опасность для других участников движения. Этот сигнал предусматривает одновременную работу в мигающем режиме всех указателей поворота.

Указатели увеличения габаритов представляют собой фонари красного цвета, устанавливаемые на торцах дверей кузова и включающиеся при их открывании.

Задние противотуманные фонари – один или два красных огня повышенной силы света, улучшающие видимость автомобиля сзади в тумане. Два фонаря устанавливаются симметрично продольной плоскости автомобиля. Один противотуманный фонарь устанавливается со стороны, противоположной стороне движения, то есть при правостороннем движении противотуманный фонарь устанавливается слева, а при левостороннем – справа. Согласно стандарту задние противотуманные фонари устанавливаются не выше 1200 и не ниже 400 мм от поверхности дороги.

Боковые габаритные фонари. Согласно европейским стандартам такие фонари следует устанавливать на автомобили длиной более 6 м, а также на прицепы и полуприцепы. Боковые габаритные фонари размещаются по длине и высоте транспортного средства так же, как и боковые световозвращатели.

9.2.6. Совершенствование системы внешней световой сигнализации

Основными направлениями совершенствования приборов внешней световой сигнализации автомобилей являются:

- установление рационального состава сигнальных фонарей;
- выбор рациональных конструкций и мест расположения сигнальных фонарей, исходя из необходимости получения полной и однозначной информации;
- совершенствование фонарей с точки зрения их восприятия в различное время суток и в различных дорожно-метеорологических условиях.

Считается, что обязательный комплект сигнальных фонарей автомобиля и перечисленный выше комплект дополнительных фонарей в основном исчерпывают потребность в устройствах передачи информации, а дальнейшее их увеличение приведет к усложнению и путанице в восприятии и расшифровке передаваемых сигналов. Однако введение некоторых дополнительных сигналов может существенно повысить безопасность движения. К числу таких сигналов относят сигналы, информирующие всех участников движения о скорости и режиме движения автомобиля (разгон, равномерное движение, торможение двигателем, служебное и экстренное торможение). Такая информация позволит водителю лучше ориентироваться в условиях плотных, многорядных транспортных потоков, в режимах следования за лидером и в режиме обгона при наличии встречных автомобилей на полосе обгона.

Существует много предложений дифференциации сигнала торможения в зависимости от степени замедления автомобиля. Среди них выделяются три основных принципа дифференциации: изменение величины силы света; частоты мигания фонарей и включение дополнительных камер фонарей.

Регулировать силу света сигнала торможения предлагается при помощи электрической схемы, преобразовывающей данные давления в тормозной системе или замедления автомобиля в изменение напряжения, регулирующего силу света фонарей.

Предлагаются устройства для получения прерывистого светового сигнала при достижении определенного замедления или в начале торможения, для этого в электрическую цепь сигнала торможения включают колебательный контур с частотой импульсов напряжения, определяемых электроакселерометром. Сигнализатор включается при отпуске педали подачи топлива (торможение двигателем), работая с минимальной частотой мигания сигнала торможения, при нажатии на педаль тормоза частота увеличивается по мере увеличения интенсивности торможения.

Простым решением задачи дифференциации сигнала торможения можно считать предложение включать дополнительные лампы в камере сигнала торможения при достижении определенного давления в тормозной системе или определенного замедления.

Существующее низкое расположение приборов внешней световой сигнализации автомобиля не полностью отвечает современным

требованиям в связи со значительным увеличением плотности и интенсивности транспортных потоков. В этих условиях водитель видит только сигналы ближайших транспортных средств, так как световые приборы автомобилей, движущихся на удалении, закрыты от него соседними транспортными средствами. Это затрудняет водителю прогнозирование изменений в транспортном потоке, когда возмущения транспортного потока возникают на периферии. Поэтому очевидно, что сигнальные фонари целесообразно устанавливать (или дублировать) на большей высоте.

Для наилучшего восприятия каждый из сигналов должен отличаться от других по крайней мере двумя признаками из следующих трех: расположение фонарей на расстоянии не менее 100 мм; различие цветов и различие яркостей (для близко расположенных фонарей соотношение яркостей должно быть не менее 4 : 1).

Для того чтобы сигнальные приборы могли успешно выполнять свои функции, подаваемые ими сигналы должны быть хорошо видны в любое время суток. Видимость светового сигнала зависит не только от силы излучаемого света, но и от уровня яркости адаптации глаз наблюдателя. Поэтому сигнал, хорошо видимый ночью, будет плохо виден днем, а сигнал, хорошо видимый днем, в темное время будет ослеплять других участников движения. Так как эти два очень противоречивых требования не удалось совместить в одном режиме работы сигнала, ЕЭК ООН были разработаны требования для приборов, работающих в двух режимах – днем и ночью. К этим приборам относятся задние указатели поворотов и сигналы торможения. Остальные сигналы либо работают только ночью (габаритные огни, фонарь освещения номерного знака), либо на фоне световых пучков фар (передние указатели поворотов) и поэтому не могут повлиять на суммарное слепящее действие передних огней автомобиля.

Достичь этого можно как с помощью дополнительных сопротивлений, так и с помощью светосигнальных приборов на основе жидких кристаллов. К жидким кристаллам относятся вещества, образующие по структуре промежуточное состояние между жидкостью и твердым телом, их свойства можно использовать в светосигнальных приборах.

Одним из таких свойств является эффект динамического рассеивания. Он заключается в появлении аномального рассеяния света в жидкокристаллическом веществе при изменении приложенного

к нему напряжения и сопровождается переходом от прозрачного состояния к непрозрачному.

Для практического использования этого эффекта применяется электрооптическая ячейка, представляющая собой две параллельные стеклянные пластинки, в зазоре между которыми помещен слой жидкого кристалла. Величина зазора 10–100 мкм. Упомянутый эффект наблюдается при изменении напряжения от 5 до 30 В, затрачиваемая при этом мощность 0,1 Вт.

В первую очередь жидкие кристаллы целесообразно применять в сигналах поворота и торможения.

9.3. Внутренняя визуальная информативность автомобиля

К устройствам внутренней визуальной информативности относятся панель приборов и устройства, улучшающие обзорность автомобиля. Ранее, до появления понятия «информативность», эти устройства относили к элементам рабочего места водителя.

9.3.1. Панель приборов

В процессе движения водителю необходима информация о состоянии систем и агрегатов управляемого им автомобиля. Эта информация должна поступать к водителю в компактной закодированной форме в виде показаний указателей и индикаторов с панели приборов.

Панель приборов состоит из различных информационных индикаторов, которые должны обеспечивать водителя информацией о состоянии систем и агрегатов, о течении процессов в них, о скорости движения автомобиля в форме, пригодной для восприятия. Эти устройства необходимо конструировать так, чтобы обеспечивалось быстрое прочтение и однозначное понимание водителем визуальной информации, которая выносится на панель приборов.

Показания контрольно-измерительных приборов и сигнализаторов приборной панели несут достаточно разнообразную информацию, которую по важности содержания можно разделить на информацию:

- о состоянии систем автомобиля, обеспечивающих безопасность движения;
- об эксплуатационном состоянии систем и агрегатов;
- прочие сведения.

Обычно приборы размещаются непосредственно перед водителем и, как правило, симметрично относительно оси рулевой колонки. Конструктивно приборы (стрелочные указатели и световые сигнализаторы) объединяют в единый комплекс – панель приборов. Монтаж приборов выполняют тремя способами: в виде специального щитка, в едином корпусе (комбинация приборов) и смешанным (часть приборов на щитке, а часть расположена отдельно).

Состав контрольных приборов и сигнализаторов современных автомобилей достаточно стабилен. Он зависит от типа, назначения и класса автомобиля.

Современные панели приборов могут состоять из разного числа приборов – от двух (спидометр и указатель топлива) до восьми и более. В состав приборной панели, состоящей из трех приборов, входят: спидометр, указатели запаса топлива и температуры охлаждающей жидкости двигателя (или температуры масла для двигателей с воздушным охлаждением). Эти приборы можно считать обязательными для установки на автомобили малого класса. В состав приборной панели, состоящей из четырех приборов, кроме перечисленных, как правило, устанавливаются тахометр, реже амперметр или вольтметр. В случае применения пяти приборов к указанным четырем добавляется амперметр или вольтметр, а чаще – указатель давления масла в двигателе. В состав панели из шести приборов входит спидометр, тахометр, указатели запаса топлива и температуры охлаждающей жидкости, амперметр или вольтметр и указатель давления масла в двигателе.

Приборные панели грузовых автомобилей должны включать в себя следующие контрольно-измерительные приборы: спидометр или тахограф, указатель температуры охлаждающей жидкости, указатель давления масла в двигателе, указатель запаса топлива в баке, амперметр (или вольтметр), манометр давления в пневмосистеме тормозов.

Состав световых контрольных и аварийных сигнализаторов, устанавливаемых на панели приборов, также может быть разным. Однако основной перечень следующий: контрольные лампы указателей поворота, включения дальнего света фар и стояночного тормоза, режима работы генератора, габаритных огней; аварийные сигнализаторы давления масла в двигателе, температуры охлаждающей жидкости, аварийный запас топлива.

Требования к конструкции панели приборов. При организации потока зрительной информации необходимо учитывать характеристики пространственного видения человека. Полное поле зрения человека охватывает в вертикальной плоскости пространство в границах 70° ниже и 60° выше уровня глаз, а по горизонтали 60° в обе стороны от вертикальной оси симметрии тела. В пределах этого пространства человек может контролировать различные объекты только за счет перемещения глаз. Именно в этом поле зрения желательно устанавливать индикаторные приборы.

Приборная панель автомобиля, как правило, располагается в зоне 20° вправо и влево и ниже уровня глаз водителя. Все индикаторы расположены в периферической части поля зрения, и во время движения водитель вынужден перемещать взгляд на приборную панель для считывания показаний приборов и индикаторов. При этом нарушается процесс слежения за дорогой, что может привести к аварийной ситуации. Это не позволяет пользоваться контрольно-измерительными приборами без ущерба для безопасности движения. Поэтому основное требование, которое предъявляется при конструировании приборной панели автомобиля, – минимизация времени считывания показаний, а требование точности считывания отступает на второй план. Выполнение основного требования возможно при рациональной компоновке панели приборов и подборе оптимальных параметров отдельных индикаторов.

Проектируя приборную панель, руководствуются различными принципами, определяющими компоновку приборов. Одним из них является принцип значимости, согласно которому центральное место на панели должны занимать приборы и сигнализаторы, информирующие о безопасности. В автомобиле к таким приборам относится спидометр, который имеет большие размеры и расположен в центральной части панели, а также сигнализаторы, срабатывающие при отказе систем, обеспечивающих безопасность.

Следующий принцип, который должен соблюдаться при компоновке панели приборов – принцип частоты использования, требующий сосредоточения в центральной части панели наиболее часто используемых приборов.

Требования к подсветке панели приборов. На удобство и скорость снятия показаний с приборов существенно влияет их подсветка, так как при понижении освещенности восприятие показаний приборов

резко ухудшается. Основное требование, предъявляемое к подсветке приборов, – обеспечение такой же видимости показаний, как и в дневных условиях наблюдения. С другой стороны, яркость освещения шкал приборов не должна повышать уровень яркостной адаптации глаз водителя и ослеплять его. К наиболее важным факторам, определяющим выполнение перечисленных требований, можно отнести: величину, равномерность освещенности приборов и цвет освещения.

Величина и равномерность освещения приборов зависит от способа освещения, размеров освещаемых поверхностей шкал приборов и яркости отдельных элементов. Однако данных по числовым характеристикам перечисленных параметров не имеется. Их отсутствие конструкторы компенсируют регулировкой яркости подсветки, величину которой водитель может выбрать самостоятельно. Кроме этого, устанавливают выключатель подсветки отдельно от выключателя габаритных огней.

В качестве цвета подсветки приборов наиболее часто применяются белый, зеленый, голубой, реже красный.

Требования к световым сигнализаторам. К световым сигнализаторам панели приборов предъявляются те же два противоречивых требования, что и к освещению приборов. С одной стороны, сигнализаторы должны быть хорошо различимы и практически сразу обращать на себя внимание в дневных условиях и, с другой стороны, не менять уровень световой адаптации и не ослеплять водителя в темное время суток.

Наиболее важными факторами, определяющими восприятие световых сигналов водителем, являются: яркость адаптации глаз водителя, яркость сигнализатора, размеры его светового отверстия, цвет, равномерность свечения и расположение в поле зрения.

Число сигнализаторов колеблется в широких пределах от 4 до 13 и имеет тенденцию к росту. Световые сигнализаторы являются как самостоятельными элементами индикации для контроля за включением, работой и состоянием ряда механизмов и систем автомобиля, так и дополняют стрелочные приборы. Эти сигнализаторы информируют водителя о возникновении аварийных режимов работы агрегатов и систем автомобиля.

Их применение вызвано тем, что стимулом обращения к прибору для водителя не может служить изменение положения стрелки, так как приборы находятся в области периферического зрения, вероят-

ность обнаружения изменения значения какого-либо контролируемого параметра только по положению стрелки мала.

В качестве источников света в сигнализаторах применяют различные лампы накаливания мощностью не более 3 Вт. Рост числа световых сигнализаторов требует более плотного их монтажа на панели приборов, что приводит к уменьшению светового отверстия и применению миниатюрных, в частности, безцокольных ламп.

Согласно международным стандартам по условным знакам и цветам контрольных устройств сигнализаторы приборной панели автомобилей выполняют в основном четырех цветов: красного, оранжевого, зеленого и голубого. Эти цвета могут быть использованы как мигающие и постоянные огни. Красный цвет рекомендуется для аварийной сигнализации, а также сигнализации о недостаточном уровне жидкости в тормозной системе и давления воздуха в пневмосистеме. Зеленый цвет используется для контроля за включением прожекторов дальнего действия, указателя поворотов (мигающий), габаритных огней и кондиционирования воздуха. Оранжевый цвет применяется для сигнализации о включении стояночного тормоза и заряда аккумуляторной батареи. Голубой цвет рекомендован для контроля за включением дальнего света фар.

9.3.2. Совершенствование состава контрольных приборов и параметров, подлежащих контролю

Совершенствование состава контрольных приборов и параметров, подлежащих контролю, можно разделить по направлениям на несколько групп.

К первой группе относятся устройства, с помощью которых осуществляется комплексный контроль параметров автомобиля, его агрегатов и систем. Большинство таких устройств предназначено для контроля за состоянием систем и агрегатов автомобиля, непосредственно обеспечивающих безопасность движения. Они, как правило, включают в себя датчики, размещенные в различных узлах автомобиля, электронную схему, обеспечивающую получение и усиление сигналов от датчиков, и индикаторы. В качестве индикаторов чаще всего применяют световые сигнализаторы и дополняют их звуковыми сигнализаторами. Принципиально новыми здесь являются индикаторы, в которых информация выводится на дисплей.

Ко второй группе относят новые конструкции спидометров и устройств, сигнализирующих о превышении допустимой скорости. В качестве источника информации об этом предлагается использовать световые и звуковые сигнализаторы. Скорость, как правило, может задаваться водителем с помощью специальных клавиш. К этой же группе следует отнести новые конструкции спидометров, выводящих скорость и пробег автомобиля на приборную панель в цифровом виде. Предлагается конструкция спидометра с блокирующим устройством, которое при резком замедлении в результате ДТП фиксирует стрелку спидометра, что позволяет определить скорость автомобиля в момент аварии.

К третьей группе относятся устройства, с помощью которых осуществляется контроль за исправностью тормозной системы автомобиля (давление в системе гидропривода, уровень тормозной жидкости, предельная степень износа тормозных накладок).

В четвертую группу входят устройства, контролирующие исправность внешнего светового оборудования. В одних случаях меняется частота проблесков контрольных ламп (для сигналов поворота), в других при выходе их из строя контролируемой лампы или разрыве цепи загорается световой сигнализатор на панели. Предлагаются системы, информирующие водителя о необходимости выключения наружного освещения при выходе из автомобиля, а также о необходимости его включения в нужное время.

В отдельную группу входят приборы для контроля за расходом топлива и его остатком. Эти приборы работают по принципу сравнения количества топлива, протекающего по трубопроводу за единицу времени, со скоростью движения. Результат выводится на дисплей либо в среднем расходе в литрах на 100 км пути, либо в мгновенном расходе топлива в литрах на 100 км пути, либо в расстоянии, которое может пройти автомобиль с данной скоростью на топливе, оставшемся в баке.

Существует группа устройств, сигнализирующих о безопасной дистанции до различных объектов, что помогает водителям предотвратить столкновения автомобилей и наезды на препятствия. Все устройства данной группы состоят из излучателей (УКВ, ультразвук, инфракрасные лучи и пр.), приемников и логических устройств, сравнивающих параметры движения автомобиля и расстояние до пре-

пятствия. При приближении к критическому значению этого расстояния водителю подается световой и (или) звуковой сигнал.

В отдельную группу собраны устройства, которые контролируют различные параметры автомобиля, традиционно не контролируемые сегодня: давление в шинах в процессе движения, состояние запоров дверей, капота и багажника, предельное содержание вредных веществ в салоне автомобиля и др.

Предлагается ряд приборов, контролирующих состояние и поведение водителя. Они предотвращают засыпание водителя за рулем и управление автомобилем в состоянии опьянения или сильного утомления. Выделяют несколько принципов действия таких приборов, основанных на анализе выдыхаемого водителем воздуха, правильной последовательности действий водителя при запуске двигателя и трогании автомобиля с места, сравнении числа поворотов рулевого колеса на единицу пути, подаче сигнала водителю, на который он должен отреагировать. Если водитель не выполняет данные условия, двигатель автомобиля отключается и возобновление движения возможно только через определенное время.

Существует группа устройств, позволяющих информировать водителя о состоянии дорожного покрытия: датчики гололеда, срабатывающие при понижении температуры воздуха и высокой влажности; устройства, информирующие о понижении коэффициента сцепления шин с дорогой по проскальзыванию колеса.

9.4. Обзорность автомобиля

Одной из важнейших эксплуатационных характеристик автомобиля с точки зрения безопасности движения является обзорность с рабочего места водителя, так как в современном автомобиле практически единственным сенсорным информатором водителя об окружающей его обстановке является зрение.

Ровная поверхность дорожного покрытия, усовершенствование подвески и систем управления автомобилем практически уничтожили ощущение вибрации и центробежных сил, благодаря которым водитель мог определять скорость и направление движения. Современные системы вентиляции и кондиционирования воздуха позволяют двигаться с закрытыми стеклами, в результате чего практически исчез источник слуховых ощущений.

Таким образом, чем более комфортабельные условия создаются для вождения автомобиля, тем больше водитель зависит от одного органа чувств – зрения, вместо большого сенсорного комплекса.

Под *обзорность* автомобиля понимают его конструктивное свойство, определяющее объективную возможность для водителя беспрепятственно видеть путь движения и объекты, которые могут помешать безопасному движению. Она определяется, в первую очередь, следующими факторами: размеры окон, ширина и расположение стоек кузова, место размещения водителя относительно окон, размеры зон, очищаемых стеклоочистителями, конструкция омывателей лобового стекла, система обогрева и обдува стекол, а также расположение, число и размеры зеркал заднего вида.

Обзорность можно определить на основе анализа ряда параметров, характеризующих ее с качественной и количественной сторон. В зависимости от степени влияния на условия получения зрительной информации водителем во время движения параметры обзорности можно разделить на основные и дополнительные.

Основными являются те параметры обзорности, которые характеризуют условия восприятия водителем важных объектов дорожной обстановки, обычно расположенных в направлении движения автомобиля. Дополнительными называют параметры обзорности, характеризующие условия восприятия водителем объектов, расположение которых не совпадает с направлением движения автомобиля и которые обычно являются дополнительными источниками информации об окружающей среде движения.

Рекомендуемые параметры обзорности автомобиля определяют, исходя из анализа расположения различных объектов дорожной обстановки, которые необходимо видеть водителю для безопасного управления автомобилем.

При определении оптимального угла обзорности вверх учитывается, что он должен обеспечивать водителю видимость светофоров, знаков и других дорожных сигналов, установленных над проезжей частью дороги.

Минимально необходимый угол обзорности вверх должен быть таким, чтобы водитель мог увидеть сигнал светофора на таком расстоянии до места остановки, которое позволило бы водителю принять решение и достаточно плавно остановить автомобиль.

Максимальная высота верхней кромки переднего стекла, ограничивающая верхний предел обзорности, обусловлена двумя требованиями. Во-первых, водитель должен видеть светофор, подвешенный на высоте 5 м над серединой проезжей части, когда автомобиль стоит на стоп-линии на расстоянии 12 м от светофора. Во-вторых, переднее окно не должно быть слишком высоким, так как водитель будет в этом случае страдать от избытка яркого света и тепловых лучей, что наблюдается при верхнем угле обзорности свыше 30° .

Обзорность непосредственно перед автомобилем, то есть нижний угол обзорности, определяется длиной и высотой капота, а также нижней кромкой переднего окна. Она зависит от расположения глаз водителя над дорогой. При движении автомобиля с высокой скоростью по автомагистрали с хорошим покрытием обзорность непосредственно перед автомобилем не играет существенной роли. Однако эта обзорность необходима в следующих ситуациях: при трогании автомобиля с места, чтобы избежать наезда на препятствие, случайно появившееся перед автомобилем; при маневрировании в стесненных условиях (на стоянках, в пунктах погрузочно-разгрузочных работ и т. д.); при движении по дороге с покрытием, находящимся в неудовлетворительном состоянии, когда водитель должен следить за поверхностью дороги непосредственно перед автомобилем; при движении в плотном транспортном потоке, когда водителю необходимо постоянно следить за сигнальными фонарями впереди идущих автомобилей.

Оптимальные углы обзорности в горизонтальной плоскости должны быть такими, чтобы водитель мог видеть объекты при выполнении маневров в плане (при движении автомобиля по криволинейным участкам дорог, при проезде перекрестков и пересечений), а также светофоры, дорожные знаки, указатели и другие объекты, расположенные по сторонам дороги. Обзорность в плане определяется, прежде всего, шириной переднего окна, шириной и расположением передних боковых стоек кабины или кузова. Например, при угловом размере передней боковой стойки кабины, равном 5° , водитель не видит пешехода уже на расстоянии 6 м, а автомобиль средних размеров – на расстоянии 46 м. Вследствие этого место для стоек и форму их поперечного сечения выбирают с учетом бинокулярности зрения человека.

Стеклоочистители. Большое значение для обеспечения хорошей обзорности независимо от метеорологического состояния окру-

жающей среды имеют стеклоочистители, а также система обдува и обогрева стекол. Основное требование, предъявляемое к стеклоочистителям, – очистка как можно большей части лобового стекла и хорошее качество очистки за каждый ход щеток.

Современные стеклоочистители отличаются по конструкции, площади очищаемой поверхности ветрового стекла и по типу привода.

Исходное расположение щеток в выключенном состоянии выбирается из условия создания щетками и рычагами минимальных помех в поле зрения водителя. Обычно они располагаются у нижней кромки лобового стекла. Размер зоны очистки лобового стекла зависит от типа привода (рис. 9.7).

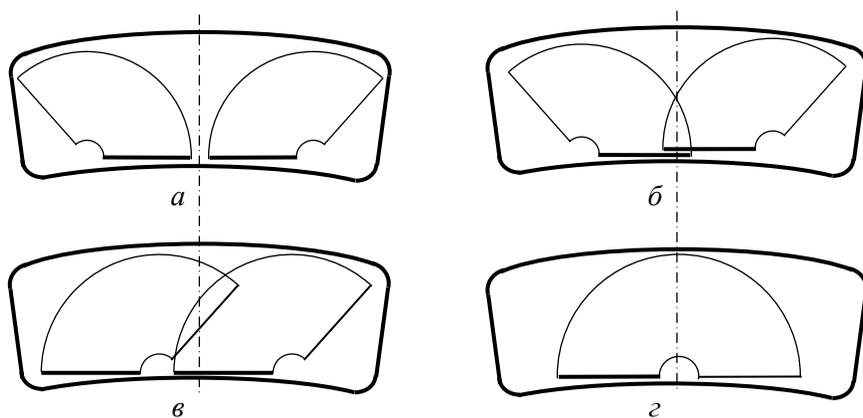


Рис. 9.7. Схемы зон очистки лобового стекла в зависимости от типа привода щеток

При работе по схеме *а* две щетки движутся в противоположных направлениях и посередине лобового стекла остается неочищенный участок. Для устранения этого недостатка делают так, чтобы в средней части стекла зоны очистки перекрывали друг друга (схема *б*). Однако и в этом случае верхняя часть лобового стекла остается неочищенной. При параллельном движении щеток (схема *в*) они движутся в одном направлении. В этом случае очищается значительная часть лобового стекла и не остается явно выраженного неочищенного участка в средней части. При больших поверхностях лобового стекла на грузовых автомобилях и автобусах (МАЗ, VOLVO, DAF, Mercedes, Scania и др.) устанавливаются три или более щеток. На

некоторых моделях легковых автомобилей Mercedes стекла очищаются при помощи одной щетки (схема 2).

Система обдува и обогрева стекол должна устранять запотевание и обмерзание лобового стекла при низкой температуре наружного воздуха.

Зеркала заднего вида. В процессе движения водителю часто приходится оценивать обстановку позади автомобиля, особенно при смене полос движения и совершении обгонов. Для этой цели служат зеркала заднего вида, обзорность через которые зависит от формы отражающей поверхности (выпуклая или плоская), размеров зеркал и мест их размещения относительно глаз водителя.

Для грузовых автомобилей рекомендуются следующие параметры обзорности через зеркала заднего вида (рис. 9.8).

