

Ю.А. Долматовский
АВТОМОБИЛЬ
В
ДВИЖЕНИИ



Ю.А. Долматовский • АВТОМОБИЛЬ В ДВИЖЕНИИ

Ю. А. ДОЛМАТОВСКИЙ

АВТОМОБИЛЬ В ДВИЖЕНИИ



МАШГИЗ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Москва 1957

В книге популярно изложены законы движения автомобиля. Зная эти законы, можно лучше изучить автомобиль, сделать его движение более плавным, уменьшить расход топлива, увеличить скорость движения, улучшить проходимость.

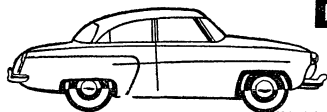
Книга рассчитана на механиков и водителей, а также на читателей неавтомобильной специальности, интересующихся работой автомобиля.

Рецензент канд. техн. наук **С. Н. Кризе**

Редактор канд. техн. наук **В. О. Шмидт**

*Редакция литературы по автомобильному, тракторному
и сельскохозяйственному машиностроению*

Зав. редакцией инж. И. М. БАУМАН



*Пока автомобиль
не тронется с места*

ПЕРВЫЙ РАЗГОВОР С ЧИТАТЕЛЕМ

Движение автомобиля, его «поведение» на дороге подчиняются определенным законам. В этой книге рассказано о законах движения автомобиля. Речь идет не о правилах уличного движения и не о поведении водителя, а о законах механики, связанных с движением автомобиля.

Науку, которая занимается главным образом механикой движения автомобиля, принято называть теорией автомобиля, хотя это и не совсем точно отражает действительное содержание данной науки. Советские ученые сделали немалый вклад в развитие теории автомобиля и из года в год совершенствуют ее. Зная теорию автомобиля, можно не только конструировать автомобили, наиболее приспособленные к работе в различных условиях, но и эксплуатировать имеющиеся автомобили самым правильным образом.

Забегая немного вперед, отметим, какую огромную пользу может принести сочетание теории и практики. Возьмем простое дело — соблюдение определенного давления в шинах, на что, к сожалению, обращают мало внимания. Чаще всего давление во всех шинах поддерживают одинаковым или в передних шинах несколько меньше, чем в задних, в соответствии с расчетной нагрузкой на оси и с заводскими инструкциями. Но инструкции составлены с учетом средних условий эксплуатации автомобиля. Если же условия отличаются от средних, можно значительно улучшить эксплуатационные показатели автомобиля, изменив давление в шинах. Законы движения автомобиля убедительно подтверждают это положение. Применяя знание этих законов, можно: повысить устойчивость машины; сделать ее ход более спокойным, плавным; уменьшить расход топлива; увеличить скорость; улучшить проходимость по плохим дорогам. Изменить давление в шинах — дело не-

сложное. Нужно только знать, какое должно быть давление. При этом для одного данного автомобиля эффект будет, может быть, и небольшой, но в масштабах массового использования автомобиля в нашей стране, в результате повышения средних скоростей движения и уменьшения расхода топлива, будет достигнута громадная экономия. Не менее важны при эксплуатации автомобиля правильные, всесторонне (в том числе теоретически) обоснованные загрузка автомобиля, укладка груза, методы управления в различных условиях.

Иногда утверждают, что теория автомобиля — достояние только ученых и ведущих конструкторов, что только они могут понять язык сложных формул, уравнений и номограмм, т. е. язык, которым принято излагать теорию автомобиля. В этом утверждении, по мнению автора, все неверно. Во-первых, теорию автомобиля или, другими словами, законы его движения, должен знать всякий, кто связан с созданием и с работой автомобиля — рядовой конструктор, испытатель, водитель, хозяйственник. Во-вторых, основы теории автомобиля (главное ее содержание) можно выразить и простым языком, понятным каждому грамотному человеку.

Поэтому необходимо просто, доходчиво рассказать о законах движения автомобиля. В этой книге сделана попытка создать такой рассказ, рассчитанный на очень широкий круг читателей, поскольку в нашей стране с производством и работой автомобилей связаны миллионы людей.

Читатели книги могут быть очень разными. Все же их, как будто, можно разделить на две группы. Первая и главная — это работники автомобильного дела (прежде всего — техники, конструкторы и высококвалифицированные водители), имеющие среднее, среднетехническое образование или высшее, но не специально-автомобильное. Им должно быть понятно все в этой книге; такую задачу ставил перед собой автор. Вторая группа — читатели менее высокой квалификации, которые хотят расширить свои познания об автомобиле; для них даже упрощенные приемы изложения будут трудными. Можно дать совет читателям этой группы: не задерживайтесь на формулах и чертежах, которые покажутся вам сложными, — в тексте вы так или иначе найдете соответствующее описание сути дела.

Подразумевается, что читатель этой книги знает, хотя бы в общих чертах, устройство автомобиля, назначение и принципы работы его отдельных механизмов. Для понимания же описанных в книге уравнений, расчетов, схем и графиков достаточно знать: четыре действия арифметики, возведение в степень и извлечение корня, дроби и проценты; условные буквенные обозначения; простейшие правила тригонометрии; правила построения диаграмм и графиков; элементарные положения механики (частично эти положения в качестве напоминания

описаны в этой и других главах). Немногие помещенные в книгу номограммы объяснены каждая в отдельности.

В книге встречаются буквенные обозначения, взятые из латинского и греческого алфавитов, как правило, те же, что и в других трудах по теории автомобиля. Это позволит читателю перейти к более сложным книгам, не «перестраиваясь». Латинские буквы хорошо знакомы читателям, и их произношение (название) не требует объяснений, а греческие буквы в тексте книги снабжены пояснением (в скобках).

Из всего сказанного можно представить себе замысел этой книги. Это — популярное изложение законов движения автомобиля, которое может помочь читателям различной квалификации лучше изучить автомобиль.

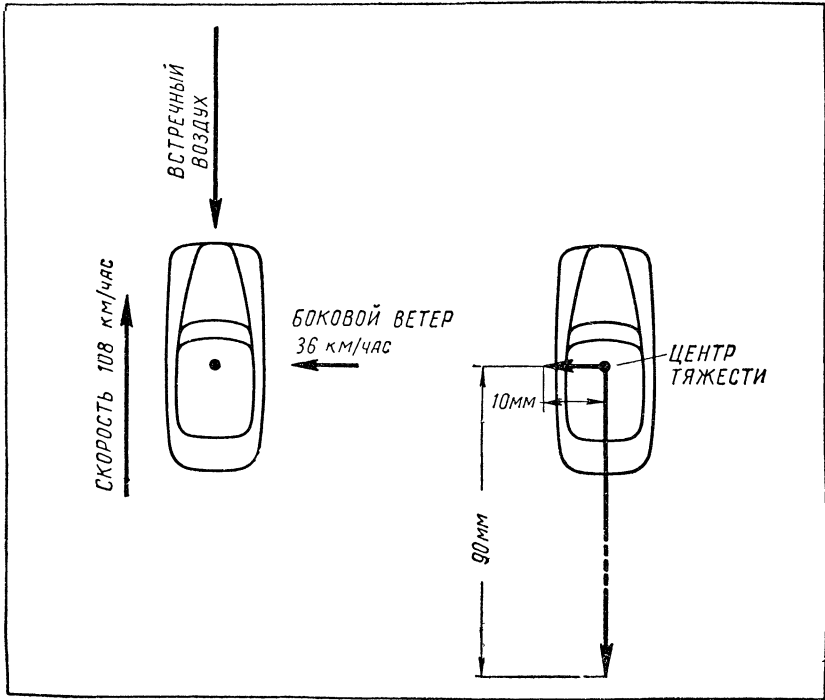
СИЛЫ

В механике чаще всего приходится иметь дело с силами различной величины, действующими в различных направлениях. Силы принято обозначать на схемах стрелками и буквами, причем направление стрелок должно совпадать с направлением действия силы, а длины всех стрелок должны быть выдержаны в одном масштабе пропорционально величинам сил. Начало («хвост») стрелки устанавливают в точке приложения силы. Приведем простой пример: на кузов автомобиля действуют две силы — сила сопротивления воздуха и сила ветра, дующего под углом 90° к продольной оси (и направлению движения) автомобиля. Скорость автомобиля (т. е. встречного движения воздуха) 30 метров в секунду (30 м/сек), или 108 километров в час (км/час), скорость ветра 10 м/сек, или 36 км/час. Величины сил лобового сопротивления и бокового ветра примерно пропорциональны квадратам скорости, так что можно изобразить стрелки длиной $30^2 = 900$ или 90 мм и $10^2 = 100$ или 10 мм, приложенные в точке центра тяжести автомобиля.

Вообще же *величины сил измеряют в килограммах* (сокращенно кг).

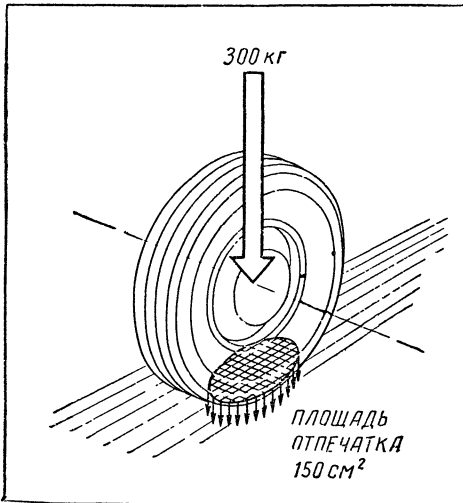
Практически, действие силы или нескольких сил на тело приводит к началу движения (перемещения) неподвижного тела, к изменению направления и скорости движения тела или к давлению одного тела на другое, если одно из них препятствует перемещению другого.

Попутно отметим, что *давление измеряют в килограммах (кг), приходящихся на 1 квадратный сантиметр (см²)*. Если нагрузка, действующая на одно колесо автомобиля, равна 300 кг, а поверхность соприкасающейся с дорогой части шины (отпечатка шины) равна 150 см², то давление составляет $300:150 = 2$ кг/см² (удельное давление шины на грунт).



Силы, действующие на автомобиль, изображают стрелками.

Нагрузка, приходящаяся на колесо, распределяется по поверхности отпечатки шины.



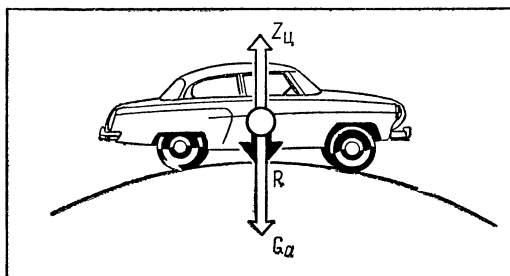
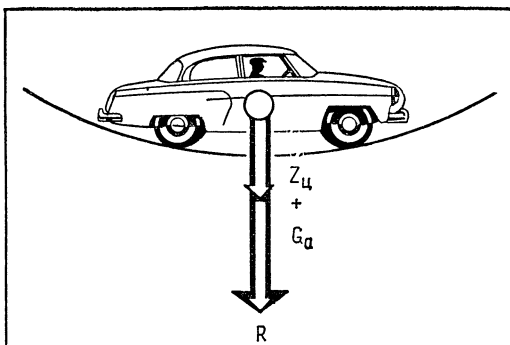
На тело, например на автомобиль, могут действовать несколько сил. Совокупность нескольких сил, одновременно действующих на тело, называется системой сил. Эти несколько сил можно суммировать (сложить), чтобы выявить равнодействующую (или результирующую) силу. Если силы действуют в одном направлении и приложены в одной точке, их равнодействующая приложена в той же точке, направлена в ту же сторону и

Впадина дороги. Сила тяжести и центробежная сила действуют в одном направлении и складываются.

Перекат дороги. Центробежная сила противодействует силе тяжести.

равна по величине сумме составляющих сил.

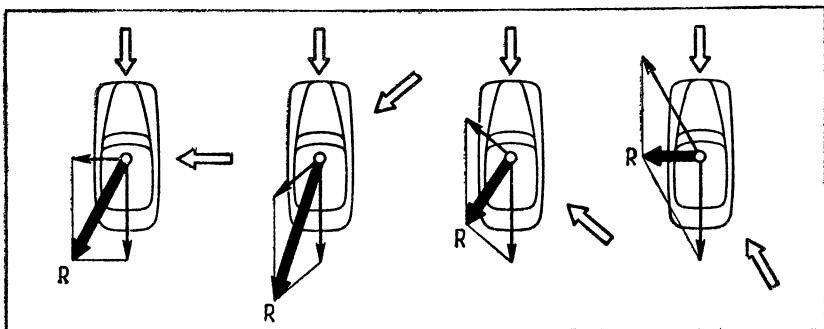
Например, при прохождении автомобилем впадины дороги сила тяжести G_a и центробежная сила $Z_{ц}$, приложенные в точке центра тяжести, дают равнодействующую $R = G_a + Z_{ц}$. Если силы направлены в противоположные стороны

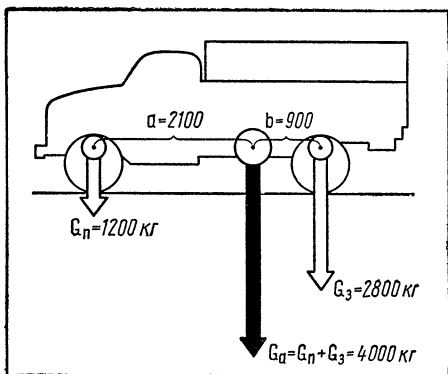


(прохождение выпуклого места дороги), равнодействующая равна их разности, приложена опять в точке центра тяжести и направлена в сторону большей силы. Если противодействующие силы равны, тело находится в покое или в установившемся движении, так как равнодействующая равна нулю.

Возвратимся к примеру с боковым ветром. Здесь действуют две силы в разных направлениях, приложенные к одной точке. Сложение таких сил отличается от сложения сил, направленных в одну или в противоположные стороны. Равнодействующая

При сложении сил ветра и давления встречного воздуха равнодействующая направлена по диагонали параллелограмма этих сил.





Складывав веса, приходящиеся на передние и задние колеса, можно получить вес автомобиля.

дствуют две параллельные силы, приложенные в разных точках (например, нагрузка на передние и задние колеса автомобиля).

Равнодействующая равна их сумме, направлена параллельно в ту же сторону, а точка приложения ее находится на линии, соединяющей точки приложения двух составляющих сил, причем расстояния от точки приложения равнодействующей силы до точек приложения составляющих обратно пропорциональны величинам составляющих сил. Приведем пример: база автомобиля равна 3000 мм, на передние колеса приходится 1200 кг, или 30% нагрузки, на задние — 2800 кг, или 70%; отсюда найдем, что величина равнодействующей силы составляет 4000 кг и эта сила приложена в точке, находящейся на расстоянии $\frac{70 \cdot 3000}{100} = 2100$ мм от передней оси и $\frac{30 \cdot 3000}{100} = 900$ мм от задней. Отметим, что в данном случае равнодействующая сила является полным весом автомобиля.

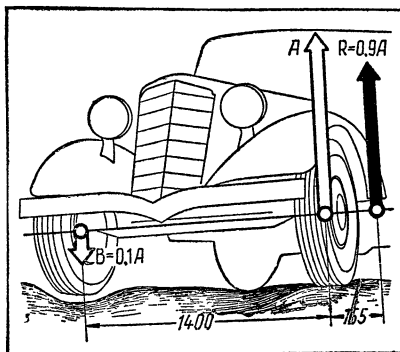
Если приложенные к телу силы направлены в разные стороны, равнодействующая равна разности этих сил и направлена в сторону большей силы, а точка ее приложения лежит на продолжении прямой, проходящей через точки приложения составляющих сил, за большей силой. Расстояния от равнодействующей до составляющих сил обратно пропорцио-

сил встречного воздуха и бокового ветра направлена по диагонали параллелограмма, сторонами которого являются составляющие силы, и равна длине этой диагонали (т. е. в данном примере $R = \sqrt{10^2 + 90^2} = 90,5$).

Можно складывать силы встречного воздуха и бокового ветра, дующего под различными углами к продольной оси автомобиля.

Бывают случаи, когда на тело (автомобиль) дей-

На концы оси действуют силы, направленные в разные стороны. Их равнодействующая показана справа (слева по ходу автомобиля).



нальны величинам этих сил. Возьмем в качестве примера такой случай: левое колесо во время движения автомобиля попадает на бугор, а правое — в выбоину. На концы оси действуют противоположно направленные силы; в зависимости от величины неровностей, скорости движения и т. д., силы могут быть разными. Допустим, что действующая на левое колесо сила в 10 раз больше действующей на правое ($B = A:10$); колея автомобиля равна 1400 мм. Равнодействующая сила равна $A - \frac{1}{10}A = \frac{9}{10}A$. Расстояние x от этой силы до большей силы вычисляем из пропорции

$$\frac{x}{x + 1400} = \frac{A}{10A},$$

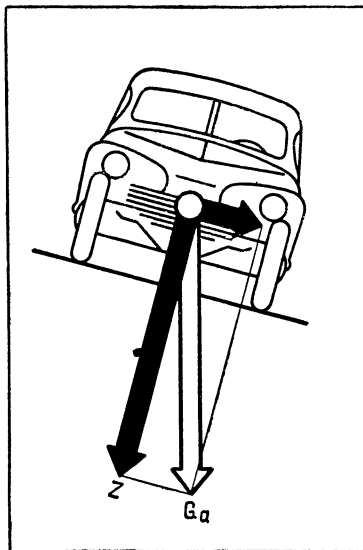
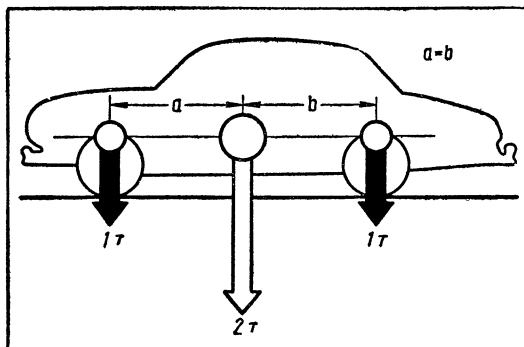
$$10x = x + 1400,$$

$$x = 155 \text{ мм.}$$

Отсюда расстояние от равнодействующей до меньшей силы равно 1555 мм.

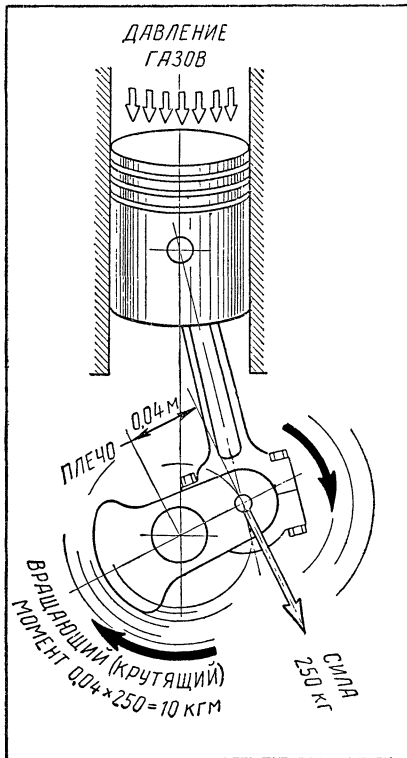
Силы можно (и бывает нужно) не только складывать, но и раскладывать. Разложение одной силы на две обычно приходится производить в том случае, когда нужно узнать, какие части известной силы действуют в заданных направлениях.

Сила тяжести (вес автомобиля) раскладывается на две силы, действующие на передние и задние колеса.

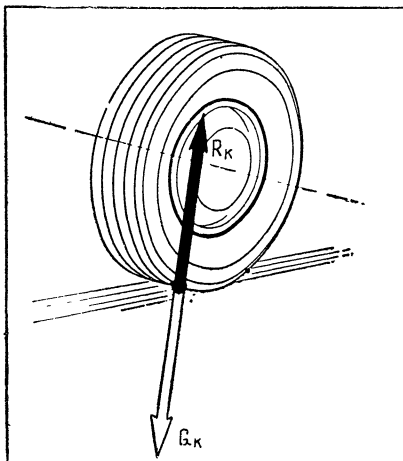


Силу тяжести автомобиля на косогоре можно разложить на две, направленные параллельно и перпендикулярно поверхности дороги.

Например, нужно узнать, какая часть силы тяжести, приложенной к центру тяжести находящегося на косогоре автомобиля, направлена вбок и какая перпендикулярно поверхности дороги. Поскольку разложение силы является действием, обратным сложению, принимаем данную силу за диагональ параллеле-



Крутящий момент возникает от силы давления газов, переданной через поршень и шатун и приложенной на плече, равном радиусу кривошипа.



лограмма и из точки приложения силы проводим две линии в заданных направлениях, а из вершины силы проводим линии, параллельные проведенным ранее. В результате получаем параллелограмм, стороны которого и являются искомыми силами.

Разложение силы на параллельные также происходит в порядке, обратном сложению. Нужно лишь знать расстояние от данной силы до ее предполагаемых составляющих (или задаться этими расстояниями). Если вес автомобиля равен 2 т , а центр тяжести расположен посередине базы, т. е. расстояния от заданной силы тяжести (2 т) до передней и задней осей автомобиля равны, то на каждую ось приходится половина веса автомобиля — 1 т . Каждая составляющая сила равна половине данной силы. Если центр тяжести сдвинут от середины базы и расположен, например, на расстоянии $\frac{1}{3}$ базы от задней оси, составляющие силы, равные в сумме данной, обратно пропорциональны расстояниям от осей до центра тяжести, т. е. на задние колеса придется $\frac{2}{3}$ веса автомобиля, на передние — $\frac{1}{3}$.

Реакция дороги равна силе тяжести (весу), приходящейся на колесо.

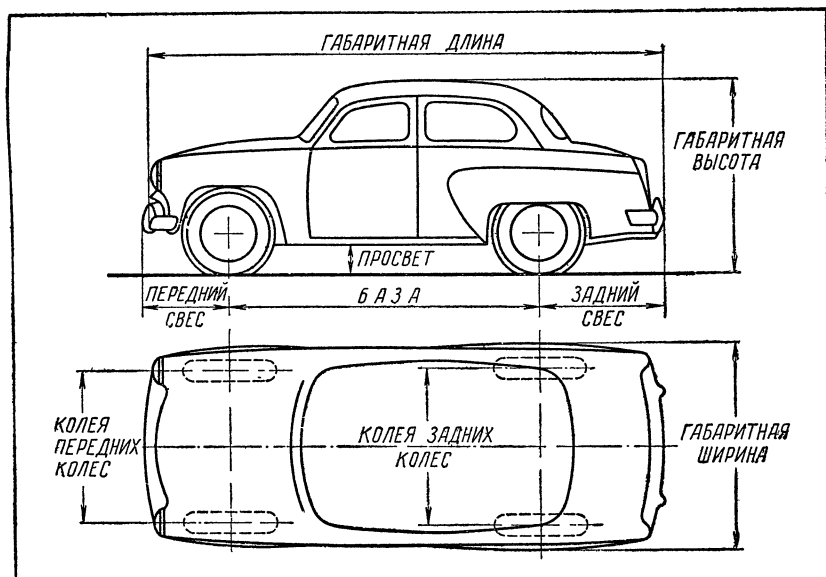
Но возможны положения, когда силы или сила вызывают поворот или вращение тела. Такое положение возникает, например, когда противодействующие параллельные силы равны, а их равнодействующей не существует — она равна нулю. Систему таких сил называют парой сил, расстояние между ними — плечом пары, а произведение одной из сил на плечо — моментом пары. Момент измеряют в килограммометрах (кгм), так как в произведение входит сила, измеренная в кг, и плечо, измеренное в м. Подобное положение имеется и в случае, когда одна сила действует на тело, закрепленное в какой-либо точке. Момент силы тогда является произведением силы на кратчайшее расстояние (плечо) от линии действия силы до неподвижной точки. Этот момент вызывает вращение тела или его скручивание, поэтому его называют крутящим моментом или вращающим моментом.

Действию всегда соответствует равное ему и противоположно направленное противодействие. Сила тяжести автомобиля давит через колесо на дорогу; если асфальт размягчен в жаркую погоду, шина вдавливается в асфальт. Но и дорога с той же силой давит на шину. Эта последняя сила называется реакцией дороги. Точно так же ноги спортсмена при прыжке давят на песчаную площадку, оставляя в ней след, а площадка как бы подбрасывает спортсмена; в момент приземления спортсмен ощущает удар — давление площадки на ступню и одновременно вдавливает с той же силой песок.

РАЗМЕРЫ И ВЕС АВТОМОБИЛЯ

Все явления, происходящие во время движения автомобиля, в очень большой мере зависят от его общих размеров, веса, формы, положения центра тяжести, расположения кузова, т. е. от его общего строения или, как говорят, компоновки. Получить представление об этих общих, исходных данных по автомобилю удобнее, когда автомобиль стоит.

Посмотрим на автомобиль сбоку. Чтобы нарисовать или начертить его, нужно было бы прежде всего наметить несколько основных размеров: длину и высоту автомобиля; продольное расстояние между осями колес (так называемую колесную базу или просто базу); просвет между автомобилем и дорогой; передний и задний свесы, т. е. расстояния от оси передних или задних колес до, соответственно, переднего или заднего конца (буфера) автомобиля. Если смотреть на автомобиль спереди, сзади и сверху — главными размерами являются ширина автомобиля, колея передних и задних колес, т. е. расстояния между серединами шин одной оси. Габаритными размерами называют крайние, самые большие размеры автомобиля по длине, ширине и высоте.



Основные размеры автомобиля дают первоначальное представление о его компоновке.

Отечественные легковые и грузовые автомобили различны по компоновке. Чем современнее автомобиль, тем большую часть его общей длины занимает пассажирское помещение или платформа для груза, тем больше подвинуты эти полезные площади автомобиля вперед. Отношение базы автомобиля и его высоты к длине становится все меньшим, а полезная длина, используемая по прямому назначению (для пассажиров, багажа или груза), все больше.

Отношение полезной длины легкового автомобиля L_k к его общей длине L_1 или полезной площади платформы грузового автомобиля S_k к его общей площади S_1 называют показателем использования габарита η (греческая буква «эта» с индексами «дл» — длина или «пл» — площадь):

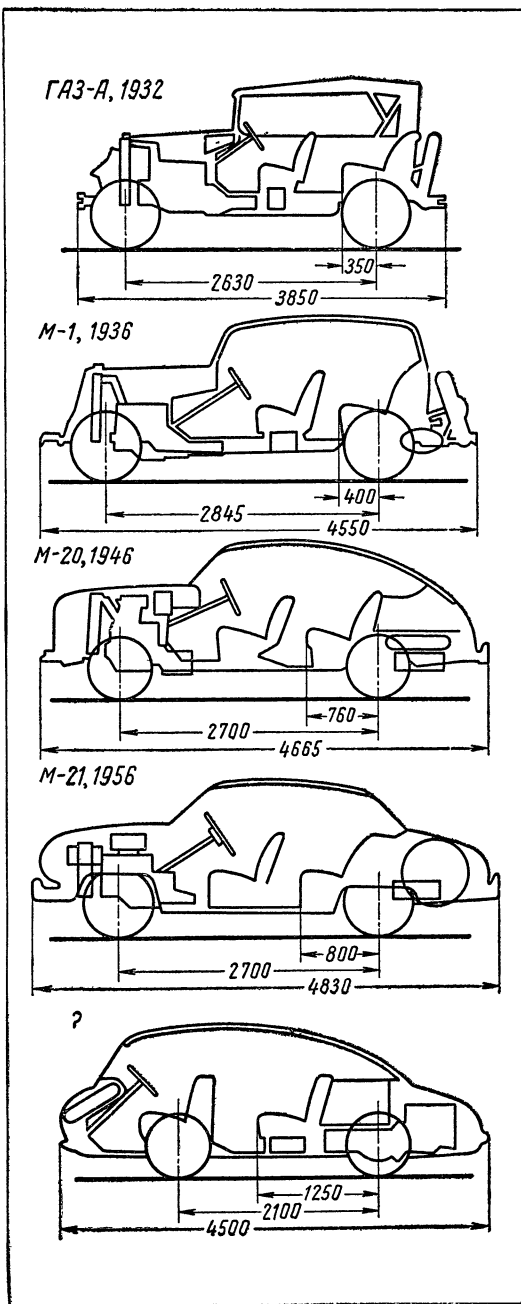
$$\eta_{дл} = \frac{L_k}{L_1}; \quad (1)$$

$$\eta_{пл} = \frac{S_k}{S_1}. \quad (2)$$

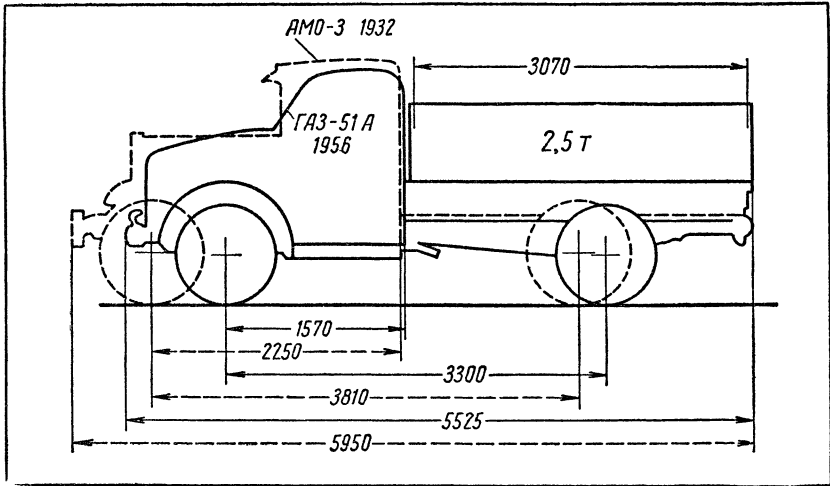
Чем больше показатель η , тем совершеннее компоновка автомобиля.

Прежде чем поставить автомобиль на весы, нужно определить, в каком весовом состоянии он находится. Если все меха-

низмы автомобиля заполнены смазкой и другими жидкостями (вода, жидкости для амортизаторов и тормозов и т. д.), автомобиль укомплектован запасным колесом и набором инструмента, а бак наполнен топливом, то вес такого автомобиля называют весом в снаряженном состоянии или собственным весом. Если автомобиль не заправлен бензином, водой, маслом и другими жидкостями, вес его называют сухим. Сухой вес определяет количество металла и других материалов в конструкции автомобиля, а также важен с точки зрения транспортировки автомобиля (на железнодорожной платформе или краном). Иногда сухим весом называют такой вес, когда с автомобиля сняты также запасное колесо и инструмент. Если автомобиль — с водителем, пассажирами (по числу мест в кузове) и грузом, его вес называют полным. Когда взвешивают автомобиль с нагруз-



Развитие компоновки легкового автомобиля.



Автомобили АМО-3 и ГАЗ-51А имеют кузова одинаковой длины; но у ГАЗ-51А кабина сдвинута вперед, поэтому база короче, чем у АМО-3, на 510 мм, длина — на 425 мм.

Таблица 1

Размеры автомобилей в мм

Параметры	Обозначение	Легковые автомобили					Грузовые автомобили				
		ГАЗ-А	М-1	„Москвич-401“	М-20 „Победа“	„Москвич-402“	М-21 „Волга“	ГАЗ АА	ЗИС-5	ГАЗ-51А	ЗИЛ-150
База	L	2630	2845	2340	2700	2370	2700	3340	3810	3300	4000
Колея передняя	B_n	1405	1435	1105	1365	1220	1410	1405	1545	1585	1700
Колея задняя	B_z	1420	1440	1170	1360	1220	1420	1600	1675	1650	1740
Длина	L_1	3875	4625	3855	4665	4055	4830	5335	6060	5715	6720
Ширина	A	1710	1770	1400	1695	1540	1800	2040	2235	2280	2385
Высота без нагрузки	H	1780	1775	1545	1640	1540	1600	1970	2160	2130	2180
Просвет	h	205	210	190	200	200	190	200	250	245	265
$L : L_1$	—	0,68	0,61	0,61	0,59	0,59	0,56	0,63	0,63	0,58	0,6
$H : L_1$	—	0,46	0,39	0,40	0,35	0,38	0,33	0,37	0,36	0,37	0,33
Внутренняя длина кузова	L_k	2070	2600	2120	2400	2160	2500	2450	3085	3070	3540
Внутренняя ширина кузова	B_k	985	1010	990	1220	1104	1450	1870	2085	2070	2250
$L_k : L_1$	η_{dl}	0,535	0,555	0,55*	0,52	0,53*	0,52*	—	—	—	—
Коэффициент использования габарита	η_{pl}	—	—	—	—	—	—	0,42	0,475	0,485	0,5

* Имеющийся багажник не вошел в подсчет L_k .

кой, т. е. когда определяют полный вес, загружают кузов мешками с песком или чугунными болванками, причем вес пассажира принимают равным 75 кг.

Отношение веса полезной нагрузки G_e к собственному весу автомобиля G_0 называют удельной грузоподъемностью автомобиля η_2 :

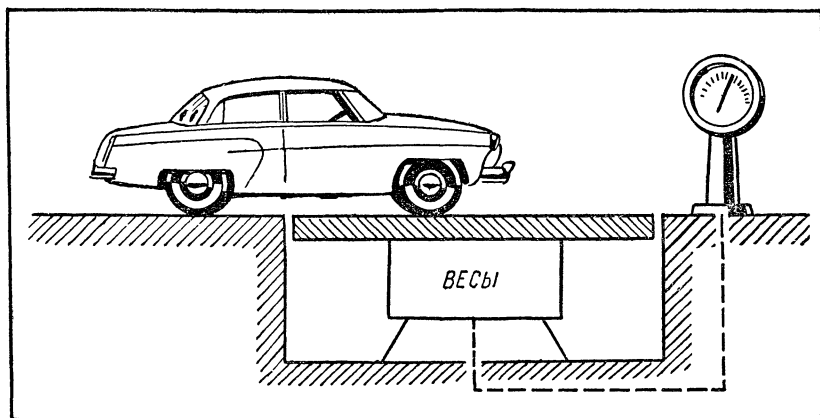
$$\eta_2 = \frac{G_e}{G_0}. \quad (3)$$

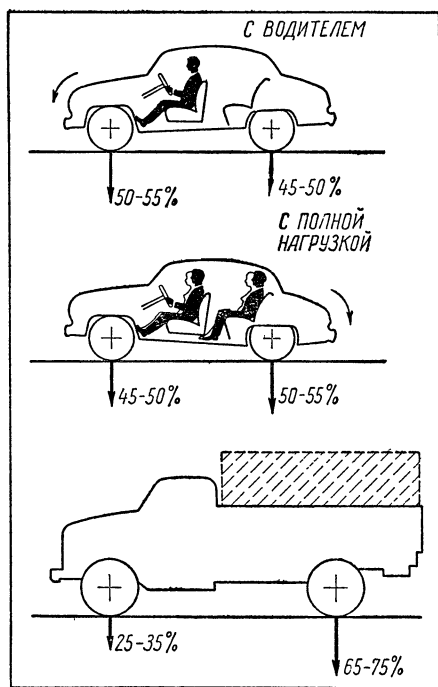
Удельная грузоподъемность грузовых автомобилей близка к единице, т. е. автомобиль весит примерно столько же, сколько он может перевезти на себе. У легковых автомобилей этот показатель колеблется между 0,20 и 0,40, так как пассажиры размещаются в кузове свободно, причем у маленьких автомобилей (более легких, с тесным кузовом) показатель выше, чем у больших.