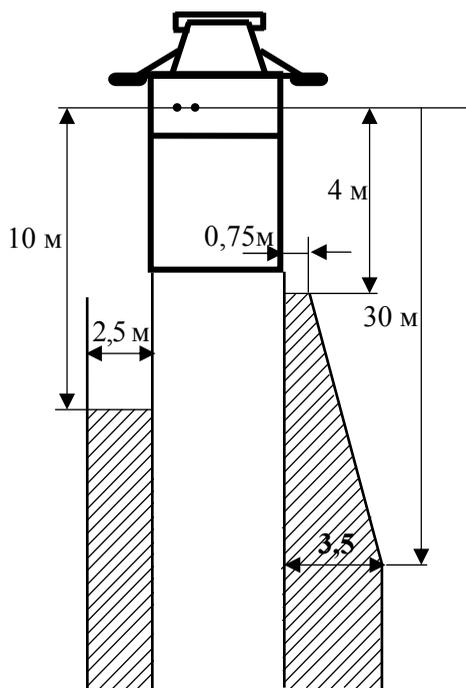


Рис. 9.8. Обзорность через зеркала заднего вида

Поле зрения левого наружного зеркала должно обеспечивать видимость части горизонтальной дороги шириной минимум 2,5 м,

ограниченной справа вертикальной плоскостью, проходящей через левый край габаритной ширины, и заключенной между линией, расположенной на расстоянии 10 м позади глаз водителя и горизонтом.

Поле зрения правого наружного зеркала должно быть таким, чтобы водитель видел часть горизонтальной дороги шириной минимум 3,5 м, ограниченную слева вертикальной плоскостью, проходящей через правый край габаритной ширины, и заключенной между линией, расположенной на расстоянии 30 м позади глаз водителя и линией горизонта. Кроме того, водитель должен видеть часть дороги шириной 0,75 м, расположенную на расстоянии 4 м позади вертикальной плоскости, проходящей через глаза водителя.

9.5. Звуковая информативность автомобиля

При движении автомобиля на орган слуха водителя воздействуют разнообразные звуки, которые можно разделить на две группы: случайные звуки, отвлекающие водителя от управления автомобилем (шумы), и звуки, необходимые водителю, несущие информацию об окружающей обстановке, состоянии агрегатов и механизмов автомобиля и т. п.

Основные источники шума, отвлекающие водителя и отрицательно влияющие на его организм, – двигатель, трансмиссия, ходовая часть, шины, подвеска и кузов. Шум проникает внутрь автомобиля через окна, стенки, пол кабины, а также распространяется по его металлическим конструкциям. Под влиянием такого шума снижается устойчивость ясного видения, ослабляется сумеречное зрение, нарушается деятельность вестибулярного аппарата и наступает преждевременная усталость. Суммарный уровень шума, относящийся к первой группе и ухудшающий состояние водителя, уменьшает информативность внутренней звуковой сигнализации. Ее сигналы становятся плохо различимыми на общем фоне, так как интенсивность их звука должна быть минимум на 10 дБ выше уровня шума в кабине для того, чтобы быть услышанными водителем. Таким образом, снижение звукового фона занимает важное место в общей проблеме повышения звуковой информативности автомобиля.

Борьба с проникновением шума в кабину ведется как с помощью конструктивных усовершенствований двигателя и трансмиссии, так и путем применения современных звукопоглощающих материалов.

Однако нельзя полностью изолировать водителя от звуков, возникающих вне кабины, так как он должен воспринимать работу двигателя и систем своего автомобиля, а также другие внешние сигналы, необходимые для ориентировки и наиболее полной оценки дорожной обстановки.

В настоящее время отсутствуют международные документы, унифицирующие состав и характеристики (силу звука, прерывистость, тембр) звуковых сигнализаторов, они применяются не на всех современных автомобилях. Однако звуковые сигналы должны использоваться как для передачи водителю простейшей информации, так и в качестве предупредительных сигналов в том случае, если необходимо принудительно привлечь внимание водителя. В особо опасных случаях должно быть предусмотрено дублирование аварийного светового сигнала прерывистым звуковым. К таким сигналам можно отнести сигналы о недостаточном уровне жидкости в тормозной системе, давлении воздуха в шинах, о не пристегнутых ремнях безопасности и др.

Звуковые сигнализаторы разгружают зрительный анализатор водителя, что приобретает особое значение по мере увеличения числа приборов внутренней визуальной информативности автомобиля и роста интенсивности, плотности и рядности движения.

Увеличение количества звуковой информации позволит снизить уровень визуальной нагрузки, улучшить условия работы водителей и в конечном итоге повысить уровень безопасности движения.

9.6. Тактильная и кинестатическая информативность автомобиля

Тактильные ощущения – один из видов кожных ощущений. Они разделяются на ощущения прикосновения, давления и вибрации.

Кинестатические ощущения – мышечные ощущения, то есть реакция органов управления на действия водителя.

Информация, поступающая к водителю с помощью тактильных и кинестатических ощущений, в основном реализуется через сигналы обратной связи органов управления. Особенно важны сигналы обратной связи органов управления, непосредственно влияющих на безопасность движения: рулевого колеса, педали тормоза, рычага переключения передач и т. д.

Информация о моменте сопротивления на рулевом колесе существенно снижает время реакции водителя на боковое возмущающее воздействие, передающееся от дороги через колеса автомобиля на обод рулевого колеса. Именно момент сопротивления в этом случае является главным отличительным признаком. Например, недостаточный или чрезмерный поворот автомобиля, наблюдавшийся при первых испытаниях рулевого управления с гидроусилителем, был отрегулирован изменением момента сопротивления рулевого колеса при его повороте в ту или иную сторону в виде сигнала обратной связи. Исследования показали, что отсутствие такого сигнала на рулевом колесе приводит к увеличению времени реакции водителя примерно на 0,15 с. Сопротивление на ободе рулевого колеса должно возрастать с увеличением угла его поворота. Ощущение момента сопротивления происходит в пределах 7–40 Н·м.

Так как момент сопротивления передается водителю через рулевое колесо, то информативность его обода также играет немаловажную роль. Поскольку наибольшее давление на обод рулевого колеса оказывают крайние фаланги пальцев, на внутренней поверхности обода необходимо устраивать волнообразные углубления.

Выбирая направление движения рычагов и рукояток необходимо иметь в виду, что человеку легче производить движения от себя и к себе, чем в стороны; легче выполняются движения в горизонтальной плоскости, чем в вертикальной. Кроме того, эргономический подход требует, чтобы сохранялось единообразие в пространственном расположении органов управления одних и тех же видов транспортных средств для исключения ошибок водителей при переходе их на другие марки автомобилей. В первую очередь следует обращать внимание на наиболее часто используемые водителем и важные, с точки зрения обеспечения безопасности, органы управления – рычаг переключения передач, педаль тормоза, рычажок включения указателя поворотов.

Помимо этого, должно быть обеспечено правильное взаимное расположение педалей. Неоптимальное размещение площадки педали тормоза по отношению к педали подачи топлива приводит к увеличению времени переноса ноги с одной педали на другую примерно на 20 %. Также необходимым условием эффективного торможения является информативность педали тормоза, то есть обратная связь в виде повышающегося усилия нажатия на педаль по мере увеличения интенсивности торможения.

10. РАБОЧЕЕ МЕСТО ВОДИТЕЛЯ

Рациональная организация рабочего места имеет большое значение для безопасности движения, повышения производительности труда и сохранения здоровья водителя.

Рабочее место водителя автомобиля характеризуется размерами кабины, удобством доступа к органам управления, положением сиденья, расположением органов управления по отношению к нему и эргономическими параметрами среды в кабине (шум, вибрация, микроклимат, загрязненность воздуха токсическими веществами).

Эксплуатационное свойство, характеризующее рабочее место водителя, называют обитаемостью или комфортностью автомобиля. Под *обитаемостью* понимают приспособленность рабочего места водителя к психофизиологическим и антропометрическим особенностям человека. Обитаемость относится к одному из свойств, характеризующих активную безопасность автомобиля.

Обитаемость автомобиля оценивается параметрами, которые могут быть сгруппированы следующим образом: параметры, характеризующие сиденье; параметры, характеризующие органы управления; параметры, характеризующие физико-химические условия на рабочем месте.

10.1. Сиденье

Сиденье состоит из остова, подушки, спинки и амортизирующего устройства. Эти основные узлы могут быть изготовлены как отдельно, так и совместно.

Остов сиденья представляет собой жесткий каркас, прикрепленный к полу кабины, на котором устанавливаются подушка и спинка. На остова расположены различные регулировочные и стопорные устройства, обеспечивающие удобную посадку водителя и регулирование положения сиденья относительно органов управления.

Конструкция сиденья. Подушка и спинка сиденья состоят из каркаса, упругого элемента, набивки и обивки. Конструкция спинки обычно проще, чем конструкция подушки, так как на нее действуют меньшие нагрузки. Толщину спинки стремятся сделать как можно меньше, чтобы не сокращать полезную площадь кабины. Спинки сидений легковых автомобилей откидные.

Посадка водителя считается удобной, если части его тела образуют углы, исключаящие излишнее мышечное напряжение, благоприятствующие выполнению движений и обеспечивающие возможность управлять автомобилем с минимальной затратой физической энергии. При этом части тела человека должны находиться под оптимальными углами относительно друг друга, что определяется конструкцией и взаиморасположением элементов сиденья.

Оптимальные углы между звеньями манекена, имитирующего водителя следующие: 1) $15-25^\circ$; 2) $85-100^\circ$; 3) $95-120^\circ$; 4) $65-95^\circ$; 5) $15-35^\circ$; 6) $80-110^\circ$; 7) $170-190^\circ$ (рис. 10.1).

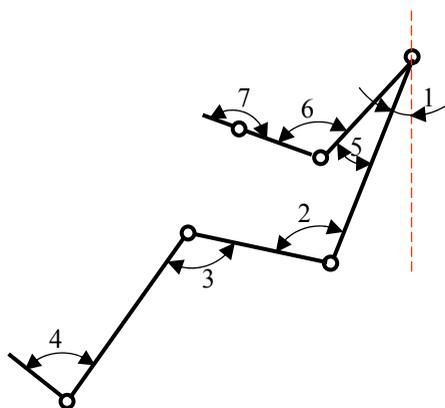


Рис. 10.1. Схема манекена, имитирующего водителя автомобиля

Для уменьшения утомления посадка водителя должна быть такой, чтобы спина была выпрямлена, а не откинута назад или согнута вперед. Этого можно достичь за счет расположения спинки сиденья с небольшим отклонением назад. При такой посадке центр тяжести тела водителя и точка вращения тазобедренного сустава располагаются на одной вертикали, вследствие чего водитель не прилагает мышечных усилий для сохранения равновесия.

Правильная посадка водителя зависит также от расположения органов управления по отношению к сиденью. Ноги водителя должны быть слегка согнуты в коленях и легко доставать до педалей, а руки, лежащие на рулевом колесе, быть согнутыми в локтях, что позволяет ему сидеть естественно, не испытывая утомления при длитель-

ных поездках и затрачивать минимальные усилия, воздействуя на рулевое колесо, педали и рычаги управления.

Если сиденье водителя расположено далеко от педалей, то он должен подтягиваться к ним, что напрягает мышцы спины. Если сиденье слишком выдвинуто вперед, водителю приходится сгибать ноги, что затрудняет управление как педалями, так и рулевым колесом. При очень высоком сиденье водитель горбится и наклоняет голову, что вызывает быстрое утомление мышц плечевого пояса, сжатие органов брюшной полости и легких, затруднение дыхания и утомление глаз. При низкой посадке водитель, чтобы следить за дорогой, вынужден поднимать подбородок, напрягать мышцы шеи и спины.

Конфигурация спинки сиденья должна учитывать особенности анатомического строения спины человека – естественный S-образный изгиб позвоночника, сохраняющийся в положении стоя и изменяющийся в положении сидя и особенно при прямой посадке. Оптимальное положение поясничного изгиба обеспечивается при некотором увеличении наклона спины назад и наличия опоры в области поясницы. Центральная точка опоры туловища в положении сидя должна приходиться на область между вторым и четвертым позвонками.

Давление на сиденье зависит от площади и жесткости опорной поверхности, от углов наклона подушки и спинки. Упругие подушка и спинка сиденья позволяют снизить удельную нагрузку на тело водителя от его собственного веса.

Для снижения давления опорную поверхность сиденья изготавливают рельефной, соответствующей форме тела водителя.

Удобство посадки и управления автомобилем. Удобство посадки и управления автомобилем определяются планировочными размерами кабины, габаритными и посадочными размерами сиденья, а также физико-механическими характеристиками его элементов. К планировочным, габаритным и посадочным размерам относятся: размеры, определяющие пространственное положение сиденья относительно органов управления; ширина и глубина подушки; высота спинки и угол ее наклона; высота и наклон подушки по отношению к полу кабины. От ширины подушки зависит некоторая свобода смены положения водителя; от ее глубины – свобода движения коленного сустава; от высоты подушки над уровнем пола – положение глаз относительно окон и зеркал, а также свобода входа в кабину и выхода из нее; от наклона подушки – уверенная посадка води-

теля, исключая сползание его с сиденья; от высоты спинки – достаточная опора туловища и свобода движения плечевого сустава; от опоры для головы – предохранение шейных позвонков от травм; от наклона спинки – расположение на одной вертикали центра тяжести тела и точки вращения тазобедренного сустава, что снижает утомляемость мышц водителя.

Колебания и вибрации. Водитель воспринимает колебания и вибрации кабины, передающиеся от дороги через эластичные шины, подвеску, сиденье. Колебания возбуждают нервную систему водителя, вызывают головную боль, снижают остроту зрения, повышают утомляемость, ухудшают психофизиологическую и рефлекторную деятельность. Организм человека весьма восприимчив к толчкам и вибрациям, когда он сидит, так как в этом случае не используется естественная амортизация ног.

Колебания и вибрация кабины автомобиля гасятся в сиденья с помощью упругих элементов различных конструкций. В качестве упругих металлических элементов применяются витые, плетеные, змейковые и другие пружины. Колебания сидений с металлическими упругими элементами дополнительно можно гасить с помощью специальных амортизаторов двойного действия (гидравлических или пневматических). Используют также подушки сидений, состоящие из блоков, материал которых обладает хорошими демпфирующими свойствами. В этом случае используют поролон, губчатую резину, каучуковый латекс и другие материалы. В процессе формования в блоках делают пустоты, занимающие до 50 % объема. Воздух, находящийся в пустотах, при нагрузке на сиденье сжимается и служит амортизатором, хорошо гасящим колебания.

Применяя в разных местах подушки различного соотношения объемов пустот и материалов, можно получить желаемую жесткость отдельных частей сидений. Сиденья с подушками из пористых материалов легче пружинных, имеют в 8–10 раз меньше деталей, и сборка таких сидений значительно проще.

Сиденья легковых автомобилей, имеющих мягкую подвеску, которая в значительной степени поглощает действующие на них со стороны дороги возмущения, целесообразно делать без пружинных элементов.

Амортизационные качества сиденья определяются статической и динамической характеристиками. Для получения статической ха-

характеристики сиденья нагружают с помощью пуансона, повторяющего форму тела человека, а затем строят зависимость «нагрузка–осадка сиденья». Нагрузка ограничивается 850–1000 Н для подушки сиденья и 300–600 Н для спинки. Статическая характеристика определяет жесткость сидений и имеет различный характер для металлических (линейная зависимость) и неметаллических (нелинейная зависимость) упругих элементов.

Динамическая характеристика сиденья определяется следующими параметрами: временем затухания импульса нагрузки, частотой колебаний сиденья. Динамические характеристики регистрируются записывающей аппаратурой при приложении к подушке или спинке сиденья, установленной на испытательном стенде, определенного импульса силы. Желаемые характеристики сидений достигаются путем подбора упругих элементов необходимой жесткости, применением пружин, диафрагм и т. п., а также включением в конструкцию амортизирующих устройств.

Обивка сиденья. Обивка сиденья также в значительной степени определяет удобство посадки водителя. Обивка должна быть плотной и шероховатой, обладать достаточной прочностью, придавать сиденью внешний вид, соответствующий эстетическим требованиям. При гладкой обивке водитель скользит по сиденью, а постоянное перемещение тела требует дополнительных усилий для удержания его в нужном положении и излишне утомляет водителя. Обивка, имеющая чрезмерную шероховатость, вызывает утомление мышц спины.

Обивка должна сохранять эластичность при температуре от –50 до +70 °С. В качестве материала используют плотные шерстяные и полушерстяные ткани, кожу и искусственные материалы.

10.2. Органы управления

Органы управления автомобиля по своему функциональному значению делятся на две группы. К первой группе относятся органы, с помощью которых изменяются направление и скорость движения автомобиля: рулевое колесо, рычаг переключения передач, педаль сцепления, педаль управления подачей топлива, тормозная педаль и рукоятка стояночного тормоза. Вторая группа включает органы управления вспомогательными устройствами.

На автомобилях высокой проходимости имеются рычаги управления раздаточной коробкой и включения переднего моста. Специальные автомобили оборудуются органами для управления дополнительными специальными механизмами.

В зависимости от частоты использования органы управления можно разделить на постоянные и эпизодические. Рулевое колесо, педаль управления подачей топлива относятся к постоянным органам управления, а все остальные – к эпизодическим.

Органы управления могут быть ручными и ножными.

К конструкции органов управления предъявляются следующие требования:

- высокий уровень автоматизации управления автомобилем;
- малые время и усилия, необходимые для выполнения рабочих движений;
- удобная траектория движения рук и органов управления;
- травмобезопасная конструкция;
- обеспечение информативности и удобная форма рукояток;
- соответствие эстетическим требованиям.

Выполняются требования путем автоматизации переключения передач, совмещения нескольких операций в одном органе управления, применения гидравлических и пневматических приводов, размещения органов управления в оптимальных зонах рабочих движений водителя.

Рулевое колесо. Рулевое колесо служит для изменения направления движения автомобиля через рулевой вал, рулевой механизм и рулевой привод. Тороидный обод рулевого колеса смещен относительно оси рулевого вала, вследствие чего снижается усилие, необходимое для его вращения, так как оно действует на некотором плече. Кроме обода рулевое колесо имеет спицы и ступицу. Размеры и расположение спиц могут быть разными.

К рулевому колесу предъявляются два основных эргономических требования: прилагаемое при его вращении усилие не должно превышать 30–50 Н для одной руки и 100–110 Н для двух; его угловая скорость должна обеспечивать надежное управление автомобилем при любой скорости движения.

Легкость вращения рулевого колеса зависит от передаточного числа рулевого механизма и диаметра обода. У большинства современных автомобилей передаточное число рулевых механизмов на-

ходится в пределах 14–40, а диаметр обода 300–500 мм. Диаметр обода рулевого колеса грузовых автомобилей выбирают ближе к верхнему пределу, а для легковых и спортивных – к нижнему.

На большинстве автомобилей устанавливается гидроусилитель рулевого управления, служащий для уменьшения усилия, прилагаемого водителем к рулевому колесу, что позволяет точнее управлять автомобилем и быстрее реагировать на дорожные ситуации, а также уменьшает утомляемость водителя и повышает безопасность движения. При возникновении значительных возмущающих внешних сил, которые действуют на колеса автомобиля, водитель в случае наличия гидроусилителя небольшим усилием может удержать управляемые колеса в нужном положении, что особенно важно при выходе из строя шины одного из передних колес. Применение гидроусилителя, благодаря которому уменьшается усилие, прилагаемое к рулевому колесу, дает возможность уменьшить диаметр его обода, что позволяет улучшить обзорность.

Педали управления. Удобство управления автомобилем и безопасность движения во многом определяются расположением педалей управления.

Конструкция тормозных механизмов и механизма сцепления такова, что для воздействия на них требуется приложить достаточно большие усилия к педалям привода. Так, среднее усилие на тормозной педали грузового автомобиля, обеспечивающее замедление 0,5 g, составляет 300–380 Н, а максимальное усилие на педали сцепления достигает 300 Н. Величина усилия, прикладываемого к педали, зависит от расположения площадки педали по отношению к сиденью. Максимальное усилие достигается при отклонении упора педали от вертикального положения на 70°.

Опорная площадка любой педали должна быть расположена так, чтобы при положении ноги с опорой на пятку углы голеностопного, коленного и тазобедренного суставов имели оптимальные значения и составляли 90–100°, 95–135° и 90–120° соответственно.

Рабочее место водителя, оборудованное регулируемым сиденьем, дает возможность создавать оптимальные условия пользования педалями для водителей различного роста.

10.3. Физико-химические условия на рабочем месте водителя

Степень утомления водителя, а, следовательно, безопасность движения в значительной степени зависят от физико-химических условий на его рабочем месте.

К физическим характеристикам рабочего места водителя относятся шум, вибрация, микроклимат, к химическим – состав воздуха и наличие в нем вредных примесей.

Шум. Во время работы водитель подвергается воздействию шумов, несущих полезную информацию (звук работающего двигателя, коробки передач, шин в контакте с дорогой, сигналы других автомобилей), и вредных шумов. И те, и другие шумы воздействуют на орган слуха и кору головного мозга водителя. Шум ухудшает условия работы водителя, отвлекает его, снижает внимание, увеличивает время реакции, затрудняет восприятие информативных звуковых сигналов своего автомобиля и других участников движения.

В автомобиле к основным источникам шума относятся двигатель, трансмиссия, глушитель, шины. Причиной существенного повышения уровня шума могут быть неотрегулированные тормозные механизмы, дисбаланс изношенных деталей, плохое крепление деталей кузова и груза и т. д.

Вредное воздействие шума возрастает с увеличением его громкости.

Так, обычный разговор и разговор на расстоянии имеют уровень звука 50–60 дБ, который относится к нормальной громкости. Крики, шум автомобиля, шум интенсивного транспортного потока имеют уровень звука 70–80 дБ – большая громкость. Уровень звука 90 дБ является нижним болевым порогом слышимости и относится к очень большой громкости, а 135 дБ является верхним болевым порогом слышимости и относится к предельно большой громкости.

Интенсивность шума на рабочем месте водителя можно уменьшить с помощью следующих мер: шумопоглощающей обивки под капотом (поглощает шум двигателя); внутренней обивки кузова или салона; звукопоглощающего покрытия металлических поверхностей; плотных прокладок на внутренней поверхности дверей и крыльев (хорошо глушат дорожный шум).

Вибрации. Одним из основных неблагоприятных факторов, действующих на водителя автомобиля, являются вибрации. Наиболее опасными являются вибрации в диапазоне 1–5 Гц, вызывающие резонанс колебаний частей тела человека. Колебания, передающиеся к голове, вызывают изменение ритма и частоты дыхания, увеличение артериального давления, снижают остроту зрения, ухудшают деятельность нервной системы.

Более высокие частоты вибрации также сказываются на водителе отрицательно, но это воздействие менее ощутимо. В этом случае большое значение имеет амплитуда колебаний. Так, при амплитуде 0,01 мм вибрация почти не ощущается; при амплитуде 0,02 мм – действует раздражающе, а при амплитуде 0,03 мм – постоянно отвлекает водителя от основной деятельности. При вибрации с амплитудой более 0,03 мм длительная работа невозможна.

Для уменьшения вибрации применяют динамическую балансировку вращающихся деталей, увеличивают жесткость вибрирующих элементов, создают условия, исключающие возникновение резонанса, используют вибропрокладки и амортизационную подвеску различных агрегатов.

Микроклимат рабочего места водителя. Большое значение для безопасности движения имеет микроклимат рабочего места водителя, определяемый совокупностью температуры, влажности и подвижности воздуха. Влияние микроклимата на организм водителя зависит от его возраста, степени закаленности, состояния здоровья, рабочей одежды.

Температура воздуха в кабине зависит от температуры окружающего воздуха, температуры двигателя, теплоизоляции кабины, отопления и вентиляции. Наиболее благоприятная температура 18–20 °С. В случае повышения или понижения температуры в кабине возрастает степень утомления водителя. При повышении температуры снижается внимание и объем оперативной памяти, плохо улавливаются изменения дорожной обстановки, увеличивается время реакции, водитель быстрее устает.

При $t = 17\text{ °С}$ и ниже начинается охлаждение тела человека, а температура 11 °С является минимально допустимой. В условиях низкой температуры снижается работоспособность мышц, работа вызывает их быструю усталость, наблюдается скованность и неточность движений. Теплая одежда стесняет движения водителя, а теп-

лая обувь затрудняет управление педалями – нарушается обратная связь при нажатии.

Кабины и кузова автомобилей, работающих в условиях жаркого климата, следует окрашивать светлой краской, для остекления кабины использовать теплопоглощающие стекла (атермальные), оборудовать кондиционерами.

Кабины автомобилей, предназначенных для работы в условиях низких температур, должны иметь термоизолированные стенки, двойное остекление кабины с электрообогревом, уплотнения для трубок, проводов, рычагов, педалей и дверей из морозостойких материалов. Отопление кабины должно осуществляться автономным отопителем повышенной мощности.

Терморегуляция организма человека в значительной степени зависит от влажности и подвижности воздуха. Влажность воздуха характеризуется содержанием в нем водяных паров. В воздухе, насыщенном водяными парами, затруднена теплоотдача путем испарения (пот с тела человека не испаряется). Особенно неблагоприятно влияет относительная влажность воздуха более 70 % при температуре, близкой к 30 °С. Для большинства людей нормальная относительная влажность находится в пределах 30–70 %.

На терморегуляцию тела водителя существенно влияет подвижность воздуха. Человек ощущает воздушные потоки при скорости их движения от 0,25 м/с. Рекомендуемая скорость движения воздуха в кабине автомобиля не должна превышать 1 м/с.

Определяя микроклиматические условия, необходимо учитывать взаимодействие температуры, влажности и подвижности воздуха.

Вредные примеси воздуха. Одним из требований активной безопасности является поддержание в кабине автомобиля необходимой чистоты воздуха. В кабину попадают пары эксплуатационных материалов, отработавшие газы и продукты испарения дорожной одежды, содержащие окислы углерода и азота, минеральную пыль и другие вредные вещества.

В случае неисправности системы питания двигателя в кабину автомобиля проникают пары бензина, которые могут вызвать острое или хроническое отравление водителя. Острое отравление наступает при концентрации паров бензина в воздухе 5–10 мг/л. Хроническое отравление возникает чаще при длительном воздействии на организм малых концентраций.

Количество вредных примесей в воздухе кабины ограничивается *предельно допустимой концентрацией* (ПДК) – концентрацией, которая при ежедневном 6–8-часовом воздействии в течение неограниченного времени не может вызвать у работающих заболеваний или патологических изменений в организме.

Установлены следующие предельно допустимые концентрации вредных примесей в кабине автомобиля, которые приведены в табл. 10.1.

Таблица 10.1

Значения ПДК вредных примесей в кабине автомобиля

Наименование примесей	ПДК, мг/л
Окись углерода	0,02
Двуокись углерода	0,4
Пары бензина	0,1
Окислы серной кислоты	0,001
Минеральная пыль	0,0005

Правильная регулировка двигателя, своевременное устранение неисправностей системы питания, тщательное уплотнение кабины и, наконец, эффективное использование системы вентиляции и отопления значительно улучшают условия работы водителя.

10.4. Системы вентиляции, отопления и кондиционирования

Системы вентиляции, отопления и кондиционирования предназначены для создания комфортных условий в кабине или салоне автомобиля.

Системы вентиляции. В кабинах и салонах автомобилей объем воздуха, приходящийся на каждого человека, составляет 0,4–1,2 м³, поэтому необходим интенсивный воздухообмен в кабине. Для этого служит система вентиляции, которая может быть естественной и принудительной.

При естественной системе вентиляции используются отверстия для забора воздуха, расположенные на участках его наибольшего давления на кузов автомобиля (капот, переднее оперение, передняя панель кабины, люки на крыше), и отверстия для вытяжки, находящиеся на участках наибольшего разрежения (задние стенки кузова, задние крылья и стойки).

В современных автомобилях обязательна принудительная вентиляция с помощью электрического вентилятора, нагнетающего воздух в кабину.

Системы отопления. В настоящее время автомобили оборудуются системами отопления с использованием тепла двигателя, а также независимыми.

Наиболее распространены системы отопления с использованием тепла двигателя. При жидкостном охлаждении отопитель подключают к отдельному радиатору, проходя через который нагревается воздух, подаваемый в кабину автомобиля. При воздушном охлаждении теплоносителем является воздух, проходящий через охлаждающие ребра двигателя. Такие отопители просты и достаточно эффективны, но имеют недостатки: при жидкостной системе охлаждения температура воздуха в кабине зависит от температуры двигателя, что ограничивает их применение в северных районах; при воздушной системе охлаждения в кабину вместе с теплоносителем попадают пары бензина и отработавшие газы.

Независимые системы отопления (с автономным источником тепла) лишены перечисленных недостатков, но сравнительно сложны, а также требуют дополнительного расхода топлива.

Обычно отопительные и вентиляционные системы объединяют в одну, и эта система служит также для обдува и обогрева стекол.

Системы кондиционирования. Для регулирования температуры и влажности воздуха, подаваемого в кабину автомобиля, служат системы кондиционирования. Наибольшая их эффективность достигается при плотно закрытых окнах. В процессе кондиционирования используется свойство газов поглощать тепло при переходе из жидкого состояния в газообразное так же, как в любом бытовом холодильнике.

Предварительно воздух очищается в фильтрах, установленных у всасывающих отверстий, затем проходит через охлаждающее или нагревающее устройство в зависимости от температуры окружаю-

шего воздуха, после чего через увлажнитель или осушитель подается в салон с помощью вентилятора. Кондиционеры бывают с ручной регулировкой или с электронным контролем температуры воздуха в салоне (климат-контроль). При искусственном охлаждении температура в кабине должна быть ниже наружной не более чем на 10–12 °С, иначе возникает опасность простудных заболеваний.

Воздух охлаждается при помощи механической холодильной установки, которая состоит из радиатора, компрессора и конденсатора. Сжиженный хладагент, проходя через радиатор, испаряется и отнимает часть тепла у окружающего его воздуха. Затем пары хладагента направляются в компрессор, где сжимаются и, попадая в конденсатор, вновь превращаются в жидкость. Компрессор приводится в действие либо от двигателя автомобиля, либо от электродвигателя. В последнем случае есть возможность кондиционирования воздуха при неработающем двигателе автомобиля.

Кондиционер усложняет и несколько удорожает автомобиль. Затраты мощности для привода компрессора не сильно сказываются на расходе топлива, потому что автомобиль движется с закрытыми окнами и его аэродинамическое сопротивление меньше, чем при естественной вентиляции через открытые окна.

11. АВТОМОБИЛЬНЫЕ ШИНЫ

Автомобильная шина – один из наиболее важных элементов колеса, представляющий собой упругую резинотканевую оболочку, установленную на обод диска. Шина обеспечивает контакт транспортного средства с дорожным полотном, предназначена для поглощения незначительных колебаний, вызываемых несовершенством дорожного покрытия, компенсации погрешности траекторий колес, реализации и восприятия сил.

Первая в мире резиново-парусиновая шина была сделана англичанином Робертом Уильямом Томсоном. Шина накладывалась на колесо с деревянными спицами, вставленными в деревянный обод, обитый металлическим обручем. Сама шина состояла из двух частей: камеры и наружного покрытия. Камера изготавливалась из нескольких слоев парусины, пропитанной и покрытой с обеих сторон натуральным каучуком или гуттаперчей в виде раствора. Наружное покрытие состояло из соединенных заклепками кусков кожи. Однако не нашлось никого, кто бы занялся этой идеей и довел ее до массового производства с приемлемой стоимостью. После смерти Томсона в 1873 г. «воздушное колесо» было забыто, хотя образцы этого изделия сохранились.

В 1888 г. идея пневматической шины возникла вновь. Новым изобретателем был шотландец Джон Данлоп, чье имя известно в мире как автора пневматической шины. Дж. Б. Данлоп придумал в 1887 г. надеть на колесо трехколесного велосипеда широкие обручи, сделанные из шланга для поливки сада, и надуть их воздухом.

В 1890 г. молодой инженер Чальд Кингсотн Уэлтч предложил отделить камеру от покрышки, вставлять в края покрышки проволочные кольца и сажать на обод, который впоследствии получил углубление к центру (ручей обода). Первыми, кто стал использовать пневматические шины на автомобилях, были французы Андре и Эдуард Мишлен, которые уже имели достаточный опыт в производстве велосипедных шин. Покрышка была изготовлена из кордного (прорезиненного) полотна. С момента внедрения корда сфера применения пневматических шин непрерывно расширялась. Их стали использовать на всевозможных транспортных машинах и, в первую очередь, на автомобилях, быстрое развитие

которых стало возможным только благодаря появлению пневматических шин.

11.1. Конструкция автомобильных шин

Обычная современная автомобильная шина состоит из резино-тканевой оболочки – покрышки и воздухонепроницаемой замкнутой резиновой трубы – камеры. В рабочем состоянии камера заполнена воздухом под определенным давлением. Покрышка является основной и наиболее дорогой частью шины. Основными материалами для производства шин являются резина, которая изготавливается из натуральных и синтетических каучуков, и корд. Покрышка имеет сложную конфигурацию и состоит из многих конструктивных элементов (рис. 11.1).

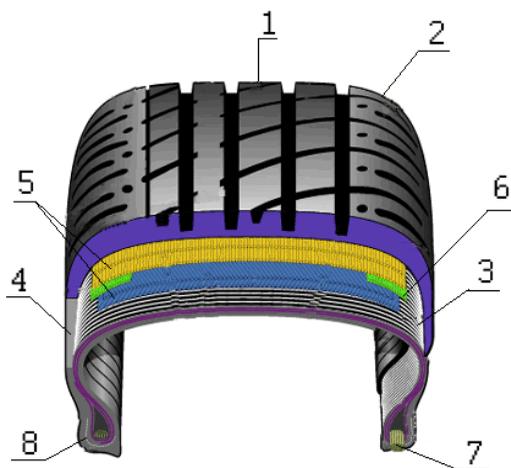


Рис. 11.1. Структура покрышки шины:

- 1 – протектор; 2 – плечевая зона; 3 – каркас; 4 – боковина (крыло шины);
- 5 – брекер и подушечный слой; 6 – дополнительная вставка в плечевой зоне;
- 7 – бортовое кольцо; 8 – бортовая часть

Каркас – главная часть покрышки, ограничивающая объем накачанной камеры и передающая нагрузки, действующие на колесо со стороны дороги, на обод колеса. Основной нагрузкой на колесо является собственная масса автомобиля и груза. Каркас состоит из

нескольких наложенных друг на друга слоев прорезиненного корда и резиновых прослоек – сквиджей. Каждая нить корда изолирована от других нитей и связана с ними резиной, которая предохраняет нити от перетирания друг о друга и равномерно распределяет нагрузки между ними. Наиболее часто применяется прорезиненный корд толщиной 1–1,5 мм при толщине нити 0,6–0,8 мм.

Выпускаются шины с диагональным и радиальным расположением нитей корда в каркасе (рис. 11.2).

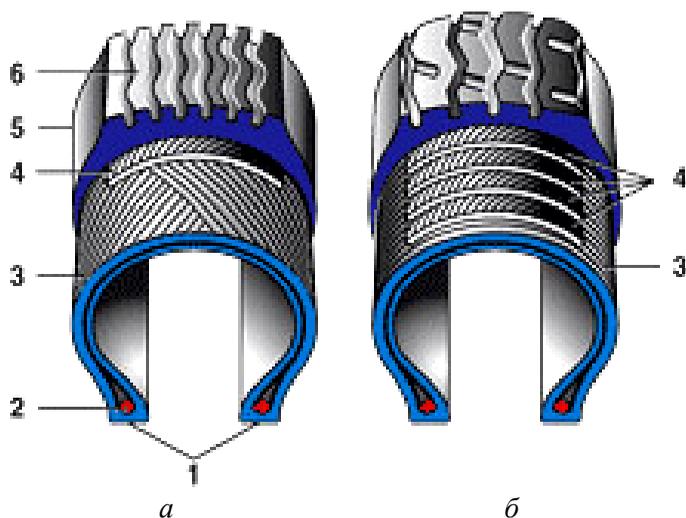


Рис. 11.2. Конструкция диагональной (а) и радиальной (б) шины:
 1 – борта; 2 – бортовое кольцо; 3 – каркас; 4 – брекер;
 5 – боковина; 6 – протектор

У диагональных шин нити корда каркаса располагаются под углом к радиальной линии профиля шины, который равен примерно 35–38°. Каркас таких шин состоит из четного числа попарно перекрещивающихся слоев корда, что обеспечивает симметричность нагружения нитей. У покрышек легковых автомобилей число слоев корда в каркасе бывает от 2 до 6, а у грузовых – 10 и более.

У шин с радиальным расположением нитей корда в каркасе нити располагаются под углом 0° к радиальной линии профиля шины. Поэтому они получили название радиальные шины.

Угол наклона нитей корда каркаса оказывает большое влияние на работу шины. Увеличение угла более 38° приводит к возрастанию боковой, тангенциальной и нормальной жесткости шины и увеличению потерь на качение. Уменьшение этого угла приводит к обратному явлению. Поэтому в настоящее время наибольшее распространение получили шины с радиальным расположением нитей корда в каркасе.

Протектор – толстый слой резины, покрывающий каркас шины в ее беговой части. Назначение протектора – обеспечение необходимой износостойкости шины, хорошего сцепления с дорогой, ослабление воздействия толчков и ударов на каркас шины, уменьшение колебания в трансмиссии автомобиля, предохранение каркаса и камер от механических повреждений, а также передача тяговых и тормозных усилий.

Протектор состоит из расчлененной части (рельефного рисунка) и подканавочного слоя, который составляет обычно 20–40 % от общей толщины протектора. Протектор имеет разную толщину у шин разных типов и размеров. Чем толще протектор, тем больше пробег шины до полного износа, тем лучше он защищает каркас от внешних воздействий. Однако толстый протектор утяжеляет шину, приводит к перегреву и расслоению, увеличивает момент инерции и сопротивление качению. Толщина протектора у шин легковых автомобилей находится в пределах 7–17 мм, у шин грузовых автомобилей – 14–32 мм. Ширина протектора составляет примерно 70–80 % ширины профиля шины.



Рис. 11.3. Дорожный протектор

Существуют четыре основных вида протектора.

Дорожный протектор (рис. 11.3) имеет множество составляющих элементов, которые образуют продольные канавки и ребра, обеспечивающие хорошее сцепление с сухим и мокрым покрытием асфальтированной или бетонной дороги. На грязных и заснеженных дорогах узкие и неглубокие канавки протектора забиваются грязью или снегом и условия сцепления резко ухудшаются.



Рис. 11.4. Универсальный протектор



Рис. 11.5. Зимний протектор



Рис. 11.6. Шины повышенной проходимости

Универсальный протектор (рис. 11.4) имеет достаточно широкие в продольном и поперечном направлениях канавки между составляющими элементами. Такой протектор дает достаточно хорошее сцепление как на мягких грунтах, так и на асфальтобетонном шоссе. На мягких грунтах он значительно лучше, чем дорожный, так как самоочищается от грязи, оставляя на грунте рельефный след. Однако на твердом покрытии такой протектор изнашивается на 10–15 % быстрее, чем дорожный, и, кроме того, увеличивается шумность на асфальтобетонных дорогах.

Зимний протектор (рис. 11.5) состоит из отдельных блоков, площадь которых в общем пятне контакта шины с дорогой не превышает 60–70 %. Такие шины целесообразно использовать на снежных, грязных и рыхлых дорогах, где шины с дорожным и универсальным протектором не могут обеспечить хорошее сцепление с дорогой. На сухих и твердых покрытиях шины с зимним рисунком изнашиваются интенсивнее и неравномернее, чем шины с дорожным и универсальным протектором, особенно в летнее время, когда повышается температура шины. Значительно увеличивается также шумность, сопротивление качению и связанный с ним расход топлива.

Шины повышенной проходимости (рис. 11.6) предназначены для постоянной эксплуатации автомобиля в условиях бездорожья и на проселочных дорогах. Использование таких шин обеспечивает проезд по мокрому чернозему,

влажной луговине и снегу. Однако при движении по дорогам с твердым покрытием протектор такой шины изнашивается примерно в два раза интенсивнее, чем у дорожной шины. Площадь контакта шины повышенной проходимости с поверхностью дороги составляет не более 50 % по сравнению с дорожным протектором, в связи с чем безопасная скорость движения также примерно в два раза ниже. Шумность и сопротивление качению в несколько раз выше, чем у шин с дорожным протектором.

Плечевая зона – боковая часть протектора, которая воспринимает часть боковых нагрузок и улучшает соединение протектора с каркасом. Плечевая зона шины отличается большой толщиной резины и устойчива к механическим повреждениям. Ранее форма плеч шины была более угловатой, в современных изделиях она закругленная (шины с круглыми плечами). Такое конструктивное решение предоставляет преимущество в ходовых качествах, так как зачастую закругленные формы лучше, чем угловатые, держат сцепление с дорогой под воздействием боковых сил (например, при движении на повороте). Плечевая зона шины имеет борозды для отведения воды.

Боковина – часть шины, расположенная между плечом и бортом и представляющая собой слой резины, покрывающий боковые стенки каркаса и предохраняющий его от механических повреждений и воздействия влаги. Боковина должна быть достаточно тонкой и эластичной, чтобы хорошо выдерживать многократный изгиб и оказывать малое влияние на жесткость каркаса. Боковина служит для размещения маркировки шины и иных обозначений.

Борта – жесткие части шины, служащие для ее крепления на ободе колеса. Они образуются из нерастяжимого кольца, сплетенного из стальной обрешиненной проволоки, вокруг которого завернуты концы кордовых волокон каркаса. Сердечник борта имеет крепление из резины, препятствующий деформации шины при воздействии поперечно направленных сил (например, при повороте).

11.2. Маркировка автомобильных шин

Маркировка автомобильных шин осуществляется в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН № 30 для легковых автомобилей и Правил ЕЭК ООН № 54 для шин грузовых автомобилей.

Согласно Правилам ЕЭК ООН № 30 на пневматических шинах для легковых автомобилей радиальной конструкции на обеих боковинах должны быть нанесены:

- торговое наименование или марка;
- обозначение размера шины;
- категория скорости;
- слова «ALL SEASON» для шин с всесезонным рисунком протектора;
- буквы «M+S» или «M.S» либо «M&S» в случае зимней шины;
- индекс несущей способности;
- слово «TUBELESS», если шина предназначена для использования без камеры;
- слова «TUBE TYPE», если шина предназначена для использования с камерой;
- слово «REINFORCED» или слова «EXTRA LOAD» в случае усиленной шины;
- слово «STEEL» для шин с металлокордом в бреkerе;
- слова «ALL STEEL» для шин с металлокордом в бреkerе и в каркасе;
- дата изготовления, состоящая из четырех цифр, из которых две первые указывают неделю, а две последние – год изготовления;
- слова «TEMPORARY USE ONLY», если шина используется в качестве запасной временного пользования;
- знак официального утверждения.

Обозначение размера шины включает в себя:

- номинальную ширину профиля, мм;
- номинальное отношение высоты профиля шины к его ширине, %;
- буква R, обозначающая радиальную конструкцию шины;
- номинальный диаметр обода в дюймах.

Категория скорости означает максимальную скорость, которую может выдержать шина. Она указывается с помощью обозначения категории скорости.

Категории скорости указаны в табл. 11.1.

Таблица 11.1

Обозначение категории скорости автомобильных шин
для легковых автомобилей

Обозначение категории скорости	Максимальная скорость, км/ч	Обозначение категории скорости	Максимальная скорость, км/ч
L	120	T	190
M	130	U	200
N	140	H	210
P	150	V	240
Q	160	W	270
R	170	Y	300
S	180		

Индекс несущей способности – число, характеризующее контрольную массу, на которую рассчитана шина при эксплуатации в соответствии с предписаниями по использованию, установленными изготовителем.

Значения индекса несущей способности приведены в табл. 11.2, в которой обозначено: Li – индекс несущей способности; P – максимальная нагрузка на шину.

Таблица 11.2

Индексы несущей способности автомобильных шин
для легковых автомобилей

Li	P , кг						
0	45	31	109	61	257	91	615
1	46,2	32	112	62	265	92	630
2	47,5	33	115	63	272	93	650
3	48,7	34	118	64	280	94	670
4	50	35	121	65	290	95	690
5	51,5	36	125	66	300	96	710
6	53	37	128	67	307	97	730
7	54,5	38	132	68	315	98	750
8	56	39	136	69	325	99	775

<i>Li</i>	<i>P</i> , кг						
9	58	40	140	70	335	100	800
10	60	41	145	71	345	101	825
11	61,5	42	150	72	355	102	850
12	63	43	155	73	365	103	875
13	65	44	160	74	375	104	900
14	67	45	165	75	387	105	925
15	69	46	170	76	400	106	950
16	71	47	175	77	412	107	975
17	73	48	180	78	425	108	1 000
18	75	49	185	79	437	109	1 030
19	77,5	50	190	80	450	110	1 060
20	80	51	195	81	462	111	1 090
21	82,5	52	200	82	475	112	1 120
22	85	53	206	83	487	113	1 150
23	87,5	54	212	84	500	114	1 180
24	90	55	218	85	515	115	1 215
25	92,5	56	224	86	530	116	1 250
26	95	57	230	87	545	117	1 285
27	97,5	58	236	88	560	118	1 320
28	100	59	243	89	580	119	1 360
29	103	60	250	90	600	120	1400
30	106						

Знак официального утверждения указывает на то, что данная шина прошла необходимые проверки и испытания и отвечает предписаниям Правил ЕЭК ООН № 30.

Пример знака официального утверждения (рис. 11.7).



Рис. 11.7. Знак официального утверждения по Правилам ЕЭК ООН № 30

Знак официального утверждения, проставленный на шине, указывает, что данный тип шины официально утвержден во Франции (E2) под номером 022439.

Первые две цифры номера официального утверждения указывают, что официальное утверждение было предоставлено в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН № 30 с внесенными в них поправками серии 02.

Рассмотрим пример маркировки, которая наносится на шины в соответствии с Правилами ЕЭК ООН № 30:

MICHELIN 205/55R16 89 T TUBELESS M + S 2514

Маркировка определяет шину торговой марки MICHELIN, которая обозначает:

- «205» – номинальная ширина профиля – 205 мм;
- «55» – номинальное отношение высоты профиля к его ширине – 55 %;
- «R» – радиальная конструкция;
- «16» – номинальный диаметр обода – 16 дюймов;
- «89» – индекс несущей способности 89, соответствующий максимальной нагрузке на шину – 580 кг;
- «T» – категория скорости «T», что соответствует максимальной скорости – 190 км/ч;
- «TUBELESS» – предназначена для установки на обод без камеры (бескамерная);
- «M + S» – имеет зимний тип протектора (Mud + Snow – грязь + снег);
- «2514» – изготовлена в течение двадцать пятой недели 2014 г.

На шинах, предназначенных для скоростей движения свыше 240 км/ч, но не более 300 км/ч, буква «R», указанная перед маркировкой диаметра обода, может быть заменена буквами «ZR».

Пример обозначения размера пневматических шин диагональной конструкции для легковых автомобилей: 7,35–14, где 7,35 – ширина профиля в дюймах, 14 – диаметр обода в дюймах. Допускаются следующие обозначения размеров: 185–14/7,35–14 или 185–14 либо 7,35–14/185–14, где 185 – ширина профиля, мм.

Маркировка автомобильных шин для грузовых автомобилей осуществляется в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН

№ 54 и существенно не отличается от маркировки шин для легковых автомобилей.

Поскольку скорости движения грузовых автомобилей ниже, чем легковых, а нагрузки на шины больше, таблицы обозначения категории скорости (табл. 11.3) и индекса несущей способности для шин грузовых автомобилей (табл. 11.4) имеют несколько иной вид.

Таблица 11.3

Обозначение категории скорости автомобильных шин
для грузовых автомобилей

Обозначение категории скорости	Максимальная скорость, км/ч	Обозначение категории скорости	Максимальная скорость, км/ч
F	80	P	150
G	90	Q	160
J	100	R	170
K	110	S	180
L	120	T	190
M	130	U	200
N	140	H	210

Таблица 11.4

Индексы несущей способности автомобильных шин
для грузовых автомобилей

<i>Li</i>	<i>P</i> , кг						
139	2430	155	3875	171	6150	186	9500
140	2500	156	4000	172	6300	187	9750
141	2575	157	4125	173	6500	188	10000
142	2650	158	4250	174	6700	189	10300
143	2725	159	4375	175	6900	190	10600
144	2800	160	4500	176	7100	191	10900
145	2900	161	4625	177	7300	192	11200
146	3000	162	4750	178	7500	193	11500
147	3075	163	4875	179	7750	194	11800
148	3150	164	5000	180	8000	195	12150

<i>Li</i>	<i>P</i> , кг						
149	3250	165	5150	181	8250	196	12500
150	3350	166	5300	182	8500	197	12850
151	3450	167	5450	183	8750	198	13200
152	3550	168	5600	184	9000	199	13600
153	3650	169	5800	185	9250	200	14000
154	3750	170	6000				

Рассмотрим пример маркировки, которая наносится на шины в соответствии с Правилами ЕЭК ООН № 54:

CONTINENTAL 255/70R22.5 148/145 J
TUBELESS M + S 2514



Маркировка определяет шину торговой марки CONTINENTAL, которая обозначает:

- «255» – номинальная ширина профиля – 255 мм;
- «70» – номинальное отношение высоты профиля к его ширине – 70 %;
- «R» – радиальная конструкция;
- «22.5» – номинальный диаметр обода – 22,5 дюйма;
- «148/145» – индексы несущей способности 148 и 145, соответствующие максимальной нагрузке 3150 кг для одиночной и 2900 кг для сдвоенной шины;
- «J» – категория скорости «J», что соответствует максимальной скорости 100 км/ч;



- «145 L / 143» – индексы несущей способности 145 и 143, соответствующие максимальной нагрузке 3000 кг для одиночной и 2725 кг для сдвоенной шины, на скорости 120 км/ч (категория скорости L);
- «TUBELESS» – предназначена для установки на обод без камеры (бескамерная);
- «M + S» – имеет зимний тип протектора (Mud + Snow – грязь + снег);
- «2514» – изготовлена в течение двадцать пятой недели 2014 г.

Для шин легких грузовых автомобилей в обозначении размеров добавляется буква «С» (Commercial), например, 225/60R15C.

Для шин грузовых автомобилей, монтируемых на ободья с углом наклона полук 5° или на плоских ободьях, обозначение размера – 12,00R20, где 12,00 – ширина профиля, дюймы; R – радиальная конструкция; 20 – диаметр обода, дюймы (на шинах диагональной конструкции вместо буквы «R» ставится дефис, например, 12,00-20).

Шины легковых и грузовых автомобилей должны, кроме того, соответствовать требованиям Правил ЕЭК ООН №117 в отношении звука, издаваемого ими при качении, их сцепления на мокрых поверхностях и сопротивления качению (требования в отношении сцепления на мокрых поверхностях для шин грузовых автомобилей не применяется).