Так как в книге рассмотрен автомобиль в движении, из перечисленных весовых состояний в расчет надо принять только полный вес автомобиля. Ведь автомобиль в снаряженном состоянии (без водителя и нагрузки) и, тем более, в состоянии, соответствующем «сухому весу», не может двигаться. Но в дополнение к полному весу в отдельных случаях принимают весовое состояние автомобиля, которое условно называют ходовым, когда на автомобиле находится водитель, но нет ни пассажиров, ни груза. Автомобиль может передвигаться, но он не загружен.

Для взвешивания автомобиль вкатывают на большие весы либо целиком, либо по очереди передними и задними колесами. Во втором случае можно, сложив два результата взвешиваний, получить вес автомобиля и одновременно узнать, какая

Так взвешивают автомобиль.





При изменении числа пассажиров или заполнении платформы грузом изменяется распределение веса по колесам.

прежних выпусков со сдвинутым назад пассажирским помещением наблюдалась заметная перегрузка задних колес в ходовом и в груженом состоянии автомобиля. У грузовых автомобилей на передние колеса приходится 25—35% полного веса, на задние — 65—75%. Собственный вес грузовых автомобилей распределяется между осями почти поровну: 40—50% на передние колеса и 50—60% на задние. Отсюда видно, что основная часть веса полезной нагрузки передается через задние колеса.

Требования к распределению веса по колесам, как увидим дальше, весьма противоречивы. Для улучшения тяговых качеств, проходимости автомобиля и для облегчения управления желательно нагружать ведущие (задние) колеса и разгрузить направляющие (передние); для повышения устойчивости и плавности хода целесообразно равное распределение нагрузки или некоторая перегрузка передних колес. Для повышения срока службы всех шин необходима равномерная их нагрузка, которая получается при таком распределении веса по осям: 50%:50% для легковых автомобилей и 33%:67% для грузовых

часть веса приходится на передние колеса и какая— на задние, т. е., каково распределение веса по колесам у данного автомобиля, каков передний и задний осевой вес и какова нагрузка на каждое колесо и шину. Все эти данные крайне важны для оценки всех качеств автомобиля: его устойчивости, плавности хода, проходимости по плохим дорогам, экономичности по расходу топлива, способности брать разгон и подъемы, развивать наибольшую скорость.

У современных легковых автомобилей в ходовом состоянии на передние колеса приходится от 50 до 55% веса, на задние — 45—50%; с полной нагрузкой отношение меняется на обратное — 45—50% и 50—55%. У автомобилей

Таблица 2

Вс элементов автомобилей (округленно) в кг

Агрегат, механизм или узел	Легковые автомобили				Грузовые автомобили	
	„Москвич-401“	М-20 „Победа“ выпуск 1954 г.	ЗИМ	ЗИЛ-110	ГАЗ-51	ЗИЛ-150
Двигатель, заполненный маслом, с оборудованием	140	200	265	425	265	440
Сцепление	5	13	19	20	10	30
Коробка передач с картером сцепления	23	42	42	55	59	110
Карданная передача	10	11	14	18	25	27
Задний мост с колесами, тормозами и подвеской	100	182	197	270	630	1053
Радиатор, заполненный водой, с оборудованием	16	23	38	45	45	63
Передний мост с колесами, тормозами и подвеской	104	150	150	330	324	525
Рулевое управление	12	16	18	27	22	40
Аккумуляторная батарея с проводкой и креплением	15	24	25	46	40	104
Бак, заполненный топливом	35	55	73	82	93	160
Запасное колесо	18	24	30	38	65	97
Рама с кронштейнами и буксирным прибором	—	—	—	212	243	318
Прочие элементы шасси, инструмент и электрооборудование*	63	75	124	75	206	100
<i>Механизмы или шасси в сборе</i>	<i>541</i>	<i>815</i>	<i>995</i>	<i>1643</i>	<i>2027</i>	<i>3067</i>
Корпус (кабина) в сборе	266	543	810	875	215	266
Платформа	—	—	—	—	328	503
Капот, облицовка радиатора и передние крылья, подножки и буфера	36	87	110	130	140	193
Задние крылья	7	15	25	30	—	—
<i>Кузов в сборе</i>	<i>309</i>	<i>645</i>	<i>945</i>	<i>1035</i>	<i>683</i>	<i>962</i>
Собственный вес автомобиля	850	1460	1940	2678**	2710	4029**

* Принимается равномерно распространенным по длине автомобиля.

** По данным технических характеристик—2575 и 3900 кг. Допускается отклонение веса автомобиля от указанного в технической характеристике в пределах $\pm 3\%$.

(с учетом двух скатов шин на задних колесах); такое распределение веса следует считать наиболее приемлемым или, как говорят, оптимальным.

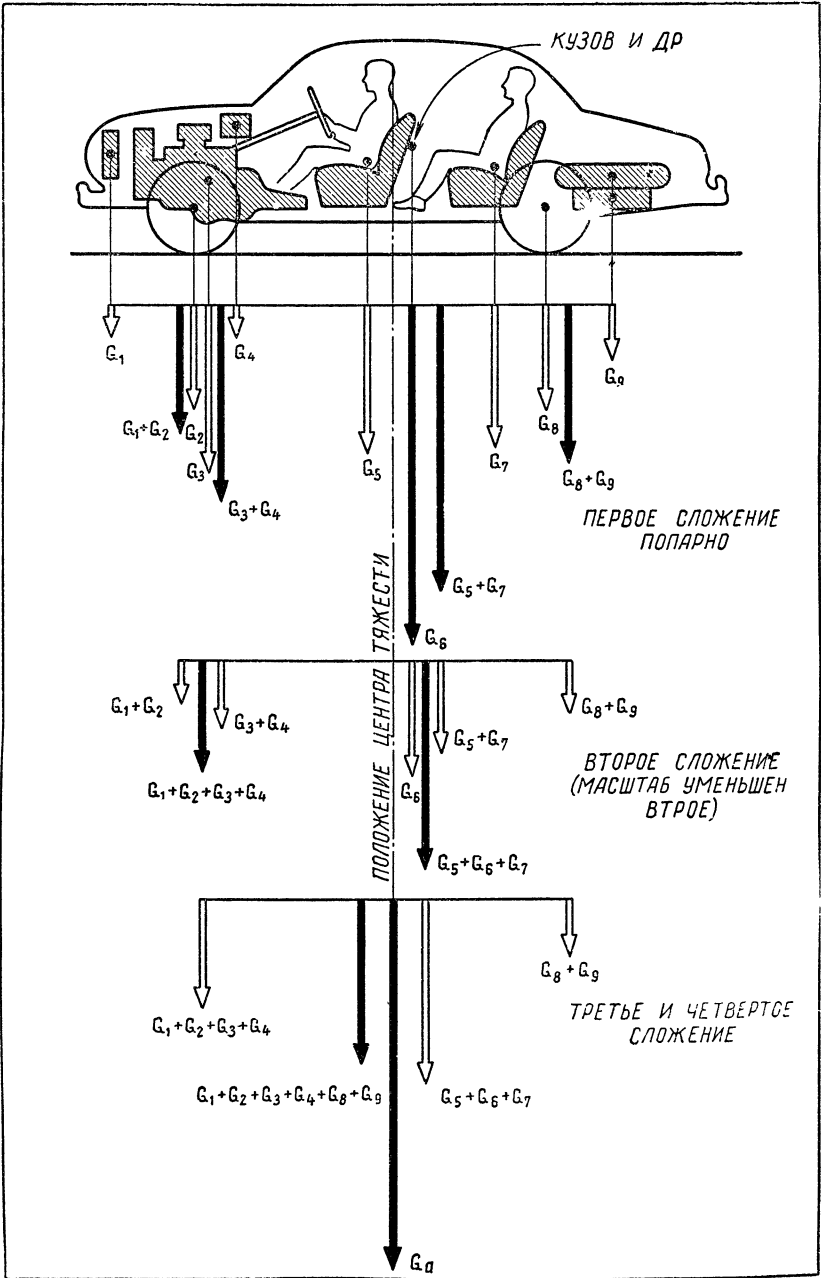
Особенно важно постоянство распределения веса по колесам (не веса, а распределения веса!), т. е. сохранение процента общего веса, приходящегося на передние или задние колеса, во

Т а б л и ц а 3

Весовые показатели автомобилей
по данным технических характеристик

Параметры	Легковые автомобили						Грузовые авто- мобили			
	ГАЗ-А	М-1	*Москвич-401*	М-20 *Победа*	*Москвич-402-1	М-21 *Волга**	ГАЗ-АА	ЗИС-5	ГАЗ-51	ЗИЛ-150
Вес автомобиля в кг:										
сухой G_c	1030	1320	810	1360	900	1360	1700	2910	2525	3700
собственный G_o	1080	1370	850	1460	980	1460	1810	3100	2710	3900
полезная нагрузка G_e	375	375	300	375	300	375	1650	3150	2650	4225
полный G_a	1455	1745	1150	1835	1280	1835	3460	6250	5360	8125
Удельная грузоподъемность γ_e в %	34,5	27	35	26	31	26	91	102	102	108
Распределение веса без нагрузки по колесам:										
в кг:										
передние	535	625	430	740	—	765	730	1260	1300	1800
задние	545	745	420	720	—	695	1080	1840	1410	2100
в %:										
передние	49,5	45,5	50,5	50,5	—	52,3	40	40,5	48	47
задние	50,5	54,5	49,5	49,5	—	47,7	60	59,5	52	53
Распределение веса с нагрузкой по колесам:										
в кг:										
передние	620	715	540	880	628	860	835	1450	1610	2110
задние	835	1030	610	955	652	975	2625	4800	3750	6015
в %:										
передние	42,5	41	47	48	49	46,5	24	23,5	30	26
задние	57,5	59	53	52	51	53,5	76	76,5	70	74

* По данным испытаний опытных образцов.



Складывая силы от веса отдельных частей машины, получаем силу от полного веса, приложенную в центре тяжести.

всех весовых состояниях. К сожалению, большинство современных автомобилей не обладает этим качеством. Оно может быть достигнуто, если центр тяжести нагрузки находится вблизи центра тяжести автомобиля без нагрузки.

Распределение веса по колесам зависит от веса механизмов и полезной нагрузки и от их расположения по длине автомобиля¹. Особенно существенно последнее, так как самые главные составляющие веса автомобиля — двигатель, кузов, полезная нагрузка — могут быть по-разному расположены по отношению к точкам опоры (т. е. к передней и задней осям) и имеют различный вес. При проектировании автомобиля вес каждого агрегата автомобиля (как и вес частей самого агрегата) можно представить в виде силы, направленной к поверхности дороги. Можно рассматривать агрегаты по-очереди, взяв их попарно, и находить для каждой пары равнодействующую; затем взять найденные равнодействующие попарно и так далее, пока не будет получена равнодействующая всех этих сил, равная по величине весу автомобиля и приложенная в точке, которую называют центром тяжести.

На практике это делается несколько иначе, с применением уравнения моментов, в котором веса всех механизмов учитываются одновременно.

ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ

Для движения автомобиля нужна энергия. Только на спусках или после разгона автомобиль может пройти некоторый отрезок пути без помощи двигателя, расходуя энергию, накопленную за время подъема или разгона. Во всех прочих условиях и для подъема на вершину, с которой начинается спуск, и для разбега источником энергии на автомобиле служит двигатель. На подавляющем большинстве автомобилей — это поршневой двигатель внутреннего сгорания, работающий на жидком нефтяном топливе (бензине, дизельном топливе) или на газе (газогенераторные и газобаллонные автомобили). Существуют электрические, паровые, газотурбинные автомобили, но в книге они не рассмотрены. Впрочем и поршневой двигатель внутреннего сгорания здесь изучать не будем, поскольку применительно к теории автомобиля необходимо знать о двигателе сравнительно немного. Такие разделы теории автомобиля, как устойчивость, управляемость, плавность хода, вовсе или почти не связаны с работой двигателя. Работа двигателя имеет

¹ Считается, что автомобиль более или менее симметричен относительно своей продольной оси и нагрузка на левые и правые колеса — одинаковая. Поэтому распределение веса на левые и правые колеса не рассматривают. Расположение отдельных масс по высоте имеет большое значение при движении автомобиля и будет рассмотрено ниже.

наибольшее значение для динамики и экономики автомобиля. О двигателе нужно сейчас знать лишь, *что дает двигатель для движения автомобиля*, т. е. знать так называемые скоростные характеристики двигателя; кроме того, надо знать, *в каком количестве двигатель расходует топливо*, т. е. знать его так называемую экономическую или топливную характеристику.

Вспомним, что величина мощности означает число килограммов, которые могут быть подняты на высоту 1 м в 1 сек. 1 лошадиная сила — это мощность, необходимая и достаточная для того, чтобы поднять 75 кг на высоту 1 м в 1 сек., а 52 л. с. (мощность двигателя автомобиля М-20 «Победа»), чтобы поднять в то же время на ту же высоту $52 \times 75 = 3900$ кг.

Если ввести в систему передачи пару шестерен с передаточным числом, например, 2 (ведомая шестерня вдвое больше ведущей), можно будет поднимать вдвое больший груз, но зато и вдвое медленнее, так что мощность останется неизменной.

Таким образом *мощность, переданная к ведущим колесам автомобиля, не может быть больше мощности, полученной от двигателя*, какие бы устройства не были применены в системе передачи усилия от двигателя к колесам.

Другое дело — *крутящий момент*, величина которого равна произведению числа килограммов, которые могут быть сдвинуты рычагом или вращающимся колесом, на длину этого рычага или радиуса колеса. Ясно, что, меняя длину рычага или радиуса колеса, можно уменьшать или увеличивать момент. Если наибольший крутящий момент двигателя М-20 равен 12,5 кгм, то это значит, что при радиусе маховика этого двигателя, равном 200 мм, можно закрепить на маховике груз, равный 62,5 кг, и стронуть этот груз с места вращением маховика при работе двигателя:

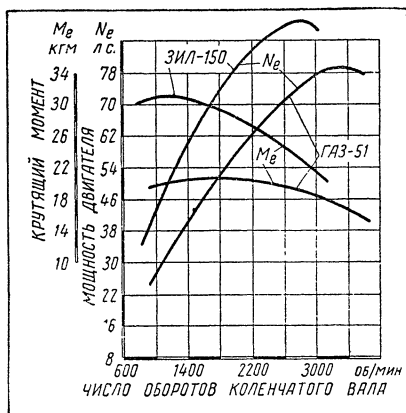
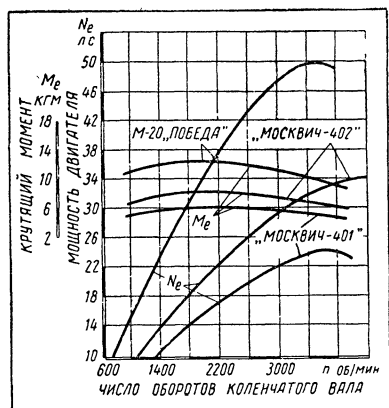
$$62,5 \text{ кг} \times 0,2 \text{ м} = 12,5 \text{ кгм.}$$

Для того чтобы сдвинуть с места автомобиль, потребуется значительно больший момент, и этот момент можно получить, вводя в систему силовой передачи пары шестерен с соответствующими передаточными числами. Перемещение автомобиля в момент трогания с места будет происходить медленнее, чем происходило бы перемещение груза на ободу маховика.

Но это подробнее рассмотрим далее.

Скоростные характеристики представляют собой кривые изменения мощности и крутящего момента, развиваемых двигателем, в зависимости от числа оборотов его вала при полной или частичной подаче топлива (дизель) или открытии дроссельной заслонки (карбюраторный двигатель).

В дальнейшем будем рассматривать только карбюраторный двигатель.



Внешние характеристики двигателей показывают изменение мощности и крутящего момента, зависящих от числа оборотов вала. Слева — характеристики двигателей легковых автомобилей, справа — грузовых.

Наиболее важной является скоростная характеристика двигателя, построенная для двигателя, работающего при полностью открытой дроссельной заслонке. Такую характеристику называют внешней.

Внешнюю характеристику вычерчивают на основе испытания двигателя на стенде, называемом тормозным. Принцип испытания может быть объяснен схематически следующим образом: двигатель работает с заданным числом оборотов вала, которое измеряют тахометром; на продолжении вала устанавливают тормоз; этим тормозом задерживают вращение вала двигателя и определяют силу, которая для этого потребовалась; производя необходимые расчеты, определяют мощность двигателя и его крутящий момент при заданных оборотах; повторяя испытания для разных чисел оборотов, наносят на график ряд точек и проводят через эти точки кривые мощности и крутящего момента двигателя.

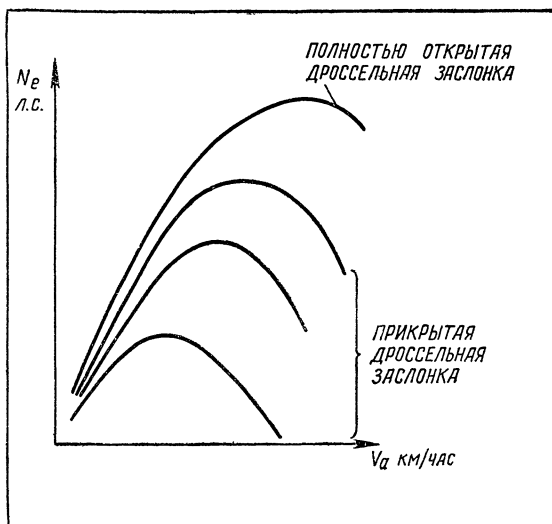
Во внешней характеристике двигателя наиболее существенными являются самые верхние точки кривой — точки, соответствующие наибольшей (или максимальной) мощности и моменту, которые обычно и записываются в технические характеристики автомобилей и их двигателей; например, для двигателя автомобиля М-20 «Победа»:

наибольшая мощность 52 л. с. при 3800 об/мин;

наибольший крутящий момент 12,5 кгм при 1800 об/мин.

В результате большого накопленного опыта по испытаниям двигателей удалось найти формулы, по которым можно строить приблизительную внешнюю характеристику любого двигателя, зная только его наибольшую мощность и соответствующее ей

Частичная скоростная характеристика двигателя показывает изменение мощности, развиваемой при различном открытии дроссельной заслонки карбюратора.



число оборотов вала. Вот одна из простейших и достаточно точных формул для подсчета мощности карбюраторного двигателя (формула С. Р. Лейдермана):

$$N_e = N_m \left[\frac{n}{n_m} + \left(\frac{n}{n_m} \right)^2 - \left(\frac{n}{n_m} \right)^3 \right], \quad (4)$$

где N_e — искомая мощность при данном числе оборотов;
 N_m — наибольшая мощность;
 n — данное число оборотов;
 n_m — число оборотов, соответствующее наибольшей мощности.

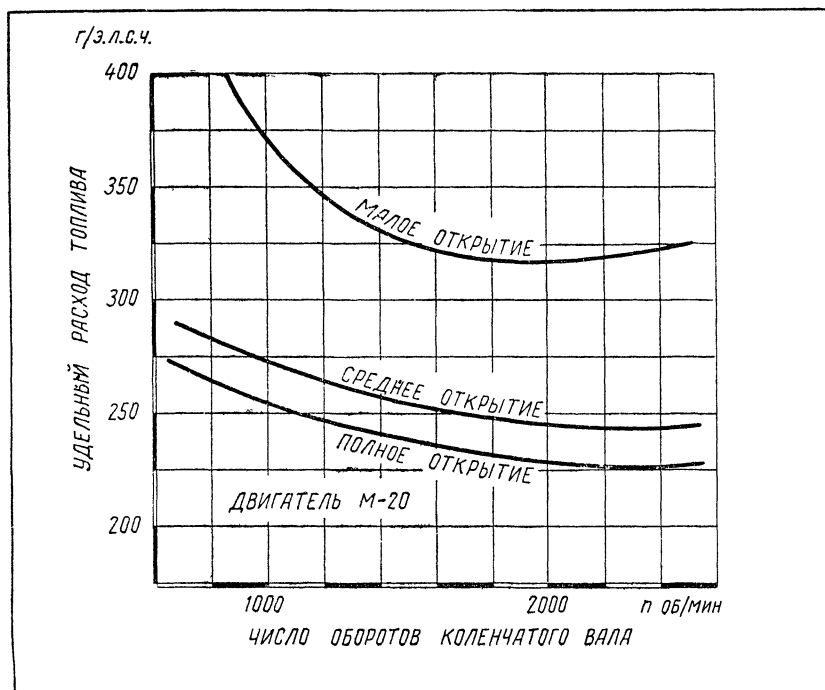
Если известны мощность и соответствующее ей число оборотов вала, крутящий момент можно подсчитать по формуле

$$M = 716,2 \frac{N}{n}. \quad (5)$$

Если в формулу (5) подставлять значения мощности, подсчитанные по формуле (4), наибольший крутящий момент для современных двигателей получится меньшим, чем в действительности, примерно на 15%.

Скоростные характеристики, построенные для двигателя, работающего при неполном (частичном) открытии дроссельной заслонки, называются *частичными*.

Экономическая характеристика двигателя отражает удельный расход топлива, т. е. расход топлива в граммах на 1 лошадиную силу в час; эта характеристика, как и скоростные характеристики двигателя, может быть построена



Экономические характеристики двигателя М-20 «Победа» при различном открытии дроссельной заслонки.

для работы двигателя при полной нагрузке или частичных нагрузках.

Важно отметить, что при уменьшении открытия дроссельной заслонки на получение каждой лошадиной силы мощности приходится затрачивать больше топлива. При неизменном положении дроссельной заслонки расход топлива зависит от скорости вращения вала двигателя, причем наименьший расход получается при меньшем числе оборотов вала, чем число оборотов, соответствующее максимальной мощности.

Пользуясь экономической характеристикой двигателя и зная передаточные числа силовой передачи автомобиля, радиус качения колеса и условия движения, можно определить расход топлива автомобилем при движении с данной скоростью.

Приведенное описание характеристик двигателя является несколько упрощенным, но достаточно для практической оценки динамической и экономической характеристики автомобиля, о чем подробнее будет сказано ниже.

ОТ ДВИГАТЕЛЯ К КОЛЕСАМ

Не вся энергия, получаемая от двигателя, используется для преодоления сопротивлений движению автомобиля, т. е. непосредственно для движения автомобиля. Имеется еще и «накладной расход» на работу механизмов силовой передачи. Этот расход отнимает в отдельных случаях до 20% мощности, а у автомобиля обычной схемы — около 10%. Чем меньше этот расход, тем выше так называемый коэффициент полезного действия (к. п. д.) силовой передачи, обозначаемый греческой буквой η («эта»).

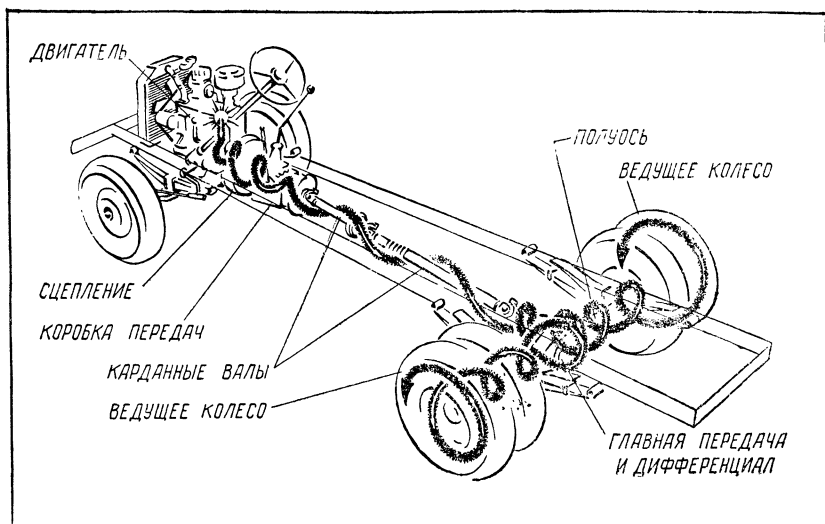
По существу *коэффициент полезного действия передаточного механизма* — это отношение мощности, отдаваемой механизмом, к мощности, им получаемой. Применительно к автомобилю — это отношение мощности, переданной колесам, к мощности двигателя, измеренной на его маховике.

Если к. п. д. силовой передачи равен 0,93 (93%), как это бывает у некоторых спортивных автомобилей или автомобилей высшего класса, то «накладные расходы» составляют всего 7%; если к. п. д. силовой передачи равен 0,8, как, например, у некоторых автомобилей с автоматическими передачами или у специальных автомобилей, то расходы достигают 20%.

Усилие от двигателя передается к ведущим колесам несколькими механизмами силовой передачи — сцеплением, коробкой передач, карданным валом, главной передачей, дифференциалом. Механическая энергия, переданная от двигателя, не только передается через эти механизмы, но и расходуется на трение (пробуксовка дисков сцепления, трение зубьев шестерен коробки передач, главной передачи и дифференциала, трение в подшипниках, трение в карданных сочленениях), а также на взбалтывание масла в картерах коробки передач и заднего моста. От трения и взбалтывания масла возникает тепло; механическая энергия превращается в тепловую, которая не может быть использована и рассеивается. Этот «накладной расход» непостоянен — он увеличивается, когда в работу включается дополнительная пара шестерен на низших передачах, когда карданные шарниры работают под большим углом, когда вязкость масла велика (в холодную погоду), на повороте, когда в работу активно включаются шестерни дифференциала (при движении по прямой их работа невелика). Поэтому трудно дать точную, годную для всяких условий движения оценку величины к. п. д. силовой передачи каждого автомобиля.

Опытным путем определены потери мощности в силовой передаче автомобилей и в отдельных ее элементах и вычислены к. п. д.

Приведенные в табл. 4 величины к. п. д. всей силовой передачи автомобиля на повороте снижаются еще на 1—2%; при



Усилие от двигателя передается ведущим колесам через сцепление, коробку передач, главную передачу, дифференциал, полуоси.

езде по очень неровной дороге (когда карданы работают под большими углами) — еще на 1—2%; зимой, когда масло слиш-

ком вязкое, — еще на 1—2%.

ком вязкое, — еще на 1—2%.

На работу механизмов передачи расходуется около 10% мощности, развиваемой двигателем.

Существуют автомобили, у которых к. п. д. силовой передачи снижен за счет наличия раздаточной коробки и переднего ведущего моста (автомобили повышенной проходимости со всеми ведущими колесами) или за счет необычной схемы коробки передач и заднего моста (некоторые автомобили с задним расположением двигателя, не имеющие прямой передачи в коробке передач, или автомобили с незави-

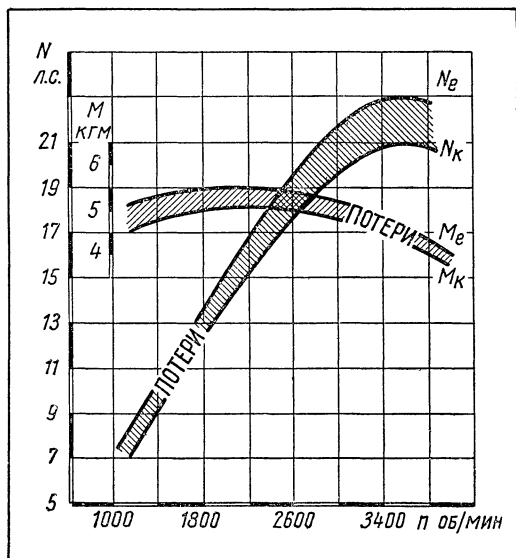


Таблица 4

Коэффициенты полезного действия силовой передачи автомобиля
и ее механизмов

Механизмы силовой передачи	Передача в коробке передач	Коэффициент полезного действия	
		автомо- биль высшего класса	автомо- биль массового выпуска
<i>Механизмы силовой передачи</i>			
Сцепление			0,99
Коробка передач:			
с прямозубыми шестернями	Прямая	—	0,96
	Прочие	—	0,94
с косозубыми шестернями	Прямая	0,98	0,97
	Прочие	0,96	0,95
Карданная передача:			
с углом работы 0—7°			0,99
с углом работы 7—20°			0,98
Главная передача:			
спирально-коническая		0,95	0,94
гипоидная		0,98	0,97
двойная (коническая и цилиндрическая)		—	0,85
<i>Силовая передача автомобиля</i>			
Коробка передач с прямозубыми шестернями:			
спирально-коническая главная передача	Прямая	—	0,88
	Прочие	—	0,86
двойная главная передача	Прямая	—	0,79
	Прочие	—	0,77
Коробка передач с косозубыми шестернями:			
спирально-коническая главная передача	Прямая	0,91	0,89
	Прочие	0,89	0,87
гипоидная главная передача	Прямая	0,94	0,92
	Прочие	0,92	0,90

симой подвеской задних колес, имеющие карданные шарниры на каждой полуоси, причем шарниры часто работают под большими углами).

В дальнейшем динамические и экономические показатели таких автомобилей рассматривать не будем, и поэтому примем к. п. д. силовой передачи приблизительно равным:

для легковых автомобилей высшего класса	0,93
для прочих легковых автомобилей	0,91
для грузовых автомобилей с одинарной главной передачей	0,89
для грузовых автомобилей с двойной главной передачей	0,85

Для учета этих «накладных расходов» во внешнюю характеристику двигателя следует внести поправки, чтобы получить характеристику мощности N_k и крутящего момента M_k , передаваемых на ведущие колеса автомобиля.

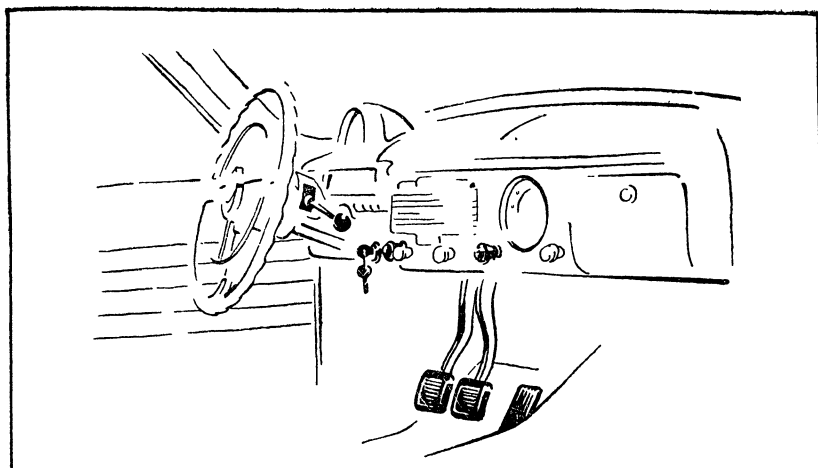
НА КОМАНДНОМ ПОСТУ

Движение автомобиля подчиняется не только определенным законам, но и прежде всего — воле водителя. Собственно говоря, *законы движения автомобиля вступают в силу только после того или иного, правильного или неправильного, действия водителя.* Водитель и конструктор должны учитывать и правильно применять законы движения автомобиля.

Для управления движением автомобиля и работой его механизмов в распоряжение водителя даны рычаги, педали, рукоятки и кнопки, которые через посредство тяг, рычажков, тросов, жидкостных, электрических или воздушных приводов связаны с соответствующими механизмами автомобиля.

Когда-нибудь, вероятно в недалеком будущем, перед водителем будет только два, как говорят, органа управления: руль и педаль скорости. На некоторых автомобилях уже сейчас часть органов управления либо устранена и заменена автоматами, либо пользование ими не обязательно в обычных условиях движения. Однако типовое устройство автомобиля, в особенности грузового, такое, что для изменения данного качества движения автомобиля приходится приводить в действие несколько органов управления.

В конечном счете *водитель должен изменять только три особенности движения автомобиля — скорость, развиваемое усилие и направление.* В изменении скорости и развиваемого усилия участвуют: педаль подачи топлива (акселератор), кнопки управления воздушной заслонкой (кнопка «подсоса») и дроссельной заслонкой карбюратора (кнопка «постоянного газа»), педаль сцепления, рычаг переключения коробки передач, пе-



В изменении скорости движения и крутящего момента участвуют три педали, рычаг и две кнопки (вверху).

В изменении направления движения участвуют рулевое колесо, одна педаль и один рычаг (внизу).

даль тормоза, а также для пуска и остановки двигателя — замок зажигания, кнопка или педаль стартера.

В изменении направления движения участвуют рулевое колесо, педаль сцепления, рычаг переключения коробки передач.

Особую группу органов управления составляют приборы: контрольные, освещения и сигнализации. Но эти приборы вспомогательные, не связанные непосредственно с движением автомобиля, поэтому в книге не рассмотрены.

Если источник энергии — карбюраторный двигатель, то он может начать работать только после того, как включено зажигание. Для этого ключ в замке зажигания поворачивают по часовой стрелке (в некоторых европейских конструкциях вдвигают ключ в глубь замочной скважины). О включенном зажигании свидетельствует не только положение ключа в замке, но и показания некоторых приборов на щите перед водителем — свет в красном глазке («Москвич-401») или движение стрелок указателя уровня бензина, амперметра, термометра и манометра давления масла («Победа» и др.), которые до этого были неподвижными.