С учетом требований Правил ЕЭК ООН № 117 знак официального утверждения имеет следующий вид (рис. 11.8):



Рис. 11.8. Знак официального утверждения по Правилам ЕЭК ООН № 30 и № 117

Знак официального утверждения указывает, что соответствующая шина была официально утверждена в Нидерландах (E4) на основании Правил ЕЭК ООН № 117 (обозначена индексом S2WR2: S2 – звук, издаваемый при качении, на стадии 2, W – сцепление на мокрых поверхностях и R – сопротивление качению на стадии 2) под номером официального утверждения 0212345 и на основании Правил ЕЭК ООН № 30 – под номером официального утверждения 0236378. Первые две цифры номера официального утверждения (02) указывают, что официальное утверждение было представлено в соответствии с Правилами ЕЭК ООН № 30 с поправками серии 02. Чем выше стадия, тем ниже должен быть уровень звука, издаваемый шиной при качении, и тем меньше должно быть сопротивление качению. Так, в настоящее время в странах Таможенного союза действует уровень требований по стадии 1, стадия 2 вводится с 01.01.2017, а в странах Европейского союза действует стадия 2.

11.3. Влияние шин на эксплуатационные свойства автомобиля при движении по дорогам с твердым покрытием

Шины оказывают большое влияние как на показатели тяговой, так и тормозной динамики автомобиля.

На динамику разгона в первую очередь влияет сопротивление качению шин. Чем оно меньше, тем меньше сопротивление движению, тем меньше время и путь разгона, тем больше максимальная скорость автомобиля. Кроме того, определенное влияние на разгонные качества автомобиля оказывает момент инерции шин.

Влияние шин на тормозную динамику автомобиля также весьма велико, а при прочих равных условиях является решающим. Тормозные качества одного и того же автомобиля на одних шинах могут быть совершенно неприемлемыми, а на других – превосходными.

Тормозные показатели автомобиля однозначно зависят от сцепных качеств шин. Замедление, путь и время торможения определяются качествами продольного сцепления. Показатели поперечного сцепления существенно сказываются на устойчивости автомобиля при торможении.

Шины также существенно влияют на устойчивость и управляемость автомобиля. Среди характеристик шин, влияющих на эти показатели, решающими являются сопротивление боковому уводу, стабилизирующий момент, боковая и угловая жесткость и характер их изменения в зависимости от вертикальной нагрузки, внутреннего давления воздуха и других факторов.

Вопросы устойчивости и управляемости, связанные с шинами, определяют не только безопасность движения. Ухудшение устойчивости и управляемости влечет за собой снижение скорости движения, повышение утомляемости водителя, а следовательно, и снижение производительности труда водителя и автомобиля в целом.

От характеристик шин зависят такие качества управляемости автомобиля, как реакция на действие боковых сил, быстрота реакции на поворот рулевого колеса, курсовая устойчивость, излишняя или недостаточная поворачиваемость.

Шины после подвески автомобиля являются основным элементом, определяющим плавность хода автомобиля, причем подвеска должна гасить воздействие больших неровностей, а шины – малых.

Влияние шин на плавность хода автомобиля обуславливается такими основными их характеристиками, как радиальная статическая и динамическая жесткость, а также демпфирующая способность.

Автомобильные шины являются весьма важным элементом в цепи шумообразования. Шум возникает, главным образом, на тех участках шины, которые соприкасаются с дорожным покрытием. Причинами возникновения шума от шин считаются: шероховатость дороги, трение между дорогой и протектором (визг при торможении, при пробуксовке, при боковом скольжении на повороте), трение о воздух, наличие воздуха в ячейках протектора (при соприкосновении с дорогой воздух выходит из ячеек протектора с характерным свистом), вода на дорожном покрытии, дефекты шин (дисбаланс, биение, неравномерная жесткость).

Наименее шумными являются шины с дорожным рисунком протектора, а наиболее шумными – с зимним рисунком и особенно шины повышенной проходимости.

У шин повышенной проходимости и с зимним рисунком, то есть шин с поперечным расчленением протектора, совершенно иная природа шумообразования. При свободном качении шины (не нагруженной тяговыми или тормозными усилиями) элементы протектора в зоне контакта с дорогой подвергаются сдвигу и окружному сжатию. При выходе из зоны контакта кромки элементов протектора «выщелкиваются», что приводит к возникновению шума. Наличие тяговых или тормозных усилий значительно увеличивает шумообразование.

Для шин всех типов с ростом скорости автомобиля происходит интенсивное возрастание шума от шин.

11.4. Пути совершенствования автомобильных шин

Развитие конструкции шин непосредственно связано с усовершенствованием конструкции автомобилей, улучшением их эксплуатационных свойств и осуществляется в направлении наиболее полного соответствия характеристик шин характеристикам и условиям работы автомобилей.

В связи со значительным повышением скоростей движения легковых автомобилей остро встал вопрос о безопасности движения. Важным шагом на этом пути было создание бескамерных шин.

Первые образцы таких шин были созданы в США в 1942 г. для армейских автомобилей. На гражданских автомобилях бескамерные шины начали внедрять с 1947–1948 гг. В настоящее время их устанавливают на легковые и грузовые автомобили, автобусы и самолеты. Во всем мире около 98 % шин легковых автомобилей выпускают бескамерными.

В отличие от обычной бескамерная шина имеет воздухонепроницаемый слой, специальную форму и конструкцию бортов, обеспечивающих плотную посадку шины на обод колеса. Герметизирующий слой, толщиной 2–3 мм, привулканизирован вместо камеры к внутренней поверхности шины. Вентиль крепится к ободу колеса.

Бескамерные шины получили широкое распространение, потому что имеют, по сравнению с обычными, значительные преимущества: повышают безопасность движения, так как при проколе резко не теряют давление; имеют меньшую массу; меньшее сопротивление качению; обеспечивают постоянство давления в течение продолжительного периода времени; упрощают монтаж и текущий ремонт; не накапливают статического электричества между камерой и крышкой; имеют меньшую среднюю температуру благодаря улучшенному теплообмену через обод колеса, что позволяет их использовать на больших скоростях движения и иметь при этом на 20 % больший срок службы.

Бескамерные шины являются более совершенными, чем камерные, но для их изготовления требуются высококачественные материалы, совершенная технология, высокая культура производства. Эффективное использование бескамерных шин требует также более высокой культуры их эксплуатации.

К недостаткам бескамерных шин относятся более высокие требования к ободьям для обеспечения герметичности и сложность монтажа шины на обод в полевых условиях.

Стремление повысить безопасность движения привело к созданию низкопрофильных шин. Отношение высоты профиля к его ширине постоянно уменьшается и в современных шинах достигает 40 %. Такое изменение пропорции позволяет увеличить значение коэффициента сопротивления уводу, а следовательно, уменьшить углы увода шин при воздействии боковых сил, что улучшает управляемость автомобиля.

Большим шагом в развитии конструкции автомобильных шин было создание автомобильных шин с радиальным расположением нитей корда в каркасе так называемых радиальных шин.

Основными преимуществами шин этого типа являются в полтора раза больший срок службы, меньшее на 10–15 % сопротивление качению, меньшая на 8–10 % масса, меньшие углы увода, лучшая стабильность движения по кривой, более высокое сцепление с мокрой и скользкой дорогой.

К недостаткам радиальных шин относятся более высокая шумность на малых скоростях движения, большая чувствительность к неровностям дороги и легкоповреждаемая боковина.

Важный этап совершенствования автомобильных шин – применение корда со стальными нитями так называемого металлокорда. Шины с металлокордом выпускают в основном двух типов: с металлокордом в брекре и нейлоновым кордом в каркасе (обозначается на шине «STEEL»); с металлокордом в брекре и в каркасе (обозначается на шине «ALL STEEL»).

Металлокорд, обладая высокой теплопроводностью и теплостойкостью, способствует уменьшению температуры в наиболее напряженных зонах и более равномерному ее распределению в теле шины. Указанные свойства улучшают условия работы резины в шине, обеспечивают сохранность ее физико-механических качеств. Ввиду малого относительного удлинения стального корда под нагрузкой каркас шины практически не изнашивается, а резина протектора не испытывает большого растяжения. Это повышает сопротивление резины истиранию, разрастанию повреждений. Срок службы шин с металлокордом больше, чем у обычных.

При длительной эксплуатации автомобиля на обледенелых и укатанных снежных дорогах для повышения тягово-тормозных свойств и, соответственно, безопасности движения применяют шины с шипами противоскольжения, особенно получивших широкое распространение в странах Скандинавии.

Такие шины позволяют на 40–50 % сократить тормозной путь, значительно повышают безопасность криволинейного движения, сопротивляемость заносу, а также существенно улучшают тяговую динамику автомобиля.

Однако не все шины приспособлены для монтажа шипов. Для этого нужно, чтобы блоки рисунка протектора имели достаточный

для удержания шипов массив резины. Наиболее эффективно оснащать шипами шины с зимним рисунком протектора.

Конструктивно типовой шип состоит из корпуса 1 и износостойкой вставки 2 (рис. 11.9).

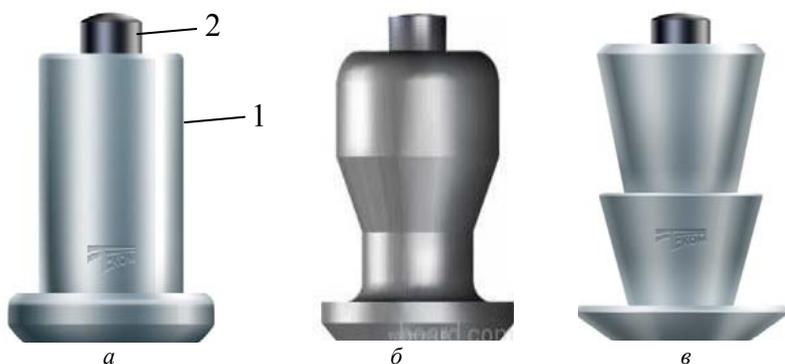


Рис. 11.9. Шипы противоскольжения:
а – однофланцевый; б – двухфланцевый; в – трехфланцевый

Корпус удерживает шип в резине протектора шины, он может быть одно-, двух- и трехфланцевой формы. Его изготавливают из материалов, обладающих низким искрообразованием (сплав стали и свинца, алюминий, пластик). Вставка обычно изготавливается из твердого сплава. Она закрепляется в корпусе запрессовкой или пайкой.

Для шин легковых автомобилей применяют шипы диаметром 8–9 мм. По мере увеличения массы автомобиля диаметр шипа увеличивается и достигает 15 мм у шин тяжелых грузовых автомобилей.

Количество шипов в шине зависит от массы автомобиля, мощности двигателя и условий эксплуатации. В зоне контакта шины с дорогой рекомендуется иметь от 8 до 12 шипов.

Между корпусом шипа и каркасом должен быть запас резины толщиной 1–3 мм, предохраняющий каркас от повреждения. Из условия эффективной работы шипа выбирается оптимальная величина его выступа над поверхностью протектора. Для шин легковых автомобилей она не должна превышать 1–1,5 мм, а для шин грузовых автомобилей, имеющих меньшую скорость движения, – 3–5 мм. При меньшем выступе падает эффективность шипа вследствие его утапливания в рези-

ну протектора, а при большем – на него действует сильный выворачивающий момент, приводящий к неправильному истиранию, образованию полости возле шипа и последующему его выпадению.

Шины с шипами должны устанавливаться на все колеса автомобиля, потому что частичное оборудование автомобиля такими шинами снижает безопасность движения.

Однако при движении по дорогам с сухим и твердым покрытием автомобиль, оборудованный шинами с металлическими шипами, имеет больший тормозной путь, меньшую сопротивляемость боковому уводу, повышенное сопротивление качению, быстрое возникновение дисбаланса, повышенную шумность и, кроме того, повреждает дорогу.

Стремление повысить безопасность движения при резкой потере давления воздуха в шине (проколе, порезе, разрыве корда) привело к появлению новых конструктивных решений шин.

При внезапной потере давления в обычной шине борта шины сходят с полок обода, обод начинает касаться поверхности дороги, нарушается управляемость и устойчивость автомобиля. Под действием массы автомобиля шина полностью уничтожается за несколько километров.

Фирмой «Dunlop» разработана конструкция безопасного автомобильного колеса. Шина монтируется на разборном плоском ободе, снабженном капсулами со специальной жидкостью, которая выдавливается внутрь шины по мере потери давления и увеличения ее деформации. Эта жидкость предназначена для смазки и снижения трения между соприкасающимися внутренними поверхностями шины с целью уменьшения их износа. Кроме того, она используется как уплотнительная масса для герметизации места прокола, также за счет ее легкой испаряемости создается давление внутри шины до 0,3 МПа, что дополнительно улучшает ездовые качества проколотой шины. Многочисленные испытания показали, что после прокола такой шины автомобиль может продолжать двигаться со скоростью до 80 км/ч на расстояние до 160 км.

Многие производители автомобильных шин используют технологию RunFlat. RunFlat в переводе с английского означает езда на спущенной шине (run-езда, flat-прокол), то есть шина RunFlat представляет собой колесо, устойчивое к проколам и повреждениям. Разные фирмы используют разные обозначения технологии RunFlat

(например, Goodyear – RunOnFlat, Bridgestone – RFT, Michelin – ZP, Continental – SSR, Pirelli – RunFlat, Dunlop – RunOnFlat, Nokian – FlatRun, Yokohama – ZPS).

Суть этой технологии заключается в использовании специальных усиленных боковин, малосминаемых под нагрузкой при потере давления. При проколе обычной шины борта шины под весом автомобиля отходят от диска, она сплющивается, возникает трение между внутренними поверхностями шины и дальнейшая езда в таких условиях становится невозможной (рис. 11.10, *а*). В случае прокола при использовании шины RunFlat (рис. 11.10, *б*), усиленные боковины удерживают шину на диске и успешно держат вес автомобиля после прокола и полной потери давления и позволяют автомобилю двигаться, но со скоростью не выше 80 км/ч и на расстояние до 250 км.

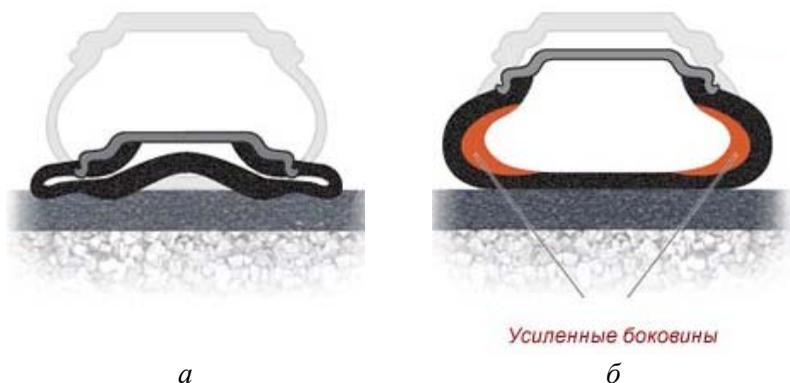


Рис. 11.10. Деформация шины после прокола:
а – обычная шина; *б* – шина RunFlat

Все динамические системы безопасности автомобиля такие, как ABS, ESP, DSC, CBC и др. остаются активными.

Основным очевидным преимуществом шин RunFlat безусловно является безопасность – при проколе на большой скорости колесо не разорвется и автомобиль не потеряет связи с дорогой. Кроме того, экономится место в багажнике, так как в большинстве автомобилей, для которых заводом-изготовителем рекомендованы покрышки RunFlat, не предусмотрено запасное колесо.

К недостаткам шин, изготовленных по технологии RunFlat, относятся:

- высокая стоимость – шины с усиленной боковиной стоят на 15–25 % дороже обычных;

- при использовании шин RunFlat на автомобиле должна быть установлена система контроля давления в шинах – датчики давления, иначе водитель может вовремя не заметить прокола, что может быть небезопасно;

- шины RunFlat более жесткие в сравнении с обычными, а это означает увеличенную нагрузку на подвеску автомобиля и небольшое снижение уровня комфорта езды.

Другой разновидностью шин RunFlat являются шины с поддерживающим кольцом. У этой модели шин RunFlat имеется кольцо поддержки, которое крепится к наружной окружности обода (рис. 11.11).



Рис. 11.11. Шина RunFlat с поддерживающим кольцом

При потере давления в шине автомобиль опирается на поддерживающее кольцо. Данные шины отличаются сложностью монтажа-демонтажа, требующего специального оборудования.

Самыми доступными для потребителей являются так называемые «самолечащиеся» шины RunFlat. У таких шин нет усиленных боковин и опорных колец, они обладают той же структурой и жесткостью, что и обычная шина. Данная технология подразумевает содержание внутри колеса дополнительного слоя из герметизирующего материала (полиамида), который обеспечивает герметизацию небольшого отверстия (до 5 мм) при его возникновении (рис. 11.12).



Рис. 11.12. Шина RunFlat с внутренним герметизирующим слоем

12. ПАССИВНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ АВТОМОБИЛЯ

Как отмечалось в начале курса, в момент, предшествующий ДТП, а также в начальной фазе его совершения, первостепенное значение имеет надежное выполнение функций активной безопасности. В заключительной фазе ДТП, когда автомобиль потерял устойчивость и управляемость, а водитель исключен из процесса активного воздействия на автомобиль, важнейшими, с точки зрения уменьшения тяжести последствий, сохранения жизни участникам движения и сохранности перевозимых грузов, являются функции пассивной безопасности.

Пассивная безопасность – система конструктивных мероприятий, направленных на сохранение жизни участникам движения (водителям, пассажирам и пешеходам), а также на снижение количества и тяжести травм, полученных ими в результате свершившегося ДТП.

12.1. Показатели пассивной безопасности

Для оценки пассивной безопасности автомобиля предложено несколько показателей. Наиболее простой показатель – фактор тяжести F_T , который представляет собой отношение числа погибших N_c во время ДТП к числу раненых N_p :

$$F_T = \frac{N_c}{N_p}.$$

По официальным данным, фактор тяжести F_T в различных странах находится в пределах 1 : 5–1 : 40.

Иногда тяжесть ДТП определяют по отношению суммы числа раненых N_p и погибших N_c к общему числу ДТП $N_{\text{ДТП}}$:

$$F_T^1 = \frac{N_c + N_p}{N_{\text{ДТП}}}.$$

Применяются также удельные показатели: число раненых и погибших при ДТП, отнесенные к одному миллиону жителей, одному миллиону километров пробега или одному миллиону автомобилей.

Часто для оценки тяжести ДТП прибегают к экономическим показателям, учитывающим потери страны вследствие аварий. Одним из таких показателей является коэффициент опасности $K_{\text{оп}}$, характеризующий вероятность смертельного исхода при происшествии для каждого из его участников:

$$K_{\text{оп}} = \frac{(K_1 N_{\text{л}} + K_2 N_{\text{т}} + K_3 N_{\text{с}})}{(N_{\text{л}} + N_{\text{т}} + N_{\text{с}} + N_0)},$$

где K_1 , K_2 и K_3 – коэффициенты тяжести последствий, позволяющие привести повреждения различных видов (легкие, тяжелые, смертельные) к повреждениям одного вида;

$N_{\text{л}}$, $N_{\text{т}}$ и $N_{\text{с}}$ – число людей, получивших соответственно легкие, тяжелые и смертельные повреждения;

N_0 – число людей, не получивших телесных повреждений.

Зная число пострадавших при ДТП и полученные ими повреждения, с помощью коэффициента опасности $K_{\text{оп}}$ можно количественно оценить тяжесть различных видов ДТП, сравнить пассивную безопасность различных автомобилей, оценить эффективность тех или иных конструктивных решений. Чем больше $K_{\text{оп}}$, тем вероятнее смертельный исход и значительнее потери от аварии.

Необходимо отметить, что вероятность получения травм и степень их тяжести зависит от места расположения человека в автомобиле во время ДТП (рис. 12.1).

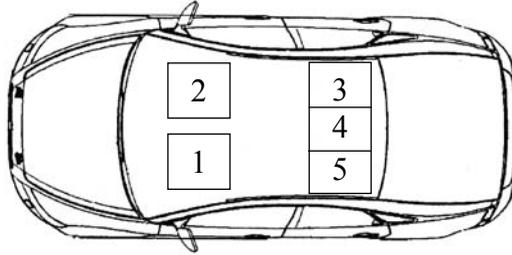


Рис. 12.1. Места расположения людей в автомобиле

В качестве примера приведены осредненные значения коэффициента опасности при встречных столкновениях (без применения ремней безопасности), иллюстрирующие относительную опасность мест в автомобиле. Для места водителя $1 - K_{\text{оп}} = 0,184$, для места 2 – $K_{\text{оп}} = 0,229$, для места 3 – $K_{\text{оп}} = 0,171$, для места 4 – $K_{\text{оп}} = 0,167$ и для места 5 – $K_{\text{оп}} = 0,149$.

Наиболее опасными являются места, занимаемые передним пассажиром и водителем, места, занимаемые задними пассажирами, менее опасны и по тяжести повреждений незначительно отличаются друг от друга.

12.2. Перегрузки, действующие на водителя и пассажиров при ДТП

В наиболее тяжелых ДТП (столкновения, наезды на неподвижные препятствия) сначала деформируются элементы кузова автомобиля, происходит первичный удар. Кинетическая энергия автомобиля тратится на деформацию и поломку его деталей. Человек внутри автомобиля продолжает движение по инерции с прежней скоростью. Силы, удерживающие тело человека (мышечные усилия конечностей, трение о поверхность сиденья), невелики по сравнению с инерционными нагрузками и не могут воспрепятствовать его перемещению. В результате человек контактирует с деталями автомобиля – рулевым колесом, панелью приборов, лобовым стеклом и т. п., происходит вторичный удар. Параметры вторичного удара зависят от скорости и замедления автомобиля, перемещения тела человека, формы и механических свойств деталей, о которые он ударяется.

При высоких скоростях движения автомобиля возможен также третичный удар, то есть удар внутренних органов человека (мозговой массы, печени, сердца, легких) о твердые части скелета. Возникающие перегрузки могут привести к серьезным повреждениям внутренних органов, разрушению кровеносных сосудов и нервных волокон. Однако наибольшую часть травм водители и пассажиры получают во время вторичного удара.

Характер и тяжесть травм зависят от многих причин: вида ДТП, скорости и конструкции автомобиля, наличия защитных приспособлений, возраста и здоровья человека. В среднем человек может выдержать без вреда для себя кратковременную (в течение 0,01–0,1 с) перегрузку в (40–50) *g*. Перегрузки, испытываемые водителем и передним пассажиром при встречных столкновениях автомобилей, достигают (150–200) *g*. Усилия, действующие на отдельные части тела человека, могут превышать 30 кН, что объясняет высокую смертность при таких ДТП.

12.3. Внутренняя пассивная безопасность

Изучение статистических данных по аварийности показывает, что с ростом автомобильного парка и интенсивности движения уменьшается относительное число наездов на пешеходов и возрастает количество столкновений, опрокидываний и наездов автомобилей на неподвижное препятствие. Одновременно возрастает значение внутренней пассивной безопасности.

Совершенствование автомобиля и повышение его внутренней пассивной безопасности осуществляются одновременно по нескольким направлениям: уменьшение инерционных нагрузок, ограничение перемещения людей в салоне автомобиля во время ДТП, устранение травмоопасных элементов интерьера.

12.3.1. Уменьшение инерционных нагрузок

Процесс удара обычно разделяют на три фазы. В течение первой фазы соударяющиеся тела, сближаясь, деформируются, их кинетическая энергия частично переходит в потенциальную, а частично затрачивается на разрушение, деформацию и нагрев деталей. Во второй фазе накопленная потенциальная энергия снова превращается

в кинетическую и тела начинают расходиться. В течение третьей фазы тела не контактируют, их энергия расходуется на преодоление внешнего сопротивления.

Основной причиной разрушения автомобилей и травмирования людей при ДТП являются ударные нагрузки. Эти нагрузки имеют импульсный характер, и, хотя действие их кратковременно, они достигают больших величин вследствие резкого изменения скорости автомобиля. При встречных столкновениях и наездах автомобиля на препятствие замедления особенно велики в зоне переднего бампера (300–400) g и уменьшаются по направлению к задней части автомобиля. Среднее замедление центра тяжести автомобиля может достигать (40–60) g. Мгновенное замедление центра тяжести больше средних значений и может составлять (80–100) g. Еще больше замедление человека во время вторичного удара.

Для снижения инерционных нагрузок необходимо увеличить продолжительность деформации элементов кузова автомобиля. С этой целью создают защитную зону вокруг водителя и пассажиров, устраивая жесткий каркас в сочетании с так называемыми «мягкими» передней и задней частями кузова, легко сминающимися при ударах (рис. 12.2).



Рис. 12.2. Конструкция кузова автомобиля с защитной зоной

Эти части кузова в большой степени поглощают энергию удара и тем самым не допускают деформацию кузова непосредственно вокруг пассажиров, одновременно снижая возникающие замедления людей в автомобиле.

В автомобилях рамной конструкции рама увеличивает жесткость не только средней, но и передней части кузова, что затрудняет ее деформацию. Для устранения этого недостатка ослабляют лонжероны и поперечины передней части рамы, уменьшая их сечения, предусматривают отверстия в слабонагруженных элементах рамы, применяют хрупкие материалы, например, алюминиевые трубы и брусья.

Остаточные деформации кузова пассажирских автомобилей после удара о плоскую стену достигают 400–500 мм, а грузовых – 150–180 мм, что обусловлено их большей жесткостью. При ударе о сосредоточенное препятствие (столб, дерево, осветительную мачту) деформация может быть значительно больше.

Двери автомобиля должны защищать пассажиров сбоку от проникновения внутрь посторонних предметов при аварии. Для этого применяются различные усиливающие кронштейны и брусья, которые ввариваются в двери и располагаются на одной высоте с бампером.