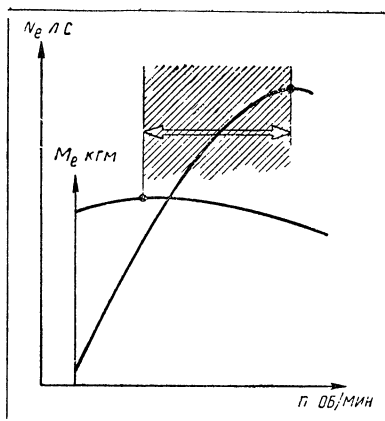
Чтобы двигатель заработал, нужно нажать на кнопку стартера (ножную, ручную или объединенную с ключом зажигания). Электродвигатель передает вращение шестерне стартера, входящей в этот момент в зацепление с зубчатым венцом маховика, и маховик, а вместе с ним и вал двигателя начнут вращаться. Когда после одного-двух (иногда нескольких) оборотов вала двигателя в цилиндрах произойдут вспышки рабочей смеси и рабочие ходы, кнопку стартера нужно отпустить. Теперь двигатель работает сам. Если двигатель холодный или продолжительное время бездействовал, придется прогреть его на богатой рабочей смеси, пользуясь при этом кнопкой управления воздушной заслонкой. После того как двигатель прогреется и начнет устойчиво работать на малых (холостных) оборотах, кнопку вдвигают в гнездо до отказа. Кнопкой управления воздушной заслонкой иногда пользуются и во время движения автомобиля, когда хотят путем кратковременного обогащения рабочей смеси резко увеличить эффективность работы двигателя, однако это не рекомендуется, так как в результате возможен преждевременный износ двигателя и нарушение нормальной работы системы питания двигателя. Кнопкой управления дроссельной заслонкой пользуются еще реже — только если водителю по тем или иным причинам нужно оставить рабочее место, но необходимо поддерживать сравнительно высокие числа оборотов вала двигателя (например, если неисправен стартер).

Как известно, в системе силовой передачи имеется несколько ступеней, чаще всего три у легковых автомобилей и четыре-пять у грузовых. После небольшого разгона автомобиль может двигаться по ровной дороге на высшей (обычно так называемой прямой) передаче с различными скоростями, от минимальной до наибольшей. Для регулирования скорости водителю достаточно изменять подачу топлива и тем самым мощность и число оборотов вала двигателя; это достигается большим или меньшим нажимом на педаль подачи топлива. Можно представить себе автомобиль с двигателем, развивающим такую большую мощность и такой большой крутящий момент, что необходи-

мость в понижающих передачах отпадает. Примером такого автомобиля может служить германская конструкция Майбах 1928 года, имевшая двигатель с рабочим объемом около 9 л, мощностью около 150 л. с. и крутящим моментом около 100 кгм. На таком автомобиле число органов управления, участвующих в изменении скорости, сводится к двум-трем: педали подачи топлива и тормозу (с приводом от педали и от рычага). Но размеры и вес двигателя, а следовательно всего автомобиля, резко возрастают с увеличением рабочего объема двигателя, автомобиль становится чрезмерно тяжелым, дорогостоящим. Поэтому подавляющая часть автомобильных двигателей рассчитана для движения автомобиля без понижающих передач только по ровной дороге и после разгона, а для разгона, движения на крутой подъем, преодоления плохих дорог приходится передаваемое от двигателя к колесам усилие увеличивать с помощью понижающих передач, что сопровождается соответственным уменьшением числа оборотов колес и снижением скорости.

Эти операции производит водитель, пользуясь рычагом переключения коробки передач. Если в конструкции отсутствуют специальные устройства для уравнивания числа оборотов (синхронизаторы), переключение передач невозможно (во всяком случае — бесшумное и безударное) без предварительного или одновременного отсоединения коробки передач от двигателя с помощью сцепления и регулирования числа оборотов ведущих шестерен посредством педали подачи топлива. Поэтому-то при переключении передач водитель вынужден не только выводить из зацепления и вводить в зацепление те или иные шестерни коробки передач, но и пользоваться при этом педалями сцепления и подачи топлива. На первый взгляд все эти действия могут показаться постороннему весьма сложными, но автомобилисты настолько освоились с ними, да и в конструкции современного автомобиля все устроено так целесообразно, что переключение передач не представляет ничего сложного, по крайней мере на легковых автомобилях и небольших грузовых. Доказательством тому служит широкое распространение среди водителей метода езды накатом, при котором без особой, казалось бы, нужды систематически в процессе движения по ровной дороге то выключают, то включают передачу. Это делается для получения некоторой экономии в расходе топлива и для снижения шума при движении. Если бы переключение передач было слишком сложным, водители не стали бы к нему прибегать ради малосущественных факторов.

Следует подчеркнуть, что переключение передач и все, что с ним связано, служит главным образом для регулирования тягового усилия в широких пределах. Изменение скорости только сопутствует изменению усилия. Регулирование скорости осуществляется в основном (кроме случаев разгона и



Наибольший крутящий момент двигатель развивает при сравнительно небольшом числе оборотов

очень медленного движения) регулированием оборотов вала двигателя различной подачей топлива.

Число оборотов при наибольшем крутящем моменте двигателя примерно вдвое меньше числа оборотов, соответствующих наибольшей мощности. Это значит, что при полном открытии дроссельной заслонки карбюратора крутящий момент наибольший при сравнительно небольших мощности двигателя и скорости движения автомобиля, а при уменьшении или увеличении числа оборотов величина момента снизится.

Пропорционально моменту изменяется и тяговое усилие на ведущих колесах автомобиля. При езде с неполностью открытой дроссельной заслонкой (см. частичные характеристики) всегда можно увеличить мощность, а следовательно момент двигателя, сильнее нажав на педаль, т. е. увеличив подачу топлива.

До сих пор говорилось об увеличении скорости или о сохранении постоянной скорости. Но бывают обстоятельства, при которых скорость автомобиля должна быть снижена. Для этого водитель может использовать разные приемы.

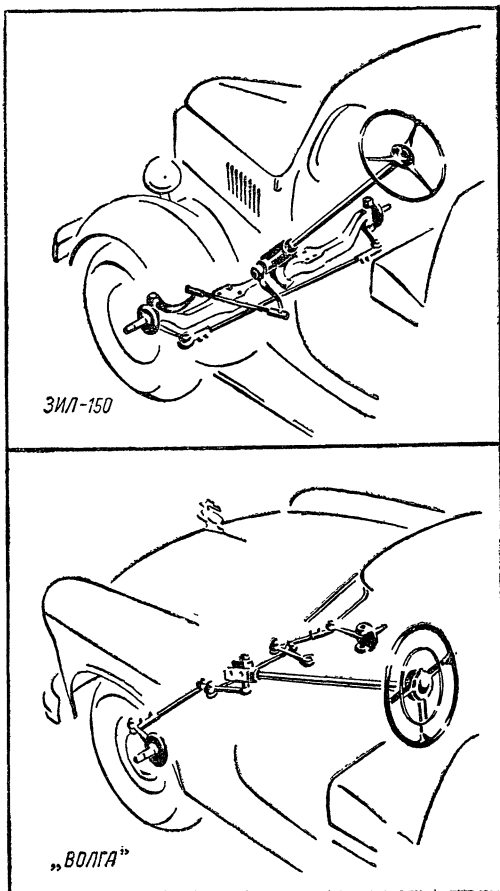
Первый прием — уже упомянутый *накат*, т. е. движение по инерции с выключенной передачей. Если дорога ровная, автомобиль постепенно замедляет ход, пока не остановится, причем вначале скорость мало отличается от той, что была перед *накатом*. *Накатом* пользуются, помимо уже упомянутого, перед заранее предусмотренной остановкой автомобиля, при приближении к перекрестку. Попутно отметим, что *накат* не рекомендуется применять на скользкой дороге, так как при этом устойчивость автомобиля может нарушиться, а также на крутых, в особенности, неполностью обзриваемых спусках, так как в этих условиях автомобиль развивает иногда скорость, большую, чем первоначальная, и движение становится небезопасным. Подробнее об этом сказано далее.

Второй прием — *торможение двигателем*, т. е. движение по инерции, но с включенной передачей и малой нагрузкой двигателя (без нажатия на педаль подачи топлива). Смысл торможения двигателем сводится к тому, что накопленная энергия теперь тратится на преодоление трения в механизмах силовой передачи и особенно двигателя. Это очень

надежный прием замедления движения, в особенности важный на скользкой дороге и на спусках. Наибольший эффект торможения получается, если включить понижающую передачу и уменьшить подачу топлива. Здесь переключение передач на понижающую служит не для увеличения момента, а для увеличения числа оборотов вала двигателя и потерь на трение в нем. Преимуществом торможения двигателем является еще и то, что оно может продолжаться длительное время, не нагревая тормозов и не изнашивая тормозных накладок. Кроме того, при торможении двигателем (не считая случаев перехода на низшую передачу) водителю нужно только уменьшать подачу топлива.

Третий прием замедления хода — торможение с помощью колесных тормозов, которые приводятся в действие от педали. Торможение применяется чаще всего для кратковременного и вместе с тем достаточно резкого замедления хода — при появлении опасности, для остановки автомобиля после замедления хода иными средствами и т. д. Когда водитель нажимает на педаль тормоза, неподвижные тормозные колодки прижимаются к вращающемуся тормозному барабану или диску. Между колодками и барабаном (или диском) возникает трение; колодки и барабан (или диск) от трения нагреваются. Накопленная движущимся автомобилем энергия расходуется уже не на дальнейшее движение, а в значительной мере на трение и образование тепла, и автомобиль

Повороты рулевого колеса передаются передним колесам через вал, рулевой механизм и систему тяг.



замедляет ход (подробнее о торможении см. в следующей главе).

Наконец, кроме перечисленных приемов, водитель может пользоваться рычагом ручного стояночного тормоза, привод от которого осуществляется на тормоза задних колес или на тормоз на валу силовой передачи.

Для включения заднего хода водитель, после остановки автомобиля, с помощью рычага переключения коробки передач и педали сцепления вводит между шестернями промежуточного и вторичного валов коробки передач дополнительную шестерню и этим изменяет направление вращения ведомого вала. Тем самым изменяется и направление вращения колес.

Изменения направления движения, т. е. поворота автомобиля, водитель достигает вращением рулевого колеса. Механизмы рулевого привода передают вращение штурвала левому и правому передним колесам, поворачивая их на некоторый угол и тем самым направляя автомобиль влево или вправо.

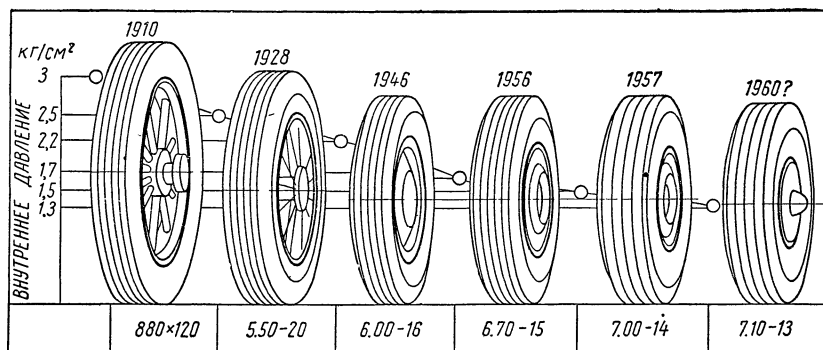
ВЕЛИКИЙ ТРУЖЕНИК — КОЛЕСО

Колесо является одной из важнейших частей автомобиля.

От характеристики колеса зависят в большей или меньшей степени все качества автомобиля: динамика, экономика, плавность хода, проходимость, устойчивость, безопасность движения. С характеристикой колеса теснейшим образом связана конструкция силовой передачи и даже двигателя, мостов, подвески, тормозов. Размеры колес определяют объем колесных кожухов, а значит и планировку кузова, и удобства для пассажиров, и обтекаемость формы автомобиля.

На первых автомобилях устанавливали деревянные колеса кареты, затянутые в железный обод, или велосипедные колеса огромного диаметра. Постепенно пришли к мысли штамповать колеса из тонкого стального листа, снабжая их ребрами для повышения прочности и отверстиями для снижения веса.

Непрерывное увеличение числа оборотов вала двигателя, уменьшение высоты и веса автомобиля, улучшение дорог, применение независимой подвески и др. вызвали постепенное уменьшение диаметра колеса. Более чем метровый (вместе с шиной) диаметр первых легковых автомобильных колес сократился к 10-м годам нашего века до 800—900 мм, а теперь, как правило, не превышает 650—700 мм. Диаметр обода колес легковых машин снизился с 19—20 дюймов до 13—15, а на некоторых автомобилях до 10—12 дюймов. Между тормозным барабаном и ободом почти не остается места для отверстий в диске. Все же приходится предусматривать в диске хотя бы щели, иногда и отверстия в колесных колпаках, чтобы охлаждать тормозные барабаны. Может быть, в дальнейшем закрепление



За 50 лет наружный диаметр автомобильных колес, диаметр обода и внутреннее давление в шинах резко уменьшились, а сечение профиля шины увеличилось.

обода непосредственно на тормозном барабане еще более упростит и облегчит колесо, так как при этом открывается боковая поверхность барабана, чем создаются хорошие условия для охлаждения. Такое устройство уже применено на отдельных образцах автомобилей.

С развитием колеса неразрывно связано развитие шины. Даже самые хорошие дороги (а улучшать их стали в некоторых странах только в XX веке) не могут обеспечить легкому автомобилю с жесткими колесами такой плавности хода, какую обеспечивают, например, тяжелому поезду стальные рельсы, уложенные на прочном, массивном основании. Даже при установке очень мягких рессор механизмы первых автомобилей не были предохранены от непрерывных ударов при езде по дорогам того времени. Автомобили начинали разваливаться на части: рассыпались колеса, ломались рессоры, рули «били по рукам», ослаблялось крепление двигателей, трескали по швам кузова. Конструкторы пытались усиливать, утолщать части автомобиля, что утяжеляло автомобиль. Чтобы привести в действие тяжелые автомобили, нужны были мощные двигатели. С увеличением мощности двигателя вес машины возрастал все больше, а удары колес тяжелой машины на выбоинах и ухабах также были сильнее, чем раньше.

Этот «заколдованный» круг удалось разомкнуть только тогда, когда на колеса автомобиля надели пневматические шины. Это уменьшило вес автомобиля примерно в 1,5 раза (его части можно было делать теперь менее массивными и прочными), удлинит срок его службы, сделало езду спокойной и удобной, дало ему возможность передвигаться со скоростью, о которой в XIX веке нельзя было мечтать. Пневматические шины были теми семимильными сапогами, без которых современный автомобиль был бы невозможен.

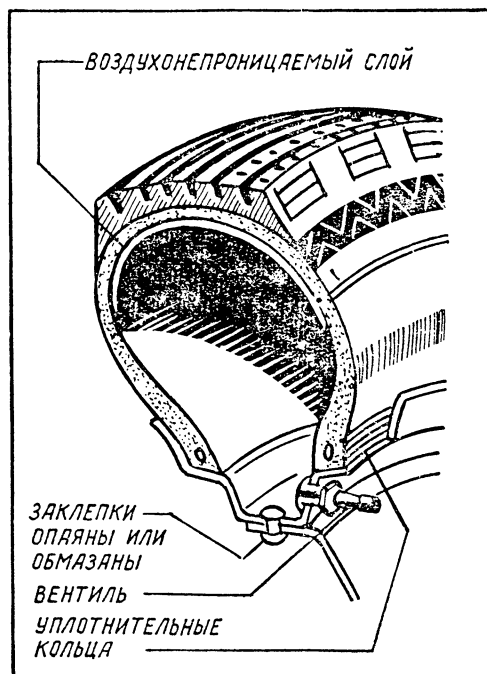
Конструкторы долго бились над созданием надежной шины. Первые шины лопались буквально на каждом шагу. В начале XX века самые лучшие шины, сделанные на заказ для гонок, приходилось менять на протяжении двух-трех сотен километров десятки раз. Можно без преувеличения сказать, что современные шины сделали бы самый тихходный автомобиль начала XX века победителем любой гонки того времени.

Вот основные этапы развития шины. На обод надевают кольцо, сделанное из резинового рукава. Кольцо служит внутренней камерой шины; камеру окружают прочной защитной резиновой покрывкой на парусиновой основе; небольшие гвозди не могут пробить теперь толщ покрывки. Парусиновую основу заменяют каркасом из одних продольных нитей (корд), чтобы уменьшить трение, нагрев и разрушение нитей. Для облегчения смены шин колеса снабжают съемными ободьями, а затем выполняют легко съемными и сами колеса вместе с шинами. Давление в шинах все понижается, возрастает объем камеры, т. е. диаметр сечения шины; в современных шинах давление составляет всего 1—1,7 кг/см². Наконец, появляются бескамерные шины, у которых плотное соединение края покрывки

с ободом колеса создает герметическое пространство внутри покрывки; клапан шины—вентиль — устанавливают непосредственно на ободе; внутренняя поверхность покрывки покрыта клеевой массой, которая обволакивает отверстие в случае прокола; шина срослась с колесом в единое целое.

Нужно особо отметить деталь колеса, как бы связывающую колесо с шиной, — обод. Обод постепенно становится все шире, обеспечивая шине более широкую опору для сохранения радиальной эластичности шины без чрезмерного увеличения ее боковой эластичности при низком давлении

Разрез бескамерной шины.



(т. е. получение плавности хода без ухудшения устойчивости).

Таким образом, главными направлениями развития конструкции автомобильного колеса являются: уменьшение его диаметра (особенно диаметра обода) и веса при увеличении ширины обода и профиля шины, повышение эластичности шины, объединение колеса и шины в один неделимый механизм, упрощение конструкции колеса.

Только одно не изменилось в пневматической шине в процессе ее развития — это воздух.

До недавнего времени многие расчеты автомобиля были почти целиком основаны «по старой памяти» на жестком колесе. Однако «поведение» машины на эластичных колесах, особенно при движении с высокой скоростью, оказалось в действительности настолько отличным от «поведения» железнодорожного вагона или телеги, что науку о движении автомобиля пришлось изменить, и это затронуло, практически, все качества автомобиля. В книге рассмотрена современная автомобильная наука, одной из краеугольных основ которой является учет эластичности колеса с пневматической шиной.

В шине нагрузку от автомобиля главным образом несет воздух. И поэтому существует единый для всяких пневматических шин — старых, новых и будущих, высокого и низкого давления, малых и больших, камерных и бескамерных — закон грузоподъемности шины.

В основе этого закона лежит предпосылка, что на единицу количества воздуха, находящегося в шине, должно приходиться определенное всегда одинаковое количество килограммов нагрузки. Другими словами, отношение нагрузки G_k , приходящейся на колесо, к количеству сжатого воздуха в камере шины должно быть постоянным. Назовем это отношение p_0 — коэффициентом удельной грузоподъемности шины.

Количество воздуха в шине можно найти, применив закон физики, по которому объем газа уменьшается пропорционально увеличению давления:

$$\frac{p_0}{p} = \frac{V_k}{V_0}. \quad (6)$$

Если объем камеры равен V_k , а давление воздуха в ней равно p , то для накачки шины потребуется взять V_0 литров воздуха из атмосферы, где давление составляет $p_0 = 1 \text{ кг/см}^2$. Из уравнения (6) находим, что

$$V_0 = V_k \frac{p}{p_0} = V_{\kappa} p. \quad (7)$$

Теперь можно написать уравнение для показателя удельной грузоподъемности шины, который обозначим буквой $\eta_{ш}$ («эта»):

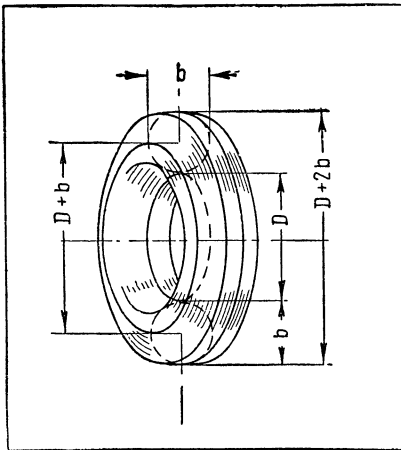
$$\eta_{ш} = \frac{G_{\kappa}}{V_0} = \frac{G_{\kappa}}{V_{\kappa} p} \text{ кг/л.} \quad (8)$$

Так как нагрузка на шину воспринимается не только находящимся в ней воздухом, но и (в небольшой степени) корпусом покрывки, жесткость покрывки должна быть учтена при расчетах удельной грузоподъемности шины. Опытным путем доказано, что в данном случае жесткость покрывки для различных шин можно считать более или менее постоянной, поэтому достаточно прибавить к значению давления в шине p постоянную величину; эта величина примерно равна единице. Тогда уравнение показателя удельной грузоподъемности шины для неподвижного колеса примет такой вид

$$\eta_{шс} = \frac{G_{\kappa}}{V_{\kappa} (p + 1)} \text{ кг/л.} \quad (9)$$

Необходимо внести в это уравнение еще одно дополнение. При движении автомобиля на шину действуют не только вес автомобиля, но и центробежные и другие силы. Эти дополнительные нагрузки на единицу объема шины возрастают с уменьшением радиуса колеса, так как увеличивается число оборотов колеса, необходимое для достижения автомобилем той или иной скорости, а следовательно растет центробежная сила и т. д. Поэтому в числитель уравнения (9) нужно включить множитель (поправочный коэффициент), примерно пропорциональный радиусу колеса. Для упрощения принимаем этот коэффициент равным $\frac{D + 2b}{2}$, где D — диаметр обода в дюймах, b — размер

Размеры шины.



профиля шины в дюймах, как они обозначены в торговой маркировке шины. Тогда уравнение принимает вид

$$\eta_{ш} = \frac{G_{\kappa} (D + 2b)}{2V_{\kappa} (p + 1)} \text{ кг дюйм/л.} \quad (10)$$

Объем шины (камеры) можно упрощенно представить как объем геометрического тела, называемого тором (кольцо с круглым сечением, «баранка»), у которого диаметр равен внутреннему диаметру равен диаметру обода D , а диаметр сечения равен размеру сечения профиля шины b . Объем этого тора равен произведе-

нию площади сечения тора $\frac{\pi b^2}{4}$ на периметр оси сечения $\pi(D + b)$, т. е.

$$V_{\kappa} = \frac{\pi^2 b^2 (D + b)}{4} \text{ куб. дюймов.} \quad (11)$$

Изучение шин показывает, что действительный объем шины примерно на 25% меньше подсчитанного таким образом ее объема, так как сечение шины не совсем круглое.

Подставляя коэффициент 1,25 и числовое значение π в уравнение (11), а также переводя объем шины в метрические меры (дюймы в дециметры для получения объема в литрах), получаем

$$V_{\kappa} = \frac{3,14^2 b^2 0,254^2 (D 0,254 + b 0,254)}{4 \cdot 1,25} = 0,0323 b^2 (D + b) \text{ л.}$$

Тогда уравнение (10) приобретает вид

$$\eta_{ш} = \frac{G_{\kappa} (D + 2b)}{2 \cdot 0,0323 b^2 (D + b) (p + 1)} = \frac{15,5 G_{\kappa} (D + 2b)}{b^2 (D + b) (p + 1)}. \quad (12)$$

Коэффициент $\eta_{ш}$ равен для шин легковых автомобилей 77,5, для шин грузовых — несколько ниже (в связи с большим сроком ходимости): 70,5 для шин с сечением до 10 дюймов и 60,5 для шин большего размера. Зная показатель удельной грузоподъемности шины, можно с достаточной точностью определять допустимую нагрузку на шину, внутреннее давление в шине для данных условий работы и т. д., например:

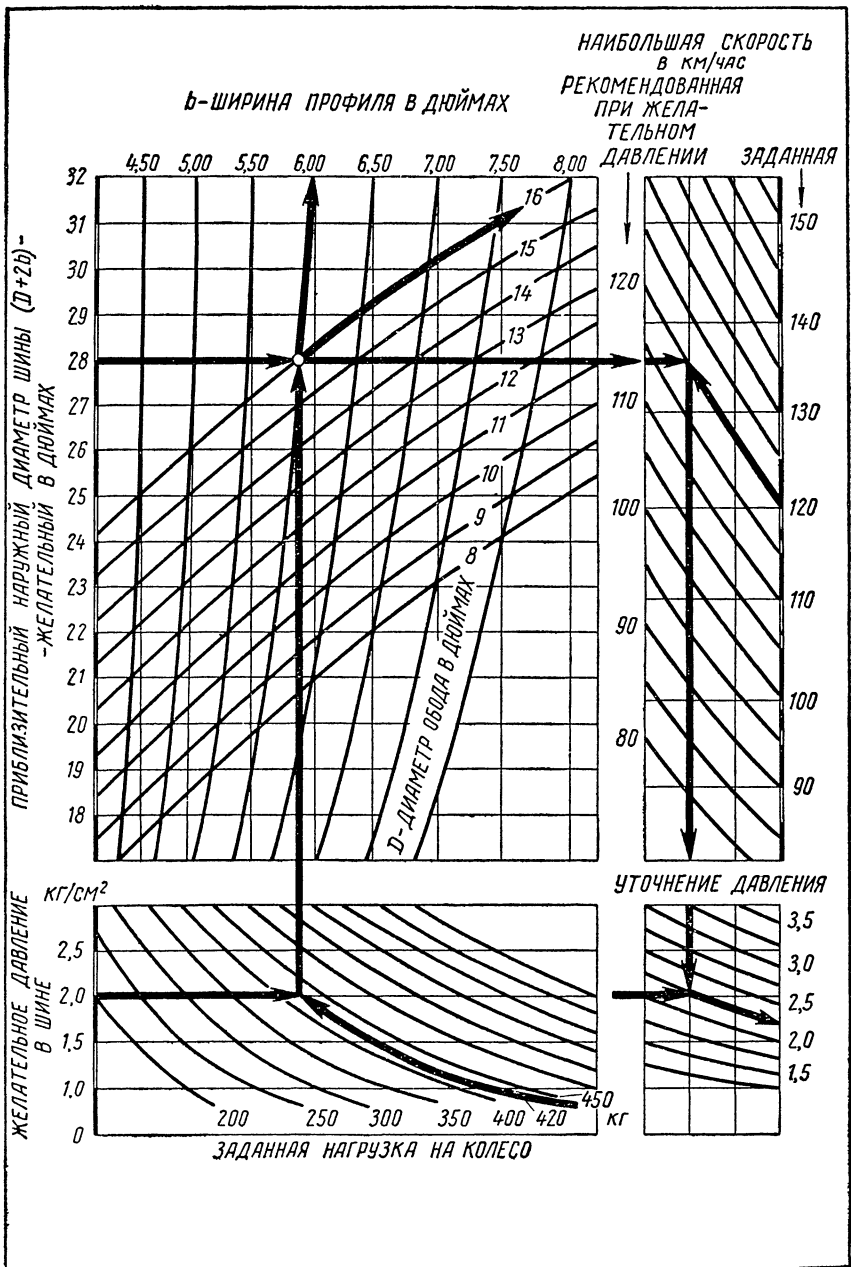
$$G_{\kappa} = \frac{\eta_{ш} b^2 (D + b) (p + 1)}{15,5 (D + 2b)} \text{ кг} \quad (13)$$

или

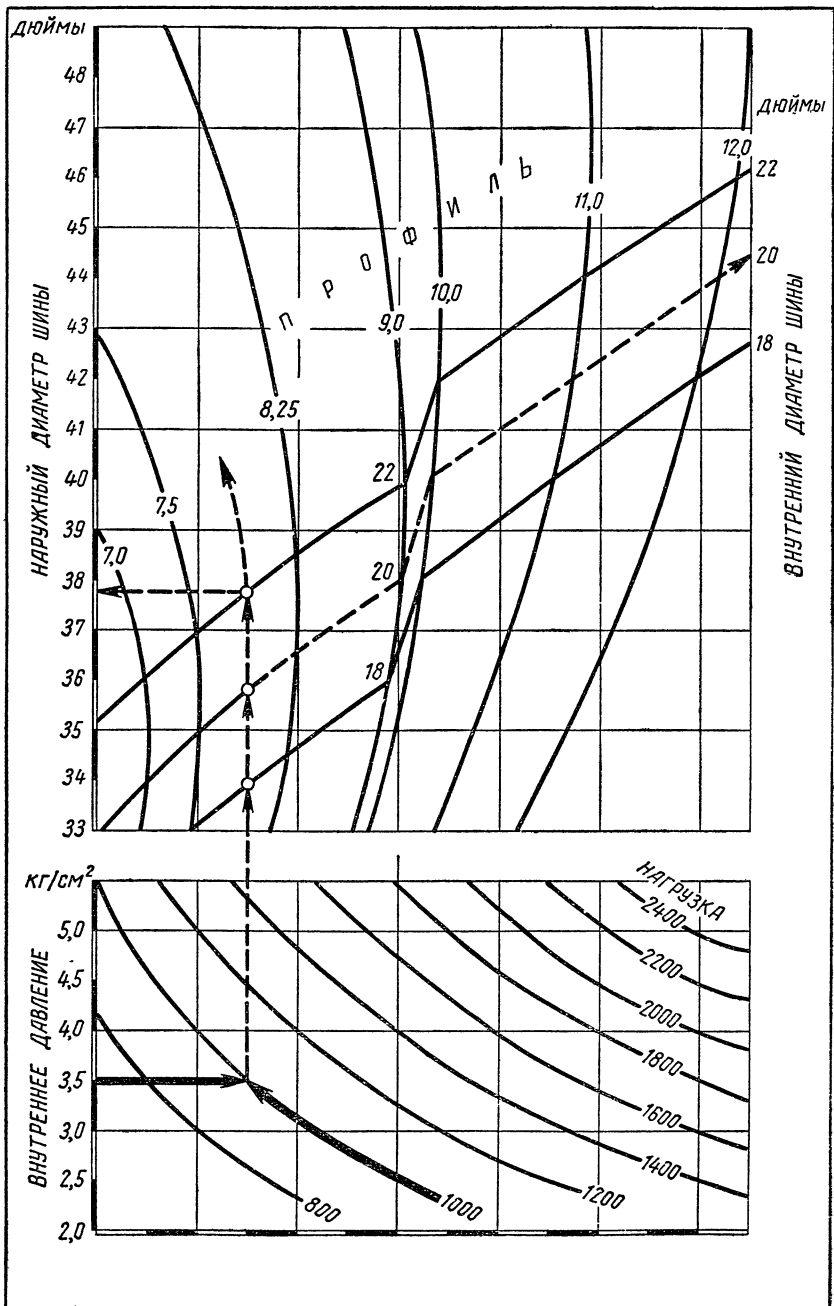
$$p = \frac{15,5 G_{\kappa} (D + 2b)}{\eta_{ш} b^2 (D + b)} - 1 \text{ кг/см}^2. \quad (14)$$

На основе этих законов разработаны номограммы (графики) для выбора шин. Из рассмотрения номограмм для шин легковых автомобилей можно сделать вывод, что существует зависимость между рекомендуемой наибольшей (по нагрузке на шину) скоростью автомобиля V_a , наружным диаметром шины (или радиусом r_0) и внутренним давлением в шине.

Номограмма для легковых автомобилей состоит из четырех графиков. На верхнем левом (главном) графике, на левой (вертикальной) оси нанесены значения наружного диаметра шины D_{κ} , на поле графика — две группы кривых: для диаметров обода D и для ширины профиля b .



Номограмма для определения характеристики шин легковых автомобилей.
Пример пользования номограммой показан жирной линией.



Номограмма для определения характеристики шин грузовых автомобилей.

Горизонтальная ось графика связана с нижним левым графиком, вертикальная шкала которого показывает давление в шине, а кривые на поле графика соответствуют различным нагрузкам, приходящимся на колесо. Два правых графика служат для уточнения характеристики шины в случае, если нужно эксплуатировать шину со скоростями, большими чем нормальная.

На номограмме толстыми линиями показан пример пользования ею. Пусть будут заданы: наружный диаметр шины около 700 мм (около 28"), желательное по соображениям плавности хода и устойчивости давление в шине 2 кг/см^2 , нагрузка на шину 420 кг.

Находим на вертикальной оси главного графика значение 28 дюймов и проводим отсюда горизонтальную линию. Затем находим кривую нагрузки 420 (между кривыми 400 и 450) и точку ее пересечения с горизонталью, соответствующей давлению в шине 2 кг/см^2 ; из этой точки пересечения проводим вертикальную линию до пересечения с проведенной ранее прямой на уровне 28 дюймов. Точка пересечения указывает искомые ширину профиля и диаметр обода.

Это шина 6.00—16, устанавливаемая на автомобиле М-20 «Победа», причем рекомендуемая наибольшая скорость движения составляет около 113 км/час (правый верхний график). При необходимости изменить один из параметров потребует изменить и некоторые другие. Так, если скорость систематически или в продолжительном пробеге составляет 120 км/час, нужно уменьшить нагрузку или увеличить давление в шине до $2,25 \text{ кг/см}^2$ (правая нижняя часть номограммы), что должно быть учтено при выборе жесткости подвески.

Номограмма для грузовых автомобилей не имеет правых двух графиков. В остальном пользоваться ею можно так же, как и описанной выше номограммой для легковых автомобилей.

Если измерить расстояние от центра неподвижного колеса до поверхности дороги, называемое статическим радиусом r_c , оно окажется меньшим, чем наружный радиус колеса с шиной r_0 , измеренный в других точках, так как вследствие эластичности шина сминается под действием нагрузки. Величина $r_0 - r_c = f_{ш}$ называется статическим прогибом шины (т. е. прогибом шины в положении, когда автомобиль неподвижен). Нагрузка в кг, вызывающая статический прогиб в 1 см, определяет жесткость шины. Жесткость шины $C_{ш}$ в кг/см^2 находится из уравнения

$$C_{ш} = \frac{G_{к}}{f_{ш}}, \quad (15)$$

где $G_{к}$ — нагрузка на колесо в кг;
 $f_{ш}$ — статический прогиб шины в см.