Безопасные рулевые колеса. При встречных столкновениях картер рулевого механизма смещается назад вместе с рулевым валом и рулевым колесом, приближаясь к водителю. Такое смещение может быть настолько велико, что водитель может получить травму уже при первичном ударе. Во время вторичного удара тело водителя деформирует рулевое колесо и входит в контакт с его ступицей и рулевым валом. В результате водитель получает тяжелые травмы лица, груди, брюшной полости, а иногда и сердца.

Исследования показали, что рулевые колеса так называемого «тюльпанного» типа (рис. 12.3), с точки зрения безопасности, будут оптимальными, если будут иметь две спицы, расположенные не диаметрально противоположно, а под углом 140–160°. Кроме того, чтобы исключить возможность удара водителя грудью о ступицу, ее нужно утопить настолько, чтобы спицы оказались наклоненными к плоскости обода на угол не менее 20°.

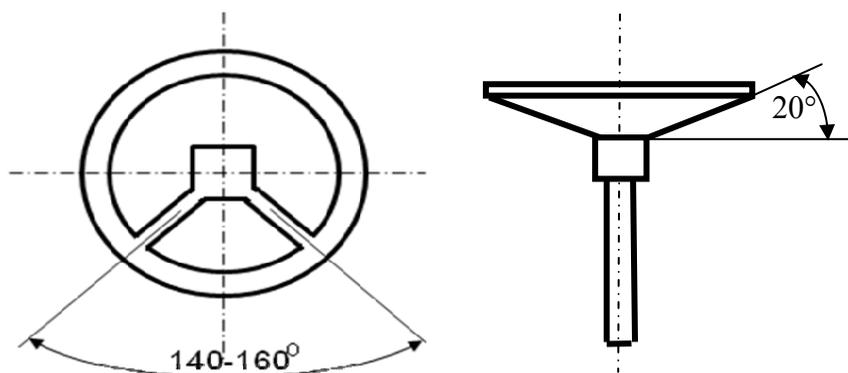


Рис. 12.3. Рулевое колесо «тюльпанного» типа

При такой конструкции спицы и каркас обода во время удара изгибаются и в результате рулевое колесо располагается перпендикулярно к направлению удара, что снижает удельное давление на грудную клетку водителя. На некоторых автомобилях под рулевым колесом размещают энергопоглощающий элемент, деформирующийся при ударах.

В большинстве современных автомобилей для защиты водителя ступицу рулевого колеса делают увеличенного размера и снабжают ее предохранительной мягкой накладкой, под которой, как правило, располагается водительская подушка безопасности (рис. 12.4).

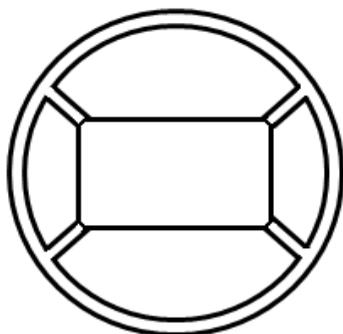


Рис. 12.4. Рулевое колесо с увеличенной ступицей

Безопасные рулевые валы. Конструкции безопасных рулевых валов весьма разнообразны (рис. 12.5). Так, чтобы предотвратить возможность продвижения рулевого колеса внутрь салона, применяют рулевые валы с карданными шарнирами 1. При ударе рулевой вал переламывается в шарнирах и рулевое колесо не продвигается внутрь салона. Для поглощения кинетической энергии тела водителя в рулевой вал встраивают специальные защитные элементы, разрушающиеся или деформирующиеся под действием нагрузок.

У некоторых автомобилей защитный элемент имеет форму перфорированной или гофрированной трубы и расположен в центре рулевого вала. Этот элемент при ударе разрушается или деформируется, поглощая энергию удара 2. Довольно часто используют деформируемый элемент в виде пластин, приваренных к внутренним концам частей рулевого вала 3. Применяется безопасный рулевой вал, состоя-

щий из двух частей 4. Вал рулевого механизма имеет шлицевую часть, на которую с натягом напрессована шлицевая втулка, приваренная к верхней части рулевого вала. При ударе водителя о рулевое колесо шлицевая втулка, преодолевая натяг, надвигается на вал рулевого механизма, на что расходуется энергия удара.

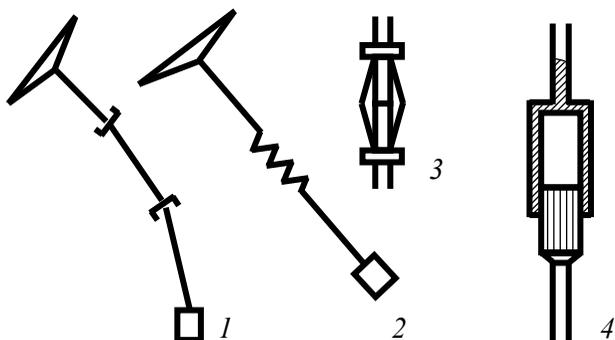


Рис. 12.5. Конструкции безопасных рулевых валов

Безопасные рулевые колонки. Для поглощения кинетической энергии тела человека рулевые колонки изготавливают с деформируемыми или составными элементами (рис. 12.6).

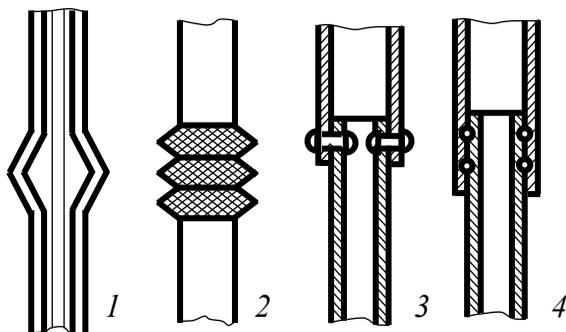


Рис. 12.6. Конструкции безопасных рулевых колонок

Деформируемые элементы могут быть выполнены в виде упругих пластин 1 или в виде гофрированной сетки 2. Часто рулевые колонки делают телескопическими. Внутренние и наружные трубы

могут соединяться пластмассовыми заклепками, которые срезаются при ударе 3. Иногда между внутренней и наружной трубами располагают несколько кольцевых поясков со стальными шариками 4. При продольном перемещении труб шарики вдавливаются в их стенки, поглощая при этом энергию удара.

12.3.2. Ограничение перемещения людей в салоне автомобиля

К устройствам, применяющимся для ограничения перемещения людей в салоне автомобиля при ДТП, относятся ремни безопасности и пневматические подушки безопасности.

Ремни безопасности. Наиболее простым и эффективным средством, ограничивающим перемещение людей внутри автомобиля при авариях, особенно при лобовых столкновениях или наездах на препятствия, являются ремни безопасности. Законодательствами большинства стран предусмотрено обязательное оборудование ремнями безопасности всех мест для сидения в автомобиле.

Эффективность ремней безопасности доказана многочисленными исследованиями. Так, по данным США и ФРГ, правильное использование ремней уменьшает число травм на 60–75 %. По данным шведских исследователей, применение ремней безопасности более чем в два раза уменьшает тяжесть последствий и в 50–70 случаях из 100 предотвращает тяжелые ранения.

Существует большое количество разнообразных конструкций ремней безопасности. Наиболее распространены комбинированные диагонально-поясные ремни, крепящиеся к кузову автомобиля в трех точках. Согласно Правилам ЕЭК ООН № 16 расстояние между точками крепления поясного ремня должно быть не менее 0,35 м. Верхняя точка крепления плечевого ремня должна находиться позади верхней точки опоры водителя на сиденье и выше нее. Необходимо, чтобы точки крепления поясного ремня выдерживали усилия не менее 22,7 кН, а плечевого ремня – не менее 22,9 кН. Замки ремня должны открываться одной рукой. Минимальная площадь поверхности кнопки замка должна быть 4,5 см², минимальная ширина – 10 мм. Ширина лямки ремня должна быть не менее 51 мм под нагрузкой 10 кН. Лямки пристегнутого ремня не должны передавать усилий на органы, не защищенные грудной клеткой. Также лямки

не должны создавать местных высоких давлений и не должны контактировать с болезненными и легкоранимыми частями тела. Расположение ремня должно по возможности уменьшать взаимное перемещение (изгиб и поворот) отдельных частей тела, приводящее к дополнительным нагрузкам. Точки крепления диагонально-поясных ремней безопасности располагаются на центральных стойках кузова, на внутренних сторонах дверных порогов и на днище кузова с обеих сторон туннеля.

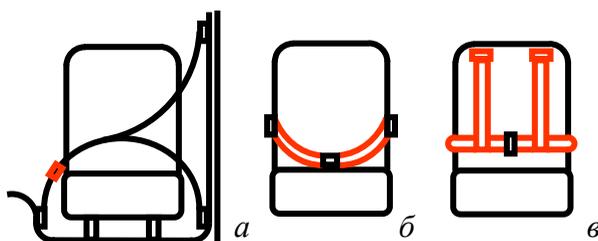


Рис. 12.7. Конструкции ремней безопасности

На грузовых автомобилях применяют поясные ремни безопасности с двумя точками крепления, состоящие из двух лямок и замка (рис. 12.7, б). На спортивных и гоночных автомобилях используют ремни с четырьмя лямками и соответственно с четырьмя точками крепления (рис. 12.7, в).

Чтобы увеличить степень использования ремней безопасности, применяют системы, препятствующие запуску двигателя, если ремень не пристегнут. Так, на некоторых автомобилях при посадке водителя на сиденье срабатывает датчик, включающий зуммер и световой сигнализатор на панели приборов, предупреждающий о необходимости пристегнуть ремень безопасности, а иногда и одновременно блокируется замок зажигания. После того, как ремень будет надет и верхние и нижние части замка будут соединены, сигнализатор и зуммер выключаются, а замок зажигания разблокируется.

Широкое применение получили инерционные катушки, на которых намотана свободная часть ремня. При плавных движениях водителя они разматываются и обеспечивают достаточную свободу перемещения для того, чтобы достать до всех органов управления. При больших ускорениях (обычно $(0,4-0,5)g$) катушка блокирует ремень.

Проведенные исследования выявили недостатки диагонально-поясных ремней безопасности:

1. Наличие зазора между ремнем и телом человека в начальный момент удара вызывает резкое натяжение ремня, в результате чего он может порваться.

2. Вследствие удара тело человека по инерции продолжает движение вперед. Наличие элементов поясного ремня ведет к тому, что верхняя часть тела получает вращательное движение вперед, в результате чего значительно увеличиваются инерционные нагрузки, приходящиеся на грудную клетку и позвоночник.

3. Во время фазы возврата водитель и пассажир резко возвращаются на сиденье, что вызывает опрокидывание головы назад и может привести к серьезным повреждениям шейных позвонков и нервных центров. Этот недостаток устраняется применением подголовников, жестко соединенных со спинкой сиденья. Но тем не менее замедление, сообщаемое человеку при возврате его назад, остается практически таким же высоким, как и в случае прямого удара.

Некоторые фирмы для усовершенствования ремней безопасности применяют амортизирующие устройства.

Амортизирующее устройство фирмы «Пежо» (рис. 12.8) устанавливается на конце ремня и состоит из цилиндрического корпуса 1, внутри которого находится литая пластмассовая втулка 2. Ремень прикреплен к концу штока 3, на другом конце которого имеется пуансон 4. При движении пуансона пластмассовая втулка испытывает радиальную пластическую деформацию, за счет чего поглощается часть энергии удара.

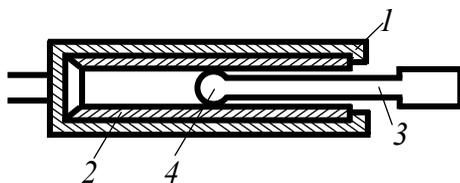


Рис. 12.8. Амортизирующее устройство ремня безопасности фирмы «Пежо»

Применение амортизирующего устройства значительно смягчает действие удара на тело человека, ведет к уменьшению величины

нагрузки и к более равномерному ее распределению между тремя ветвями ремня безопасности.

Пневматические подушки безопасности. Недостатки ремней безопасности вызвали необходимость разработки устройств, ограничивающих перемещение людей только при аварии и не стесняющих их движения в обычных условиях. К таким устройствам относится система пневматических подушек безопасности, представляющих собой купола специальной формы, изготовленные из многослойного нейлона толщиной 0,3–0,4 мм. Такая система не только эффективна, но и удобна, так как срабатывает автоматически при ударе без всяких дополнительных условий (ремни безопасности эффективны, если они пристегнуты). Пока система не активирована, они хранятся в сложенном состоянии в ступице рулевого колеса, нише передней панели, спинках передних сидений и т. д. В качестве источника газа для их наполнения используется специальное вещество (кристаллический азид натрия NaN_3), спрессованное в таблетки. В момент столкновения блок управления поджигает пиротехнические патроны, которые нагревают таблетки, и газообразный азот наполняет купола подушек. Высокая скорость химической реакции позволяет раскрыть подушки и создать в них рабочее давление за время с момента удара автомобиля о препятствие до момента удара водителя о рулевое колесо и пассажиров об элементы интерьера, что составляет 0,02–0,05 с. Скорость раскрытия купола подушки превышает 300 км/ч.

После срабатывания системы купола сбрасывают давление, чтобы не заблокировать водителя и пассажиров в салоне. Все элементы автомобиля, скрывающие внутри себя подушки безопасности, маркируются надписью SRS (Supplementary Restraint System) или AirBag.

Подушки безопасности бывают различных типов.

Фронтальные подушки. Защищают водителя и сидящего рядом с ним пассажира при ударе в переднюю часть салона автомобиля. Основная задача – не допустить удара головой о рулевое колесо, лобовое стекло или переднюю панель. За счет большого объема (водительская подушка – 50–100 л, пассажирская – 150–200 л) они обеспечивают также защиту грудной клетки. Современные системы способны варьировать объем подушки в зависимости от скорости столкновения: при незначительной аварии купола надуваются лишь частично, а серьезное столкновение приводит к полному раскрытию

подушек. Наиболее совершенные системы при отсутствии пассажира в кресле могут не раскрывать его подушку.

Боковые подушки. Защищают корпус, а иногда и бедра водителя и пассажиров при боковом ударе. Они устанавливаются, как правило, внутри сидений на их боковине, где предусмотрен специальный разрывной шов, необходимый для раскрытия купола.

Коленные подушки. Уменьшают вероятность травм коленных суставов водителя и переднего пассажира от ударов о переднюю панель при фронтальном столкновении.

Надувные занавески. При боковых ударах они совместно с боковыми подушками безопасности защищают людей, находящихся в салоне, и, кроме того, обеспечивают защиту головы и плеч при опрокидывании автомобиля.

12.3.3. Травмобезопасные элементы интерьера

По действующим правилам жизнь водителя и пассажиров должна быть сохранена при наезде автомобиля на неподвижное препятствие со скоростью 50 км/ч; во время столкновения автомобилей со скоростью 70 км/ч; в случае удара сзади по автомобилю предметом массой 1250 кг со скоростью 80 км/ч; при боковом ударе (под прямым углом) со скоростью 30 км/ч; во время двух – или трехкратного опрокидывания автомобиля с начальной скоростью 50 км/ч.

Для выполнения указанных требований вокруг человека, находящегося в автомобиле, создают защитную зону (жизненное пространство).

Детали автомобиля, ограничивающие жизненное пространство, должны быть без острых граней и углов, выступающие части (кнопки, выключатели, ручки) должны быть утоплены и покрыты мягкой обивкой.

Рычаги, переключатели и кнопки, расположенные на панели приборной зоны возможного удара о них водителя и пассажиров, выступающие над поверхностью панели на 3–9,5 мм, должны иметь головку площадью не менее 200 мм² с радиусом закругления краев не менее 2,5 мм. Детали, выступающие над панелью более чем на 9,5 мм, должны под действием горизонтального усилия 390 Н, направленного вперед, утапливаться, отсоединяться или обламываться.

Конструкция кронштейна зеркала заднего обзора, располагающегося внутри салона автомобиля, должна обеспечивать отсоединение зеркала от места крепления при воздействии на него нагрузки 50–60 Н. В современных автомобилях кронштейн этого зеркала, как правило, приклеен к ветровому стеклу.

Безопасные ветровые стекла. Статистика ДТП показывает, что большое количество травм водителей и пассажиров передних сидений связано с ветровым стеклом. Около 10–35 % всех повреждений от внутренних элементов салона приходится на ветровое стекло. Примерно такую же роль они играют и в нанесении смертельных травм. Вообще травмы, наносимые ветровым стеклом, всегда особенно тяжелы: сотрясение мозга, пробивание черепа, повреждение глаз и т. п.

Для обеспечения безопасности ветровые стекла должны быть упругими и амортизировать при ударе, чтобы исключить повреждения костей черепа. Разбиваясь, они не должны распадаться на осколки с острыми углами и гранями, которые могут привести к порезам.

В настоящее время применяют безопасные ветровые стекла двух видов: однослойные закаленные и трехслойные (триплекс).

Однослойные стекла имеют толщину около 4 мм. Большое преимущество стекол, прошедших закалку, заключается в том, что они при разбивании распадаются на мелкие кусочки с неострыми углами и гранями. Они упруги, поэтому при ударе изнутри хорошо поглощают кинетическую энергию, то есть меньше вероятность сотрясения мозга. Закалка стекла обеспечивает ему повышенную прочность. Однако при этом возникают остаточные напряжения, под действием которых при малейшем повреждении все стекло покрывается густой сетью мелких трещин и становится непрозрачным, что особенно опасно при движении на высоких скоростях. При сильном ударе снаружи, например, камнем, вылетевшим из-под колеса впереди идущего автомобиля, однослойное стекло разбивается взрывообразно, а камень может попасть в салон.

Трехслойные стекла состоят из двух слоев стекла толщиной 2–3 мм, склеенных вместе прослойкой из прозрачного пластика, чаще всего поливинилбутирола, толщиной 0,4–0,8 мм. Основное их преимущество в том, что при ударе трещины в них распространяются от центра удара в радиальном направлении и поврежденное стекло сохраняет свою прозрачность. Кроме того, оно сохраняет свою форму и не выпадает из проема кузова, так как осколки удерживаются на

пластмассовой прослойке. Однако слоистые стекла более хрупкие, чем закаленные, и в меньшей степени поглощают кинетическую энергию удара. Поэтому удары о трехслойное стекло часто приводят к сотрясению мозга и повреждению костей черепа. Разбиваясь, трехслойные стекла распадаются на осколки с острыми режущими кромками, которые могут привести к глубоким порезам. При очень сильных ударах пострадавший может головой пробить стекло насквозь. Упругий слой удерживает острые осколки вокруг шеи, и при обратном движении человека они глубоко врезаются в нее. Смертельный исход почти неизбежен, так как вытащить голову назад невозможно. Трехслойные ветровые стекла дороже и тяжелее закаленных.

В Японии полимерную прослойку предлагали заменить сеткой из вольфрамовой или никелевой проволоки, которая может быть также использована в качестве обогревательного элемента. Армирование стекла металлической проволокой повышает его прочностные и защитные свойства. Однако, несмотря на малый диаметр проволоки (20–40 мкм), сетка все-таки заметна и ухудшает прозрачность стекла.

В настоящее время нет единого мнения о том, какие ветровые стекла более безопасны. Во Франции и ФРГ можно применять стекла обоих видов. В США, Канаде, Швеции, Италии – только триплексные. Требования к заднему стеклу и стеклам дверей значительно мягче, чем к ветровым. Главное, чтобы они при разбивании не образовывали осколков с острыми углами и режущими кромками. Поэтому их делают закаленными.

12.4. Внешняя пассивная безопасность

В ДТП должна быть обеспечена сохранность как самого автомобиля, так и других участников движения и объектов. При столкновениях и наездах внешнюю пассивную безопасность обеспечивают, прежде всего, бамперы.

Правильно сконструированный бампер должен обеспечивать не только внешнюю пассивную безопасность, но также и внутреннюю, поглощая при ударе большую часть кинетической энергии. Безопасные бамперы содержат энергопоглощающий элемент, в котором энергия удара преобразуется в работу деформации или тепловую энергию. По типу упругого элемента бамперы могут быть механические, гидравлические, пневматические или комбинированные.

На рис. 12.9 показаны бамперы с механическими амортизирующими элементами.

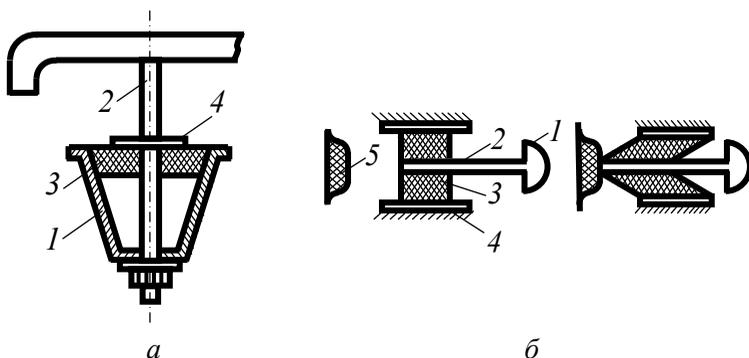


Рис. 12.9. Безопасные бамперы с механическими амортизирующими элементами

В бампере, изображенном на рис. 12.9, *а*, энергопоглощающий элемент, работающий на сжатие, выполнен в виде конуса *1*, жестко соединенного с кузовом автомобиля. Внутри конуса проходит стержень *2*, соединенный с бампером, а также имеется конический блок *3* из упругой пластмассы, упирающийся в буртик *4* стержня. При ударе эластичный блок вдвигается внутрь конуса и, сжимаясь, поглощает энергию удара.

В механических амортизаторах упругий элемент может работать на сдвиг (рис. 12.9, *б*). Поперечный брус бампера *1* соединен со стальной пластиной *2*, которая привулканизирована к резиновому элементу *3*, закрепленному в обойме *4*. При ударе пластина перемещается вперед, пока не упрется в упругий буфер *5* на кузове автомобиля. Элементы, работающие на сдвиг, удобны тем, что их жесткость не зависит от направления перемещения бампера.

В пневматических и гидравлических амортизирующих элементах энергия удара поглощается при сжатии газа или перетекании жидкости через дросселирующие отверстия.

На рис. 12.10 приведена схема бампера с гидропневматическим амортизатором. На кузове автомобиля установлен цилиндр *1*. Поршень *2* помещен в цилиндр *3* и соединен со штоком *4* с конической передней частью. Между стенкой цилиндра *3* и штоком *4* имеется

кольцевое дроселирующее отверстие 5. Задний конец штока закреплен на кузове автомобиля. Полость 6 цилиндра 1 заполнена вязкой жидкостью (минеральным или силиконовым маслом), а полость 7 – инертным газом (азотом). Утечки предотвращаются уплотнениями 8.

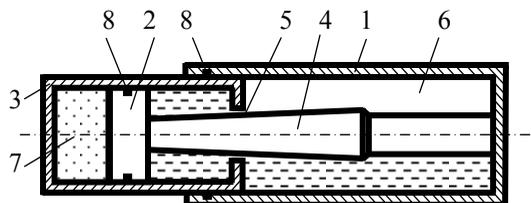


Рис. 12.10. Схема бампера с гидропневматическим амортизатором

При ударе цилиндр 3 перемещается назад и поршень 2 сжимает газ. Одновременно цилиндр 3 вдвигается в цилиндр 1, вытесняя жидкость через дроселирующее отверстие в полость, расположенную за поршнем. Благодаря конической форме штока расход жидкости через отверстие 5 уменьшается при перемещении цилиндра 3, а скорость поршня снижается каждую секунду на одну и ту же величину, вследствие чего автомобиль движется с постоянным замедлением. После удара инертный газ в полости 7 увеличивается в объеме и цилиндр 3 возвращается в исходное положение.

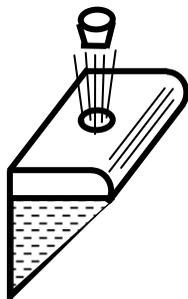


Рис. 12.11. Бампер из упругого материала

Применяются гидропневматические бамперы из легко деформируемого упругого синтетического материала толщиной около 6 мм (рис. 12.11).

В этом случае внутренняя полость бампера заполнена антифризом (во избежание замерзания) объемом 10–20 л, но не полностью. Во время удара при деформации бампера сначала сжимается воздух, находящийся над жидкостью. Затем под действием давления воздуха и жидкости выталкиваются пробки, закрывающие небольшие отверстия (\varnothing 15–20 мм) в верхней части бампера, и жидкость вытесняется через эти отверстия, на что расходуется энергия удара. При ударе автомобиля с таким бампером, движущегося со скоростью до 50 км/ч, о стоящий автомобиль оба автомобиля получают лишь незначительные повреждения, при скорости менее 30 км/ч не остается никаких следов повреждений.

Другой вариант гидропневматического бампера показан на рис. 12.12. В этом бампере внутренняя полость сообщается трубкой 2 с сифоном 3 из синтетической ткани. Внутри сифона находится пружина, удерживающая его в сжатом состоянии.

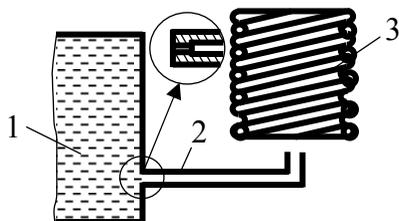


Рис. 12.12. Бампер с растягивающимся сифоном.

При ударе жидкость из внутренней полости бампера выбрасывается внутрь сифона и, преодолевая сопротивление пружины, увеличивает его объем. Трубка 2 имеет калиброванное отверстие диаметром 15–20 мм, которое увеличивает сопротивление перетеканию жидкости. Энергия удара гасится вследствие перетекания жидкости через небольшое отверстие и преодоления силы пружины сифона.