Таблица 5

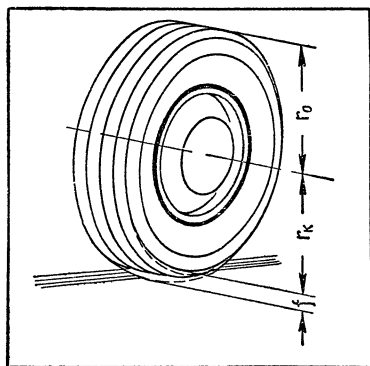
Основные данные по шинам дорожного типа

Размеры шин в дюймах	Установлены на автомобиль марки	Размеры по ГОСТУ в мм			Наибольшие допустимые			Наименьшие допустимые		
		наруж- ный диаметр	ширина профиля	радиус стати- ческий r_c	нагрузка G_k в кг		давление P в кг/см ²	нагрузка G_k в кг		давление P в кг/см ²
					по ГОСТУ	расчет- ная		по ГОСТУ	расчет- ная	
4,50—9*	СЛ	470	120	220	—	192	—	—	—	—
5,00—10*	ИМЗ-А50, СЗА	540	140	240	—	220	—	170	—	0,8
4,50—13*	Мотоколяска ГАЗ	560	130	260	—	260	—	—	—	—
5,60—15	"Москвич-402"	668	147	312	330	335	425	—	—	—
6,70—15	"Волга"	725	171	338	425	465	—	—	—	—
7,00—15	ЗИМ	745	196	352	605	650	—	—	—	—
5,00—16	"Москвич-401"	670	130	312	320	314	—	—	—	1,4
6,00—16	М-20 "Победа"	728	160	343	460	460	—	—	—	1,5
7,50—16	ЗИЛ-110	795	207	375	785	745	—	—	—	1,5
34×7	ЗИС-5	940	207	450	1200	1180	—	—	—	4,0
7,50—20	ГАЗ-51	923	203	436	1000	990	—	—	—	2,75
9,00—20	ЗИЛ-150	1026	257	485	1550	1530	—	—	—	3,25
(260—20)**										
10,00—20	ЗИЛ-155	1058	280	500	1800	2020	—	—	—	3,5
11,00—20	—	1082	285	507	2050	2100	—	—	—	3,5
12,00—20	МАЗ и ЯАЗ	1125	315	529	2900	2660	—	—	—	4,25

* Данные приблизительные или расчетные по новым типам шин.

** Новое обозначение профиля шины в мм.

Радиусы колеса с шиной.



При движении автомобиля в связи с увеличением давления в шине от ее нагрева и вследствие действия центробежной силы радиус колеса слегка увеличивается. Наоборот, при передаче крутящего момента радиус может несколько уменьшиться. Таким образом при движении автомобиля так называемый радиус качения r_k может изменяться, но это изменение так незначительно (3—6 мм), что дальше оно учитываться не будет, поэтому можно считать

$$r_c = r_k.$$

В табл. 5 приведены основные данные шин употребляемых размеров по ГОСТ 47-54 и 5513-54 и по уравнениям, приведенным выше.

Следует обратить внимание на то, что в уравнение (12) диаметр обода входит в первой степени, а размер (диаметр) сечения профиля — в третьей. Отсюда следует, что решающее значение для грузоподъемности шины имеет сечение профиля, а не диаметр обода. О том, как влияет введение уменьшенных диаметров ободов и увеличенных профилей шин на их удельную грузоподъемность (или нагруженность), свидетельствует сравнение показателя $\eta_{ш}$ для новейших зарубежных шин и шин первых выпусков (табл. 6). Первые шины иностранных фирм

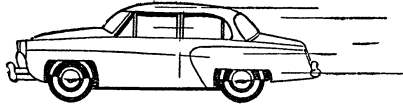
Таблица 6

Сравнение размеров зарубежных шин прежних и современных выпусков

Нагрузка G_k на шину в кг	Шины прежних выпусков				Современные шины			
	обозначение (размер) в дюймах	наружный диаметр в мм	p в кг/см ²	$\eta_{ш}$	обозначение (размер) в дюймах	наружный диаметр в мм	p в кг/см ²	$\eta_{ш}$
275	4.50—16	645	1.7	95	5.20—13	600	1.7	75
350	5.00—16	670	2.0	90	5.60—13	620	1.7	83
450	5.50—16	695	2.0	96	6.40—13	660	1.7	84
525	6.00—16	720	2.0	96	7.00—14	720	1.6	85
600	6.50—16	740	2.25	88	7.50—14	740	1.6	86
650	7.00—15	740	2.25	84	8.00—14	760	1.6	83
700	7.60—15	770	2.0	84	8.50—14	780	1.6	80
750	7.50—16	750	2.5	78	9.00—14	800	1.6	77
В среднем . .	—	—	2,1	89	—	—	1,65	81,5

имели так же, как и отечественные, постоянный, но несколько более высокий показатель $\eta_{ш}$ по сравнению с показателем для современных шин, так как в то время фирмы задавали большую нагрузку на шины. Это делалось по коммерческим соображениям, а также вследствие наличия большого процента натурального каучука в шинах и в расчете на работу легковых автомобилей в основном в условиях хороших городских дорог и на автомагистралях. Нагруженность введенных новых шин резко снизилась, несмотря на сохранение наружного диаметра и снижение давления в шинах для улучшения плавности хода автомобиля. Снижение нагруженности шины вызвано стремлением без ущерба для ее срока службы увеличить скорость автомобиля.

Увеличить скорость, улучшить условия перевозки пассажиров и груза, продлить срок службы и тем самым повысить экономичность автомобиля — это наиболее заметные направления развития колес и шин; и они полностью совпадают с главными задачами по усовершенствованию автомобиля.



По ровной дороге

КОЛЕСО И ДОРОГА

Как будто все просто: вращение вала автомобильного двигателя, переданное через механизмы силовой передачи, заставляет вращаться колеса, колеса катятся по дороге; оси вращения при перекачивании колес перемещаются вперед; оси так или иначе связаны с рамой и кузовом автомобиля; значит, вместе с осями перемещается и кузов, и автомобиль. Однако такого описания недостаточно. Необходимо знать, какие силы действуют на колесо. Вот они: вращающий момент M_k , заставляющий колесо вращаться и создающий тяговую силу P_k ; сила тяжести, соответствующая нагрузке на колесо G_k ; вертикальная реакция дороги Z и горизонтальная X , действующая в направлении движения (т. е. обратном действию силы P_k).

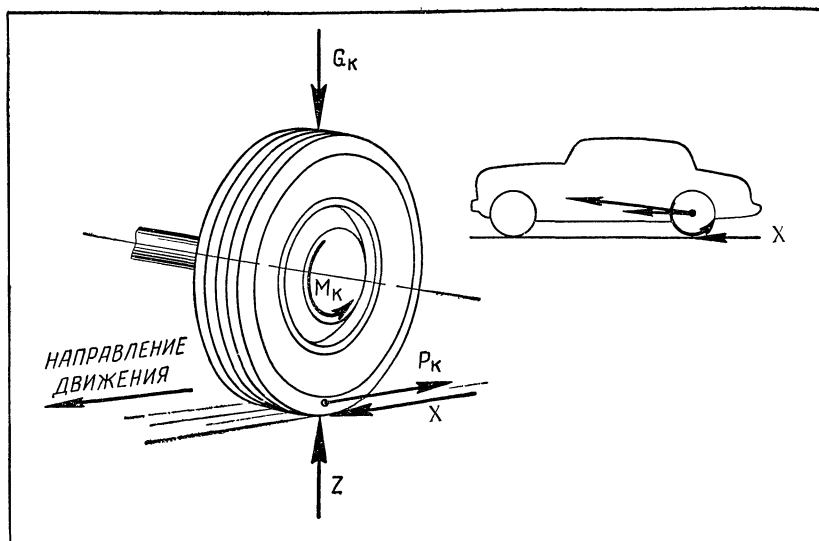
Тяговая сила P_k (в кг) равна подводимому к колесам вращающему моменту M_k (в кгм), деленному на радиус качения колеса (в м):

$$P_k = \frac{M_k}{r_k} \text{ кг.} \quad (16)$$

Момент M_k зависит от крутящего момента двигателя M_e , передаточных чисел в системе силовой передачи и коэффициента полезного действия η силовой передачи, который для обычных автомобилей равен 0,9 (см. выше). Чем больше передаточные числа в коробке передач и в заднем мосту, тем больше подводимый к колесам вращающий момент:

$$M_k = M_e i_k i_0 \eta \text{ кгм,} \quad (17)$$

где i_k — передаточное число в коробке передач;
 i_0 — передаточное число главной передачи.



Слева — силы, действующие на колесо. Справа — дорога толкает колесо, ось перемещается вперед и толкает рессоры, рессоры толкают кузов.

Таким образом, тяговая сила на ведущих колесах автомобиля

$$P_k = \frac{M_{e^i k i_0} \eta}{r_k} \text{ кг.} \quad (18)$$

Теперь можно высказать два на первый взгляд неожиданных положения.

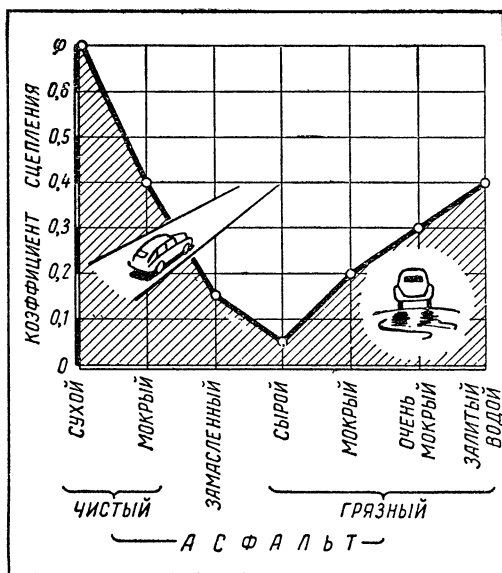
1. Движение колеса происходит под действием силы (реакции) X , т. е. дорога толкает автомобиль.

Выше был приведен пример действия силы прыгуна на площадку и силы противодействия площадки. Точно так же и ведущее колесо автомобиля отталкивает от себя назад дорогу с силой P_k , а дорога противодействует этому силой (реакцией) X . Реакция X толкает вперед колесо, а оно через ось и подвеску толкает вперед весь автомобиль.

2. В каждое отдельно взятое мгновение ближайшие к дороге точки колеса неподвижны, не перемещаются относительно поверхности дороги. Более того, если бы они перемещались, автомобиль не двигался бы, а колесо скользило бы по поверхности дороги. Происходило бы то, что называется на языке автомобилистов буксованием колеса.

Чтобы точки контакта колеса с дорогой были неподвижными, требуется хорошее сцепление шины с поверхностью дороги.

Сцепление шины с дорогой оценивают так называемым коэффициентом сцепления ϕ («фи»).



Величина коэффициента сцепления зависит от состояния поверхности дороги.

Коэффициент сцепления на сухой дороге лишь незначительно изменяется в зависимости от изменений нагрузки на колесо, давления в шине и скорости движения, но на мокрой или обледенелой дороге с увеличением скорости происходит резкое уменьшение коэффициента сцепления, так как шина не успевает выдавливать влагу, находящуюся в области контакта шины с дорогой, и остающаяся пленка влаги облегчает скольжение шины.

Необходимое для движения сцепление шины с дорогой связано с нежелательным трением. Но о каком трении может идти речь, если соприкасающиеся точки неподвижны? При внимательном изучении ближайшего к поверхности дороги участка шины видим, что:

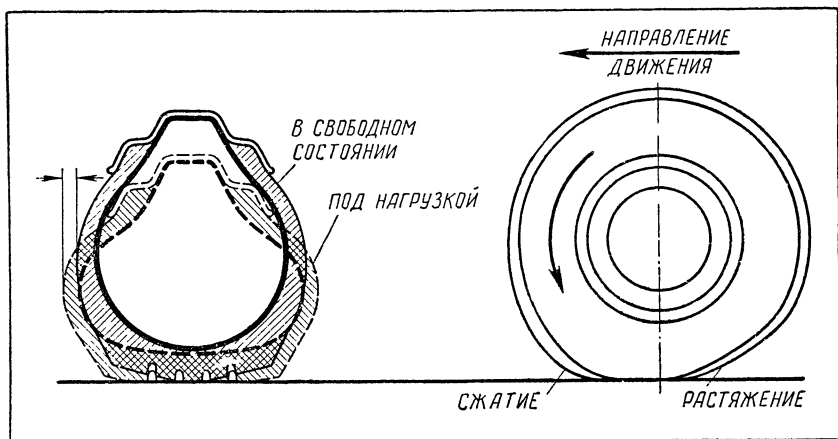
1) шина сжимается, деформируется; происходит местное сжатие, а затем снова расширение шины; сжатие и расширение содержащегося в камере шины воздуха, взаимное перемещение частиц резины и частиц воздуха вызывает трение между ними;

2) к точке контакта шины с дорогой все время подходят сжатые элементы шины, а от точки отрыва шины от дороги отходят, наоборот, растянутые; так как резина эластична и прочна, шина не разрывается, а только сжимается и растягивается в области контакта ее с дорогой, поэтому происходит

Коэффициент сцепления равен отношению наибольшей величины реакции X (при проскальзывании, буксовании колеса) к величине реакции Z

$$\varphi = \frac{X}{Z}. \quad (19)$$

Величина коэффициента сцепления φ колеблется в пределах 0,5—0,8 для сухих твердых дорог и 0,15—0,4 для обледенелых или мокрых. Из приведенного графика видно, как влияет состояние поверхности асфальтовой дороги на коэффициент сцепления.



Работа колеса вызывает деформацию (изменение формы) шины.

некоторое скольжение отдельных частиц шины по поверхности дороги и, как следствие, трение;

3) в углублениях поверхности дороги и рисунка протектора находится воздух; набегаая на дорогу, участки протектора сплющиваются, резина заполняет углубления, выжимает из них воздух и как бы присасывается к поверхности дороги, и на отрыв шины от дороги требуется затрата дополнительной силы.

Нетрудно сделать вывод, что описанные явления трения или сопротивления качению должны усиливаться при понижении давления в шине (так как при этом увеличиваются ее деформации) и при возрастании окружной скорости шины, а также при неровной или шероховатой поверхности дороги и при наличии заметных выступов и углублений в рисунке протектора шины.

Это на твердой дороге. А мягкую или не очень твердую дорогу, даже размягченный жарой асфальт, шина проминает и на это тоже приходится затрачивать часть тяговой силы.

Сопротивление качению колеса оценивается коэффициентом сопротивления качению f .

Коэффициент сопротивления качению равен отношению величины силы P_f , необходимой для качения колеса, к величине реакции Z :

$$f = \frac{P_f}{Z}. \quad (20)$$

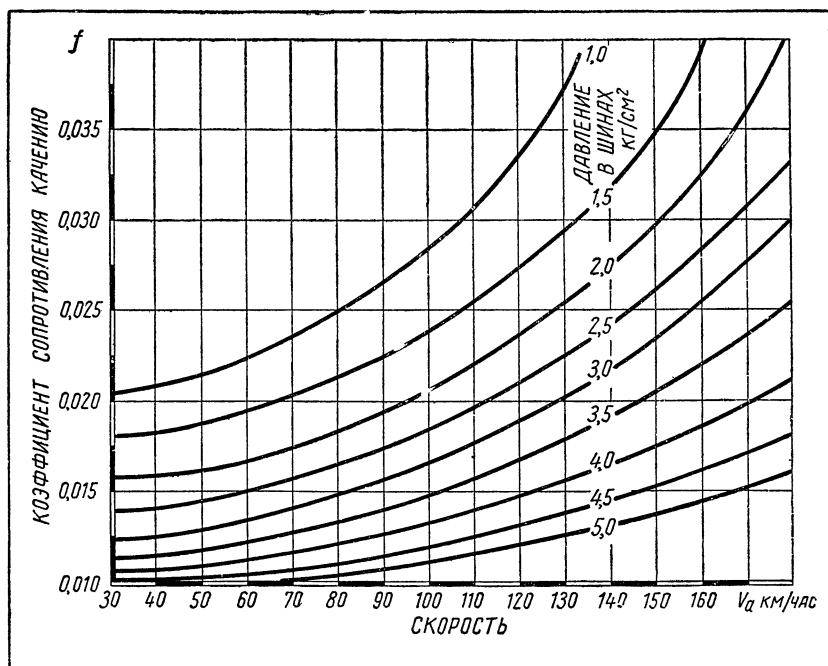
Величина коэффициента сопротивления качению f возрастает с уменьшением давления в шине, с увеличением скорости движения (при малых скоростях увеличение коэффициента f

незначительно) и с увеличением неровности дороги. Изменение величины f ясно видно из рассмотрения графика зависимости коэффициента f от скорости движения и давления в шине (на асфальте). Ниже даны значения этого коэффициента для различных видов дорог для скорости 30—60 км/час и при давлении в шинах около 2,5 кг/см².

	Коэффициент сопротивления качению
Асфальт	0,015
Бульжник в хорошем состоянии	0,018
Бульжник в плохом состоянии	0,023
Брусчатая мостовая	0,017
Гравийное шоссе в хорошем состоянии	0,022
Гравийное шоссе в плохом состоянии	0,028
Ровная твердая проселочная дорога	0,023
Проселочная дорога среднего качества	0,026
Тяжелая проселочная дорога	0,03
Песок средней рыхлости	0,15
Снег утрамбованный	0,029

Так как сопротивление качению находится в прямой зависимости от величины коэффициента f , можно установить, что

Коэффициент сопротивления качению увеличивается с возрастанием скорости и с понижением давления в шинах.



если для движения автомобиля по асфальту требуется определенная сила, то для движения по булыжнику и по гравийному шоссе нужна в 1,5 раза бóльшая сила, для движения по проселку — в 2 раза, по песку — в 10 раз.

Из уравнения (20) следует, что сила сопротивления качению равна

$$P_f = Zf \quad (21)$$

или, так как реакция Z равна нагрузке на колесо,

$$P_f = G_{\kappa}f. \quad (22)$$

Подсчитав силы сопротивления качению для отдельных колес и сложив их, получаем силу сопротивления качению автомобиля. Хотя сопротивление качению передних, задних, левых и правых колес неодинаковое, без большой ошибки допустимо подсчитывать суммарную силу сопротивления качению для движения с определенной скоростью по уравнению

$$P_f = G_a f \text{ кг}, \quad (23)$$

где G_a — полный вес автомобиля в кг.

На преодоление сопротивления качению затрачивается энергия и нужно уметь вычислить расходуемую при этом мощность.

Прежде чем перейти к мощности, вспомним, что отрезок пути S , пройденный автомобилем в единицу времени t , называется скоростью движения

$$V = \frac{S}{t}. \quad (24)$$

Путь измеряют метрами или километрами, а время — секундами или часами; поэтому единицами измерения скорости будут либо метры в секунду (v_a м/сек), либо километры в час (V_a км/час), причем $1 \text{ м/сек} = 3,6 \text{ км/час}$.

Мощность вычисляют как отношение работы (PS кгм) ко времени (t сек.); так как отношение пути ко времени выражает скорость, то мощность можно вычислить и как произведение силы на скорость:

$$N = \frac{PS}{t} = Pv \text{ кгм/сек.}$$

Значит, чтобы узнать мощность N_f в л. с., расходуемую на сопротивление качению, нужно помножить силу сопротивления P_f на скорость движения v_a в м/сек и разделить на 75, так как 1 л. с. соответствует механической работе в 75 кгм в 1 сек. Если скорость V_a выражена в км/час, нужно умножить получен-

ное уравнение мощности на 1000 (метров в километре) и разделить на 3600 (секунд в часе):

$$N_f = \frac{G_{af} v_a}{75} = \frac{G_{af} \cdot V_a \cdot 1000}{75 \cdot 3600} = \frac{G_{af} V_a}{270} \text{ л. с.} \quad (25)$$

Для того чтобы автомобиль двигался, тяговая сила P_k на ведущих колесах должна быть меньше силы сцепления колес с грунтом (иначе колеса будут скользить, буксовать) и не меньше силы сопротивления движению, которую при езде по горизонтальной дороге с невысокой постоянной скоростью (когда сопротивление воздуха незначительно) можно считать равной силе сопротивления качению, иначе колеса не смогут вращаться и двигатель перестанет работать.

В табл. 7 приведены значения наибольшей тяговой силы для отечественных автомобилей. В зависимости от числа оборотов вала двигателя и от открытия дроссельной заслонки крутящий момент двигателя изменяется. Почти всегда можно сочетать различные значения момента двигателя и передаточных чисел в коробке передач таким образом, чтобы, как сказано выше, тяговая сила была меньше силы сцепления и не меньше силы сопротивления движению.

Из табл. 7 можно сделать некоторые выводы.

Для небыстрого движения по асфальту всем автомобилям требуется значительно меньшая сила тяги, чем они могут развить даже на высшей передаче, поэтому ехать нужно с прикрытой дроссельной заслонкой. Как говорят, автомобили в этом случае обладают большим запасом тяги.

На проселочной дороге дело несколько меняется. Легковые автомобили, если нет ухабов, могут ехать на высшей передаче, но при сильном нажатии на педаль подачи топлива. У грузовых автомобилей (с полной нагрузкой) разница между максимальной тяговой силой на высшей передаче и силой сопротивления качению на проселке очень невелика. Поэтому незначительное отклонение от скорости, соответствующей наибольшему крутящему моменту двигателя (40—32 км/час), вызывает необходимость включения следующей передачи (вспомним, что при уменьшении числа оборотов или подачи топлива крутящий момент уменьшается, а вместе с ним и тяговая сила).

Для движения легковых автомобилей по песку тяговой силы на прямой передаче вообще недостаточно, а на второй передаче движение возможно лишь с определенной скоростью (32—26 км/час) и при полной подаче топлива; практически нужно ехать на первой передаче. Автомобиль ГАЗ-51 способен идти по песку только на первой передаче, а ЗИЛ-150 — только на первой и второй передачах. Следует оговориться, что есть такие пески, по которым обычный автомобиль и на первой передаче проехать не может (см. раздел «Препятствия»).

Тяговое усилие, силы сцепления и сопротивление качению

Показатели	"Москвич-402"					М-20 "Победа"					ГАЗ-51					ЗИЛ-150				
	I	II	III	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	V
Наибольший крутящий момент двигателя в кгм	7.2					12.5						17.0								30.5
Число оборотов в минуту, соответствующее наибольшему крутящему моменту	2400					1800						1600								1100
Передаточное число главной передачи	5.14					5.125						6.67								7.63
Радиус качения колеса в м	0.315					0.344						0.440								0.484
Передаточное число в коробке передач	3.53	1.74	1.00	3.15	1.77	1.00	6.40	3.09	1.69	1.00	6.24	3.32	1.90	1.00	6.24	3.32	1.90	1.00	0.81	
Момент, подводимый к колесам, в кгм*	118	58	33	182	102	57	655	316	173	102	1300	695	397	209	169	1440	820	433	350	
Наибольшая тяговая сила в кг	385	185	105	530	297	168	1490	720	395	232	2690	1440	820	433	350	1440	820	433	350	
Скорость движения в км/час	16	32	55	15	26	45	7	13	24	40	4	8	14	26	32	8	14	26	32	
Полный вес автомобиля в кг	1280					1835						5350								8110
Вес, приходящийся на задние колеса, в кг	640					965						3750								6020
Сила сцепления на асфальте в кг: сухом ($\psi = 0,7$)	420					675						2620								4220
мокром ($\psi = 0,15$)	90					111						563								905
Сила сопротивления качению в кг* на асфальте	18					27,5						80								122
на тяжелой проселочной дороге	36					55						160								244
на песке	180					280						800								1220

* С учетом $\eta = 0,9$.

** Без учета давления в шинах.

Сила сцепления на сухом асфальте больше тяговой силы на любой передаче у любого из рассматриваемых автомобилей. Но на мокром или обледенелом асфальте движение на пониженных передачах и трогание с места без буксования возможно на легковых автомобилях только при неполном открытии дроссельной заслонки, т. е. со сравнительно небольшим крутящим моментом двигателя; для грузовых автомобилей это относится к первой и второй передачам.

НА ПОДЪЕМ

До сих пор было рассмотрено движение автомобиля по горизонтальной дороге. При движении на подъем к силам сопротивления качению, противодействующим движению автомобиля, добавляется сила тяжести автомобиля, которую нужно преодолеть. Работа по подъему автомобиля равна произведению веса автомобиля G_a на высоту подъема H . Но высоту H можно выразить через длину подъема S и синус угла подъема α («альфа»):

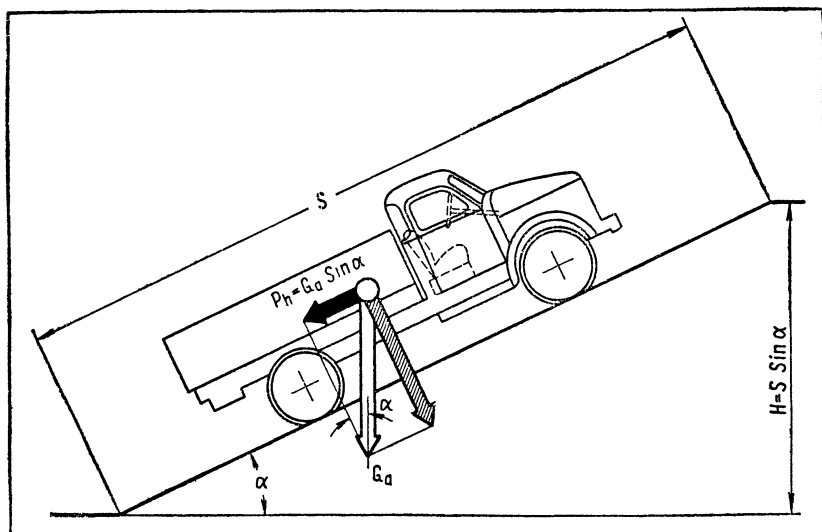
$$H = S \sin \alpha,$$

тогда

$$G_a H = G_a S \sin \alpha, \quad (26)$$

Так как работа есть произведение силы на путь, пройденный под действием этой силы, то для того, чтобы определить силу,

Сила сопротивления подъему равна весу автомобиля, умноженному на синус угла подъема.



нужно разделить работу [согласно уравнению (26)] на путь S . В результате получаем уравнение силы сопротивления подъему P_h :

$$P_h = G_a \sin \alpha. \quad (27)$$

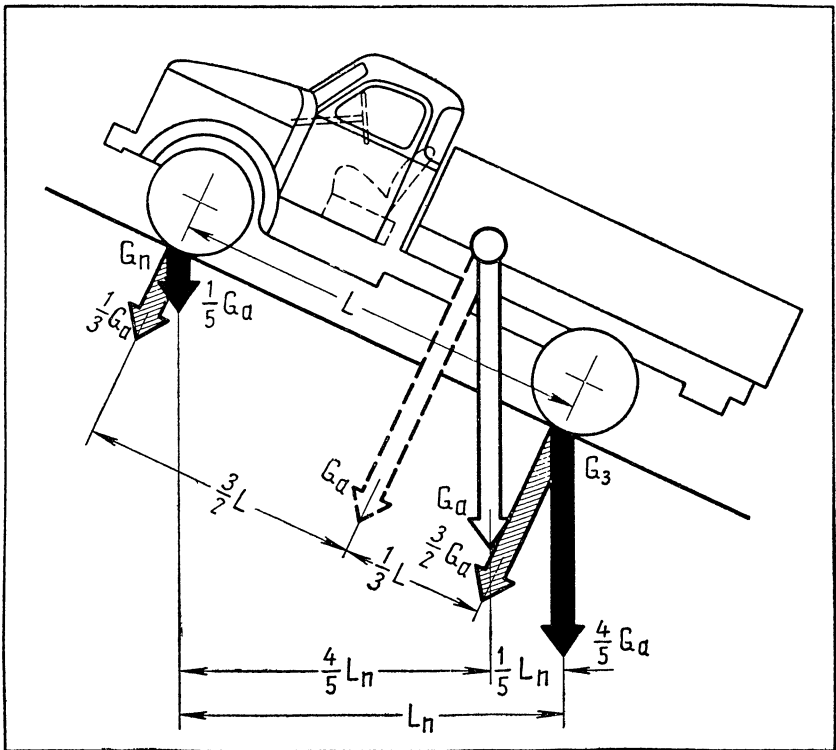
Тот же результат можно получить, если разложить вес автомобиля на составляющие, одна из которых перпендикулярна дороге, а другая P_h параллельна ей.

Чтобы автомобиль мог двигаться на подъем, тяговая сила должна быть не меньше силы сопротивления качению и силы сопротивления подъему, вместе взятых. Значит, условие движения автомобиля на подъем имеет такой вид:

$$P_k \geq G_a f + G_a \sin \alpha$$

$$P_k \geq G_a (f + \sin \alpha). \quad (28)$$

Пользуясь уравнениями (27) и (28), можно определить, какой подъем сможет преодолеть автомобиль при движении



На подъеме резко увеличивается нагрузка, приходящаяся на задние колеса.

Перевод градусов в проценты

$\sin \alpha$	Уклон α	Уклон α в % (округленно)	$\sin \alpha$	Уклон α	Уклон α в % (округленно)
0,009	0°30'	1	0,122	7°	12
0,017	1°	1,75	0,131	7°30'	13
0,026	1°30'	2,5	0,139	8°	14
0,035	2°	3,5	0,148	8°30'	15
0,044	2°30'	4,5	0,156	9°	16
0,052	3°	5,25	0,165	9°30'	16,75
0,061	3°30'	6	0,174	10°	17,5
0,070	4°	7	0,259	15°	27
0,078	4°30'	8	0,342	20°	36,5
0,087	5°	8,75	0,422	25°	46,5
0,096	5°30'	9,5	0,500	30°	58
0,105	6°	10,5	0,573	35°	70
0,113	6°30'	11,5			

по определенной дороге и на определенной передаче. Так, автомобилю ГАЗ-51 с полной нагрузкой на ровной асфальтовой дороге приходится преодолевать сопротивление качению величиной не более 100 кг. Для преодоления подъема на высшей передаче с постоянной скоростью 40 км/час (при наибольшем крутящем моменте двигателя) остается сила тяги, равная $232 - 100 = 132$ кг. Подставляя значение веса автомобиля и свободной тяговой силы в уравнение (27), получаем

$$\sin \alpha = \frac{132}{5350} = 0,0247,$$

что соответствует углу подъема около 30'. На третьей передаче наибольший угол подъема равен 3°10', на второй передаче — 6°40', на первой передаче — 14°50'.

Уклон дороги обычно задают в процентах. Для перевода значений $\sin \alpha$ в градусы и проценты приведена табл. 8.

Мощность, необходимую для преодоления автомобилем сопротивления подъему, получаем тем же путем, как по уравнению (25), т. е.

$$N_h = \frac{P_h V_a}{270} = \frac{G_a V_a \sin \alpha}{270}. \quad (29).$$

Сила сцепления колес с дорогой на подъеме отличается от силы сцепления на ровной дороге, так как происходит перераспределение нагрузки между передними и задними колесами. Передние колеса разгружаются, а задние ведущие дополнительно нагружаются; сила сцепления увеличивается, и буксование становится менее вероятным.

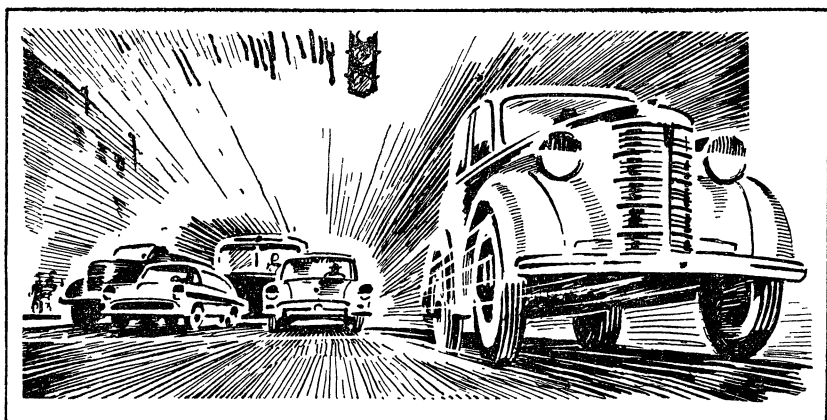
Работа автомобиля по преодолению сопротивления подъему не пропадает. Она переходит в запас энергии, который можно использовать для спуска с высоты H , не расходуя энергии двигателя. Накопленную на подъеме энергию называют *потенциальной энергией*. При спуске с горы потенциальная энергия расходуется на преодоление сопротивления качению и на увеличение скорости автомобиля. На хорошей дороге этой энергии достаточно для того, чтобы после спуска с горы преодолевать силу сопротивления качению и на известном отрезке горизонтальной дороги.

Перед подъемом выгодно дать автомобилю сильный разгон, т. е. накопить энергию. Тогда, кроме энергии, расходуемой двигателем для преодоления подъема, расходуется и накопленная энергия, что дает возможность преодолеть подъем без существенного снижения скорости и, может быть, также без перехода на низшую передачу.

АВТОМОБИЛЬ НАБИРАЕТ СКОРОСТЬ

Красный свет светофора сменился желтым, затем зеленым. С напряженным ревом срываются с места машины, затем звук двигателей на мгновение стихает — это водители отпустили педаль подачи топлива и переключают передачи, снова разгон, снова момент затишья и опять разгон. Только метров через 100 после перекрестка поток машин как бы успокаивается и плавно катит до следующего светофора. Лишь один старый автомобиль «Москвич» прошел перекресток ровно и бесшумно. На рисунке видно, как он обогнал все автомобили и вырвался далеко вперед. Этот автомобиль подъехал к перекрестку как раз в тот момент,

Сравнительно слабый автомобиль может обогнать более мощные, если он подходит к перекрестку в момент включения зеленого света и не затрачивает усилий на трогание с места и разгон.



когда зажегся зеленый сигнал светофора, водителю не пришлось тормозить и останавливать машину, не пришлось после этого снова брать разгон. Как же получается, что один автомобиль (да еще маломощный «Москвич» старого выпуска) легко, без напряжения движется со скоростью около 50 км/час, в то время как другие с явным напряжением постепенно набирают скорость и достигают скорости 50 км/час далеко после перекрестка, когда «Москвич» уже приближается к следующему светофору? Очевидно, что для равномерного движения требуется значительно меньше усилий и расхода мощности, чем при разгоне или, как говорят, при ускоренном движении.

Но прежде чем изучать разгон автомобиля, нужно вспомнить некоторые понятия.

Если автомобиль проходит в каждую секунду одинаковое число метров, движение называется равномерным или установившимся. Если пройденный автомобилем путь в каждую секунду (скорость) изменяется, движение называется:

при увеличении скорости — ускоренным,

при уменьшении скорости — замедленным.

Приращение скорости в единицу времени называют ускорением, уменьшение скорости в единицу времени — отрицательным ускорением, или замедлением.

Ускорение измеряют приростом или убыванием скорости (в метрах в секунду) за 1 сек. Если за секунду скорость увеличивается на 3 м/сек, ускорение равно 3 м/сек в секунду или 3 м/сек /сек или 3 м/сек².

Ускорение обозначают буквой j .

Ускорение, равное 9,81 м/сек² (или округленно, 10 м/сек²), соответствует ускорению, которое, как известно из опыта, имеет свободно падающее тело (без учета сопротивления воздуха), и называется ускорением силы тяжести. Его обозначают буквой g .

Разгон автомобиля обычно изображают графически. На горизонтальной оси графика откладывают путь, а на вертикальной — скорость и наносят точки, соответствующие каждому пройденному отрезку пути. Вместо скорости на вертикальной шкале можно откладывать время разгона, как это показано на графике разгона отечественных автомобилей.

График разгона представляет собой кривую с постепенно убывающим углом наклона. Уступы кривой соответствуют моментам переключения передач, когда ускорение на какой-то момент падает, однако их часто не показывают.

Автомобиль не может с места развить сразу большую скорость, потому что ему приходится преодолевать не только силы сопротивления движению, но и инерцию.

Инерция — это свойство тела сохранять состояние покоя или состояние равномерного движения. Из механики

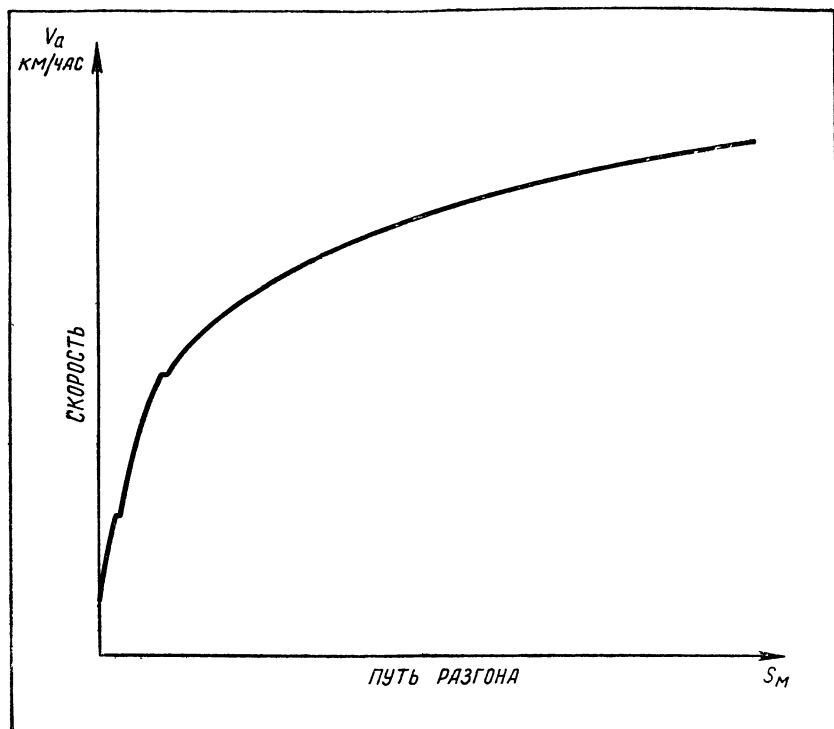


График пути разгона.

известно, что неподвижное тело может быть приведено в движение (или скорость движущегося тела изменена) только под действием внешней силы. Преодолевая действие инерции, внешняя сила изменяет скорость тела, иначе говоря, придает ему ускорение. Величина ускорения пропорциональна величине силы. Чем больше масса тела, тем большей должна быть сила для придания этому телу нужного ускорения. Масса — это величина, пропорциональная количеству вещества в теле; масса m равна весу тела G , деленному на ускорение силы тяжести g ($9,81 \text{ м/сек}^2$):

$$m = \frac{G}{9,81} \frac{\text{кг}}{\text{м/сек}^2}. \quad (30)$$

Масса автомобиля сопротивляется разгону с силой P_i ; эту силу называют силой инерции. Чтобы разгон мог произойти, на ведущих колесах нужно создать дополнительно силу тяги, равную силе инерции. Значит, сила, необходимая для преодоления инерции тела и для придания телу определенного уско-

рения j , оказывается пропорциональной массе тела и ускорению. Эта сила равна

$$P_j = mj = \frac{Gj}{9.81} \text{ кг.} \quad (31)$$

Для ускоренного движения автомобиля требуется дополнительная затрата мощности:

$$N_j = \frac{P_j v_a}{75} = \frac{GjV_a}{270 \cdot 9.81} = \frac{GjV_a}{2650} \text{ л. с.} \quad (32)$$

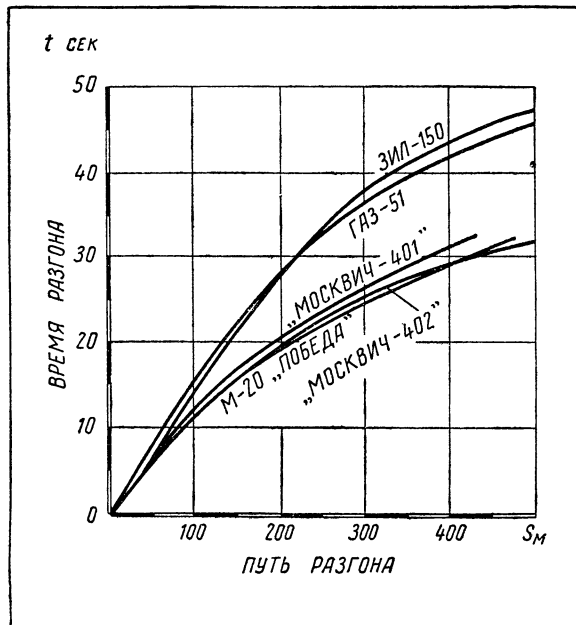
Для точности расчетов в уравнения (31) и (32) следует включить множитель δ («дельта») — коэффициент вращающихся масс, учитывающий влияние вращающихся масс автомобиля (особенно маховика двигателя и колес) на разгон. Тогда

$$P_j = \frac{Gj\delta}{9.81} \text{ кг} \quad (33)$$

и

$$N_j = \frac{GjV_a\delta}{2650} \text{ л. с.} \quad (34)$$

Влияние вращающихся масс заключается в том, что, кроме преодоления инерции массы автомобиля, необходимо «раскрутить» маховик, колеса и другие вращающиеся части машины,



Графики
времени разгона
отечественных
автомобилей.

затратив на это часть мощности двигателя. Величину коэффициента δ можно считать приблизительно равной

$$\delta = 1,03 + 0,05i_k^2, \quad (35)$$

где i_k — передаточное число в коробке передач.

Теперь, взяв для примера автомобиль с полным весом 2000 кг, нетрудно сравнить силы, необходимые для поддержания движения этого автомобиля по асфальту со скоростью 50 км/час (пока без учета сопротивления воздуха) и для трогания его с места с ускорением около 2,5 м/сек², обычным для современных легковых автомобилей.

Согласно уравнению (23)

$$P_f = 2000 \times 0,015 = 30 \text{ кг.}$$

Для преодоления сопротивления инерции на высшей передаче ($i_k = 1$) потребуетея сила

$$P_j = \frac{2000 \times 2,5 \times 1,1}{9,81} = 560 \text{ кг.}$$

Такой силы на высшей передаче автомобиль не может развить, нужно включить первую передачу (с передаточным числом $i_k = 3$).

Тогда получим

$$P_j = \frac{2000 \times 2,5 \times 1,5}{9,81} = 760 \text{ кг,}$$

что для современных легковых автомобилей вполне возможно.

Итак, сила, необходимая для трогания с места, оказывается в 25 раз больше силы, необходимой для поддержания движения с постоянной скоростью 50 км/час.

Чтобы обеспечить быстрый разгон автомобиля, требуется устанавливать двигатель большой мощности. При движении с постоянной скоростью (кроме максимальной) двигатель работает не в полную мощность.

Из сказанного выше понятно, почему при трогании с места нужно включать низшую передачу. Попутно отметим, что на грузовых автомобилях обычно следует начинать разгон на второй передаче. Дело в том, что на первой передаче (i_k примерно равно 7) очень велико влияние вращающихся масс [см. уравнение (35)] и тяговой силы не хватит, чтобы сообщить автомобилю большое ускорение; разгон получится очень медленным.

На сухой дороге при коэффициенте сцепления ϕ , равном около 0,7, трогание с места на низшей передаче не вызывает никаких затруднений, так как сила сцепления все еще превышает тяговую силу. Но на скользкой дороге может часто оказаться, что тяговая сила на низшей передаче больше силы

сцепления (особенно при ненагруженном автомобиле), и колеса начинают буксовать. Из этого положения есть два выхода: 1) уменьшить силу тяги троганием с места при малой подаче топлива или на второй передаче (для грузовых автомобилей — на третьей); 2) увеличить коэффициент сцепления, т. е. подсыпать под ведущие колеса песок, подложить ветки, доски, тряпки, надеть на колеса цепи и т. д.

При разгоне особенно сказывается разгрузка передних колес и дополнительная нагрузка задних. Можно наблюдать, как в момент трогания с места автомобиль заметно, а иногда и очень резко «приседает» на задние колеса. Это перераспределение нагрузки происходит и при равномерном движении автомобиля. Оно объясняется противодействием вращающему моменту. Зубья ведущей шестерни главной передачи давят на зубья ведомой (коронной) и как бы прижимают заднюю ось к земле; при этом возникает реакция, отталкивающая ведущую шестерню вверх; происходит небольшое поворачивание всего заднего моста в направлении, обратном направлению вращения колес. Закрепленные на картере моста рессоры своими концами приподнимают переднюю часть рамы или кузова и опускают заднюю. Между прочим отметим, что именно вследствие разгрузки передних колес их легче повернуть во время движения автомобиля с включенной передачей, чем во время движения накатом, а тем более чем на стоянке. Это знает каждый водитель.

Однако вернемся к дополнительно нагруженным задним колесам.

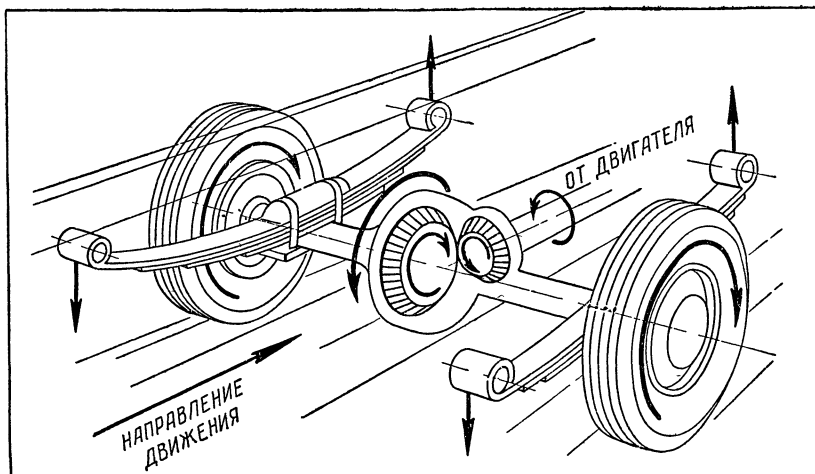
Дополнительная, прибавочная нагрузка на задние колеса Z_{θ} от передаваемого момента тем больше, чем больше момент M_k , подведенный к колесу и чем короче колесная база автомобиля L (в м):

$$Z_{\theta} = \frac{M_k}{L} \text{ кг.} \quad (36)$$

Естественно, что эта нагрузка особенно велика при движении на низших передачах, так как подводимый к колесам момент увеличен. Так, на автомобиле ГАЗ-51 дополнительная нагрузка на первой передаче равна (см. табл. 7)

$$Z_{\theta} = \frac{316}{3,3} = 96 \text{ кг.}$$

Во время трогания с места и разгона на автомобиль действует сила инерции P_j , приложенная в центре тяжести автомобиля и направленная назад, т. е. в сторону, обратную ускорению. Так как сила P_j приложена на высоте h_g от плоскости дороги, она будет стремиться как бы опрокинуть автомобиль



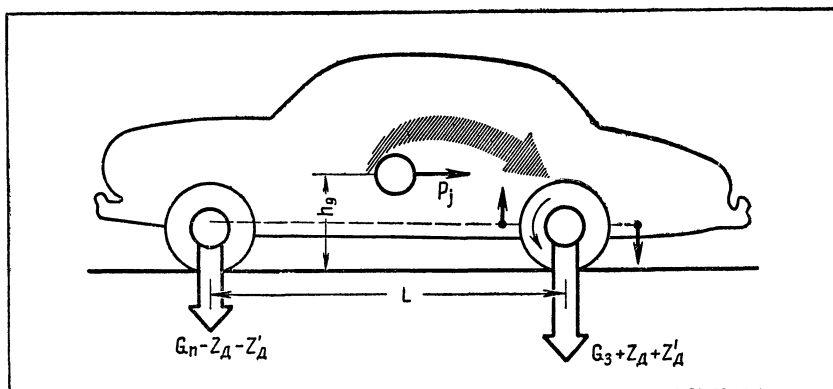
При передаче усилий от двигателя нагрузка на задние колеса увеличивается, а на передние — уменьшается.

вот круг задних колес. При этом нагрузка на задние колеса увеличится, а на передние — уменьшится на величину

$$Z'_d = \frac{P_i h_g}{L} \text{ кг.}$$

Таким образом, при трогании с места на задние колеса и шины приходится нагрузка от веса автомобиля, от передаваемого увеличенного вращающего момента и от силы инерции. Эта нагрузка действует на подшипники заднего моста

Кроме нагрузки от тягового усилия, при разгоне на задние колеса действует дополнительная сила от инерции массы автомобиля.



и главным образом на шины задних колес. Чтобы сберечь их, нужно троганье с места осуществлять как можно более плавно. Следует напомнить, что на подъеме задние колеса еще более нагружены. На крутом подъеме при трогании с места, да еще при высоком расположении центра тяжести автомобиля, может создаться такая разгрузка передних колес и перегрузка задних, которая приведет к повреждению шин и даже к опрокидыванию автомобиля назад.

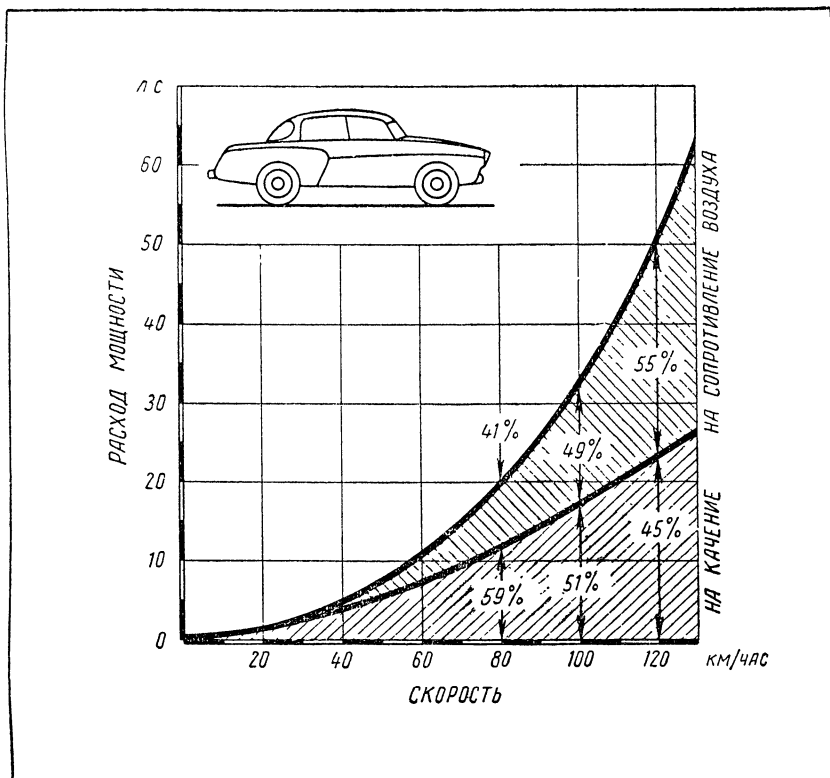
Автомобиль двигается с ускорением, и скорость движения его увеличивается, пока тяговая сила больше силы сопротивления движению. С увеличением скорости сопротивление движению возрастает; когда установится равенство тяговой силы и сопротивления, автомобиль приобретает равномерное движение, скорость которого зависит от величины нажима на педаль подачи топлива. Если водитель до отказа нажимает на педаль подачи топлива, эта скорость равномерного движения является одновременно и наибольшей скоростью автомобиля.

Работа по преодолению сил сопротивления качению и воздуха не создает запаса энергии — энергия расходуется на борьбу с этими силами. Работа по преодолению сил инерции при разгоне автомобиля переходит в энергию движения. Эту энергию называют кинетической энергией. Создающийся при этом запас энергии можно использовать, если после некоторого разгона отсоединить ведущие колеса от двигателя, установить рычаг переключения коробки передач в нейтральное положение, т. е. дать возможность автомобилю двигаться по инерции, накатом. Движение накатом происходит до тех пор, пока запас энергии не израсходуется на преодоление сил сопротивления движению. Уместно напомнить, что на одном и том же отрезке пути *расход энергии на разгон гораздо больше расхода на преодоление сил сопротивления движению*. Поэтому за счет накопленной энергии *путь наката может быть в несколько раз больше пути разгона*. Так, путь наката со скорости 50 км/час равен для автомобиля «Победа» около 450 м, для автомобиля ГАЗ-51 — около 720 м, в то время как путь разгона до этой скорости равен соответственно 150—200 м и 250—300 м. Если водитель не стремится ехать на автомобиле с очень большой скоростью, он может значительную часть пути вести автомобиль «накатом» и экономить таким образом энергию и, тем самым, топливо (см. раздел «Расходы»).

ЛОШАДИНЫЕ СИЛЫ, ВЫБРОШЕННЫЕ НА ВЕТЕР

Мощность двигателя автомобиля расходуется не только на уже рассмотренные сопротивления, но и на преодоление сопротивления воздуха (лобового сопротивления). Конструкторы не сразу пришли к выводу, что быстро движущемуся автомобилю

нужно придавать такую форму, которая облегчала бы его прохождение через толщу воздуха. Скорость ураганного ветра, который валит деревья, срывает с домов крыши и т. д., достигает 100 км/час. Также и при движении автомобиля в безветренную погоду со скоростью 100 км/час воздух, через толщу которого проходит автомобиль, давит на него с силой, равной силе ураганного ветра. На преодоление этой силы и расходуется значительная часть мощности двигателя автомобиля, резко возрастающая с повышением его скорости. Понятие о примерном расходе мощности, подводимой к колесам современного автомобиля (с кузовом достаточно обтекаемой формы), может дать график, из которого видно, что при высоких скоростях на сопротивление воздуха затрачивается около половины мощности двигателя.



При больших скоростях на сопротивление воздуха затрачивается около половины мощности, подводимой к ведущим колесам.

Рассмотрим, что происходит с массой воздуха, когда через нее проходит автомобиль. Прежде всего имеется трение поверхности автомобиля о раздвигаемые его кузовом слои воздуха. Далее, частицы воздуха, близко расположенные к кузову, как бы прилипают к его поверхности и при движении автомобиля смещаются относительно других, более отдаленных частиц. Между частицами воздуха также происходит трение. На трение кузова о воздух и на трение между частицами воздуха расходуется часть мощности двигателя.

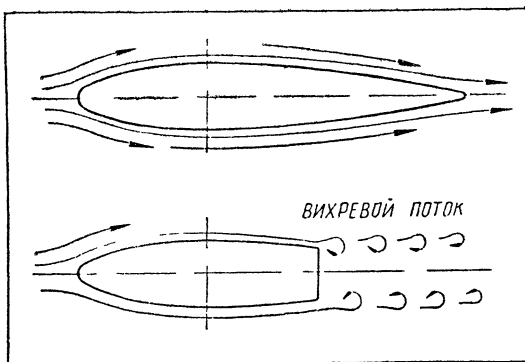
Если бы автомобиль представлял собой тонкую пластинку или веретенообразное тело, напоминающее форму дирижабля, т. е. так называемое идеально обтекаемое тело, сопротивление воздуха ограничивалось бы описанным поверхностным трением. Но автомобиль имеет сложную форму, и если бы даже удалось придать ему форму дирижабля, то и тогда невозможно было бы достигнуть желательного соотношения длины и поперечного сечения кузова, невозможно было бы полностью утопить в кузове колеса. Всякий выступ, углубление, недостаточно плавный переход поверхности, выделяющаяся часть формы нарушают равномерное скольжение частиц воздуха, вызывают их вихревое (вращательное) движение. На образование вихрей, на отрыв воздуха от поверхности кузова, на трение частиц воздуха во время их вращательного движения также расходуется часть мощности двигателя.

Сила поверхностного трения зависит только от скорости движения автомобиля и от величины и гладкости его поверхности, а сила вихревого сопротивления зависит еще и от формы тела. У идеально обтекаемого тела, как уже отмечено, завихрений вообще не наблюдается. Если же это тело укорочено, то на участке сужения тела к концу происходит отрыв потока воздуха и за телом образуется вихревой поток. Еще более резкие завихрения возникают, если тело имеет угловатые, ступенчатые очертания. Чем шире вихревой поток, чем больше завихрения, тем больше сопротивление воздуха.

Обтекаемая форма автомобиля уменьшает мощность, расходуемую на сопротивление воздуха, даже при сравнительно небольших скоростях (50—70 км/час), а при движении с высокой скоростью (свыше 100 км/час), вполне достижимой для современного автомобиля, обтекаемая форма дает огромную экономию мощности и соответственно топлива. Достаточно сравнить автомобили ГАЗ-11, М-20 «Победа» и «Волга», имеющие примерно одинаковый вес. Автомобиль ГАЗ-11 с необтекаемой формой кузова и двигателем мощностью 75 л. с. расходует около 16 л топлива на 100 км пути и развивает скорость до 115 км/час, в то время как обтекаемый автомобиль «Победа»*

* Автомобиль М-1 с шестицилиндровым двигателем, некоторое время выпускавшийся на Горьковском автозаводе.

имеет двигатель мощностью 55 л. с. и расходует около 13 л топлива на 100 км, а автомобиль «Волга» (65 л. с.) развивает скорость 130 км/час. Поэтому обтекаемая форма кузова является желательной для любого автомобиля, даже сравнительно тихоходного, например, грузового автомобиля, городского автобуса или малолитражного автомобиля, и безусловно необходимой для быстросходных легко-



Идеально обтекаемое тело при движении в воздушной среде вызывает лишь трение частиц воздуха о поверхность тела. Если тело укорочено, за ним образуется «вихревой поток». На образовании вихрей расходуется энергия, и сопротивление воздуха возрастает.

вых автомобилей среднего класса и междугородных автобусов.

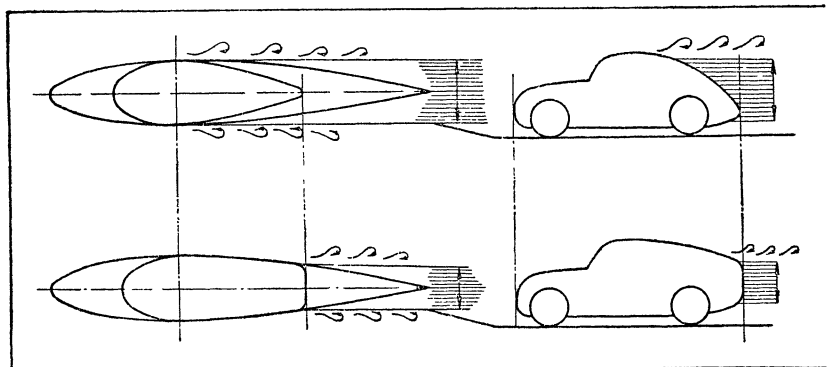
Идеально обтекаемое веретенообразное тело имеет передний конец в виде полуэллипсоида (форма сходна с тупым концом яйца) и плавно сужающийся задний конец; наибольшее поперечное сечение расположено на расстоянии $\frac{1}{3}$ длины тела от переднего конца. Длина тела должна быть примерно в 6 раз больше, чем диаметр его наибольшего сечения.

Такую форму можно придать дирижаблю, но, к сожалению, невозможно придать автомобилю, потому что наибольшее поперечное измерение автомобиля обычно только в 2,5—3 раза меньше его длины. Поэтому конструкторы стремятся лишь максимально приблизить форму автомобиля и его частей к наилучшей обтекаемой форме. В основу приближения данного тела к наилучшему обтекаемому могут быть положены два принципа:

1) тело имеет сокращенный по длине (против желательного) яйцевидный профиль и поперечное сечение в виде четырехугольника со скругленными углами;

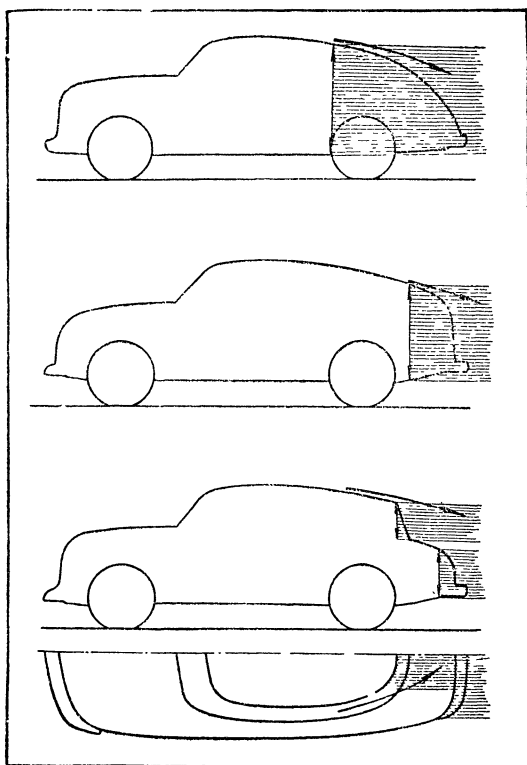
2) тело вписано в идеальное обтекаемое тело; его поверхностям придана форма, приближающаяся к поверхности обтекаемого тела на соответственных участках, а недостающая данному телу часть идеального тела как бы отрезана, причем грани тела могут быть несколько скруглены.

Долгое время форма автомобиля строилась согласно первому принципу. Такая форма, действительно, производила впечатление обтекаемой. Исследования, однако, показали, что отрыв воздушного потока от поверхности кузова, которому



Вверху — обтекаемый автомобиль 30-х годов. Его форма скругленная, но отрыв вихрей от поверхности кузова начинается рано. Внизу — современная обтекаемая форма автомобиля; его контуры приближены к контурам идеального обтекаемого тела.

Задней части кузова должна быть придана форма, предотвращающая ранний отрыв вихрей.



придана яйцевидная форма, происходит очень рано и за кузовом автомобиля образуется широкий вихревой поток. Кроме того, резкое снижение крыши в задней части кузова сокращает его внутреннее пространство. Попытки применить второй принцип построения обтекаемой формы автомобиля дали лучшие результаты, вихревой поток уменьшился, хотя автомобиль по внешности и казался менее обтекаемым.

Таким образом, автомобиль должен иметь сравнительно тупую скругленную форму передка и гладкие, незначительно суживающиеся к заднему концу боковины

и крышу, что соответствует вписыванию автомобиля в среднюю часть обтекаемого тела. Уточняя это положение, нужно отметить, что оно относится по отдельности и к верхней надстройке, и к основному корпусу кузова, так как передняя часть настройки смещена на величину длины капота.

Автомобиль передвигается по дороге, а не в свободном воздушном пространстве, как, например, самолет или дирижабль. Поэтому поперечное сечение кузова автомобиля должно напоминать не круг, а усеченный снизу круг (как у капли, падающей вдоль стены), т. е. должно быть в нижней части шире, чем в верхней. Наибольшее горизонтальное сечение корпуса должно находиться примерно на $\frac{1}{3}$ его высоты от нижней кромки.

Раздвигаемая автомобилем масса воздуха должна быть направлена вокруг автомобиля по наиболее свободному пути. Пространство между нижней частью автомобиля и дорогой является наименее свободным, в особенности если автомобиль не имеет гладкого днища. Вместе с тем частицы воздуха, сдвинутые с места передком автомобиля и направленные вверх, должны пройти почти вдвое больший путь, чем направленные вдоль боковин кузова, так как высота автомобиля примерно равна его ширине, а снизу путь для воздуха затруднен. Таким образом, наиболее выгоднейшее направление воздушного потока — вдоль боков автомобиля. Это значит, что *обтекаемый контур автомобиля в плане важнее, чем обтекаемый профиль*, и что в случае направления потока над автомобилем путь потока должен быть предельно сокращен и сглажен (покатый капот, сильно наклоненное ветровое окно). Последние меры не всегда осуществимы, так как контуры капота определяются положением и размерами двигателя и радиатора, а наклон стекла определяется обзорностью, контуром дверей и т. д.

В настоящее время в кузовах легковых автомобилей распространены две формы задней части кузова: с крышей, плавно спускающейся до заднего буфера (М-20 «Победа»), и со ступенчатым профилем, т. е. с выступающим багажником («Волга», ЗИМ) Всякая форма автомобиля может быть обтекаемой только при том условии, что крыша не отклоняется или незначительно отклоняется от теоретической поверхности обтекаемого тела; иначе поток отрывается достаточно рано, и тогда уже практически почти безразлично, как выполнена поверхность кузова позади точек отрыва потока. Между тем, малый наклон крыши назад при форме типа «Победа» приводит к ухудшению круговой обзорности и создает зрительное впечатление утяжеления задней части кузова. Поэтому более целесообразно применять ступенчатую форму кузова с незначительным спуском крыши, с плавным сужением боковин кузова до точки отрыва потока,

с некоторым скруглением угловых панелей для упрощения штамповки и улучшения внешнего вида автомобиля.

В большинстве современных легковых автомобилей фары и задний номерной знак утоплены в корпус кузова, запасное колесо спрятано в багажнике, а крылья и корпус кузова объединены. Установка щитков, прикрывающих колеса сбоку, еще не получила распространения на всех автомобилях. Целесообразно закрывать щитками и передние колеса, но в этом случае может потребоваться увеличение габаритной ширины автомобиля или уменьшение передней колеи, чтобы обеспечить беспрепятственный поворот передних колес.

Для снижения сопротивления воздуха имеют значение утапливание дверных петель и ручек, приближение поверхности оконных стекол к теоретической поверхности кузова (в автомобилях ранних выпусков стекла были сильно углублены); зазоры между кузовом и буферами должны быть закрыты брызговиками-обтекателями. Значительное улучшение обтекаемости боковой поверхности кузова дает применение гнутых стекол и устранение сточных желобов, спускающихся по контуру дверных проемов.

Для снижения сопротивления воздуха необходимо устройство гладкого днища в автомобиле (поддона) и правильное расположение отверстий для входа и выхода воздуха, охлаждающего двигатель. Место для входа воздуха должно находиться на таком участке поверхности кузова, где имеется избыточное давление воздуха, а выход — на участке разрежения. Края отверстий для входа и выхода воздуха должны быть обтекаемыми, чтобы не создавать завихрений и дополнительного сопротивления.

Обтекаемость той или иной формы обычно оценивают коэффициентом сопротивления воздуха K .

Для обтекаемого автомобиля с передним расположением двигателя, у которого крылья слиты с кузовом, колеса закрыты щитками, фары, запасные колеса, номерной знак утоплены в кузове, поверхность окон выполнена заподлицо с поверхностью кузова, между буферами и корпусом имеются обтекатели и снизу имеется поддон, коэффициент сопротивления воздуха равен примерно 0,017—0,019.

Это значение K увеличивается при открытых с боков передних колесах на 7—9%, открытых с боков задних колесах на 8—10%, неутопленных фарах на 10—13%, углубленных проемах окон на 3%, отсутствии поддона на 5%, отсутствии обтекателей к буферам на 3%, выступающих крыльях вместо слитых с корпусом на 12—17%, установленных на крыльях запасных колесах на 6—7%, номерном знаке над задним крылом или над кузовом на 4—5%, неправильном устройстве отверстий для входа и выхода воздуха до 10%.

Таким образом, если для наилучшей обтекаемой формы обычного легкового автомобиля коэффициент K равен 0,017—0,019, то для автомобиля типа «Победа» в действительности коэффициент K равен около 0,025, для автомобиля типа ЗИЛ-110 — около 0,03 и т. д. Эти данные следует, конечно, использовать на практике только для приблизительных подсчетов, так как различное выполнение формы кузова в целом и ее отдельных частей может оказать существенное влияние на величину коэффициента сопротивления воздуха.

Желательную обтекаемую форму автомобиля находят экспериментальным путем. Если нужно изучить обтекаемость уже построенного автомобиля, это может быть сделано в дорожных условиях. Для определения аэродинамических качеств проектируемого автомобиля нужно изготовить модели этого автомобиля и подвергнуть их исследованию в аэродинамической трубе.

При исследовании обтекаемости моделей и автомобилей находят: силу лобового сопротивления автомобиля; картину протекания потока воздуха вокруг автомобиля; давление воздуха на отдельные точки поверхности кузова; силы давления воздуха, действующие на автомобиль, и точки их приложения¹.

Для исследований всех видов опыты проводят в условиях, соответствующих безветренной погоде, а также наличию бокового ветра различной силы и различных направлений.

Сила сопротивления воздуха P_w движущемуся автомобилю или его модели равна

$$P_w = KFv_a^2 \text{ кг}$$

или

$$P_w = \frac{KFV_a^2}{13} \text{ кг}, \quad (37)$$

где K — коэффициент сопротивления воздуха (коэффициент формы);

F — лобовая площадь в m^2 ;

v_a — скорость движения в $m/сек$;

V_a — скорость движения в $км/час$.

Мощность, расходуемая на сопротивление воздуха, подсчитывается (как и мощность N_f) умножением силы P_w на скорость и делением на 75:

$$N_w = \frac{KFv_a^2 v_a}{75} \text{ л. с.},$$

¹ Об аэродинамической устойчивости автомобиля рассказано в разделе «Вопреки воле водителя».

где v_a — скорость в *м/сек*, или

$$N_w = \frac{KFV_a^2 V_a \cdot 1000^3}{75 \cdot 3600^3} = \frac{KFV_a^3}{3500}, \quad (38)$$

где V_a — скорость в *км/час*.