В Германии разработан безопасный пневматический бампер, состоящий из двух рукавов 1, уложенных параллельно в выемки каркаса 2 из алюминиевого сплава (рис. 12.13).

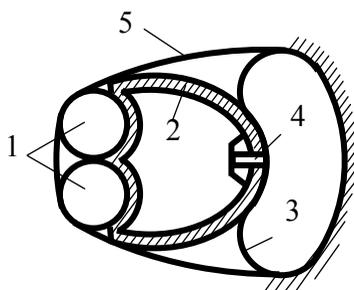


Рис. 12.13. Бампер с пневматическим амортизирующим элементом

Опорный рукав 3 лежит в выемке кузова и сообщается с внутренней полостью каркаса через клапан 4. Все элементы бампера за-

крыты защитной оболочкой 5. При наездах и столкновениях усилие через рукава 1 и каркас 2 передается на опорный рукав 3. Давление в нем повышается, и воздух через клапан 4 с небольшим проходным сечением вытесняется в полость каркаса, гася энергию удара.

Для уменьшения тяжести последствий происшествий, связанных с попутными столкновениями, особенно в случаях, когда легковые автомобили попадают сзади под грузовые, на последних необходимо устанавливать задний бампер (заднее защитное устройство).

В соответствии с Правилами ЕЭК ООН № 58 этот бампер устанавливается на всех грузовых автомобилях, у которых нижний край кузова находится на высоте более 0,7 м над дорогой или задний свес составляет более 1 м.

Высота поперечного сечения балки заднего защитного устройства должна быть не менее 100 мм. Дорожный просвет до нижнего края защитного устройства не должен быть более 550 мм.

Ширина заднего защитного устройства не должна превышать длину задней оси автомобиля, но не должна быть короче ее более чем на 100 мм с каждой стороны.

Увеличение количества наездов транспортных средств на пешеходов и высокая тяжесть последствий этого вида ДТП привели к изменениям внешнего оформления автомобилей. Так, скруглены острые углы кузова, устранены выступающие элементы, например, ручки дверей, прекращена установка фигурных фирменных эмблем на передней части капота, бамперы легковых автомобилей делают без «клыков», а с бамперов грузовых автомобилей убраны буксирные крюки.

13. ПОСЛЕАВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ АВТОМОБИЛЯ

13.1. Опасные явления, возникающие после ДТП

Опасными явлениями, которые могут возникнуть в результате ДТП, являются возгорание автомобиля, заклинивание дверей, заполнение автомобиля водой, если он попал в водоем.

Возгорание автомобиля. Возгорание автомобиля в результате ДТП очень опасно, хотя и происходит довольно редко. По статистическим данным разных стран, число ДТП с пожаром не превышает 1,2 % от общего числа ДТП. Однако водитель и пассажиры не всегда могут быстро покинуть горящий автомобиль из-за полученных травм или заклинивания дверей. Нахождение человека в горящем автомобиле более полутора минут является для него практически смертельным.

Чаще всего возгорание автомобиля происходит при тяжелых происшествиях таких, как лобовые столкновения, наезды на мачты, столбы и деревья, а также при падении автомобиля с высоты нескольких метров.

Двумя сопутствующими факторами при возгорании автомобиля во время ДТП являются образование топливно-воздушной смеси и наличие источника возгорания.

Топливо-воздушная смесь может образоваться вследствие разрушения топливного бака, утечки топлива через заливную горловину, повреждения системы питания.

Источником возгорания может быть искрение от трения, искрообразование в системе электрооборудования, раскаленные детали двигателя, открытое пламя.

Заклинивание дверей. Заклинивание дверей кузова автомобиля, которое может произойти в результате ДТП, препятствует быстрой эвакуации водителя и пассажиров, что особенно опасно в случаях получения ими серьезных повреждений или возникновения пожара. Поэтому конструкция дверных замков должна исключать их заклинивание.

Заполнение автомобиля водой. При быстром проникновении воды внутрь автомобиля в случае его попадания в водоем водитель и пассажиры не сразу приходят в себя и им необходимо некоторое время для осмысления ситуации и принятия мер для эвакуации из затопленного автомобиля. Подобные случаи происходят нечасто, за

исключением стран, в которых значительная часть дорожной сети проходит по берегам водоемов, например, в Голландии, где все водители обучаются правилам эвакуации из затопленного автомобиля.

13.2. Требования к послеаварийной безопасности автомобиля

Требования к пожарной безопасности автомобиля и соответствующим элементам его конструкции регламентированы Правилами ЕЭК ООН № 34 и 36.

Правила устанавливают, что, если после столкновения из топливной системы транспортного средства происходит безостановочная утечка топлива, – она не должна превышать 30 г/мин.

Топливный бак не должен располагаться в салоне автомобиля или в другом отделении, являющимся его составной частью, или входить в состав какой-либо его поверхности (пол, стенка, перегородка). Салон должен быть отделен от бака огнестойкой перегородкой. Бак должен быть прочно закреплен, а топливо, которое может вытекать из него, должно попадать на дорогу, а не в салон.

Заливная горловина бака не должна располагаться ни в салоне, ни в багажном отделении, ни в моторном отсеке. Крышка заливной горловины должна иметь плотную посадку на ней, чтобы предотвращать выплескивание топлива при деформации бака.

В закрытом положении крышка должна плотно прилегать к заливной горловине бака и топливо не должно вытекать через крышку или через устройство, предусмотренное для компенсации избыточного давления. В случае опрокидывания автомобиля может допускаться просачивание топлива, если только оно не превышает 30 г/мин.

Если заливная горловина расположена на боковой стороне транспортного средства, то ее крышка в закрытом положении не должна выступать над прилегающей поверхностью кузова.

Топливный бак необходимо располагать как можно дальше от двигателя (если двигатель спереди, то бак сзади, и наоборот). Однако желательно установить бак сзади, так как самые тяжелые ДТП происходят при наездах на препятствия и лобовых столкновениях, а наезды сзади происходят реже и на меньших скоростях.

Бак должен быть установлен таким образом, чтобы он был защищен на случай лобового или бокового удара, поэтому в совре-

менных автомобилях бак, как правило, располагают внутри базы, чаще всего под сиденьем задних пассажиров.

Бак не должен заряжаться статическим электричеством, и при необходимости заряды должны разряжаться на конструкцию шасси с помощью хорошего проводника.

Топливный бак должен изготавливаться из огнестойкого материала, обычно из стали. Но в последнее время распространяются топливные баки, изготовленные из негорючей пластмассы. Преимущества таких баков заключаются в том, что они выдерживают большие деформации без разрушения, имеют небольшую массу и обладают высокой антикоррозионной стойкостью.

Элементы топливной системы должны быть защищены частями шасси или кузова от соприкосновения с возможными препятствиями на дороге. Такая защита не требуется, если элементы, находящиеся в нижней части транспортного средства, располагаются по отношению к дороге выше части шасси или кузова, расположенной перед ними.

Топливопроводы, а также любые другие части топливной системы, должны размещаться на транспортном средстве в максимально защищенных местах, но не в салоне.

Электрические провода, за исключением проводов, проложенных внутри полых элементов, должны крепиться к корпусу, стенкам или перегородкам кузова, вблизи которых они проходят. В местах, в которых провода проходят сквозь стенки или перегородки, они должны быть защищены от повреждения изоляции.

Во время и после лобового или бокового столкновения аккумуляторная батарея должна удерживаться на месте ее фиксирующим устройством.

На автобусах имеется аварийный выключатель, который находится в легкодоступном для водителя месте и предназначен для снижения опасности возникновения пожара после остановки транспортного средства. Этот выключатель служит для быстрой остановки двигателя и отключения аккумуляторной батареи.

Для облегчения эвакуации людей из салона в автобусе должны быть запасные выходные люки в крыше и аварийные окна на боковых стенках. В салоне должны быть молотки для разбивания стекол. Двери и люки должны открываться наружными рукоятками.

Автобусы должны оснащаться одним или несколькими огнетушителями (один должен находиться вблизи сиденья водителя), а также одной или несколькими аптечками для оказания первой медицинской помощи.

Необходимо отметить, что вероятность спасения людей при серьезных ранениях и пожаре в результате ДТП в значительной степени зависит от того, насколько хорошо на автомобильных дорогах организована медицинская и пожарная служба.

14. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ АВТОМОБИЛЯ

14.1. Влияние автомобиля на окружающую среду

Автомобили плохо влияют на окружающую среду и человека, так как в отработавших газах их двигателей содержатся опасные для здоровья компоненты, а также при движении автомобилей возникает значительный уровень шума. Кроме того, в ДТП наносится большой материальный ущерб (уничтожение и повреждение грузов, транспортных средств и сооружений), а также возможна гибель и ранение людей. При этом вредное воздействие автомобилей увеличивается с ростом автомобильного парка и интенсивности движения. Это связано со спецификой обменных процессов в окружающей среде, что вызывает постоянное накопление в ней вредных веществ.

Автомобилизация требует развития сети автомобильных дорог, под строительство которых приходится отводить значительные площади часто плодородных земель. Автомобильные дороги, помимо этого, создают так называемый «разделяющий эффект», затрудняя или нарушая связи между участками живой природы, расположенными по разным сторонам дороги. Дорожное строительство нарушает экологическое равновесие в природе вследствие изменения существующего ландшафта; усиления водной и ветровой эрозии; развития геодинамических процессов, например, оползней и обвалов; загрязнения окружающей местности, поверхностных и грунтовых вод эксплуатационными материалами; неблагоприятного воздействия на растительный и животный мир.

14.2. Токсичность отработавших газов двигателей автомобилей

К основным вредным для человека компонентам отработавших газов двигателей автомобилей относятся: окись углерода (CO), окислы азота (NO_x), углеводороды (CH_x), окислы серы (SO_x) и твердые частицы (сажа).

Окись углерода – химически инертный газ, обладающий способностью легко смешиваться с окружающим воздухом. Окись углерода опасна для человека тем, что вызывает торможение функций центров образования гемоглобина, вследствие чего в организме нарушаются окислительные процессы, что может привести к смерти. Вначале появляются головные боли, сердцебиение, удушье, рвота, а затем – сонливость и потеря сознания.

Окислы азота – вторые после окиси углерода по своему влиянию на здоровье человека компоненты отработавших газов. Окислы азота разрушают легочную ткань, слизистую оболочку глаз, вызывают состояние беспокойства и обладают канцерогенными свойствами.

Углеводороды выбрасываются двигателями автомобилей с отработавшими и картерными газами, а также в результате испарения топлива. По некоторым данным [6], один легковой автомобиль за год испаряет от 60 до 80 л топлива, а один грузовой – от 200 до 500 л.

Наиболее опасным из так называемых ароматических углеводородов является бензпирен, обладающий канцерогенными свойствами. Многократное его воздействие на человека приводит к возникновению раковых заболеваний, эмфиземе легких (гибель эластичных элементов легочной ткани).

Несгоревшие углеводороды вызывают разнообразные хронические заболевания крови, тканей мышц и центральной нервной системы.

Двуокись серы разлагает костный мозг и селезенку, вызывает нарушения в обмене веществ. Малые дозы двуокиси серы вызывают головные боли, раздражение слизистых оболочек, конъюнктивиты и бронхиты.

Соли свинца, содержащиеся в отработавших газах двигателей, представляют собой большую опасность для здоровья человека, так как отравляюще воздействуют на него, нарушают кроветворные функции, обмен веществ и накапливаются в организме. Кроме того, сви-

нец и его соединения накапливаются не только в организме человека, но практически повсюду – в растениях и их плодах, в мясе животных, в молоке и т. д.

Отрицательное воздействие автомобиля на окружающую среду заключается не только в выделении токсичных веществ, но и в уничтожении главного компонента воздуха – кислорода.

Известно, что для сжигания трех тонн топлива необходимо примерно десять тонн кислорода. Такое его количество поступает в атмосферу за счет фотосинтеза с одного гектара леса в течение года. Также подсчитано, что автомобиль за пробег в 1000 км потребляет годовую норму кислорода одного человека.

Автомобилизация вызывает общую загрязненность и запыленность воздуха, что уменьшает освещенность, а также препятствует поступлению солнечной энергии и ультрафиолетовых лучей, а это ведет к росту сердечнососудистых и аллергических заболеваний, болезням дыхательных путей и т. п.

14.3. Методы уменьшения загрязненности окружающей среды автомобильным транспортом

Методы уменьшения загрязненности атмосферы отработавшими газами двигателей автомобилей делятся на две группы: методы снижения токсичности выбросов и методы уменьшения объемов выбросов.

Методы снижения токсичности выбросов. Эти методы можно разделить на четыре группы:

- методы изменения конструкции и рабочего процесса двигателя;
- применение другого вида топлива или изменение его физико-химических свойств;
- очистка выбросов от токсичных компонентов с помощью дополнительных устройств;
- замена традиционных двигателей новыми малотоксичными силовыми установками.

Методы первой группы включают мероприятия по улучшению смесеобразования, гомогенизации и обеднению топливно-воздушной смеси, дозирования ее по цилиндрам с помощью систем электронного впрыска, использования форкамерных процессов и послонного смесеобразования.

Вторая группа методов имеет два основных направления: применение присадок к топливу, снижающих выброс свинца, серы, канцерогенных веществ, сажи; перевод двигателя на другой вид топлива (сжиженный или природный газ, водород).

Третья группа методов включает в себя очистку выбросов от токсичных компонентов с помощью нейтрализаторов и очистителей, устанавливаемых на автомобили. Нейтрализаторы производят физико-химическую очистку выбросов, они бывают следующих типов: термические, каталитические, жидкостные. Очистители производят механическую очистку отработавших газов при их выходе из двигателя.

Четвертая группа методов предполагает замену традиционных двигателей другими малотоксичными силовыми установками: газотурбинными, роторно-поршневыми или электрическими. Теоретически возможно применение паровых двигателей, а также инерционных, аккумулирующих потенциальную или кинетическую энергию.

Следует отметить, что применение электрических двигателей, а также двигателей, работающих на водороде, потребует создания дополнительных энергетических установок для производства электричества и разложения воды на кислород и водород. Эти дополнительные энергетические установки также в основном работают на традиционных видах топлива, при сгорании которых выделяются токсичные компоненты.

Методы уменьшения объемов выбросов. Эти методы относятся к организационно-техническим мероприятиям, которые не связаны с конструктивной безопасностью автомобиля. Поэтому мы не будем их рассматривать подробно. Укажем лишь, что уменьшение объемов выбросов автомобильным транспортом может быть достигнуто соответствующей организацией транспортных потоков, оптимизацией маршрутов доставки пассажиров в городах, изменением типажа городского транспорта, формированием пассажиропотоков, целесообразной транспортной планировкой городов и совершенствованием организации дорожного движения.

14.4. Автомобильный шум

Во время движения автомобиля основными источниками шума являются двигатель, трансмиссия, кузов и взаимодействие шин с дорожным покрытием.

Шум от двигателя внутреннего сгорания возникает во впускном и выпускном трактах; в газораспределительном механизме в результате взаимодействия толкателей с клапанами, в цепных и ременных передачах привода распределительного вала; в системе охлаждения вследствие работы ременной передачи привода водяного насоса и работы вентилятора; в ременной передаче привода генератора; вследствие работы компрессора и насоса гидроусилителя рулевого управления.

В элементах шасси технически исправного автомобиля и в его кузове шум создается при работе агрегатов трансмиссии (в зубчатых передачах и подшипниках), в элементах подвески, а также в результате обтекания кузова воздушным потоком при движении автомобиля.

В результате взаимодействия шин с дорожным покрытием возникает шум, который зависит от типа автомобиля, рисунка протектора шины, конструкции подвески, вертикальной нагрузки на шину, ее жесткости и давления в ней.

У легкового технически исправного автомобиля основным источником шума являются шины, а у грузового – двигатель.

Уровень транспортного шума зависит от многих факторов, среди которых можно выделить:

- интенсивность и скорость движения, состав транспортного потока;
- технический уровень и техническое состояние транспортных средств;
- технический уровень и состояние улично-дорожной сети;
- качество управления дорожным движением, так как наибольший уровень шума, равно как и выбросов в атмосферу, наблюдается при переменных режимах движения.

Вредное воздействие шума на человека проявляется в ухудшении или потере слуха, изменениях в циркуляции крови, работе сердца и желез внутренней секреции, снижении мышечной выносливости. Реакция на шум часто выражается в повышенной возбудимости и затруднениях в общении. Шум вредно влияет на зрительный и вестибулярный анализаторы, снижает устойчивость ясного видения, ухудшает рефлекторную деятельность и ослабляет сумеречное зрение.

Уровень внешнего шума, создаваемого отдельным транспортным средством, регламентируется Правилами ЕЭК ООН № 51.

14.5. Методы снижения уровня шума автомобилей

Снижение шума двигателя. Шум, возникающий в системе впуска двигателя, является одним из основных шумов автомобиля. Снижение уровня этого шума достигается благодаря соответствующим конструктивным особенностям впускного коллектора, уменьшающим скорости обтекания его внутренних поверхностей потоком топливно-воздушной смеси, а также благодаря звукопоглощающим свойствам воздушного фильтра, что позволяет снизить уровень шума впуска на 10–15 дБА.

Наиболее значительный шум возникает в выпускной системе двигателя. Причиной этого шума является истечение через выпускные клапаны отработавших газов, обладающих высокой внутренней энергией. Уровень шума при этом достигает 125–130 дБА. Для уменьшения шума выпуска на автомобили устанавливают глушители, в конструкцию которых включены элементы, обеспечивающие поглощение энергии звуковых волн. Существуют два основных типа глушителей: активные и реактивные.

Активные глушители представляют собой каналы, внутренние стенки которых покрыты звукопоглощающими материалами. Потери звуковой энергии в таких глушителях обусловлены трением отработавших газов о стенки пор звукопоглощающих материалов. Чем больше длина глушителя и меньше сечение каналов, тем интенсивнее гасится звук. Поэтому для лучшего поглощения звука глушитель разделяют перегородками на более мелкие каналы. В зависимости от видов таких каналов активные глушители называют пластинчатыми, сотовыми или кольцевыми (рис. 14.1). Для придания глушителю жесткости и предохранения звукопоглощающих материалов от разрушения их закрывают металлической сеткой.

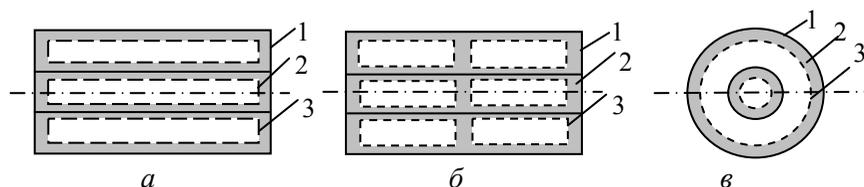


Рис. 14.1. Схемы активных глушителей:

а – пластинчатый; *б* – сотовый; *в* – кольцевой;

1 – корпус глушителя; 2 – звукопоглотитель; 3 – металлическая сетка

Реактивные глушители (акустические фильтры) не содержат специального звукопоглотителя и представляют собой различные сочетания камер и трубок, то есть элементов различной акустической упругости. Снижение шума в этих глушителях происходит в результате создания так называемой волновой пробки и отражения звуков обратно к источнику. Реактивные глушители бывают камерными, резонансными и комбинированными. На рис. 14.2 представлены схемы камерных глушителей.

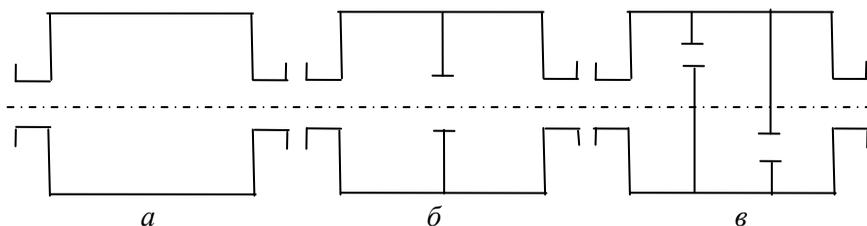


Рис. 14.2. Схемы реактивных глушителей:
 а – однокамерный; б – двухкамерный; в – трехкамерный

Большое значение для снижения шума двигателя имеет постоянный контроль за состоянием его систем, издающих шум в процессе эксплуатации автомобиля, и, прежде всего, контроль за системой выпуска отработавших газов, так как она является самым сильным источником шума. Даже незначительное повреждение одного из элементов выпускного тракта приводит к увеличению шума автомобиля на 5–10 дБ.

Снижению шума двигателя способствует качественное техническое обслуживание автомобиля, в частности, тщательная регулировка систем питания и зажигания.

Если смесь слишком обогащена, появляются «выстрелы» в глушителе, при которых повреждаются его конструктивные элементы и резко повышается уровень шума.

Причинами «выстрелов» в глушителе также могут быть неработающие свечи зажигания, а также неправильная регулировка зажигания.

Снижение шума трансмиссии. На уровень шума автомобиля, особенно при его разгоне, влияет шум, образующийся в агрегатах трансмиссии: в коробке передач, в раздаточной коробке и в главной передаче. Основными причинами возникновения этого шума явля-

ются износ зубьев шестерен, выкрашивание их рабочей поверхности, износ подшипников и их гнезд, износ шлицевых соединений.

Уровень шума трансмиссии можно уменьшить путем таких конструктивных усовершенствований, как: косозубые шестерни постоянного зацепления в коробке передач, гипоидные главные передачи, амортизационная подвеска картеров коробок передач и раздаточных коробок, синтетические смазочные материалы.

В комплексе мероприятий по снижению автотранспортного шума важное значение имеет содержание автомобилей в технически исправном состоянии. Строгое соблюдение норм и правил технического обслуживания транспортных средств способствует снижению создаваемого ими уровня шума.

15. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Непрерывный рост автомобильного парка страны, повышение интенсивности движения на автомобильном транспорте, неудовлетворительное состояние дорожной сети в сочетании с увеличением числа автомобилей для индивидуального пользования, а также существенные недостатки в организации движения и обеспечении профессионального уровня и дисциплины водителей и пешеходов служат основными причинами дорожно-транспортных происшествий. Уровень безопасности транспортных средств в большой степени определяет безопасность дорожного движения в целом.

Цель дисциплины – формирование четкого представления о конструктивных и эксплуатационных факторах, определяющих безопасность транспортных средств как основного элемента системы «человек–автомобиль–дорога» и путях повышения безопасности движения путем совершенствования конструкции автомобилей.

Дисциплина «Безопасность транспортных средств» является одной из профилирующих для специализации 1-44 01 02 «Организация дорожного движения». Она базируется на знании общенаучных специальных дисциплин: «Транспортные средства и их эксплуатационные качества», «Теоретическая механика», «Прикладная механика» и др.

15.1. Лекционные занятия

15.1.1. Введение

Цели и задачи дисциплины. Аварийность на автомобильном транспорте и ее причины. Конструктивная безопасность транспортных средств и ее роль в проблеме безопасности дорожного движения. Классификация свойств транспортных средств, влияющих на безопасность движения (активная, пассивная, послеаварийная и экологическая безопасность транспортных средств). Отечественные и международные технические нормативные правовые акты, регламентирующие требования к конструктивной безопасности.

15.1.2. Основные эксплуатационные свойства автомобиля

Автомобиль – основной элемент транспортного потока. Необходимость комплексной оценки безопасности автомобиля. Эксплуатационные свойства, определяющие его безопасность. Измерители и показатели эксплуатационных свойств.

15.1.3. Общие компоновочные параметры автомобиля

Геометрические и компоновочные параметры автомобиля, их влияние на безопасность движения. Весовые параметры автомобиля, их влияние на безопасность движения и срок службы дорожного покрытия.

15.1.4. Динамические качества автомобиля

Тяговая динамика автомобиля, ее значение для безопасности движения. Измерители и показатели тяговой динамики. Максимальная скорость и ускорение автомобиля. Обгон автомобиля, время и путь обгона. Завершенный и незавершенный обгоны. Тормозная динамика автомобиля и ее значение для безопасности движения. Измерители и показатели тормозной динамики. Максимальное замедление, тормозной и остановочный путь автомобиля. Нормативы тормозной динамики. Распределение тормозных сил между осями. Автоматическое регулирование тормозных сил автомобиля. Антиблокировочные системы. Влияние технического состояния тормозной сис-

темы на безопасность движения. Пути повышения тяговой и тормозной динамики автомобиля.

15.1.5. Устойчивость, управляемость и плавность хода автомобиля

Устойчивость автомобиля и ее значение для безопасности движения. Измерители и показатели устойчивости. Критические скорости по условиям заноса и опрокидывания. Управляемость автомобиля и ее значение для безопасности. Измерители и показатели управляемости автомобиля. Критические скорости по условиям увода и управляемости автомобиля. Плавность хода автомобиля и ее значение для безопасности. Измерители и показатели плавности хода. Условия отрыва колес от поверхности дороги. Пути повышения устойчивости, управляемости и плавности хода.

15.1.6. Информативность автомобиля

Источники и приемники информации в системе «водитель–автомобиль–дорога». Информативность как элемент активной безопасности автомобиля. Внешняя информативность автомобиля. Кузов как элемент внешней информативности. Световозвращатели. Система автономного освещения автомобиля. Видимость дороги и объектов на ней. Фары дальнего света, ближнего света, скоростного света, широкоугольно-противотуманного света. Фары ближнего света с европейской и американской системой светораспределения. Система внешней световой сигнализации. Пути совершенствования светосигнальных приборов. Влияние технического состояния автомобиля на его информативность. Внутренняя информативность автомобиля. Панель приборов. Звуковые сигнализаторы, несущая волна. Обзорность автомобиля. Методы определения обзорности. Требования к обзорности с места водителя. Требования к зеркалам заднего вида. Система очистки и обдува стекол автомобиля.