Измерив силу сопротивления для данной модели в аэродинамической трубе, зная скорость потока в трубе и лобовую площадь модели, можно определить ее коэффициент сопротивления

$$K = \frac{P_w}{FV_a^2}. \quad (39)$$

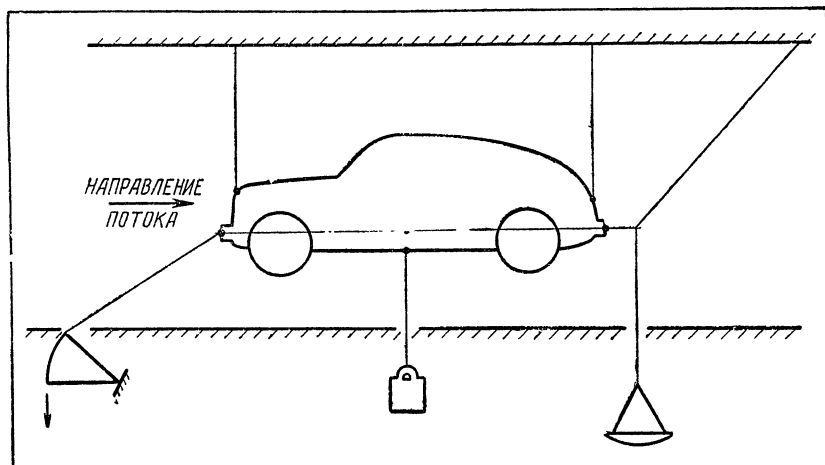
Следует учитывать, что продувка модели в трубе не дает вполне точного значения K для автомобиля, так как поток в трубе не вполне соответствует движению действительного потока воздуха вокруг автомобиля. В результате большого количества опытов было установлено, что коэффициент сопротивления воздуха K для моделей, подвергшихся продувке в трубе, несколько ниже, чем K для действительного автомобиля.

При испытаниях модель автомобиля подвешивают в трубе на тонких тросах или устанавливают на хоботе особых весов жесткого типа и собственный вес ее уравнивают. Через трубу с помощью мощного вентилятора прогоняют поток воздуха. Под действием силы встречного воздуха модель несколько отклоняется от своего первоначального положения. Чтобы вернуть ее в это положение, нужно приложить к ней силу, равную силе давления воздуха, что достигается нагружением чашки весов. Груз, потребовавшийся для этого, соответствует силе сопротивления воздуха для модели данной формы.

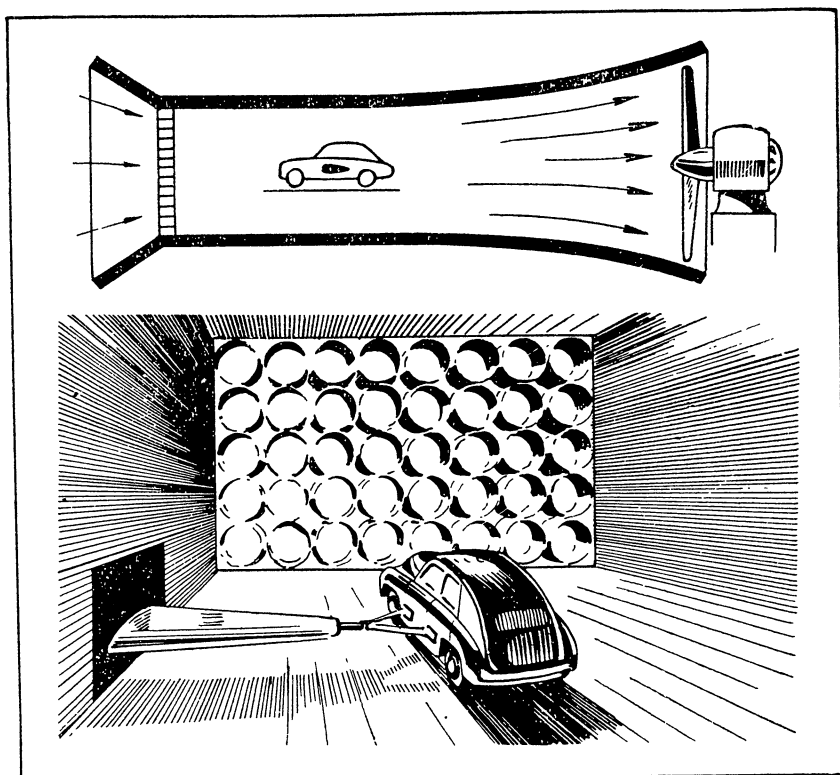
Определение коэффициента сопротивления воздуха в дорожных условиях лучше всего производить методом наката (иногда говорят, методом «выбега» или «добега»). Для этого разгоняют автомобиль на ровной прямой дороге при отсутствии ветра и на большой скорости выключают передачу. Автомобиль движется свободно до полной остановки; в период наката через равные промежутки пути замеряют скорость автомобиля и время, после чего вычерчивают график наката, т. е. график изменения скорости автомобиля в зависимости от времени движения; по этому графику можно подсчитать ускорение (замедление) автомобиля в каждый момент. Зная вес автомобиля G_a и ускорение j , можно определить силу инерции и равную ей силу сопротивления движению:

$$P_j = j \frac{G_a}{g} \text{ кг}, \quad (40)$$

где $g = 9,81 \text{ м/сек}^2$ — ускорение силы тяжести.



Модель автомобиля устанавливают в аэродинамической трубе на тросах (вверху) или на державке весов жесткого типа (внизу).



Чтобы подсчитать силу сопротивления воздуха, нужно вычесть из величины общего сопротивления движению силу сопротивления качения. Для этого из величин сопротивления движению, полученных на различных участках наката, вычитают сопротивление движению, определяемое на последнем участке (со скорости 10—15 до 0 км/час), где сопротивление воздуха ничтожно. Коэффициент K подсчитывают по уравнению (39). Полученную величину сопротивления качению следует уточнять с помощью зависимости коэффициента f от скорости V_a (см. стр. 50).

Лобовую площадь подсчитывают по чертежу автомобиля (вид спереди или сзади), что довольно сложно. Иногда лобовую площадь подсчитывают упрощенно, как произведение колес на габаритную высоту автомобиля. Наиболее близкое к действительному значению лобовой площади для современных автомобилей дает подсчет по формуле

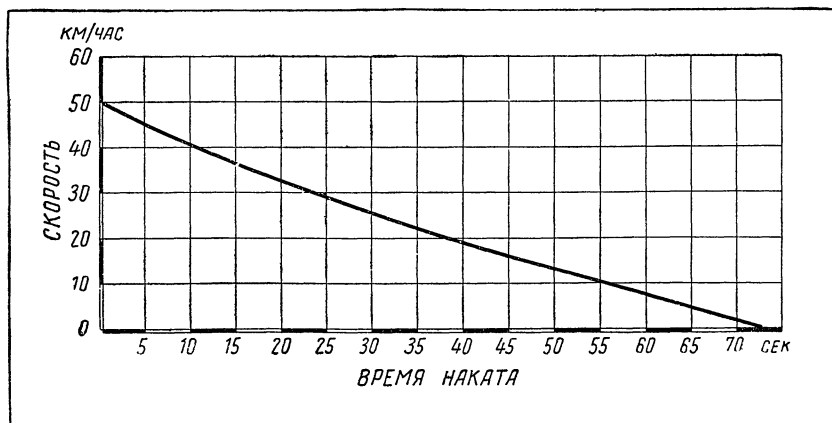
$$F = 0,775 \cdot A \cdot H \text{ м}^2, \quad (41)$$

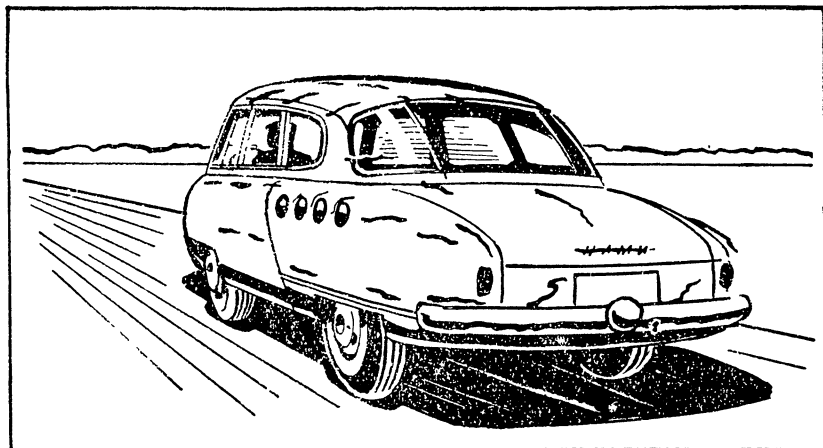
где A и H — соответственно, габаритные ширина и высота автомобиля.

В дополнение к определению коэффициента сопротивления воздуха производят съемку картин обтекания и картин давления, которые позволяют выявить наиболее неблагоприятные с точки зрения обтекаемости участки поверхности автомобиля, а также наивыгоднейшие участки расположения входных и выходных отверстий для воздуха систем охлаждения двигателя и вентиляции кузова.

Съемка картины обтекания заключается в фотографировании обдуваемой в аэродинамической трубе модели или в зарисовке,

График наката (выбега) автомобиля «Москвич-402».





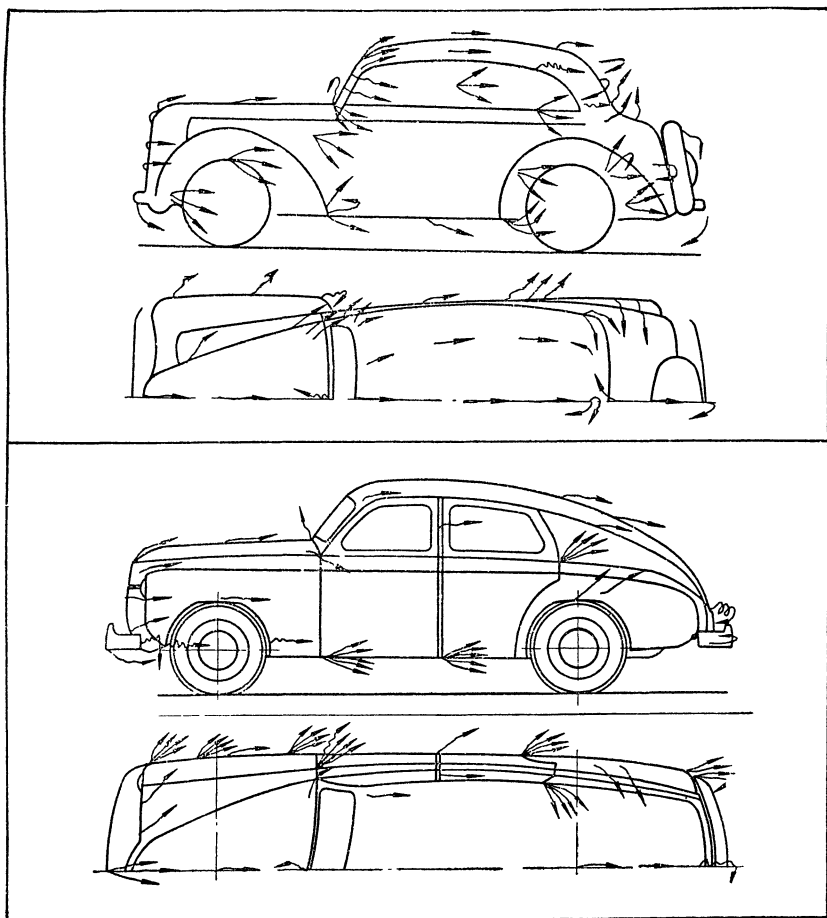
Легкие ленты, наклеенные на поверхность кузова, показывают участки, где поток воздуха плавный, и где имеются завихрения.

фото- или киносъемке движущегося автомобиля с приклеенными к поверхности модели или автомобиля в заданных точках шелковыми нитями или легкими лентами.

Давление воздуха в различных точках поверхности модели автомобиля измеряют через тонкие латунные трубочки, подведенные изнутри модели перпендикулярно поверхности заподлицо с ней. Сквозь днище модели и экран эти трубки выведены наружу и присоединены к манометрам, отмечающим давление или разрежение в каждой точке.

На картинах давления результаты продувки наносят в определенном масштабе на перпендикулярах к касательной в данной точке поверхности: положительные значения давлений, означающие повышенное давление, откладываются внутрь изображения модели, а отрицательные, характеризующие разрежение, — наружу. Конечные точки нанесенных значений соединяются контуром, который как бы ограничивает области давления и разрежения и придает картине большую наглядность.

Из рассмотрения приведенных картин обтекания и давления можно сделать некоторые общие выводы о форме автомобиля. Потoki воздуха образуют наименьшие завихрения в тех случаях, когда они имеют возможность беспрепятственно обтекать тело автомобиля сбоку (потoki в области передней части, ветрового окна, задней части надстройки). Для потоков, движущихся над автомобилем, требуются очень плавные переходы формы; эти потоки нарушаются от воздействия боковых потоков (например, над переходом от крыльев к капоту). Повышенное давление воздуха

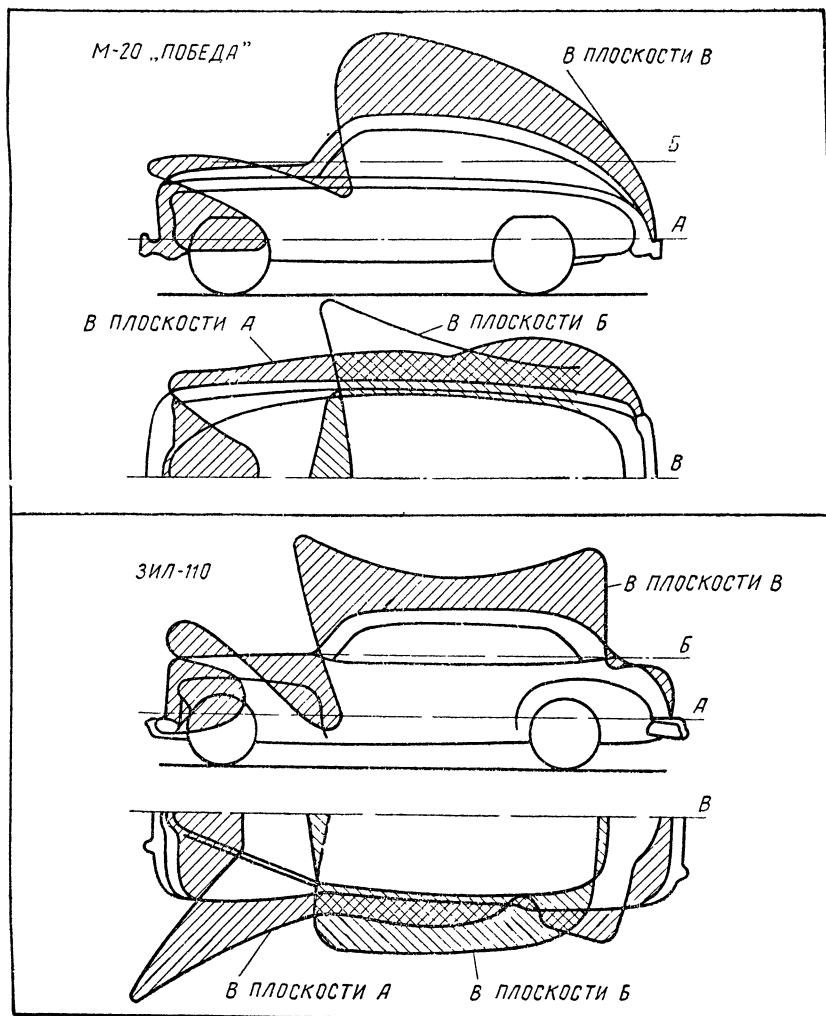


Картины обтекания воздухом автомобилей «Москвич-401» и М-20 «Победа»

наблюдается там, где масса воздуха наталкивается на поверхность кузова, или там, где скорость потока уменьшается. Разрежение наблюдается там, где скорость воздуха увеличивается в результате преодоления потоком сравнительно резко скругленного препятствия (например, лобовая часть крыши), или на участках, следующих за точками отрыва потока (задняя часть кузова).

До сих пор рассматривалось движение автомобиля в воздушной среде при безветрии. При строго встречном ветре сопротивление воздуха увеличивается за счет скорости ветра v_a , а при попутном — уменьшается:

$$P_w = KF (v_a + v_a)^2 \text{ или } P_w = KF (v_a - v_a)^2. \quad (42)$$



Картины давления воздуха на кузова автомобилей М-20 «Победа» и ЗИЛ-110.

При наличии бокового ветра поток воздуха направлен не навстречу автомобилю, а по диагонали параллелограмма, стороны которого пропорциональны скорости движения и скорости ветра. При этом изменяются и коэффициент сопротивления воздуха, и лобовая площадь автомобиля, и картины обтекания, и картины давления. Правда, эти изменения обычно не очень заметны, так как скорость ветра во много раз меньше скорости

движения автомобиля (кроме случаев ураганного ветра) и равнодействующая давлений потоков воздуха обычно направлена под небольшим углом к продольной оси автомобиля.

Коэффициенты сопротивления воздуха для отечественных легковых автомобилей приведены в табл. 9.

Таблица 9

Данные по сопротивлению воздуха для отечественных легковых автомобилей

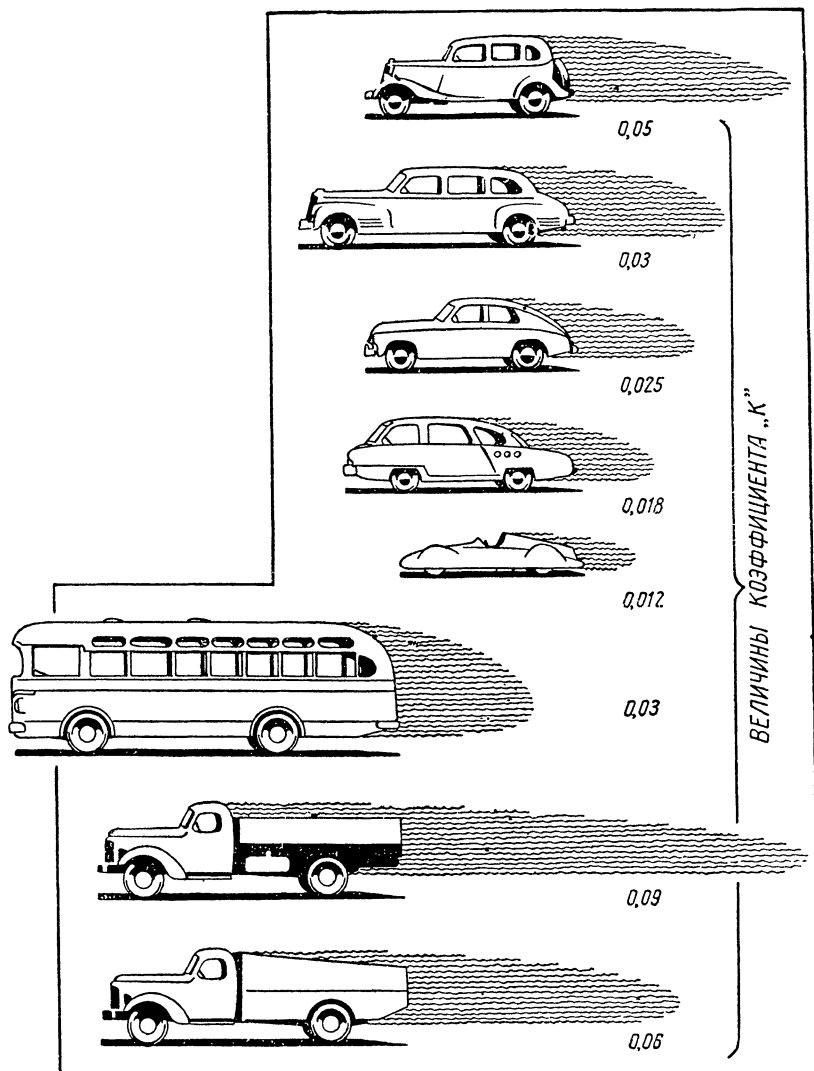
Марка автомобиля	Лобовая площадь в м ²	Коэффициент сопротивления воздуха (ориентировочно)	Наибольшая скорость в км/час
Руссо-Балт.	2,8	0,058 - 0,06	70
ГАЗ-А	2,5	0,058 0 06	90
ГАЗ-М1	2,6	0,04—0,045	100
ГАЗ-11	2,6	0 04 0,045	120
ЗИС-101	2,7	0,038	110
„Москвич-401“	1,62	0,037	90
ЗИЛ-110	2,6	0,03	140
М-20 „Победа“	2,16	0,025	110
ЗИМ	2,3	0,023	120

Как видно из таблицы, сопротивление воздуха уменьшено в новейших отечественных автомобилях в 2—2,5 раза по сравнению с моделями прошлых лет, вследствие чего стали возможны высокие скорости автомобилей при сравнительно небольших двигателях и соответственно меньшем расходе топлива. Хорошие показатели автомобилей Горьковского автозавода М-20 «Победа» и ЗИМ являются следствием правильного выбора пропорций этих автомобилей (сдвиг наибольшего сечения вперед) и устранения выступающих частей (фар, крыльев), а у ЗИМ также вследствие удлиненной формы всего автомобиля. Величину коэффициента сопротивления воздуха, равную 0,023—0,025, можно считать весьма удовлетворительной для автомобиля с обычной компоновкой (переднее расположение двигателя).

Удлиненная форма автобуса по сравнению с формой легкового автомобиля способствует некоторому снижению коэффициента сопротивления воздуха (см. табл. 10) по сравнению с легковыми автомобилями.

Коэффициент сопротивления воздуха для грузовых автомобилей составляет примерно 0,065—0,09, причем форма кабины и передней части оказывает сравнительно небольшое влияние на обтекаемость. Большое сопротивление воздуха возникает

из-за угловатой и открытой сверху платформы, открытых колес и нижней части (шасси) автомобиля. Фургоны в отношении обтекаемости соответствуют автобусам. Коэффициент сопротивления воздуха гоночных и рекордных автомобилей (например, автомобиля «Звезда», установившего ряд рекордов скорости в классе малолитражных автомобилей) равен примерно 0,01—0.013.



Коэффициенты сопротивления воздуха для автомобилей различной формы.

Обтекаемость различных автобусов

Тип автобуса	Пример конструкции	Средняя величина коэффициента K	Расход мощности на сопротивление воздуха при скорости 65 км/час в л с
Двухэтажный необтекаемый	Троллейбус ЯТБ	0,08	—
Обычный необтекаемый	ПАЗ-651	0,05	15,5
Вагонный необтекаемый	ЗИЛ-155	0,045	14
Малообтекаемый обычный	ЗИС-16	0,035	11
Малообтекаемый вагонный	—	0,0275	8,5
Вагонный обтекаемый	ЛАЗ-695	0,018	5,5

Экспериментальные легковые автомобили с задним расположением двигателя и кузовом каплеобразной формы занимают по показателям обтекаемости промежуточное положение между гоночными автомобилями и автомобилями типа М-20 «Победа» или ЗИМ. Коэффициент сопротивления воздуха этих автомобилей равен 0,015—0,017.

Можно добиться незначительного улучшения обтекаемости любого данного автомобиля сравнительно простыми средствами: устранить выступающие элементы (например, флажок, номерной знак), на грузовом автомобиле (нижний рисунок) установить боковые щитки ниже уровня платформы, затянуть груз или открытую платформу брезентом. О том, какой получается при этом эффект в снижении расхода топлива, рассказано в разделе «Расходы». Автомобилисты-спортсмены применяют и более действенные средства для улучшения обтекаемости серийных автомобилей: устанавливают округлый колпак из прозрачной пластмассы перед ветровым окном, лист-поддон под кузовом, снимают буферы, заглаживают углубления окон вставными пластинами плексигласа или стекла.

При использовании законов аэродинамики получают и другие преимущества. Например, устанавливают над передней частью капота пластинку, которая направляет поток воздуха не на ветровое стекло, а по бокам его, предотвращая таким образом затемнение стекла насекомыми.

ВОЗМОЖНОСТИ АВТОМОБИЛЯ

Их хочет знать каждый водитель, каждый автохозяйственник, когда они получают новую машину; каждый конструктор, когда он хочет сравнить новый проектируемый автомобиль с каким-либо существующим. Самые точные сведения можно,

конечно, получить при тщательном испытании автомобиля в различных условиях. После некоторого периода эксплуатации автомобиля становится известным, какие подъемы он преодолевает с той или иной нагрузкой (и на какой передаче в коробке передач), какую наибольшую скорость он может развить на ровной асфальтовой дороге, как быстро он разгоняется, с какой скоростью и на какой передаче он может уверенно двигаться по песку, по укатанной грунтовой дороге, по булыжнику... Для получения более скорого и точного ответа на эти вопросы заводы и институты автомобильной промышленности располагают определенными участками плохих и хороших дорог или стендами и приборами, которые воспроизводят различные дорожные условия.

Но при знании законов движения автомобиля удовлетворительно точные ответы могут быть получены и расчетным путем. Для этого нужно лишь иметь достаточно подробную характеристику автомобиля: внешнюю характеристику его двигателя, данные о передаточных числах в системе силовой передачи, о весе автомобиля и о распределении веса, о лобовой площади автомобиля, приблизительные сведения о его форме, характеристику шин (размеры шин, внутреннее давление в шинах). При наличии этих сведений о существующем автомобиле можно примерно оценить возможности автомобиля без длительных пробегов и испытаний, а в случае проектирования нового автомобиля — задать определенные его качества.

Первое представление о качествах автомобиля получают по так называемым уравнениям тягового и мощностного балансов. Баланс означает равновесие. В данном случае речь идет о равновесии сил. В левой части этих уравнений стоит, соответственно, тяговая сила на ведущих колесах или эффективная мощность двигателя, в правой — силы сопротивления или значения мощности, расходуемой на преодоление сопротивлений: качению (с индексом f), воздуха (с индексом w), подъему (с индексом h), ускорению или инерции (с индексом j), а также на преодоление трения в системе силовой передачи (с индексом r):

$$P_k = P_f + P_w + P_h + P_j; \quad (43)$$

$$N_e = N_r + N_f + N_w + N_h + N_j. \quad (44)$$

При отсутствии ускорения (т. е. при равномерном движении) последнее слагаемое в каждом из уравнений равно нулю и может быть исключено; при движении по горизонтальной дороге равно нулю и предпоследнее слагаемое. Оба эти слагаемые, как уже известно, идут на приращение энергии, которая может быть возвращена впоследствии при движении автомобиля накатом (по инерции) или при спуске автомобиля с высоты, на которую он поднялся. Поэтому принято считать их сумму (применительно

к наиболее общему случаю движения автомобиля по горизонтальной дороге) соответственно запасом силы тяги P_u или запасом мощности N_u . Тогда

$$P_k = P_f + P_w + P_u \quad (45)$$

или

$$P_u = P_k - P_f - P_w \quad (46)$$

и

$$N_e = N_r + N_f + N_w + N_u \quad (47)$$

или

$$N_u = N_e - N_r - N_f - N_w. \quad (48)$$

Если автомобиль движется по горизонтальной дороге с наибольшей скоростью, т. е. расходует всю энергию двигателя на преодоление сопротивлений качению и воздуха (т. е. $P_u = 0$; $N_u = 0$), уравнения (45) и (47) приобретают вид

$$P_k = P_f + P_w \quad (49)$$

и

$$N_e = N_r + N_f + N_w. \quad (50)$$

Мощность N_r , расходуемая на трение в системе силовой передачи, как было указано выше, равна около одной десятой (0,1) развиваемой двигателем мощности:

$$N_r = 0,1N_e. \quad (51)$$

Подставляя это значение в уравнение (50), а также в уравнения (44) и (47), получаем

$$N_e = 0,1N_e + N_f + N_w \quad (52)$$

или

$$N_e - 0,1N_e = 0,9N_e = N_f + N_w = N_k,$$

где N_k — мощность, подводимая к колесам автомобиля.

Напомним, что тяговая сила, приложенная к колесам,

$$P_k = \frac{M_{eikl_0\eta}}{r_k}.$$

С помощью рассмотренных уравнений вполне возможно определить необходимые тяговую силу и мощность для каждого данных условий движения, но при этом требуются трудоемкие вычисления.

Более удобно пользоваться так называемой диаграммой движения, в которой мощностной баланс автомобиля изображают графически. Основой для диаграммы движения служит график внешней характеристики двигателя данного автомобиля с отметками чисел оборотов на горизонтальной оси и значений мощности на вертикальной. На внешней характери-

стике двигателя проводим вторую кривую на расстоянии $0,1 N_e$ в каждой точке. Эта кривая соответствует мощности N_k , подводимой к колесам, с учетом к. п. д. силовой передачи $\eta = 0,9$. Далее, параллельно шкале оборотов (чуть ниже ее) наносят шкалу скорости движения в соответствии с зависимостью между числом оборотов вала двигателя и числом оборотов колеса:

$$v_a = \frac{2\pi r_k n_e}{60 i_0} \text{ м/сек}, \quad (53)$$

где v_a — скорость движения в м/сек;
 r_k — радиус качения колеса в м;
 n_e — число оборотов вала двигателя в минуту;
 i_0 — передаточное число главной передачи.

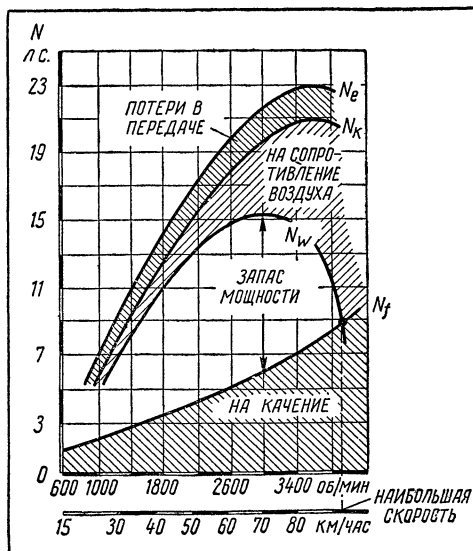
Если движение происходит не на прямой передаче, в знаменатель уравнения (53) нужно включить еще множитель i_k (передаточное число коробки передач).

Так как скорость привычнее считать в км/час, вносим соответствующую поправку в уравнение (53):

$$V_a = \frac{2\pi r_k n_e \cdot 3600}{60 i_0 \cdot 1000} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 3,6 r_k n_e}{60 i_0} = 0,377 \frac{r_k n_e}{i_0} \text{ км/час}. \quad (54)$$

Находим значения скорости, соответствующие числам оборотов вала, нанесенным на горизонтальной оси, и строим шкалу скоростей. Пользуясь этой шкалой, откладываем от кривой N_k вниз отрезки, соответствующие (в принятом масштабе) расходу мощности на сопротивление воздуха и подсчитываемые по уравнению (38) для каждой точки. Проведя через концы отрезков кривую мощности N_w , получаем между кривыми N_k и N_w область, характеризующую расход мощности на сопротивление воздуха. Отрезки ниже кривой N_w характеризуют мощность, которая может быть использована на преодоление других сопротивлений. Теперь можно отложить

Диаграмма движения автомобиля. Точка пересечения кривых соответствует наибольшей скорости; область между кривыми — запасу мощности.



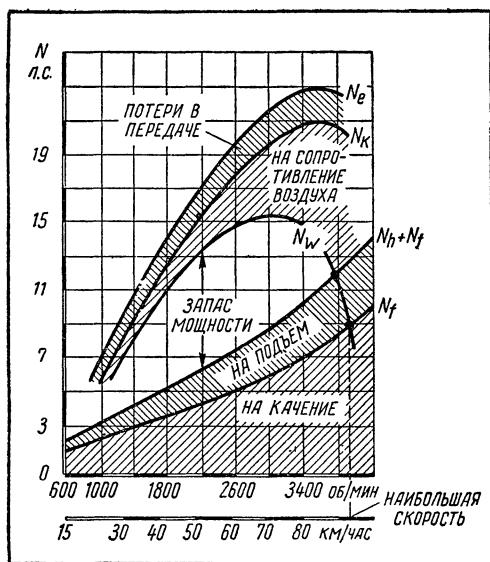


График расхода мощности на преодоление подъема за счет запаса мощности.

в данных дорожных условиях при движении по горизонтальной дороге. Область между кривыми N_f и N_w характеризует запас мощности N_u . Если отложить от одной из этих двух кривых отрезки, соответствующие мощности, которую нужно израсходовать на преодоление определенного подъема, получим новую кривую N_h и новую точку пересечения. Эта точка соответствует наибольшей скорости, с которой (без разгона) может быть взят данный подъем.

Пользуясь диаграммой движения и тем самым зная запас мощности N_u при движении с любой скоростью, можно узнать наибольший угол подъема, преодолеваемый автомобилем на этой скорости, для чего соответственно преобразуем уравнение (28)

$$\sin \alpha = \frac{270 N_u}{G_a V_a}. \quad (55)$$

Можно также узнать наибольшее ускорение автомобиля на горизонтальной дороге, преобразовав уравнение (34):

$$j = \frac{270 g N_u}{\delta G_a V_a}. \quad (56)$$

Если за основу принять частичные скоростные характеристики, то можно построить диаграмму движения для условий работы двигателя с неполным открытием дроссельной заслонки

от горизонтальной оси (опять по отметкам шкалы скорости) отрезки, соответствующие расходу мощности на сопротивление качению и подсчитываемые по уравнению (25) для каждой точки с учетом значений коэффициента сопротивления качению f .

Отрезки между любой из точек кривой N_f и горизонтальной осью характеризуют расход мощности на сопротивление качению. Точка пересечения кривых N_f и N_w соответствует наибольшей скорости, которую может развить автомобиль

карбюратора, т. е. когда водитель нажимает на педаль подачи топлива не до отказа.

Можно построить также диаграмму движения для низших передач. В этом случае за основную шкалу принимают разбивку горизонтальной оси по скорости, а под ней наносят несколько шкал чисел оборотов в соответствии с передаточными числами коробки передач; затем по шкалам строят для всех передач внешние характеристики двигателя и мощности N_k с учетом к. п. д., равным 0,9. Для движения на низших передачах (из-за малой скорости движения) можно не учитывать сопротивление воздуха. Для движения на высших передачах проводят кривые N_w под каждой из кривых N_k соответственно скорости; затем наносят на диаграмму кривые N_f для различных видов дорог. По такой диаграмме можно судить не только о наибольшей скорости автомобиля, запасе мощности, преодолеваемых подъемах и ускорениях на высшей передаче, но и о передаче, на которой с определенной скоростью возможно движение на данном автомобиле по плохим дорогам.

Подобно мощностной диаграмме движения строится и тяговая диаграмма, обычно одновременно для всех передач. На эту диаграмму в соответствии с развиваемым двигателем моментом наносят кривые силы тяги на колесах P_k и для каждой скорости кривые суммарной силы сопротивления $P_f + P_w$. Отрезок от вертикальной оси до точки пересечения кривой тяговой силы для высшей передачи и кривой силы сопротивления на хорошей дороге соответствует наибольшей скорости автомобиля. Отрезок от горизонтальной оси до точки на перегибе кривой тяговой силы для первой передачи соответствует предельному сопротивлению дороги, которое может быть преодолено автомобилем.

Определение ходовых качеств автомобиля по диаграмме движения все же является несколько сложным. Более удобной является так называемая динамическая характеристика автомобиля, предложенная академиком Е. А. Чудаковым. Слово «динамический» означает способный к движению. Термины динамический, динамика часто применяют, когда говорят о ходовых качествах автомобиля.

Динамическим фактором D называется отношение разности суммарной тяговой силы P_k и силы сопротивления воздуха P_w к полному весу автомобиля:

$$D = \frac{P_k - P_w}{G_a} \quad (57)$$

Графическое изображение изменения динамического фактора в зависимости от скорости движения и от передачи, включенной в коробке передач, называется динамической характеристикой автомобиля. На горизонтальной оси откладывают значения

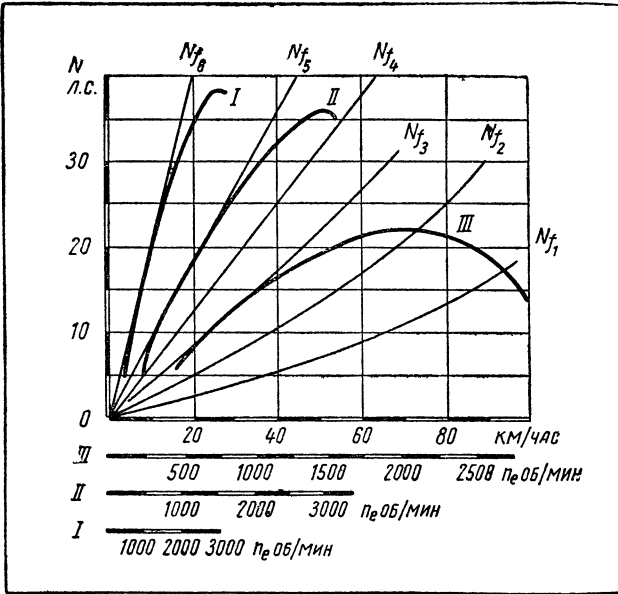
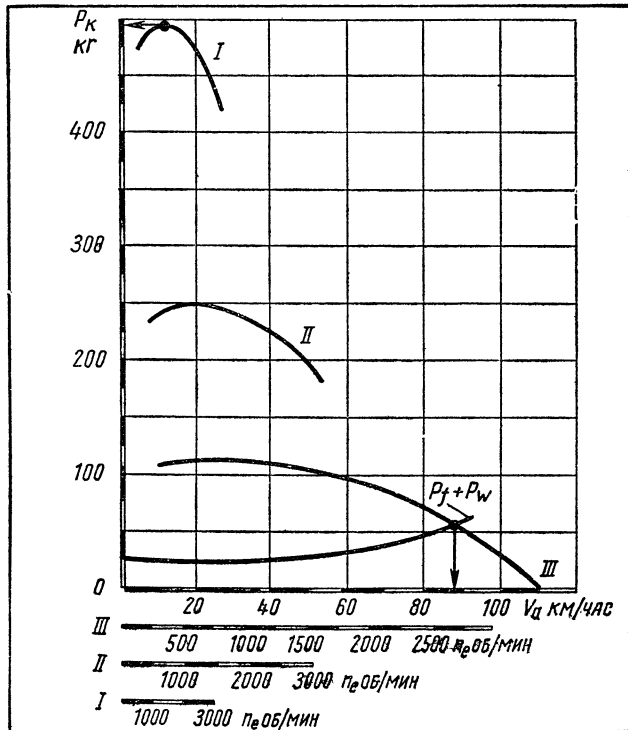


Диаграмма движения на различных передачах.



Тяговая диаграмма.

скорости в км/час, на вертикальной — значения динамического фактора в виде десятичной дроби или процентов.

Чтобы показать на динамической характеристике силу сопротивления качению, нужно построить кривую зависимости $\frac{P_f}{G_a} = \frac{G_a f}{G_a} = f$ от скорости.

В соответствии с принятым динамическим фактором D , можно коэффициент f выразить в виде дроби или процента. Точка пересечения этой кривой с кривой динамического фактора (на высшей передаче) соответствует *наибольшей скорости автомобиля*. Отрезки между кривыми динамического фактора D и кривой коэффициента сопротивления качению f характеризуют *запас тяговой силы*.

Высшие точки (перегибы) кривых динамического фактора a_I ; a_{II} ; a_{III} дают представление о *предельных возможностях автомобиля*, и соответствующие им значения нередко включают (по крайней мере для низшей и высшей передач) в технические характеристики автомобилей.

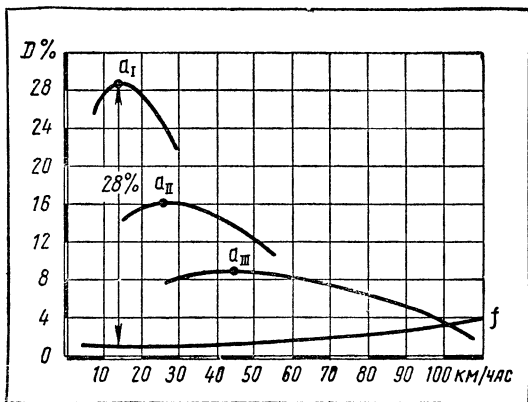
Наибольший преодолеваемый автомобилем подъем в процентах определяют по динамической характеристике следующим образом: на диаграмме измеряют расстояние от кривой коэффициента сопротивления качению f до кривой динамического фактора (например в точке a_I) и определяют его величину по отметкам вертикальной шкалы. Это примерно есть уклон, выраженный в процентах, так как отрезок соответствует $\frac{P_h}{G_a} = \frac{G_a \cdot \sin \alpha}{G_a} = \sin \alpha$.

Таким же способом можно приближенно определить наибольшее ускорение

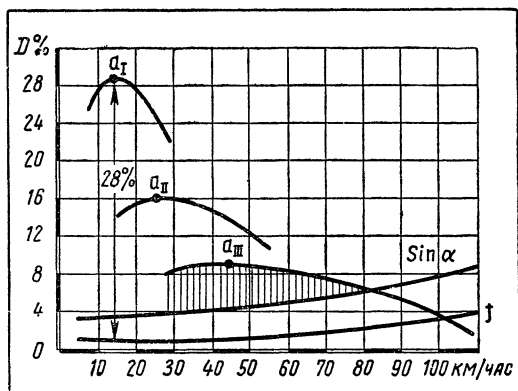
$$j = (D - f) \frac{g}{8}. \quad (58)$$

Если нужно определить ускорение, возможное на определенном подъеме, откладываем от кривой f значения уклона в процентах и измеряем отрезки уже между новой кривой уклона и кривой динамического фактора.

Величина ускорения, которое способен развить данный автомобиль, является важнейшим показателем динамических ка-



Динамическая характеристика автомобиля.



Определение ускорения.

только при эксплуатации его на загородных трассах с хорошим дорожным покрытием, где путь разгона составляет сравнительно небольшую часть всего пути S . В этих условиях его средняя скорость

$$V_a = \frac{S}{t} \text{ м/сек или км/час,}$$

где t — время прохождения всего пути, окажется достаточно высокой. Если же эксплуатировать этот автомобиль, например, в качестве такси в городских условиях, он окажется крайне невыгодным, так как от одной остановки или задержки до другой автомобиль будет двигаться на режиме разгона, не достигая высокой скорости. В этих условиях правильнее ставить на автомобиль шестерни главной передачи с увеличенным передаточным числом, чтобы получить большое ускорение, не добиваясь особенно высокого значения наибольшей скорости. Различие кривых ускорений двух автомобилей, равных по весу и по другим показателям, но с различными передаточными числами главной передачи, видно на приведенном графике.

Однако само по себе ускорение дает лишь условное представление о динамических качествах автомобиля. Автомобилисту нужно знать более ощутимые показатели: в р е м я р а з г о н а от момента трогания с места до достижения определенной скорости (или в интервале между двумя значениями скорости) и п у т ь р а з г о н а. Приближенные значения времени и пути разгона можно получить соответственным использованием динамической характеристики автомобиля.

Найдя уже известными способами значения ускорений для различных скоростей и условий движения, подсчитываем величины, обратные ускорениям, т. е. $\frac{1}{a}$, и строим график изменения

чество машины. Можно создать автомобиль, например, с малым передаточным числом главной передачи, который развивает весьма высокую наибольшую скорость, но для этого потребуется путь разгона в несколько сотен, а то и тысяч метров, так как ускорение его будет очень незначительным. Такой автомобиль может быть выгодным

этих величин в зависимости от скорости, немного не доходя до наибольшей скорости.

Вспомним, что ускорение равно

$$j = \frac{v_a}{t}.$$

Отсюда можно вычислить время разгона

$$t = \frac{v_a}{j} = v_a \frac{1}{j} \quad (59)$$

На графике проводим несколько вертикальных линий от горизонтальной оси до кривой $\frac{1}{j}$ и подсчитываем площади (в $мм^2$), ограниченные этими линиями. Каждую такую площадь (назовем ее F) можно рассматривать как произведение основания V_a на высоту $\frac{1}{j}$; значит площадь пропорциональна времени разгона от одной скорости (соответствующей первой вертикальной линии) до другой. Время разгона можно вычислить, если величину каждой площади разделить на 3,6 и на количество миллиметров e , изображающее 1 км/час на горизонтальной шкале, и на количество миллиметров h , изображающее 1 сек²/м на вертикальной:

$$t = \frac{F}{3,6eh} \text{ сек.} \quad (60)$$

График величин, обратных ускорениям.

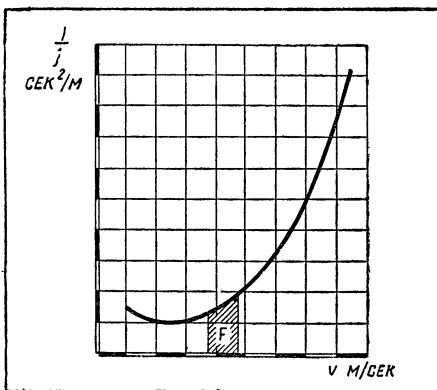
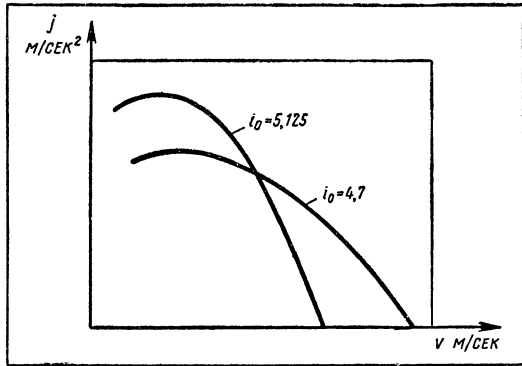
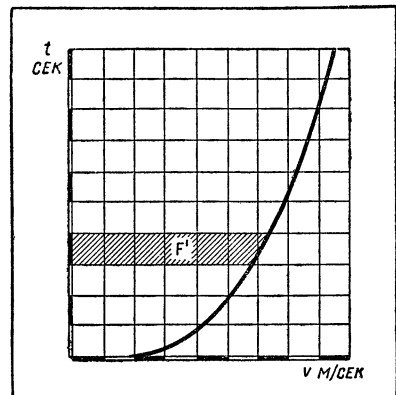


График времени разгона.



Ускорение при большом передаточном числе главной передачи больше, чем при малом.

Общее время разгона равно сумме значений времени разгона на каждом интервале скоростей. По полученным данным не составляет труда построить график изменения времени разгона в зависимости от скорости.

С помощью этого графика можно найти и путь разгона. Из уравнения (24) видно, что путь равен произведению скорости на время

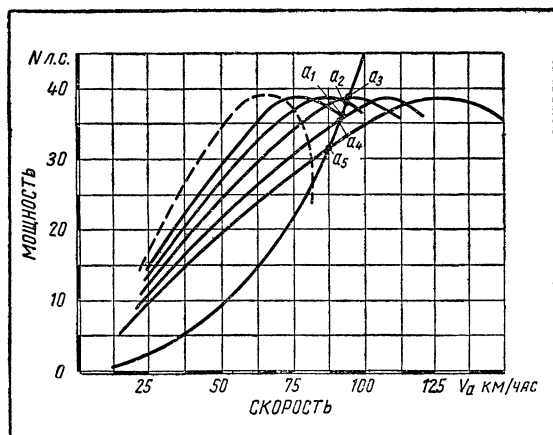
$$S = v_a t.$$

Проведем на графике времени разгона несколько горизонтальных линий от вертикальной оси до кривой t и подсчитаем полученные площади. Каждую такую площадь F' можно считать произведением основания v_a на высоту t , поэтому площадь пропорциональна пути разгона. Путь разгона можно подсчитать, зная площади F' (в $мм^2$) и масштабы, т. е. количество e миллиметров, соответствующее 1 км/час, и количество k миллиметров, соответствующее 1 сек.

$$S = \frac{F'}{3,6ek} \text{ м.} \quad (61)$$

Последовательно складывая полученные величины пути, можно узнать весь путь разгона, а также построить график изменения пути разгона.

Очень большое влияние на динамические качества автомобиля оказывают передаточное число главной передачи, количество передач в коробке передач и величины передаточных чисел. На графике показаны кривые мощности N_k , которая может быть подведена к колесам от двигателя, при различных передаточных числах главной передачи. Там же нанесена кривая мощности $N_f + N_w$, которую необходимо затратить для преодоления сопротивления качения и воздуха. Точки пересечения a_1, a_2



Изменение передаточных чисел мало влияет на наибольшую скорость, но сильно сказывается на запасе мощности.

и т. д. соответствуют наибольшей скорости движения при том или ином передаточном числе. Из графика видно, что *наибольшая скорость лишь незначительно изменяется с изменением передаточного числа*. В то же время при малом передаточном числе кривая сопротивлений пересекается с кривой подводимой мощности (точка a_5), когда двигатель еще не развивает максимальной мощности, а при большом передаточном числе точка a_1 попадает за перегиб кривой подводимой мощности. При этом запас мощности во втором случае значительно больше, чем в первом. Во втором случае поэтому получается большое ускорение и улучшение динамических качеств автомобиля, но при несколько уменьшенной наибольшей скорости. Поэтому *большое передаточное число главной передачи выгоднее малого*. Но чрезмерное увеличение передаточного числа (штриховая кривая) ведет и к заметному снижению скорости автомобиля, и к повышенной скорости вращения коленчатого вала двигателя, т. е. к более напряженной его работе, к сравнительно большому износу деталей, и к перерасходу топлива.

С точки зрения динамики автомобиля выгодно иметь большое передаточное число первой передачи в коробке передач легковых автомобилей и второй передачи — в грузовых. При этом автомобилю обеспечивается быстрый разгон и способность преодолевать очень тяжелые участки дорог. Однако это передаточное число должно быть выбрано с учетом предельного значения тяговой силы, допускающего трогание автомобиля с места на сухой дороге без буксования.

Наконец, чем больше количество передач выполнено в коробке передач, тем легче подобрать в различных условиях передачу, при которой движение автомобиля происходит на самом выгодном режиме — на режиме наибольшей мощности двигателя.

Когда проектируют новый автомобиль, производят так называемый тяговый или динамический расчет. Обычно сначала задают наибольший динамический фактор на высшей передаче, находят наибольшие тяговую силу и мощность двигателя, строят его предполагаемую характеристику. Далее, задавшись весом автомобиля, размерами шин, желательным давлением в шинах, примерным значением лобовой площади, коэффициентом сопротивления воздуха и наибольшей скоростью, находят передаточное число главной передачи, а затем и передаточные числа первой и других передач в коробке передач.

Динамические качества автомобиля оценивают в первую очередь по следующим его показателям:

наибольшей скорости на высшей передаче при движении по горизонтальной асфальтовой дороге в км/час;

мощности двигателя, приходящейся на тонну полного веса автомобиля, в л. с.;

наибольшему динамическому фактору на высшей и низшей передачах в процентах;

наибольшему углу подъема на высшей и низшей передачах в процентах;

наименьшему времени прохождения определенного отрезка пути при движении с места с переключением передач в сек¹.

В табл. 11 приведены значения этих показателей для отечественных автомобилей.

Т а б л и ц а 11

Динамические показатели автомобилей

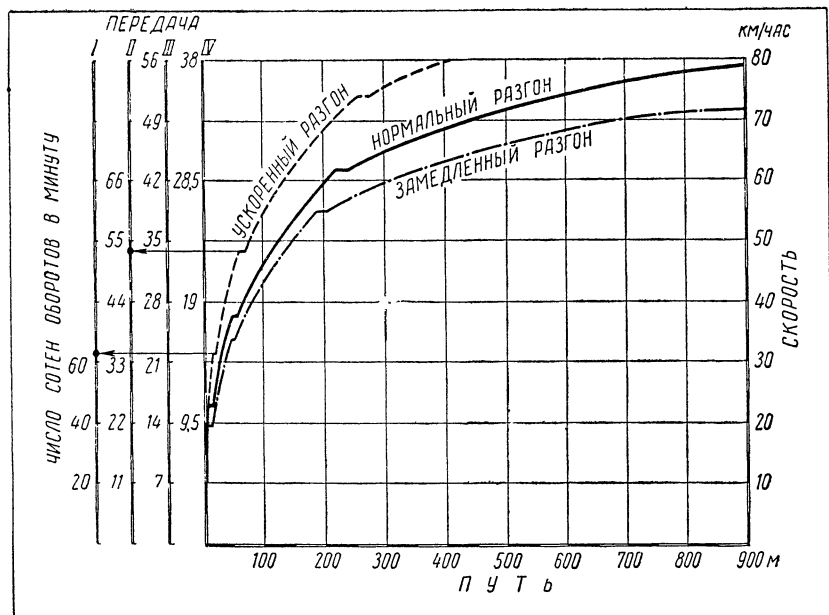
Показатели	Легковые				Грузовые	
	"Москвич-401"	"Москвич-402"	М-20 "Победа"	М-21 "Болга"	ГАЗ-51	ЗИЛ-150
Наибольший динамический фактор в %:						
на высшей передаче . .	6,1	7,2	8,4	8,25	5,2	5,1
на низшей передаче . .	24,6	28,6	27,8	до 45,0**	33,1	31,5
Мощность на тонну полного веса в л. с.	22	29	27	38	13	12
Наибольшая скорость в км/час	90	107	105	130	70	70
Наибольший преодолеваемый подъем в %:						
на высшей передаче . .	4,1	5,0	6,4	6,0	3,2	2,1
на низшей передаче . .	22,6	26,0	25,8	30,0	31,1	29,5
Время разгона с места в сек. на длине пути:						
100 м	13	12	12	—	14	15
500 м	35	32	32	—	48	50
1000 м	—	—	52	—	—	—

* По данным испытаний опытных образцов.

** При работе гидротрансформатора автоматической коробки передач.

Не следует, однако, забывать, что динамика автомобиля зависит не только от качеств самого автомобиля, но и от умения водителя использовать эти качества. Это больше всего относится к правильному, своевременному переключению передач.

¹ Употребительные отрезки пути: 100 м, 500 м, 1000 м.



Возможные случаи разгона.

Хоть и нельзя полностью согласиться с поговоркой немецких автомобилистов: «Хорошо управляет автомобилем тот, кто часто переключает передачи», все же в ней имеется большая доля правды. Особенно важно правильное переключение передач при разгоне с места и после вынужденного снижения скорости (например, после прохождения крутого поворота).

Разгон происходит все время с наибольшим возможным ускорением, если переключение передач производить в момент равенства ускорений на обеих передачах, но часто бывает, что это получается только при недопустимо больших числах оборотов вала двигателя; в этом случае нужно переключать передачу при числах оборотов вала двигателя, примерно соответствующих наибольшей мощности. Но не всегда необходимо или возможно использовать наиболее ускоренный разгон. А если от него отказаться, то выгоднее применять короткие разбеги на передачах с возможно более быстрым переходом на высшую передачу (замедленный разгон). При этом экономится топливо, лучше сохраняется двигатель и создаются лучшие условия для пассажиров.

На тяжелой дороге нередко приходится переключать передачи с высшей на низшую. Такое переключение нужно производить, пока еще есть небольшой запас тяговой силы, пока ско-

рость автомобиля еще не снизилась до величины, соответствующей наибольшему динамическому фактору на данной передаче, т. е. раньше, чем автомобиль начнет «дергаться».

В новейших конструкциях автомобилей обращено большое внимание на повышение их динамических качеств. Резко увеличена мощность двигателей, в то время как вес автомобилей изменен незначительно. Улучшена обтекаемость автомобилей. Введены более выгодные передаточные числа главной передачи. Так, если в первых выпусках автомобиля М-20 «Победа» передаточное число составляло 4,7, то затем оно возросло до 4,83 и, наконец, до 5,125. Улучшение тяговой характеристики дает и уменьшение диаметра колес автомобиля, наблюдаемое в последнее время.

На автомобиле М-21 «Волга» вместо сцепления и механической коробки передач может быть установлена автоматическая передача, состоящая из гидротрансформатора и трехступенчатой коробки передач с автоматическим переключением передач.

При автоматическом переключении передач водитель избавляется от лишней работы: ему не нужно выключать сцепление и переводить рычаг коробки передач. Гидротрансформатор, как и коробка передач, изменяет величину крутящего момента. Но в гидротрансформаторе это делается с помощью жидкости (масла) без всяких шестерен. Поэтому передаточное число гидротрансформатора может плавно изменяться от наибольшего (2,5) до наименьшего (1,0) и наоборот.

Передаточные числа гидротрансформатора и переключение передач в коробке передач изменяются автоматически в зависимости от нажатия на педаль подачи топлива и от скорости движения автомобиля. Все это дает возможность применять сравнительно небольшое передаточное число в главной передаче. Трогание с места происходит плавно, а после достижения автомобилем определенной скорости, зависящей от сопротивления движению, автоматически включается высшая передача в коробке передач. Таким образом, изменение передаточного числа силовой передачи, а вместе с ним и изменение крутящего момента, происходит автоматически в наиболее целесообразные мгновения и не зависит от опытности водителя.

В результате перечисленных усовершенствований автомобиля возросли наибольшие скорости, динамический фактор, угол преодолеваемого подъема, а время разгона сократилось, и все это достигнуто без увеличения расхода топлива.

АВТОМОБИЛЬ ЗАМЕДЛЯЕТ ХОД

Автомобиль предназначен для быстрого движения. Но чтобы ездить быстро, надо иметь возможность и быстро замедлять ход автомобиля и останавливать его, когда перед автомо-

билем возникает препятствие или поворот дороги, когда ухудшена видимость пути, наконец, когда автомобиль достигает пункта назначения. Ранее было выяснено, что движение по инерции, без передачи усилия от двигателя к колесам, приводит к остановке только тогда, когда вся накопленная перед этим энергия израсходуется на преодоление сил сопротивления. Путь, проходимый автомобилем при замедлении хода, в этих условиях исчисляется сотнями, а то и тысячей метров, и водитель не может заранее рассчитать этот путь, чтобы остановить автомобиль в намеченном месте. Во многих случаях такой способ остановки автомобиля неприменим, так как до препятствия остаются десятки метров, а иногда всего лишь несколько метров.

Более заметного замедления можно достигнуть при движении автомобиля с неразобренным от колес двигателем, но с отпущенной педалью подачи топлива (торможение двигателем). В этих условиях к сопротивлению качению и воздуха, а также к потерям на трение в системе силовой передачи добавляются потери на трение в двигателе. Но и такое замедление не может привести к остановке автомобиля, так как (при невыключенном зажигании) двигатель все же работает, хотя и не развивает больших момента и мощности, и автомобиль после известного понижения скорости «ползет» при малом числе оборотов двигателя или, чаще всего, движется рывками (дергает).

Значит, необходимо какое-то сопротивление, на преодоление которого была бы быстро израсходована вся накопленная кинетическая энергия (иногда ее называют живой силой).

Таким сопротивлением является трение, которое возникает при действии тормозов.

Вспомним, что величина кинетической энергии

$$E_k = \frac{mv_a^2}{2}, \quad (62)$$

где m — масса тела;

v_a — скорость автомобиля в $м/сек$.

Если выразим скорость V_a в $км/час$, а массу через вес в $кг$, деленный на ускорение силы тяжести g в $м/сек^2$, то

$$E_k = \frac{G_a v_a^2}{2 \cdot 9.81 \cdot 3.6 \cdot 3.6} \approx 0,004 G_a V_a^2 \text{ (кГм)}. \quad (63)$$

При замедлении хода автомобиля или торможении накопленная энергия совершает работу

$$E = P_T S, \quad (64)$$

где P_T — сила сопротивления или торможения в $кг$;
 S — путь замедления в $м$.

Отсюда найдем необходимую силу торможения

$$P_T = \frac{mv_a^2}{2S} = \frac{GV_a^2}{9,81 \cdot 2 \cdot 3,6^2 S}. \quad (65)$$

Определим для примера силу, необходимую для торможения автомобиля весом 2000 кг, движущегося со скоростью 100 км/час, если тормозной путь равен 50 м.

$$P_T = \frac{2000 \cdot 100^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 3,6^2 \cdot 50} \approx 1575 \text{ кг}.$$

Отсюда следует, что необходима очень большая тормозная сила.

При движении на спуске тормозная сила должна быть еще больше, чтобы уравновесить также составляющую веса, направленную вдоль дороги.

Как создать тормозную силу? Водитель нажимает на педаль тормоза; движение педали через систему тормозного привода передается колодкам на колесных тормозах; колодки раздвигаются, поверхности их накладок прижимаются к поверхностям тормозных барабанов; на барабане возникает момент трения M_T , противодействующий вращению колеса; между колесом и дорогой появляется реакция P_T , противодействующая движению автомобиля. Эта реакция и есть тормозная сила.

Тормозная сила не должна быть больше силы сцепления колес с дорогой, иначе заторможенные колеса начнут скользить по дороге, пойдут, как говорят водители, «юзом», т. е.

$$P_T \leq G_a \varphi. \quad (66)$$

Путь торможения можно определить из уравнения

$$S = \frac{E_k}{P_T}. \quad (67)$$

Следовательно, *торможение наиболее эффективно тогда, когда колеса почти начинают скользить, но еще не скользят.* Это обстоятельство особенно важно учитывать при торможении на скользкой дороге, т. е. при малом коэффициенте сцепления φ . В этих условиях выгоднее несколько раз нажать на педаль, не доводя колеса до скольжения, чем затормозить их резко (не говоря уже об опасности заноса). На скользкой дороге целесообразно, кроме того, тормозить, не выключая сцепления, так как при этом, во-первых, часть кинетической энергии расходуется внутри автомобиля и тормозная сила может быть сравнительно небольшой и, во-вторых, менее вероятно заклинивание одного из колес, что уменьшает опасность заноса.

Торможение двигателем имеет много преимуществ. На сухой дороге путь торможения при невыключенном сцеплении на 25—40% короче, чем путь при разобщенном от колес двигателя. Использовать двигатель в качестве тормоза особенно целесообразно при движении на длинных спусках, чтобы предотвратить износ и нагрев тормозных накладок. Если спуск очень крутой и длинный, следует включить вторую или даже первую передачу. В этом случае двигатель работает на больших оборотах (без достаточной подачи рабочей смеси в цилиндры), и его сопротивление возрастает. Торможение двигателем выгодно сочетать с плавным нажимом на педаль тормоза. При резком же нажиме на педаль тормоза без отключения двигателя эффект торможения, наоборот, снижается.

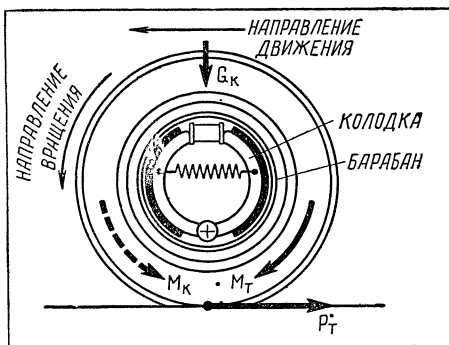
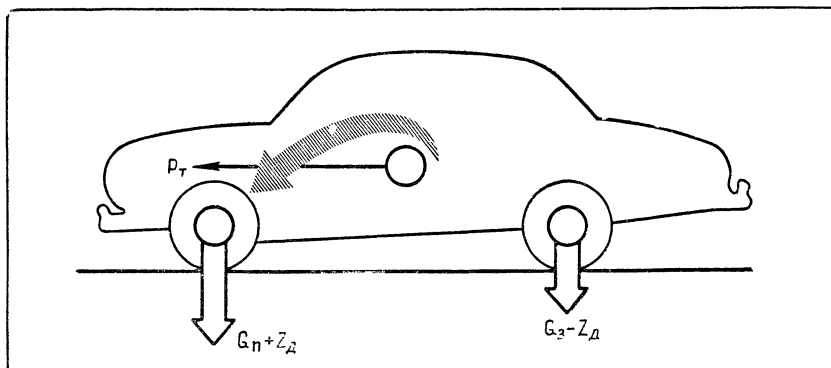
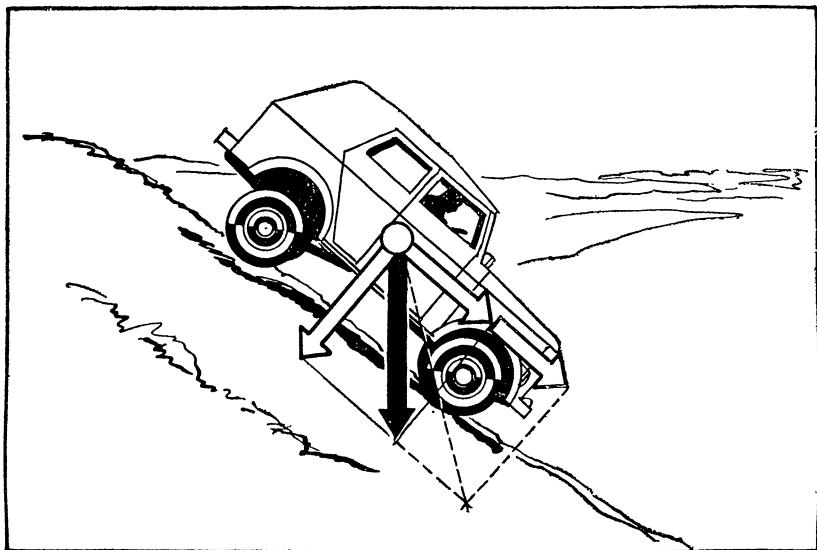


Схема сил, действующих на колесо при торможении.

Выше отмечено, что при разгоне задние колеса дополнительно нагружаются. При торможении сила инерции тоже сказывается, но она теперь направлена вперед. Сила инерции приложена к центру тяжести автомобиля на высоте h_g от дороги. Вместе с тормозной силой она создает момент с плечом h_g , который стремится прижать к дороге переднюю часть автомобиля и приподнять заднюю. Поэтому в современных конструкциях автомобилей передние тормозы делают более мощными,

При торможении нагрузка на передние колеса увеличивается вследствие действия силы инерции массы автомобиля.





При резком торможении на спуске возможны случаи опрокидывания.

чтобы полностью использовать сцепной вес автомобиля в момент торможения. Перераспределение нагрузки на колеса особенно заметно на автомобилях с высоко расположенным центром тяжести, при резком торможении и при движении под уклон.

Нелегко остановить автомобиль, даже имея очень мощные тормоза! Поэтому нужно заранее замедлять ход перед препятствиями, не превышать установленную скорость в населенных пунктах, снижать скорость на скользкой дороге; короче говоря, даже если тормоза в порядке, ездить нужно так, чтобы пользоваться ими как можно реже. Не следует забывать также, что резкое торможение, неминуемое при повышенных скоростях движения, неприятно для пассажиров, вредно для грузов, приводит к сильному износу тормозов, повышенному среднему расходу топлива, а также может послужить причиной нарушения устойчивости автомобиля (см. ниже).



Препятствия

ПО ПЛОХИМ ДОРОГАМ

Проходимостью автомобиля принято называть его способность двигаться не только по хорошим (твердым и ровным) дорогам, но и по плохим, неровным, скользким или мягким, а также без дорог, или преодолевать отдельные препятствия.

Обычные автомобили с задними ведущими колесами предназначены для движения в основном по хорошим дорогам (от бетонных до проселочных), к ним предъявляют не слишком высокие требования в части проходимости. Однако вследствие наличия в нашей стране, при ее необъятных просторах, все еще большого количества дорог низкого качества, особенно неудовлетворительных в периоды распутицы, дождей и зимой, наши конструкторы должны обращать особое внимание на повышение проходимости автомобилей обычного типа. Именно это качество — повышенная проходимость, является одной из отличительных особенностей отечественных автомобилей в сравнении с автомобилями зарубежных фирм.

Вместе с тем, в ряде случаев автомобили систематически используют в условиях бездорожья: в некоторых сельских районах, на строительных площадках, в армии. Для таких случаев выпускают специальные автомобили повышенной или высокой проходимости, у которых все колеса ведущие. В конструкции и характеристике этих автомобилей стремятся все подчинить достижению наилучшей проходимости, хотя бы в ущерб другим качествам: весовым показателям, комфортабельности, экономичности, внешнему виду. Этим как будто нарушаются основные качества автомобиля, но нужно учесть, что в конечном счете в плохих дорожных условиях автомобиль повышенной проходимости обеспечивает наиболее быструю, экономичную и удобную транспортировку.

Если обычный автомобиль пройдет по тяжелой дороге, то на это потребуется много времени и топлива, автомобиль прибудет к пункту назначения с измятыми крыльями и боковинами, с расшатанной ходовой частью и силовой передачей и доставит измученных долгим трудным путешествием пассажиров, а иногда — попорченный груз. Все же и в конструкции обычного автомобиля можно добиться повышения проходимости без прямого ущерба для прочих его качеств и можно так эксплуатировать обычный автомобиль, чтобы, не разрушая его, спокойно преодолевать сравнительно тяжелые дороги.