15.1.7. Рабочее место водителя

Сиденье водителя. Удобство посадки и его влияние на работоспособность и утомляемость водителя. Требования к конструкции

сиденья. Органы управления автомобилем. Требования к органам управления. Влияние характеристик органов управления на работоспособность и утомляемость водителя. Микроклимат рабочего места водителя. Температура, влажность, загазованность, шумы и вибрация на рабочем месте водителя. Влияние технического состояния автомобиля на условия труда водителя.

15.1.8. Автомобильные шины.

Конструкция автомобильных шин. Маркировка автомобильных шин. Влияние шин на эксплуатационные свойства автомобиля при движении по дорогам с твердым покрытием. Пути совершенствования автомобильных шин.

15.1.9. Пассивная безопасность автомобиля

Пассивная безопасность автомобиля, ее измерители и показатели. Первичный, вторичный и третичный удары. Величины перегрузок, действующих на водителя и пассажиров при ДТП. Классификация систем пассивной безопасности. Классификация ДТП. Внутренняя пассивная безопасность автомобиля. Источники травм водителя и пассажиров. Устранение травмоопасных деталей интерьера. Безопасные рулевые колеса и колонки. Ограничение перемещения груза. Снижение нагрузок и ограничение перемещений водителя и пассажиров. Ремни безопасности, подушки безопасности, безопасные сиденья. Внешняя пассивная безопасность автомобиля. Влияние типа автомобиля и формы кузова на тяжесть травмирования пешеходов. Конструктивные мероприятия по повышению внешней пассивной безопасности автомобиля. Энергопоглощающие бамперы и устройства, снижающие тяжесть травмирования пешеходов при ДТП.

15.1.10. Послеаварийная безопасность автомобиля

Опасные явления, возникающие после ДТП. Эвакуация людей из автомобиля после ДТП. Противопожарная безопасность автомобиля. Пути повышения пожарной безопасности автомобиля. Нормы послеаварийной безопасности.

15.1.11. Экологическая безопасность автомобиля

Влияние автомобилизации на окружающую среду. Токсичность отработавших газов двигателя. Методы уменьшения загрязнения окружающей среды. Шум автомобиля и его источники. Основные направления борьбы с шумом.

15.2. Примерный перечень практических занятий

1. Определение обзорности автомобиля.
2. Изучение Правил ЕЭК ООН, регламентирующих требования к системам автомобиля, непосредственно влияющим на его безопасность.
3. Изучение требований Конвенции о дорожном движении к системам автомобиля.
4. Изучение требований СЕМТ/ЕСМТ к безопасности автомобиля.

15.3. Примерный перечень лабораторных занятий

1. Определение показателей тормозной динамики автомобиля.
2. Определение токсичности отработавших газов автомобиля.
3. Измерение внешнего шума автомобиля.
4. Методы испытаний дверных замков на пассивную безопасность.
5. Испытание автомобиля на устойчивость и управляемость.
6. Изучение характеристик ремней безопасности.
7. Определение параметров рабочего места водителя.

16. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

Курсовая работа «Расчет параметров конструктивной безопасности транспортных средств» включает разработку следующих вопросов:

- определение параметров активной безопасности транспортных средств;
- оценка показателей пассивной безопасности транспортных средств и т. д.

16.1. Общие указания

Целью курсовой работы является приобретение практических навыков в определении эксплуатационных свойств автомобиля, непосредственно влияющих на его конструктивную безопасность.

Курсовая работа выполняется в соответствии с заданием и методическими указаниями. Она включает расчетно-пояснительную записку объемом 15–20 страниц формата А4 и графическую часть – один лист формата А1.

16.2. Общие требования

Расчетно-пояснительная записка должна содержать обложку, титульный лист, задание на курсовое проектирование, содержание, введение, основную расчетно-пояснительную часть, заключение, список использованной литературы. Она должна быть выполнена в соответствии с ГОСТ 7.32–2001.

16.3. Задание на курсовую работу

Задание на курсовую работу, подписанное руководителем и утвержденное заведующим кафедрой, выдается индивидуально каждому студенту на бланке установленного образца. В нем указывается марка исследуемого автомобиля и перечень подлежащих разработке вопросов. При получении задания студент в нем расписывается и указывает дату получения.

16.4. План выполнения курсовой работы

1. Техническая характеристика исследуемого автомобиля.
2. Определение тягово-скоростных свойств автомобиля.
3. Построение внешней скоростной характеристики двигателя.
4. Построение тяговой диаграммы автомобиля.
5. Расчет параметров торможения автомобиля:
 - определение остановочного пути и времени автомобиля в порожнем и загруженном состоянии;
 - определение замедления автомобиля с полной нагрузкой на подъеме и на уклоне;
 - расчет показателей тормозной динамики и построение их графика.
6. Определение показателей устойчивости и управляемости автомобиля:
 - определение критических скоростей движения автомобиля на повороте по условиям заноса и опрокидывания;
 - определение времени, в течение которого центробежная сила, действующая на автомобиль на повороте, увеличится до опасного предела;
 - определение критических углов косогора по условиям бокового скольжения и опрокидывания;
 - определение критической скорости автомобиля по условиям управляемости.
7. Определение динамического коридора автомобиля при прямолинейном движении и на повороте.
8. Определение расстояния до препятствия, на протяжении которого водитель сможет совершить маневр отворота.
9. Определение пути и времени обгона, сочетаемого с разгоном.
10. Определение параметров регулирования фар ближнего света:
 - определение дальности видимости в свете фар ближнего света;
 - определение максимальной скорости движения автомобиля по условиям видимости пешехода;
 - определение возможности ослепления водителя встречного автомобиля.
11. Заключение по проделанной работе.

16.5. Методические указания

16.5.1. Определение тягово-скоростных свойств автомобиля

Внешняя скоростная характеристика двигателя

Внешняя скоростная характеристика двигателя – это зависимость мощности двигателя N_e (кВт) и крутящего момента M_e (Н·м) от частоты вращения коленчатого вала n (мин⁻¹).

Для построения внешней скоростной характеристики необходимо определить значения величины крутящего момента и мощности двигателя при его работе с различной угловой скоростью коленчатого вала.

Для определения крутящего момента используем эмпирическую формулу

$$M_{ei} = \frac{N_{e\max}}{\omega_N} \left[a_M + b_M \frac{\omega_i}{\omega_N} - c_M \left(\frac{\omega_i}{\omega_N} \right)^2 \right], \text{ Н}\cdot\text{м},$$

где $N_{e\max}$ – максимальная мощность двигателя, кВт;

ω_N – угловая скорость коленчатого вала двигателя при максимальной мощности, с⁻¹;

ω_i – текущее значение угловой скорости коленчатого вала, с⁻¹;

a_M, b_M, c_M – эмпирические коэффициенты, зависящие от типа двигателя:

– для бензиновых двигателей $a_M = 1; b_M = 1; c_M = 1$;

– для дизельных двигателей $a_M = 0,53; b_M = 1,56; c_M = -1,09$.

Для нахождения мощности двигателя при определенной угловой скорости коленчатого вала используем формулу

$$N_{ei} = M_{ei}\omega_i, \text{ кВт}.$$

Тяговая диаграмма автомобиля

Тяговая диаграмма автомобиля представляет собой график изменения тяговых сил на ведущих колесах автомобиля на всех передачах переднего хода в зависимости от скорости движения.

Расчет тяговых сил производится по формуле

$$P_{Ti} = \frac{M_{ei} U_k U_{pk} U_0 \eta_{tr}}{r_k}, \text{ Н,}$$

где U_k – передаточное число коробки передач;

U_{pk} – передаточное число раздаточной коробки;

U_0 – передаточное число главной передачи;

η_{tr} – коэффициент полезного действия трансмиссии;

r_k – радиус качения ведущего колеса, м.

Расчет крутящего момента и мощности двигателя, а также тяговых сил автомобиля производится на ЭВМ по программе, разработанной на кафедре «Организация автомобильных перевозок и дорожного движения».

Для расчета на ЭВМ и выполнения других разделов работы необходимо подготовить исходные данные (параметры технической характеристики исследуемого автомобиля), перечень которых приведен в табл. 16.1.

Таблица 16.1

Техническая характеристика _____
(марка исследуемого автомобиля)

№ п/п	Наименование параметра	Условное обозначение	Ед. измер.	Значение параметра
1	Максимальная мощность двигателя	$N_{e \max}$	кВт	
2	Частота вращения коленчатого вала при максимальной мощности	n	мин ⁻¹	
3	Число передач переднего хода			
4	Передаточные числа коробки передач	U_k		1-я передача, 2-я передача и т. д.
5	Передаточное число трансмиссии (кроме коробки передач)	U_{tr}		
6	Радиус качения ведущего колеса	r_k	м	

Окончание табл. 16.1

№ п/п	Наименование параметра	Условное обозначение	Ед. измер.	Значение параметра
7	Снаряженная масса автомобиля, в том числе: приходящаяся на переднюю ось приходящаяся на заднюю ось	M_c M_{c1} M_{c2}	кг	
8	Полная масса автомобиля, в том числе: приходящаяся на переднюю ось приходящаяся на заднюю ось	M_n M_{n1} M_{n2}	кг	
9	Габаритная длина автомобиля	L_a	м	
10	Габаритная ширина автомобиля	B_a	м	
11	База	L	м	
12	Колея	B	м	
13	Передний свес	C	м	
14	КПД трансмиссии	$\eta_{тр}$		
15	Лобовая площадь	F_v	м ²	
16	Коэффициент сопротивления качению	f		
17	Коэффициент обтекаемости	K_v	Нс ² /м ⁴	
18	Высота центра тяжести: с нагрузкой без нагрузки	$h_{ц}$	м	
19	Жесткость подвески: передней задней	$C_{п1}$ $C_{п2}$	Н/м Н/м	
20	Параметры экрана для регулировки фар: расстояние между центрами фар высота центра фар смещение светового пучка фар	l h e	м м м	

Значения параметров № 1–13 и 16–20 даются преподавателем при выдаче задания.

Если в технической характеристике автомобиля приведен размер шин, то радиус качения колеса r определяют по следующей формуле:

$$r = \frac{(B \frac{X}{100} + 0,5d25,4)}{1000}, \text{ м,}$$

где B – ширина профиля шины, мм;

X – соотношение высоты профиля H к его ширине B , %;

d – посадочный диаметр шины, дюймы (1 дюйм = 25,4 мм).

Например, размер шин обозначен 205/60R16,

где 205 – ширина профиля шины B , мм;

60 (X) – соотношение высоты профиля H к его ширине B , %;

R – радиальное расположение нитей корда в каркасе шины;

16 – посадочный диаметр шины d , дюймы.

Тогда радиус качения колеса

$$r_k = \frac{(205 \cdot 0,6 + 0,5 \cdot 16 \cdot 25,4)}{1000} = 0,326 \text{ м.}$$

Значение параметра № 14 (КПД трансмиссии) выбирается в зависимости от типа автомобиля:

– для легковых автомобилей $\eta_{\text{тр}} = 0,90\text{--}0,92$;

– грузовых автомобилей и автобусов $\eta_{\text{тр}} = 0,85\text{--}0,90$;

– полноприводных автомобилей $\eta_{\text{тр}} = 0,80\text{--}0,85$.

Значение параметра № 15 (Лобовая площадь) определяется следующим образом:

– для легковых автомобилей $F_b = 0,78B_a H_a$;

– грузовых автомобилей и автобусов $F_b = BH_a$.

По данным расчета на ЭВМ строится внешняя скоростная характеристика двигателя и тяговая диаграмма автомобиля.

Распечатка результатов расчета на ЭВМ должна быть включена в расчетно-пояснительную записку.

На тяговой диаграмме необходимо построить кривую суммарного сопротивления движению автомобиля при движении по горизонтальной дороге. Для этого следует рассчитать силы сопротивления качению и воздуха.

Расчет силы сопротивления качению выполняется по следующей формуле:

$$P_k = fG, \text{ Н},$$

где f – коэффициент сопротивления качению;

G – вес автомобиля, Н.

При скорости более 50 км/ч коэффициент сопротивления качению определяется по следующей зависимости:

$$f = f_0 \left(1 + \frac{V^2}{1500} \right),$$

где f_0 – коэффициент сопротивления качению при скорости движения до 50 км/ч.

Расчет силы сопротивления воздуха производится по следующей формуле:

$$P_B = K_B F_B V^2,$$

где K_B – коэффициент сопротивления воздуха или коэффициент обтекаемости, $\text{Нс}^2/\text{м}^4$;

F_B – лобовая площадь автомобиля, м^2 .

Расчет сил сопротивления движению необходимо вести до наибольшей скорости движения автомобиля на высшей передаче по данным расчета на ЭВМ. Результаты расчета целесообразно свести в таблицу по следующей форме.

Таблица 16.2

Расчет сил сопротивления движению

V	км/ч	10	20	30	40	50	60	70	и т. д.
	м/с	2,77	5,55	8,33	11,11	13,88	16,67	19,44	
$P_k, \text{ Н}$									
$P_B, \text{ Н}$									
$P_k + P_B, \text{ Н}$									

16.5.2. Расчет параметров торможения автомобиля

Определение остановочного времени автомобиля с нагрузкой и без нагрузки

Остановочное время автомобиля определяется по следующей формуле:

$$t_0 = t_p + t_c + 0,5t_n + \frac{K_3 V_0}{g \varphi_x}, \text{ с,}$$

где t_p – время реакции водителя, с,

t_c – время срабатывания тормозной системы, с;

t_n – время нарастания замедления, с;

K_3 – коэффициент эффективности торможения;

V_0 – скорость автомобиля перед началом торможения, м/с;

φ_x – коэффициент сцепления колес автомобиля с поверхностью дороги;

g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с².

t_p принимаем равным 0,8 с;

t_c для автомобилей с гидравлическим приводом тормозов – 0,2–0,3 с,

для автомобилей с пневматическим приводом тормозов – 0,6–0,8 с.

t_n рассчитывается по формуле

$$t_n = \frac{G(b + \varphi_x h_{ц})}{k_1 L} \varphi_x, \text{ с,}$$

где G – вес автомобиля с данной нагрузкой, Н;

b – расстояние от задней оси автомобиля до центра тяжести, м;

$h_{ц}$ – расстояние от центра тяжести автомобиля до поверхности дороги, м;

k_1 – скорость нарастания тормозных сил на передних колесах автомобиля, кН/с;

L – база автомобиля, м.

Расстояние от задней оси автомобиля до центра тяжести рассчитывается по формуле

$$b = \frac{m_1}{m} L, \text{ м,}$$

где m_1 – масса автомобиля, приходящаяся на переднюю ось, кг;
 m – масса всего автомобиля с данной нагрузкой, кг;
 k_1 выбирается в зависимости от типа тормозной системы:
– для автомобилей с гидравлическим приводом тормозов $k_1 = 15–30$ кН/с;
– для автомобилей с пневматическим приводом тормозов $k_1 = 25–100$ кН/с.
 k_2 выбирается в зависимости от типа автомобиля и его весового состояния из табл. 16.3.

Таблица 16.3

Значения коэффициентов эффективности торможения

Тип автомобиля	Коэффициент эффективности торможения k_2	
	без нагрузки	с полной нагрузкой
Легковые автомобили	1,10–1,15	1,15–1,20
Грузовые массой до 10 т и автобусы длиной до 7,5 м	1,10–1,30	1,50–1,60
Грузовые массой более 10 т и автобусы длиной более 10 м	1,40–1,60	1,60–1,80

При расчетах принимаем:

– автомобиль до торможения движется с постоянной скоростью, равной 40 км/ч ($V_0 = 11,11$ м/с); коэффициент сцепления колес автомобиля с поверхностью дороги $\varphi_x = 0,6$.

Расчеты ведем для автомобиля без нагрузки и с нагрузкой.

Определение остановочного пути автомобиля с нагрузкой и без нагрузки

Остановочный путь автомобиля определяется по следующей формуле:

$$S_0 = (t_p + t_c + 0,5t_n)V_0 + \frac{k_2 V_0^2}{2g\varphi_x}, \text{ м.}$$

При расчетах следует использовать те же исходные данные, что и при определении остановочного времени автомобиля.

*Определение замедления автомобиля
с нагрузкой на уклоне и на подъеме*

При торможении автомобиля на уклоне или на подъеме сила его инерции уравнивается алгебраической суммой тормозной силы и силы сопротивления подъему. При движении на подъем эти силы складываются, а на уклоне – вычитаются:

$$P_{\text{торм}} \pm P_{\text{п}} = mj_3, \text{ Н},$$

где $P_{\text{торм}}$ – тормозная сила, Н;

$P_{\text{п}}$ – сила сопротивления подъему, Н;

m – масса автомобиля, кг;

j_3 – замедление автомобиля, м/с^2 .

Отсюда замедление автомобиля на уклоне или на подъеме:

$$j_3 = \frac{P_{\text{торм}} \pm P_{\text{п}}}{m}, \text{ Н}.$$

Тормозная сила и сила сопротивления подъему рассчитываются по следующим формулам:

$$P_{\text{торм}} = G\varphi_x \cos \alpha, \text{ Н};$$

$$P_{\text{п}} = G \sin \alpha, \text{ Н},$$

где G – вес автомобиля, Н;

φ_x – коэффициент сцепления колес автомобиля с поверхностью дороги;

α – угол подъема (уклона) дороги, рад.

Конечная формула для расчета замедления автомобиля на уклоне и подъеме будет иметь следующий вид:

$$j_3 = \left(\frac{\varphi_x \cos \alpha}{k_3} \pm \sin \alpha \right) g, \text{ м/с}^2.$$

Замедление автомобиля необходимо определять при углах подъема (уклона) $\alpha = 0,1$ рад.

*Построение графика показателей
тормозной динамики автомобиля*

Для построения графика показателей тормозной динамики необходимо определить значения тормозного пути, времени торможения и замедления для автомобиля с нагрузкой и без нагрузки.

Для этого используем следующие формулы:

$$j_3 = \frac{g\varphi_x}{k_3}, \text{ м/с}^2;$$

$$t_T = t_c + 0,5t_H + \frac{k_3V_0}{g\varphi_x}, \text{ с};$$

$$S_T = (t_c + 0,5t_H)V_0 + \frac{k_3V_0^2}{2g\varphi_x}, \text{ с}.$$

Расчет выполняется для диапазона скоростей движения автомобиля от 0 до 100 км/ч через 10 км/ч.

Результаты расчета необходимо свести в таблицу, примерный вид которой приведен ниже, табл. 16.4.

Таблица 16.4

Показатели тормозной динамики автомобиля

Скорость		Автомобиль с нагрузкой			Автомобиль без нагрузки		
км/ч	м/с	$j, \text{ м/с}^2$	$S_T, \text{ м}$	$t_T, \text{ с}$	$j, \text{ м/с}^2$	$S_T, \text{ м}$	$t_T, \text{ с}$
0	0						
10	2,77						
20	5,55						
30	8,33						
и т. д.							

16.5.3. Определение показателей устойчивости и управляемости автомобиля

Определение критической скорости автомобиля по опрокидыванию

Критическая скорость по опрокидыванию $V_{\text{опр}}$ определяется по формуле

$$V_{\text{опр}} = \sqrt{\frac{gRB}{2h_{\text{ц}}}}, \text{ м/с,}$$

где R – радиус поворота, м;

B – передняя колея автомобиля, м;

$h_{\text{ц}}$ – высота центра тяжести автомобиля, м.

Расчет следует вести для нагруженного и порожнего автомобиля при радиусе поворота $R = 50$ м.

Определение критической скорости автомобиля по условиям заноса

Критическая скорость по заносу $V_{\text{заноса}}$ определяется по формуле

$$V_{\text{заноса}} = \sqrt{gR\varphi_y}, \text{ м/с,}$$

где φ_y – коэффициент поперечного сцепления колес автомобиля с поверхностью дороги.

Расчет необходимо вести при радиусе поворота $R = 150$ м, $\varphi_y = 0,6$ и $\varphi_y = 0,2$.

Определение времени, в течение которого центробежная сила увеличится до опасного предела

При движении автомобиля на повороте на него действует поперечная составляющая центробежной силы P_y и сила, действующая на переднюю часть автомобиля, которая вызвана поворотом управляемых колес P'_y .

Суммарная сила, действующая на автомобиль:

$$P_{\text{сум}} = P_y + P'_y = \frac{mV^2\theta}{L} + \frac{mbV\omega_{y.k}}{L} = \frac{mV}{L}(V\theta + b\omega_{y.k}), \text{ Н},$$

где $\omega_{y.k}$ – угловая скорость поворота управляемых колес.

Расчет произведем при условии, что управляемые колеса поворачиваются с постоянной угловой скоростью.

Угол поворота управляемых колес можно определить по формуле

$$\theta = \omega_{y.k}t.$$

Подставив в исходную формулу значение θ , получим

$$P_{\text{сум}} = \frac{mV}{L}(V\omega_{y.k}t + b\omega_{y.k}), \text{ Н}.$$

Предельное значение суммарной силы, при которой автомобиль на повороте будет двигаться без бокового скольжения, не должно превышать силы поперечного сцепления колес с дорогой:

$$P_{\text{сум}} \leq G\varphi_y, \text{ Н}.$$

Тогда, приравняв эти два выражения, получим

$$\frac{mV}{L}(Vt\omega_{y.k} + b\omega_{y.k}) = G\varphi_y = mg\varphi_y.$$

Отсюда определим время, в течение которого центробежная сила увеличится до опасного предела:

$$t = \frac{g\varphi_y L - bV\omega_{y.k}}{V^2\omega_{y.k}}, \text{ с}.$$

Расчет следует вести для автомобиля с нагрузкой и без нагрузки при следующих исходных данных: $\varphi_y = 0,6$ и $\varphi_y = 0,2$; $V = 60 \text{ км/ч} = 16,7 \text{ м/с}$; $\omega_{y.k} = 0,1 \text{ рад/с} = 0,016 \text{ с}^{-1}$.

*Определение критического угла косогора
по опрокидыванию автомобиля*

Критический угол косогора по опрокидыванию автомобиля $\beta_{\text{опр}}$ определяется по формуле

$$\beta_{\text{опр}} = \text{arctg} \frac{B}{2h_{\text{ц}}}, \text{ рад.}$$

Расчет ведем для автомобиля с полной нагрузкой и без нагрузки.

*Определение критического угла косогора
по условию бокового скольжения*

Критический угол косогора по условию бокового скольжения $\beta_{\text{ск}}$ определяется по формуле

$$\beta_{\text{ск}} = \text{arctg} \varphi_y, \text{ рад.}$$

Расчет произведем для значений коэффициента сцепления колес автомобиля с поверхностью дороги $\varphi_y = 0,6$ и $\varphi_y = 0,2$.

*Определение критической скорости автомобиля
по условиям управляемости*

Для определения критической скорости автомобиля по условиям управляемости $V_{\text{упр}}$ используем формулу

$$V_{\text{упр}} = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{\varphi^2 - f^2}}{\text{tg} \theta} - f \right) gL \cos \theta}, \text{ м/с,}$$

где θ – угол поворота управляемых колес автомобиля.

Этот угол можно определить как

$$\theta = \text{arctg} \frac{L}{R}, \text{ рад.}$$

Расчет необходимо вести для $\varphi = 0,2$, $R = 125$ м и $f = 0,02$.

16.5.4. Определение динамического коридора автомобиля

Определение динамического коридора автомобиля при прямолинейном движении

Динамический коридор автомобиля при прямолинейном движении рассчитывается по следующей эмпирической формуле:

$$B_k = 0,054V + B_a + 0,3, \text{ м,}$$

где B_a – габаритная ширина автомобиля, м.

Динамический коридор определяется для диапазона скоростей движения от 30 до 90 км/ч через 10 км/ч.

Результаты расчета следует свести в таблицу (пример табл. 16.5).

Таблица 16.5

Динамический коридор автомобиля

Скорость автомобиля	км/ч	30	40	50	60	70	80	90
	м/с	8,33	11,11	13,88	16,67	19,44	22,22	25
B_k , м								

Определение динамического коридора одиночного автомобиля на повороте

Динамический коридор одиночного автомобиля при движении на повороте определяется по следующей зависимости:

$$B_k = R_n - \sqrt{R_n^2 - (L + C)^2} + B_a, \text{ м,}$$

где R_n – наружный габаритный радиус поворота автомобиля, м;

C – передний свес автомобиля, м

Расчет ведем для $R_n = 50$ м.

Определение динамического коридора автомобиля с прицепом на повороте

Динамический коридор при движении автомобиля с прицепом на повороте больше, чем у одиночного автомобиля за счет смещения

задней оси прицепа относительно задней оси тягача и определяется по следующей формуле:

$$B_k = R_n - \sqrt{R_n^2 - (L + C)^2} + B_a + C_k, \text{ м,}$$

где C_k – смещение середины задней оси прицепа относительно середины задней оси тягача.

Расчет проводить для $R_n = 50$ м и $C_k = 0,7 - 1,0$ м.

16.5.5. Определение расстояния до препятствия, на протяжении которого водитель сможет совершить маневр отворота от препятствия

На рис. 16.1 показан отворот от препятствия, когда внешняя габаритная точка транспортного средства движется по дуге AB постоянного радиуса R . Чтобы совершить такой маневр и проехать мимо препятствия с интервалом Δ , водителю необходимо располагать расстоянием S от передней части автомобиля до препятствия в тот момент, когда водитель принимает решение произвести маневр.

Как видно на рисунке, расстояние от передней части автомобиля до препятствия

$$S = BD - (L + C).$$

Из прямоугольного треугольника OBD находим

$$BD = \sqrt{OB^2 - OD^2}.$$

Если AD обозначить как h , то с учетом того, что $AO = BO = R_n$, можно записать

$$OD = AO - AD = R_n - h.$$

$h = AD$ найдем как сумму $Y + \Delta$,

где Y – ширина препятствия.

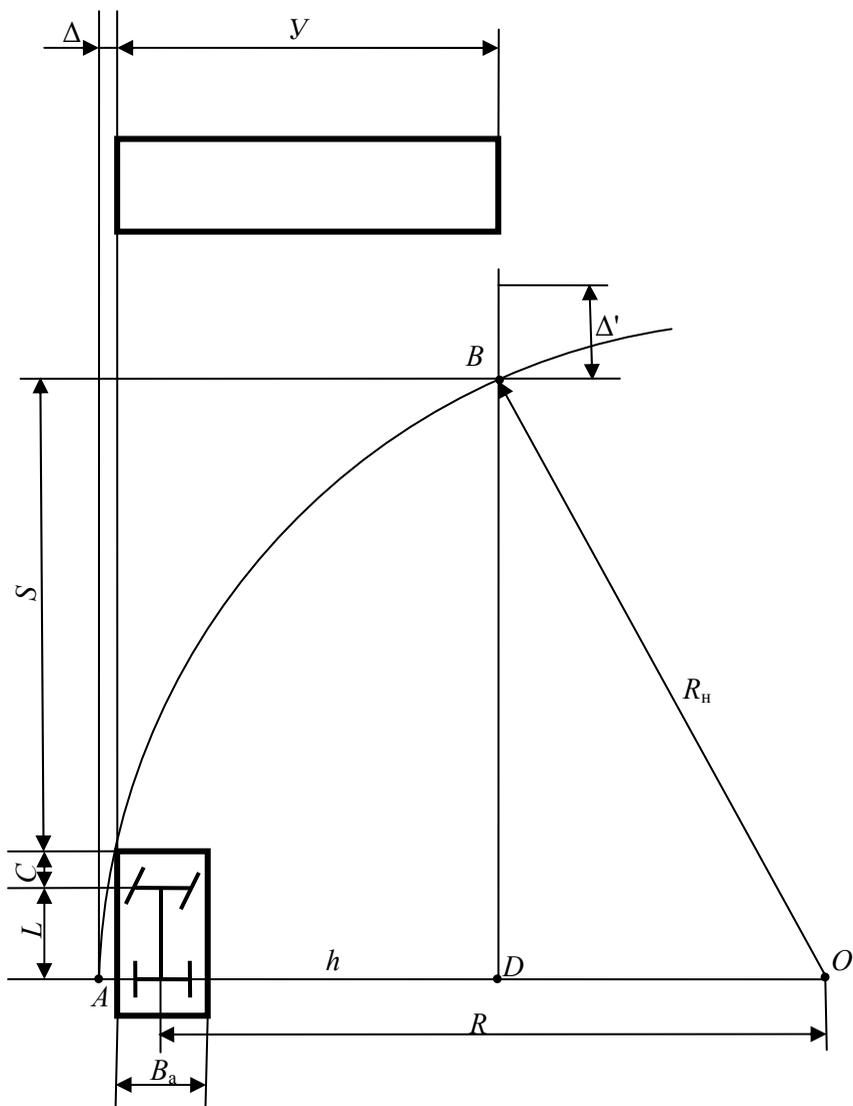


Рис. 16.1. Схема маневрирования автомобиля

Величину Δ можно определить как разность между шириной динамического коридора автомобиля на повороте и его габаритной шириной:

$$\Delta = B_k - B_a \quad \text{или} \quad \Delta = R_H - \sqrt{R_H^2 - (L + C)^2}.$$

Тогда выражение для определения BD будет иметь следующий вид:

$$BD = \sqrt{R_H^2 - (R_H - h)^2} = \sqrt{R_H^2 - R_H^2 + 2hR_H - h^2} = \sqrt{2hR_H - h^2}.$$

Расстояние от автомобиля до препятствия определим как

$$S = \sqrt{2hR_H - h^2} - (L + C).$$

В общем случае для того чтобы водитель мог осуществить маневр отворота, необходимо, чтобы расстояние до препятствия было следующим:

$$S = (t_p + t_1 + t)V + \sqrt{2R_H h - h^2} - (L + C) + \Delta', \text{ м},$$

где t_p – время реакции водителя, с;

t_1 – время срабатывания рулевого привода, с;

t – время вывода автомобиля на траекторию постоянного радиуса R , с;

Δ' – интервал безопасности между левым краем переднего бампера автомобиля и препятствием, м.

Время реакции водителя t_p принимается 0,8 с.

Время срабатывания рулевого привода t_1 выбирается в зависимости от типа автомобиля:

– для легковых автомобилей $t_1 = 0,1-0,2$ с;

– для грузовых автомобилей и автобусов $t_1 = 0,3-0,4$ с.

Если считать, что водитель поворачивает рулевое колесо с постоянной угловой скоростью $\omega_{y,к}$, то время вывода автомобиля на траекторию постоянного радиуса R определяется из выражения

$$t = \frac{\theta}{\omega_{y,k}}, \text{ с,}$$

где θ – угол поворота управляемых колес автомобиля, обеспечивающий движение по траектории постоянного радиуса R , определяется из выражения

$$\theta = \arctg \frac{L}{R}, \text{ рад.}$$

Из схемы маневрирования автомобиля $R = R_n - \Delta - 0,5 B_a$.

Расчет производится при следующих исходных данных: $V = 60$ км/ч; $U = 6$ м; $R_n = 60$ м – для легковых автомобилей, $R_n = 70$ м – для грузовых автомобилей и автобусов; $\omega_{y,k} = 0,1$ рад/с; $\Delta' = 0,5$ м.

16.5.6. Определение пути и времени обгона с ускорением

Для определения пути и времени обгона с ускорением, то есть обгона, сочетаемого с разгоном, необходимо построить график интенсивности разгона обгоняющего автомобиля, характеризующий зависимость между путем и временем разгона автомобиля при ускоренном движении. Для построения этого графика следует рассчитать время и путь разгона автомобиля и построить соответствующие графики.

Будем считать, что процесс обгона с ускорением происходит на передаче, предшествующей высшей ступени коробки передач. Для расчета пути и времени разгона автомобиля воспользуемся данными ускорения автомобиля на этой передаче, приведенными в крайней правой графе распечатки результатов тягового расчета на ЭВМ.

Для построения графика времени разгона необходимо определить время разгона в каждом интервале скоростей движения, считая, что в пределах интервала автомобиль движется с постоянным ускорением

$$j_{срi} = \frac{j_i + j_{i+1}}{2}, \text{ м/с}^2.$$

Тогда время разгона от скорости V_i до скорости V_{i+1}

$$t_i = \frac{V_{i+1} - V_i}{j_{\text{ср}i}} = \frac{\Delta V_i}{j_{\text{ср}i}}, \text{ с.}$$

Общее время разгона до максимальной скорости

$$t_p = \sum_{i=1}^n t_i, \text{ с.}$$

При определении пути разгона автомобиля считается, что за время t_i автомобиль движется с постоянной средней скоростью $V_{\text{ср}i}$:

$$V_{\text{ср}i} = \frac{V_i + V_{i+1}}{2}, \text{ м/с.}$$

Тогда путь, пройденный автомобилем за это время, будет

$$S_i = t_i V_{\text{ср}i}, \text{ м.}$$

Общий путь, пройденный автомобилем за время разгона до максимальной скорости:

$$S_p = \sum_{i=1}^n \Delta t_i V_{\text{ср}i}, \text{ м.}$$

Результаты расчета параметров разгона сводим в табл. 16.6.

Таблица 16.6

Параметры разгона автомобиля

V_i		ΔV_i , м/с	j_i , м/с ²	j_{cp_i} , м/с ²	t_i , с	$\sum_{i=1}^n t_i$, с	V_{cp_i} , м/с	S_i , м	$\sum_{i=1}^n S_i$, м
км/ч	м/с								
V_1	V_1		j_1		0	0	0	0	0
		ΔV_1		j_{cp1}	t_1	t_1	V_{cp1}	S_1	S_1
V_2	V_2		j_2		t_2	$t_1 + t_2$	V_{cp2}	S_2	$S_1 + S_2$
		ΔV_2		j_{cp2}	t_2	$t_1 + t_2$	V_{cp2}	S_2	$S_1 + S_2$
V_3	V_3		j_3		t_3	$t_1 + t_2 + t_3$	V_{cp3}	S_3	$S_1 + S_2 + S_3$
		ΔV_3		j_{cp3}	t_3	$t_1 + t_2 + t_3$	V_{cp3}	S_3	$S_1 + S_2 + S_3$
V_4	V_4		j_4		t_4	$t_1 + t_2 + t_3 + t_4$	V_{cp4}	S_4	$S_1 + S_2 + S_3 + S_4$
		ΔV_4		j_{cp4}	t_4	$t_1 + t_2 + t_3 + t_4$	V_{cp4}	S_4	$S_1 + S_2 + S_3 + S_4$
V_5	V_5		j_5						

По расчетным данным, приведенным в таблице, строят графики времени и пути разгона автомобиля на передаче, предшествующей высшей.

После этого строят график интенсивности разгона, для чего в координатах $S-t$ наносят значения времени t_1 и пути S_1 , необходимые для разгона автомобиля от скорости V_1 до скорости V_2 , а затем значения времени $t_1 + t_2$ и пути $S_1 + S_2$ для интервала скоростей V_1-V_3 и т. д. После этого полученные точки соединяют плавной кривой.

Для определения времени и пути обгона с ускорением на кривой интенсивности разгона (рис. 16.2) находят точку A , соответствующую скорости движения V_2 обгоняемого автомобиля, и от нее вправо по горизонтали откладывают отрезок, равный $D_1 + L_2$, где D_1 – дистанция безопасности в начале обгона, а L_2 – габаритная длина обгоняемого автомобиля. Из конца отрезка проводим наклонную прямую, изображающую движение обгоняемого автомобиля. Точка B пересечения этой прямой с кривой интенсивности разгона соответствует моменту времени, когда передние части обоих автомобилей сравнялись. При дальнейшем движении обгоняющий автомобиль выходит вперед.

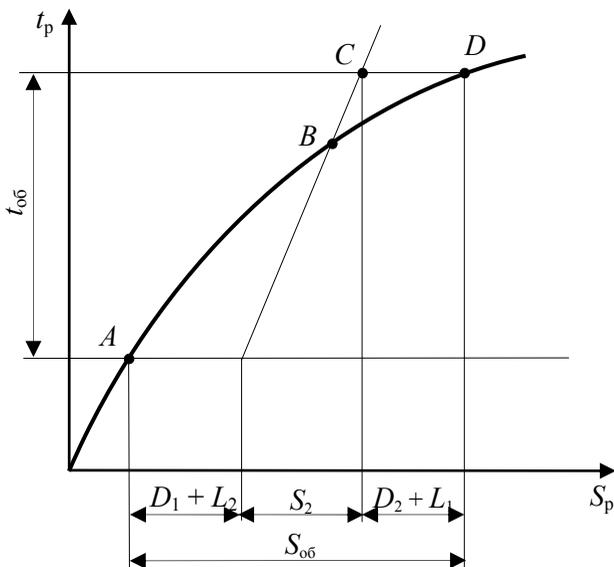


Рис. 16.2. График пути времени обгона с ускорением

Чтобы определить минимально необходимое время и путь обгона, необходимо на графике найти две точки C и D , расстояние между которыми по горизонтали было бы равно сумме $D_2 + L_1$, где D_2 – дистанция безопасности в конце обгона, а L_1 – габаритная длина обгоняющего автомобиля. Зная положения начальной и конечной точек обгона, по координатам S и t находят путь и время обгона.

Дистанции безопасности в начале обгона D_1 и в конце обгона D_2 определяются по следующим эмпирическим выражениям:

$$D_1 = a_{об} V_1^2 + 4,0, \text{ м};$$

$$D_2 = b_{об} V_2^2 + 4,0, \text{ м},$$

где V_1 – скорость обгоняющего автомобиля в начале обгона;

V_2 – скорость обгоняемого автомобиля;

$a_{об}$ и $b_{об}$ – эмпирические коэффициенты обгона.

Значения эмпирических коэффициентов зависят от типа обгоняемого автомобиля и выбираются из табл. 16.7.

Таблица 16.7

Значения коэффициентов обгона

Тип автомобиля	$a_{об}$	$b_{об}$
Легковые автомобили	0,33	0,26
Грузовые автомобили средней грузоподъемности	0,53	0,48
Грузовые автомобили большой грузоподъемности и автопоезда	0,76	0,67

В расчетах принимаем, что скорость обгоняемого автомобиля $V_2 = 60$ км/ч и габаритная длина обгоняемого автомобиля равна габаритной длине обгоняющего автомобиля, то есть $L_1 = L_2$.

16.5.7. Определение параметров регулирования фар ближнего света

Для обеспечения безопасности движения большое значение имеет правильная регулировка фар автомобиля. Регулировка фар ближнего света с европейской асимметричной системой светораспределения может проводиться с помощью специального экрана, перед которым на определенном расстоянии устанавливается автомобиль.

Разметка регулировочного экрана представлена на рис. 16.3.

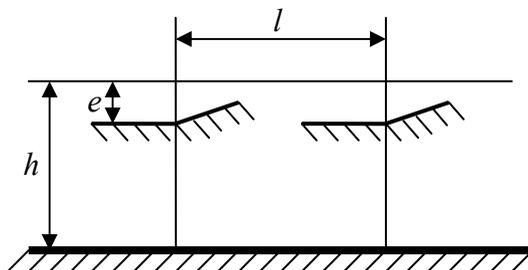


Рис. 16.3. Разметка экрана для регулировки фар:

l – расстояние между центрами фар, м; h – высота центра фар над уровнем дороги, м;
 e – смещение светового пучка фар, м

*Определение дальности видимости дороги
в свете фар ближнего света*

Для определения параметров регулирования фар ближнего света воспользуемся следующей схемой, рис. 16.4.

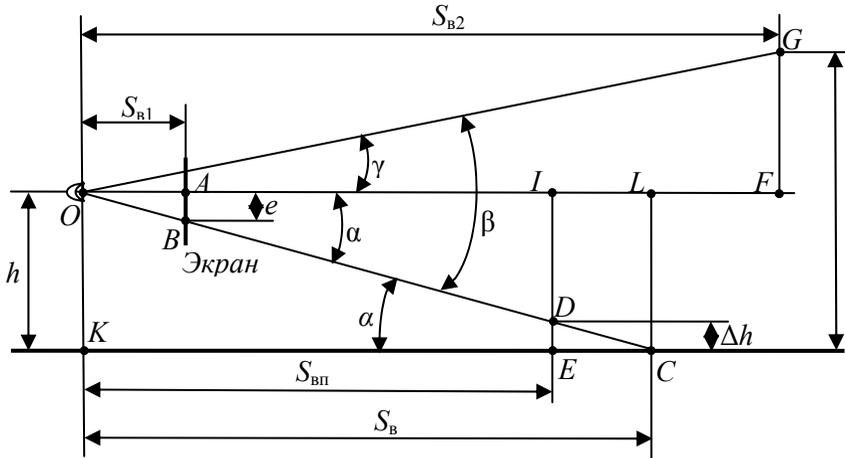


Рис. 16.4. Схема параметров регулирования фар ближнего света:

S_B – дальность видимости в свете фар ближнего света, м; S_{B1} – расстояние до регулировочного экрана, м; S_{B2} – расстояние до водителя встречного автомобиля, м ($S_{B2} = 50$ м); S_{B1} – дальность видимости пешехода в свете фар, м; Δh – минимальная высота освещения фарами ног пешехода, при которой он будет замечен водителем, м, ($\Delta h = 0,2$ м); H – высота расположения глаз водителя встречного автомобиля над дорогой, м, ($H = 1,25$ м); α – угол падения светового пучка фар на поверхность дороги, рад; β – угол подъема светового пучка фар, при котором ослепляется водитель встречного автомобиля, рад; γ – угол между горизонтальной линией, проходящей через центр фар, и световым пучком фар, направленным в глаза водителя встречного автомобиля, рад

В соответствии со схемой из подобия прямоугольных треугольников OAB и OCK можно записать

$$\frac{S_{B1}}{e} = \frac{S_B}{h}$$

Отсюда следует, что дальность видимости дороги в свете фар ближнего света

$$S_B = S_{B1} \frac{h}{e}, \text{ м.}$$

Определение максимальной скорости движения по условиям видимости пешехода

Расстояние видимости пешехода в свете фар ближнего света определим из подобия прямоугольных треугольников *OLC* и *OID*:

$$\frac{S_B}{h} = \frac{S_{B1}}{h - \Delta h}.$$

Отсюда дальность видимости пешехода

$$S_{B1} = S_B \frac{h - \Delta h}{h}, \text{ м.}$$

В темное время суток водитель может предотвратить наезд на пешехода, если дальность его видимости в свете фар будет больше, чем остановочный путь автомобиля, то есть $S_{B1} \geq S_0$.

Остановочный путь автомобиля рассчитывается по формуле

$$S_0 = (t_p + t_c + 0,5t_H)V_0 + \frac{k_3 V_0^2}{2g\varphi_x}, \text{ м.}$$

Если в эту формулу вместо S_0 подставить S_{B1} , то ее можно записать в следующем виде:

$$\frac{k_3 V_0^2}{2g\varphi_x} + (t_p + t_c + 0,5t_H)V_0 - S_{B1} = 0.$$

В полученной формуле примем следующие обозначения:

$$a = \frac{k_3}{2g\varphi_x}; \quad b = t_p + t_c + 0,5t_H; \quad c = S_{B1}.$$

С учетом принятых обозначений получаем $aV^2 + bV - c = 0$.

Решив полученное уравнение второго порядка относительно V , определим максимальную скорость автомобиля по условиям видимости пешехода:

$$V_{\max} = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \text{ м/с.}$$

*Определение возможности ослепления светом фар
водителя встречного автомобиля*

При загрузке автомобиля прогибаются упругие элементы его подвески и шины. Прогиб шин, по сравнению с прогибом подвески, невелик, и им можно пренебречь. Прогиб элементов задней подвески, как правило, больше, чем передней, и продольная ось автомобиля наклоняется назад на некоторый угол, вследствие чего световой пучок фар поднимается на некоторый угол вверх и возможно ослепление водителя встречного автомобиля.

Для определения возможности ослепления водителя встречного автомобиля необходимо найти фактический угол $\beta_{\text{факт}}$ подъема светового пучка фар, связанный с наклоном продольной оси автомобиля, и сравнить его с теоретическим углом β , который находится по схеме, приведенной на рис. 16.4.

На рис. 16.5 показана схема изменения положения продольной оси автомобиля при его загрузке.

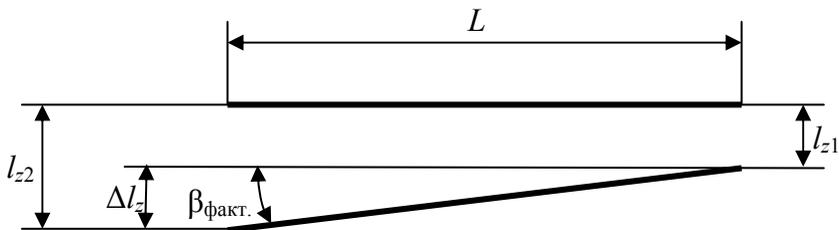


Рис. 16.5. Схема изменения положения продольной оси автомобиля:
 L – база автомобиля, м; l_{z1} – величина прогиба передней подвески, м; l_{z2} – величина прогиба задней подвески, м; Δl_z – разность величин прогиба передней из задней подвески, м

Величины прогиба передней и задней подвески определяются по следующим выражениям:

$$l_{z1} = \frac{G_{1н} - G_{1бн}}{C_{п1}}, \text{ м}; \quad l_{z2} = \frac{G_{2н} - G_{2бн}}{C_{п2}}, \text{ м},$$

где $G_{1н}$ и $G_{2н}$ – вес автомобиля с нагрузкой, приходящийся на переднюю и заднюю ось соответственно, Н;

$G_{1бн}$ и $G_{2бн}$ – вес автомобиля без нагрузки, приходящийся на переднюю и заднюю ось соответственно, Н;

$C_{п1}$ и $C_{п2}$ – вертикальная жесткость передней и задней подвески соответственно, Н/м.

Угол наклона продольной оси автомобиля после загрузки и, соответственно, фактический угол подъема светового пучка фар определим из схемы, представленной на рис. 16.5:

$$\beta_{\text{факт}} = \arctg \frac{l_{z2} - l_{z1}}{L} = \arctg \frac{\Delta l_z}{L}, \text{ рад.}$$

Теоретический угол подъема светового пучка фар после загрузки автомобиля определим из схемы, представленной на рис. 16.4, в соответствии с которой этот угол равен сумме двух углов α и γ , которые определим из следующих выражений:

$$\alpha = \arctg \frac{h}{S_B}, \text{ рад}; \quad \gamma = \arctg \frac{H - h}{S_{B2}}, \text{ рад.}$$

Сравниваются фактический и теоретический угол β , и делается вывод о возможности ослепления водителя встречного автомобиля и необходимости регулировки фар ближнего света при загрузке автомобиля.

Условие отсутствия ослепления $\beta > \beta_{\text{факт}}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьев, Л. Л. Конструктивная безопасность автомобиля : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Организация дорожного движения» / Л. Л. Афанасьев, А. Б. Дьяков, В. А. Илларионов. – М. : Машиностроение, 1983. – 212 с.
2. Боровский, Б. Е. Безопасность движения автомобильного транспорта / Б. Е. Боровский. – Л. : Лениздат, 1984. – 304 с.
3. Рябчинский, А. И. Регламентация активной и пассивной безопасности автотранспортных средств : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / А. И. Рябчинский, Б. В. Кисуленко, Т. Э. Морозова ; под ред. А. И. Рябчинского. – М. : Академия ИЦ, 2006. – 427 с.
4. Гудков, В. А. Безопасность транспортных средств. Автомобили : учебное пособие для вузов / В. А. Гудков, Ю. Я. Коморов, А. Н. Рябчинский. – М. : Горячая линия – Телеком, 2010. – 431 с.
5. Рябчинский, А. И. Пассивная безопасность автомобиля / А. И. Рябчинский. – М. : Машиностроение, 1983. – 176 с.
6. Болбас, М. М. Основы промышленной экологии: Автомобильный транспорт / М. М. Болбас, Р. Я. Пармон, Е. Л. Савич. – Минск : Вышэйшая школа, 1993. – 235 с.
7. Андронов, М. А. Безопасность конструкции автомобиля / М. А. Андронов, Ф. Е. Межевич, Ю. М. Немцов. – М. : Машиностроение, 1985. – 167 с.
8. Бочаров, Е. В. Безопасность дорожного движения : справочник / Е. В. Бочаров, М. Ю. Замета, В. С. Волошинов. – М. : Росагропромиздат, 1988. – 284 с.
9. Вахламов, В. К. Автомобили. Эксплуатационные свойства : учебник для студентов вузов / В. К. Вахламов. – 3-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2007. – 240 с.
10. Степанов, И. С. Конструкция автомобиля : учебник для вузов : в 3 т. / И. С. Степанов ; под общ. ред. профессора А. Л. Карунина. – М. : Горячая линия – Телеком, 2008. – Т. 3 : Кузова и кабины. – 464 с.
11. Рябчинский, А. И. Основы сертификации. Автомобильный транспорт : учебник для вузов / А. И. Рябчинский, Р. К. Фотин. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2005. – 336 с.

12. Вахламов, В. К. Автомобили. Основы конструкции : учебник для студентов вузов / В. К. Вахламов. – 4-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 528 с.

13. Транспорт дорожный. Основные термины и определения. Классификация : ГОСТ 31286–2005. – Введ. 01.09.2006. – Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Минск, 2005. – 17 с.

14. Транспорт дорожный. Массы и размеры. Технические требования и методы испытаний : СТБ 1877–2008. – Введен 01.12.2008. – Минск : Госстандарт, 2008. – 39 с.

15. Транспорт дорожный. Массы, нагрузки на оси и габариты : СТБ 1878–2008. – Введен 01.12.2008. – Минск : Госстандарт, 2008. – 5 с.

16. Кнороз, В. И. Шины и колеса / В. И. Кнороз, Е. В. Кленников. – М. : Машиностроение, 1975. – 184 с.

17. Тарновский, В. Н. Автомобильные шины: Устройство, работа, эксплуатация, ремонт / В. Н. Тарновский, В. А. Гудков, О. Б. Третьяков. – М. : Транспорт, 1990. – 272 с.

18. Острецов, А. В. Шины и колеса для автомобилей и тракторов : учебное пособие по дисциплине «Конструкция автомобиля и трактора» для студентов вузов, обучающихся по специальности 190201 (150100) «Автомобиле- и тракторостроение» / А. В. Острецов, П. А. Красавин, В. В. Воронин. – М. : МГТУ «МАМИ», 2011. – 85 с.

19. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения пневматических шин для автотранспортных средств и их прицепов : Правила ЕЭК ООН № 30.

20. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения пневматических шин транспортных средств неиндивидуального пользования и их прицепов : Правила ЕЭК ООН № 54.

21. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения шин в отношении звука, издаваемого ими при качении, их сцепления на мокрых поверхностях и/или сопротивления качению : Правила ЕЭК ООН № 117.

Учебное издание

ЛУКБЯНЧУК Анатолий Данилович
КАПСКИЙ Денис Васильевич

БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Учебное пособие

для студентов специальностей 1-44 01 02 «Организация дорожного движения»,
1-44 01 06 «Эксплуатация интеллектуальных транспортных систем
на автомобильном и городском транспорте»

Редактор *Е. С. Кочерго*
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 09.09.2016. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 15,35. Уч.-изд. л. 12,00. Тираж 150. Заказ 912.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.