Для оценки проходимости автомобиля важно знать, как он проходит по трудным участкам дороги, которые можно назвать типовыми. Эти участки:

крутой подъем, крутой спуск;

косогор;

каменная дорога (с крупными камнями); уступ, порог;

ухаб, поперечная канава, впадина;

перекат, бугор, поперечный вал;

сухая дорога с глубокими колеями;

песок, глубокий песок, сухой снег;

заболоченная местность;

грязная, глинистая дорога;

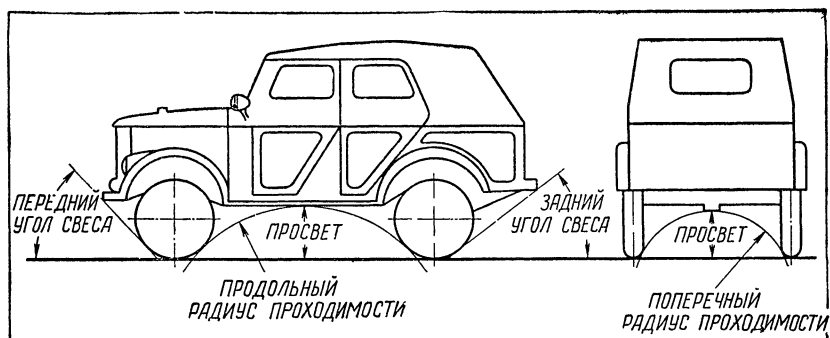
лес, заросли, лесные вырубки; брод и другие особые условия;

сочетание или чередование нескольких из перечисленных препятствий.

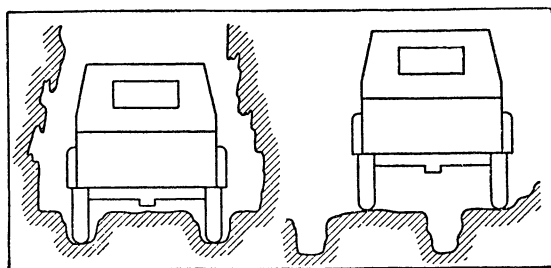
Каким требованиям должен отвечать автомобиль для хорошей проходимости?

Это прежде всего большие расстояния или, как их называют, просветы между нижними частями автомобиля и дорогой, т. е. «высокая посадка». Отметим, что это противоречит требованиям обтекаемости (снижение высоты автомобиля), плавности хода и устойчивости (уменьшение высоты центра тяжести), хотя устойчивость нужна автомобилю при движении по плохим дорогам, особенно по косогорам. Однако дело не только в абсолютных величинах дорожных просветов, но и в соотношениях их с размерами колесной базы, колеи, переднего и заднего свесов. Так, автомобиль с большим дорожным просветом, но с длинной базой может оказаться неспособным преодолеть сравнительно небольшой бугор, а при длинных переднем или заднем свесах не сможет пройти ухаб, не задев поверхности дороги буферами. Значит, необходимы не только большие дорожные просветы; нужны еще и малый продольный радиус проходимости и большие углы свеса.

Немалое значение имеет поперечный радиус проходимости: чем меньше поперечный радиус проходимости



Радиусы проходимости и углы свеса

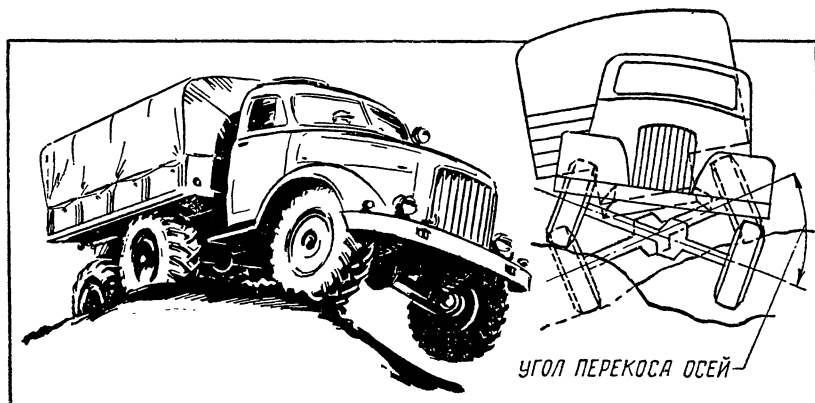


Преодоление дороги с глубокими колеями. Если обочины не ограничены, выгодно «оседлать» колею.

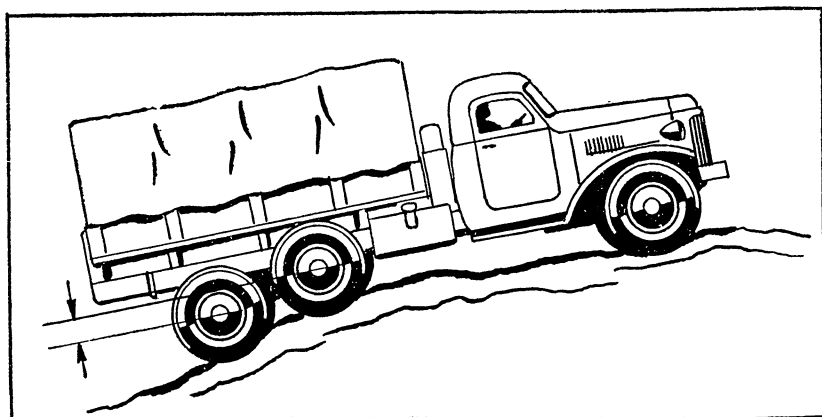
и чем больше дорожный просвет, тем лучше проходимость автомобиля по дорогам с глубокими колеями и выпуклой серединой, особенно когда нет возможности направить колеса одной стороны по выступу грунта между колеями, а колеса другой стороны — по обочине.

Для езды по плохим дорогам очень важно, чтобы оси автомобиля могли взаимно смещаться без отрыва колес от дороги, т. е., чтобы был возможен перекос передней оси по отношению к задней (при четырех колесах) или взаимный перекос обеих задних осей у шестиколесного автомобиля. Для обеспечения большого угла перекаса осей (σ —«сигма») у автомобилей повышенной проходимости желательно иметь такое устройство подвески, при котором допустимы длинный ход колес вверх и вниз и известная гибкость рамы (не в ущерб прочности ее узлов и деталей). У трехосных автомобилей это связано и с возможно большим взаимным перемещением колес одной стороны, что также обеспечивается соответствующим устройством подвески.

Просвет под кузовом можно выдержать достаточно большим независимо от конструкции ходовой части, просто подняв кузов над колесами и соответственно закрепив рессоры, а вот просвет под мостами автомобиля



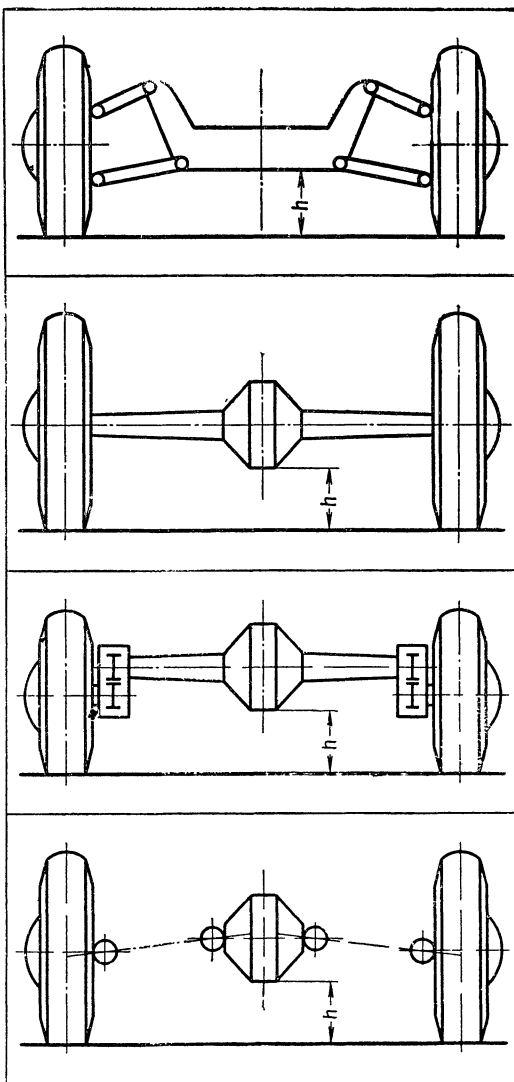
Для автомобиля повышенной проходимости конструкция подвески и рамы должна допускать значительные перекосы осей.



Подвеска колес трехосного автомобиля должна допускать их большое относительное перемещение.

зависит только от размеров колес и конструкции самих мостов. Рассмотрим четыре типа мостов: ведущий и неведущий с зависимой подвеской, ведущий и неведущий с независимой подвеской. Неведущие мосты обоих типов можно выполнить с большими дорожными просветами, по крайней мере в средней их части, придав балке моста соответствующую форму, даже при малых размерах колес. Жесткий ведущий мост имеет низко расположенную среднюю часть, размеры которой (диаметр картера) зависят от размеров ведомой шестерни главной передачи. В конструкции автомобилей повышенной проходимости обычно применяют увеличенное передаточное число главной

передачи и тем самым большую ведомую шестерню. В результате в целях сохранения необходимого просвета приходится применять и колеса с шинами увеличенного диаметра. В данном случае опять имеется противоречие: для увеличения тяговой силы только что было применено увеличенное передаточное число главной передачи, но при этом для увеличения просвета пришлось применить большие колеса, а чем больше колесо, тем меньше тяговая сила. В тех случаях, когда не удастся добиться желательной согласованности размеров всех частей, т. е. когда дальнейшее увеличение колеса неприемлемо, просвет недостаточен, а передаточное число главной передачи все же необходимо увеличить, применяют мосты с двойными редукторами (ЗИЛ-150) или с колесными редукторами (МАЗ-525). Выполнив указанные требования можно, применив ведущий мост с независимой подвеской: мост делают разрезным, картер главной передачи



Просвет под передним мостом зависит прежде всего от формы балки (верхний рисунок); под неразрезным задним мостом просвет тем больше, чем больше колеса и чем меньше передаточное число главной передачи (второй рисунок); просвет под задним мостом можно увеличить, установив редукторы в колесах (третий рисунок); при независимой подвеске задних колес просвет под картером главной передачи зависит от величины угла наклона полуосей (нижний рисунок)

и дифференциала закрепляют на раме или в основании несущего кузова на определенной высоте, обеспечивающей дорожный просвет, а усилия к колесам передаются от дифференциала наклонными карданными полуосевыми валами (с одним или двумя карданными шарнирами). Такая конструкция применена на ряде иностранных автомобилей и в опытных автомобилях НАМИ (модели 013 и «Белка»). Но и в этом случае приходится иногда ставить колесные редукторы, так как наклон полуосевых валов ограничен условиями нормальной работы карданов.

Недостаток дорожного просвета можно в известной мере возместить, если придать днищу кузова (автомобиля) гладкую нижнюю поверхность, что хорошо также отвечает требованиям обтекаемости, внешнего вида и удобства мойки автомобиля.

Автомобиль с гладким днищем и с небольшим просветом может в отдельных случаях «проползти» на днище песчаный, заболоченный или глинистый участок дороги и, во всяком случае, автомобиль можно сравнительно легко протолкнуть через такой участок буксиром. В этих же условиях автомобиль с несколько большим просветом, но с углублениями и выступами на днище, может не пройти, так как выступы вспахивают дорогу, а в углублениях накапливается и уплотняется вязкий грунт. Конечно, лучше всего, если у автомобиля и просветы достаточные, и днище гладкое.

При рассмотрении дорожных просветов были невольно затронуты и размеры колес, и конструкция мостов, и передаточные числа в силовой передаче. Иначе и быть не могло: *нельзя рассматривать те или иные качества и части автомобиля в отрыве от других, связанных с ними в действительности.*

Обычно на автомобилях повышенной проходимости устанавливают колеса того же размера, что и на серийных машинах соответственного веса, но шины делают несколько увеличенного профиля и с особым протектором (с так называемыми грунтозацепами). Таким образом, автомобиль становится более или менее пригодным для эксплуатации и на обычных дорогах, и на плохих. И только на специальных (арктических, пустынных и т. п.) вездеходах ставят особенно большие колеса. *Большое колесо, как правило, легче преодолевает препятствия плохой дороги, чем малое,* и, как уже сказано, обеспечивает большой дорожный просвет. Оно легче вкатывается на пороги и не застревает в ямках, легче выходит из колеи. Однако большое колесо утяжеляет и удорожает автомобиль в целом, колесо труднее сменить, труднее найти для большого запасного колеса место в автомобиле. Вместе с тем, как показывают новейшие исследования, решающим для повышения проходимости колеса, особенно на мягких грунтах и на скользкой дороге, является не

столько его наружный диаметр, сколько удельное давление шины на поверхность дороги, т. е. вес автомобиля, приходящийся на единицу площади отпечатка шины. Причем на песке, снеге, заболоченной местности малое удельное давление является основным условием проходимости колеса, в то время как, например, наличие даже очень удачных по форме грунто-зацепов может привести к полной остановке автомобиля.

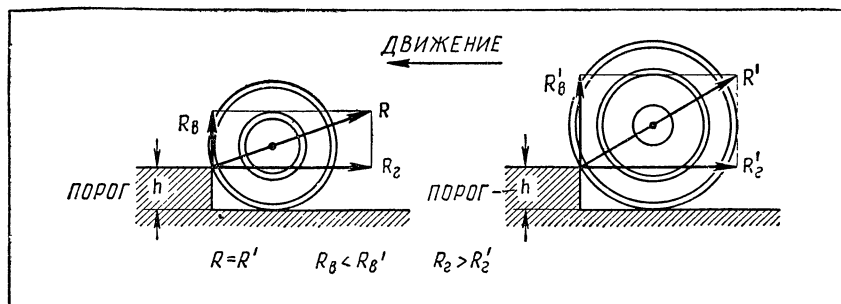
Рассмотрим, как ведет себя колесо при переезде автомобиля через различные препятствия и участки дорог (прохождение крутых подъемов рассмотрено выше, крутых спусков и косогоров, дорожных перекатов и впадин—в следующих разделах).

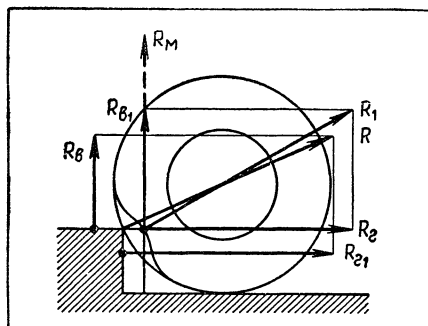
ЧЕРЕЗ ПОРОГИ

Почти все твердые неровности дороги можно представить в виде уступа или порога с высотой h . Допуская некоторые непринципиальные упрощения, можно установить, что при наезде колеса на порог масса автомобиля и колеса создает реакцию R , действующую от ребра порога по направлению точки закрепления (т. е. оси) колеса. Сила R раскладывается на вертикальную составляющую R_0 и горизонтальную R_2 . Чем выше порог по сравнению с радиусом колеса, тем больше составляющая R_2 и тем меньше R_0 . Сила R_2 оказывает сопротивление поступательному движению колеса, а сила R_0 — вращению колеса; одновременно сила R_0 вызывает подъем колеса.

Ясно, что при одинаковой величине реакции R колесо большого радиуса испытывает малое сопротивление движению, так как сила R_2 относительно невелика, а поднимающая колесо

Чем меньше колесо, тем больше горизонтальная сила и тем меньше вертикальная сила, действующие на колесо при наезде на препятствие.





Снижением давления в шине можно добиться приемлемых величин горизонтальной и вертикальной сил даже при малых размерах колеса.

сила R_2 уменьшается, а сила R_b возрастает. Соответствующим подбором радиуса колеса и внутреннего давления в шине можно добиться желательного соотношения сил R_2 и R_b .

Если колесо ведущее, к силе R_b добавляется реакция R_M , вызываемая крутящим моментом M_k . *Ведущее колесо легче взбирается на пороги, чем неведущее.* Поэтому (а также по причинам, о которых рассказано ниже) у автомобилей повышенной проходимости ведущими выполняют не только задние, но и передние колеса.

Но и ведущее колесо может преодолеть порог высотой примерно не более $2/3$ радиуса колеса, так как при большем пороге силы R_b и R_M в сумме не превосходят веса G_k , давящего на колесо. Неведущее колесо находится в еще более невыгодном положении.

Таким образом, для езды по сухим, твердым, но неровным дорогам недостаточно, чтобы автомобиль обладал большим дорожными просветами, углами свеса и короткой базой. Кроме того, желательно иметь все колеса ведущие, притом сравнительно большого диаметра, и шины с низким давлением. Однако нужно считаться с тем, что с увеличением числа ведущих колес и снижением давления в шинах сопротивление движению возрастает. Поэтому для получения удовлетворительных динамических качеств автомобиля со всеми ведущими колесами необходим сравнительно мощный двигатель и соответственный подбор передаточных чисел в системе силовой передачи (по крайней мере, для главной передачи).

Все сказанное о проходимости через пороги относится ко многим видам препятствий: каменным дорогам, уступам, поперечным препятствиям в виде бревен или рельсов, к выбоинам и буграм с гранеными краями.

на препятствие сила R'_b , наоборот, относительно велика. С уменьшением радиуса колеса происходит уменьшение силы R_b и увеличение силы R_2 . Однако нужно учитывать, что сила R пропорциональна массе колеса: чем меньше и легче колесо, тем меньше эта сила. Кроме того, соотношение сил R_2 и R_b может резко меняться в зависимости от внутреннего давления в шине. С уменьшением давления шина проминается, направление силы R приближается к вертикали (сила R_1),

ПО МЯГКОМУ ГРУНТУ

Есть много общего между колесами автомобиля, идущими по рыхлому, мягкому грунту, и лыжниками, скользящими по снегу. Человек без лыж проваливается в снег, а на лыжах — легко скользит по поверхности. У лыжника опорная поверхность примерно в 15 раз больше, чем у пешехода, а веса их отличаются незначительно; на единицу площади опоры у лыжника приходится в 15 раз меньшая нагрузка; оказывая меньшее давление на снег, лыжник не проваливается в сугробы, а лишь слегка проминает верхний слой снега. Чем пышней и мягче снег, тем глубже получается лыжня; чем длинней и шире лыжи, тем меньше давление на снег, тем легче идти. Особенно трудно идти тому лыжнику, который прокладывает лыжню по целине: ему придется тратить силы не только на движение вперед, но и на уплотнение снега. А следующим лыжникам идти уже гораздо легче: уплотненный слой снега имеет большую несущую способность, и лыжи скользят по его поверхности; также сравнительно легко идти по насту, т. е. по корке снега, уплотненной в результате таяния и последующего замерзания. Наконец всякий лыжник знает, что на широких лыжах нелегко идти по узкой лыжне: хотя средняя часть лыжи и находится на уплотненной поверхности снега, кромки лыжи сминают, срезают боковые части лыжни, на что требуется затрачивать дополнительные усилия.

Так и колесо автомобиля. *Чем больше площадь отпечатка шины, тем меньше удельное давление на грунт.* Колесо с большой площадью отпечатка не погружается, не «закапывается».

В рыхлом, вязком грунте колеса прокладывают глубокую колею, средняя часть протектора шины проминает грунт и выдавливает его в стороны, а боковины протектора срезают и уплотняют боковые стенки колеи. По наезженной, уплотненной колее ехать легче, чем прокладывать новую (если колея не слишком глубока и низшие точки автомобиля не задевают за грунт). Это особенно важно применительно к движению задних ведущих колес, для которых передние колеса производят ту же работу, что и головной лыжник для своей команды. Причем, если свободно катящееся колесо допустимо сравнивать со скользящей лыжей, ведущее колесо находится в иных условиях. Оно должно двигать автомобиль, отталкиваясь от дороги. Если грунт слишком рыхлый и неплотный, колесо не только погружается в грунт, но и само выкапывает себе яму выступами протектора, а если в точке контакта колеса с грунтом нет достаточного сцепления, если протектор гладкий или поверхность дороги скользкая — колесо скользит, буксует. Так же как и в случае движения на широких лыжах по узкой лыжне, на долю задних колес падает дополнительная работа,



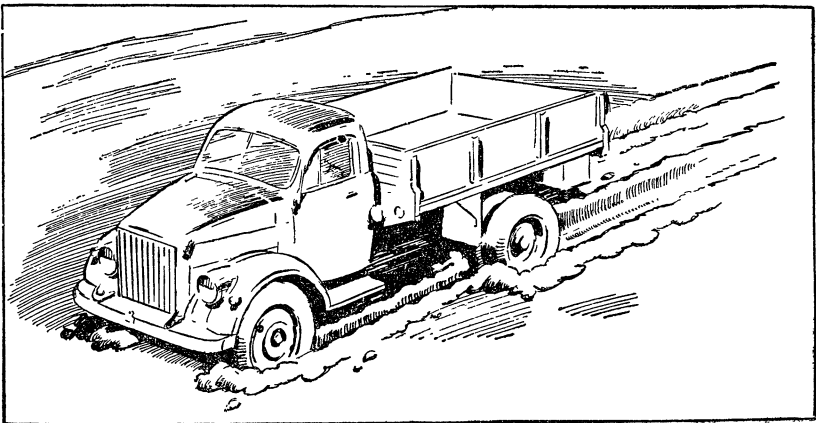
Вес лыжника распределяется на большую поверхность лыж. Лыжник скользит по поверхности снега, а пешеход погружается в снег.

если колеи передних и задних колес не совпадают или если на задних колесах установлены двойные скаты шин, в то время как на передних — одинарные.

Уже из этого простого примера можно сделать некоторые практические выводы.

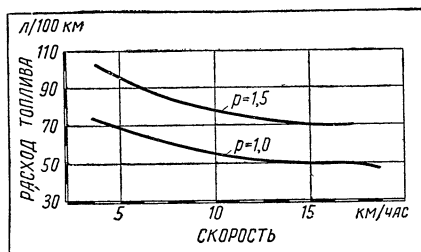
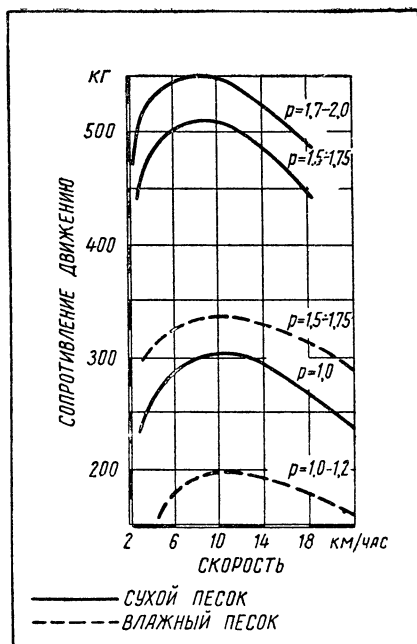
Главный из них относится к удельному давлению шин на грунт. Для движения по мягкому грунту удельное давление должно быть как можно меньшим. Это может быть достигнуто уменьшением веса автомобиля, увеличением размеров колес и снижением внутреннего давления в шинах. Наиболее реальная и эффективная — третья мера. Ведь уменьшить вес уже существующего автомобиля затруднительно, да и при конструировании новых автомобилей повышенной проходимости иной раз

Задние колеса с двойными скатами шин прокладывают в мягком грунте новую колею.



сознательно идут на увеличение веса в интересах создания прочной машины. О трудностях, связанных с увеличением размеров колес, уже сказано выше. Остается снижение давления в шинах. Шина низкого давления, хотя бы и не очень большого профиля, заметно сплющивается внизу, образует большой плоский «след» и не слишком погружается в грунт. Опытами, проведенными в МАМИ (Московский автомеханический институт), доказано, что глубина колеи уменьшается на сухом песке примерно пропорционально уменьшению давления в шинах, а на влажном песке еще больше. При этом резко уменьшается сопротивление движению (в случае снижения давления с 1,75 до 1 кг/см² — на 25—50%), колесо не буксует. Чем меньше сопротивление движению, а следовательно работа колеса, тем меньше становится и расход топлива. Таким образом при движении по мягкому грунту на сопротивление движению и на расход топлива оказывает положительное влияние то, что на твердой хорошей дороге оказывало отрицательное.

Бывают случаи, когда передние колеса автомобиля увязают в грунте, бывает и наоборот, что закапываются задние. Причины недостаточной проходимости колес передней и задней осей разные. В первом случае это происходит, как правило, из-за недостаточной уплотненности грунта или относительно большого удельного давления, во втором — из-за недостатка сцепления с грунтом. Поэтому очень важно для повышения проходимости иметь на автомобиле задние и передние ведущие колеса. Тогда можно передавать каждому из колес сравнительно неболь-



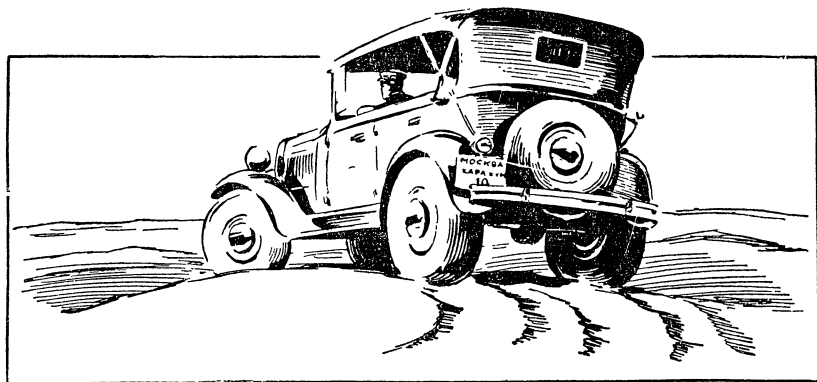
Сопротивление движению автомобиля на песке (вверху) и расход топлива (внизу) возрастают с повышением давления в шинах и с уменьшением скорости

шое тяговое усилие (при достаточном суммарном) и избегать буксования или «закапывания» колес, несмотря на низкий коэффициент сцепления.

Сухой песок, сухой снег не только не уплотняются шинами, имеющими крупные выступы (грунтозацепы), но, наоборот, разрыхляются этими выступами еще больше. Поэтому, например, так называемые сверхбаллоны, применявшиеся в 1933 г. в знаменитом Кара-Кумском пробеге для преодоления песков пустыни, имели почти гладкий протектор. На глинистой же или черноземной влажной дороге грунтозацепы хорошо уплотняют грунт, обеспечивают уверенное движение машины. Особый характер приобретает качение колеса по грунту с тонким верхним неплотным слоем, но с достаточно твердым основанием (после кратковременного сильного дождя, на прибрежном песке и т. п.). В этом случае выгодно большое удельное давление, соответственно высокое внутреннее давление в шинах, чтобы колеса как бы прорезали верхний слой и отталкивались от плотного нижнего. В этих условиях хорошо работал, например, автомобиль «Москвич-400» первых выпусков с его узкими, жесткими шинами:

Казалось бы, чем больше колес, тем меньше удельное давление, тем лучше проходимость автомобиля. И действительно, трехосные автомобили обладают лучшей проходимостью, чем двухосные. Но почему же двухосные автомобили повышенной проходимости выполняют с односкатными задними колесами? Почему в новых моделях трехосных автомобилей на средней и задней осях также применяют односкатные колеса? Правда, эти колеса несколько большего размера, чем прежние, двухскатные; они имеют большую грузоподъемность, больший «след», соответственно меньшее удельное давление. Но главное не в этом,

Автомобили на сверхбаллонах успешно преодолели пустыню Кара-Кум вследствие малого удельного давления шин на поверхность дороги.



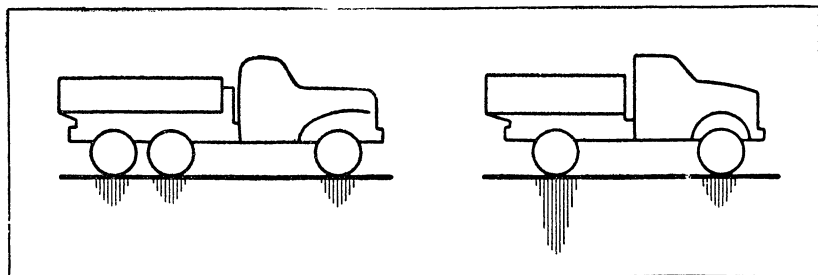
а в совпадении колеи передних и задних колес у таких автомобилей (конечно, при движении по прямой или с большими радиусами закруглений): задним колесам не нужно прокладывать дополнительную колею, и они идут по грунту, уже указанному передними колесами.

Шины с грунтозацепами, хотя и не вполне целесообразны на очень рыхлых грунтах, обладают особым преимуществом: на относительно твердой дороге, особенно со скользкой поверхностью, они касаются дороги только наружными гранями выступов, поэтому удельное давление достаточно велико; на мягком же грунте, при их погружении, все большая площадь поверхности шины входит в контакт с дорогой и удельное давление уменьшается.

Так как передние колеса, практически, всегда идут по более рыхлому грунту, чем задние, и «утаптывают» его, желательно, чтобы на них приходилась меньшая нагрузка, чем на задние. Но, как известно, у современных легковых автомобилей общего назначения на передние колеса приходится половина, а то и большая часть полного веса машины, у грузовых — около трети. При движении такого автомобиля по грунту целесообразно размещать пассажиров в заднем отделении кузова, а груз — по возможности в задней половине платформы, чтобы несколько разгрузить передние колеса и догрузить задние. Если же на автомобиле все колеса ведущие, то более выгодно иметь равномерное распределение веса автомобиля по осям.

По мягкому грунту лучше ехать со сравнительно большой скоростью, если только поверхность грунта не очень неровная. Это утверждение может показаться странным, так как принято считать, что с возрастанием скорости возрастает и сопротивление движению. Но опыт показывает, что сопротивление движению автомобиля по мягкому грунту возрастает только до скорости 8—10 км/час, а затем начинает падать. Дело в том, что на каждом отрезке пути колеса уплотняют, выдавливают, срезают и сдви-

У трехосного автомобиля нагрузка распределена по осям более равномерно, чем у двухосного.



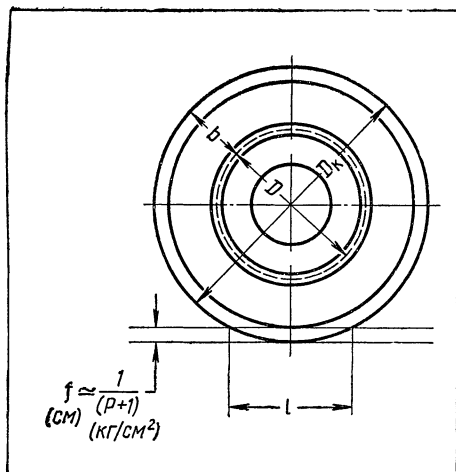


Схема для подсчета площади отпечатка шины

гают грунт, т. е. деформируют его. Этот процесс происходит не мгновенно, так как для деформации грунта необходимо некоторое время. Поэтому, если автомобиль идет быстро, его колеса не успевают за короткий отрезок времени деформировать преодолеваемый участок грунта, колея получается не слишком глубокой, а сопротивление движению — небольшим. Вот почему, когда дорога известна или обследована перед ее прохождением, приближаясь к участку мягкого грунта, опытные водители разго-

няют автомобиль, а на самом участке идут с большой скоростью. При таком методе преодоления мягких грунтовых дорог расход топлива относительно невелик.

Для подсчета удельного давления шин на поверхность дороги нужно сделать отпечаток шины, подсчитать его площадь S и разделить вес G_k , приходящийся на колесо, на эту площадь. Но не всегда имеется возможность получить точный отпечаток, и, кроме того, отпечаток этот изменяется в зависимости от давления в шине и от погружения колеса в грунт. Поэтому для подсчета удельного давления часто пользуются условными формулами. Первая, простейшая из них

$$p_{усл} = \frac{G_k}{D_k b}, \quad (68)$$

где G_k — нагрузка на колесо в кг;
 D_k — наружный диаметр колеса в дюймах;
 b — ширина профиля шины в дюймах.

Удельное давление можно подсчитать по несколько более точной формуле, в которой в какой-то степени учитывается действительная длина отпечатка и внутреннее давление в шине

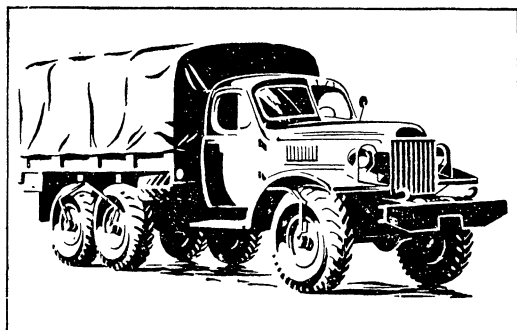
$$p_{усл} = \frac{0.115 G_k (p + 1)}{b \sqrt{2 D_k (p + 1) - 1}}, \quad (69)$$

где p — внутреннее давление в шине в кг/см². Из табл. 12 видно, какие значения условного удельного давления типичны для различных автомобилей.

Таблица 12

Показатели проходимости автомобилей с полной нагрузкой

Показатели	Легковые автомобили			Грузовые автомобили		Автомобили типа 4x4	
	«Моск-вич-401»	«Моск-вич-402»	М-20 «Победа»	ГАЗ-51	ЗИЛ-164	ГАЗ-69	ГАЗ-63
	База в мм	2340	2370	2700	3300	4000	2300
Наибольшая нагрузка на колесо в кг	305	300	482	940	1504	617	1685
Внутреннее давление в шинах в кг/см ²	2.0	1.7	2.2	3.50	4.25	2.2	4.0
Условное удельное давление	1.7	1.43	2.24	3.72	5.1	2.58	5.0
Разность колеи передних и задних колес в мм	65	0	0	Двойные задние скаты			
Просвет в мм:							
под передним мостом	190	210	210	305	325	210	270
под задним мостом	203	198	200	245	265	210	270
под кузовом	214	216	220	400	400	350	470
Радиус проходимости в мм:							
продольный	3.2	3.4	3.5	2.7	3.9	2.0	2.7
поперечный	0.88	1.0	1.25	0.96	1.0	1.05	0.98
Угол свеса в град.:							
передний	35	36	27	40	40	45	48
задний	23	23	19	32	24	35	32
Радиус поворота по переднему наружному колесу в м	6.0	6.0	6.3	7.6	8.0	6.0	8.0
Наибольшая тяговая сила на нижней передаче в кг	280	385	530	1490	2690	1470	3340
Отношение тяговой силы к полному весу	0.24	0.32	0.29	0.28	0.33	0.68	0.63
Сцепной вес в кг	610	600	965	3750	6020	2175	5350
Отношение сцепного веса к полному в %	53	51	52	70	74	100	100



В современных автомобилях повышенной проходимости имеется система для изменения давления в шинах на ходу. Трубки системы (опытный автомобиль ЗИЛ-157) видны на этом рисунке.

Рассматривая движение колеса по различным грунтам, можно сделать вывод, что для уверенного движения автомобиля желательно изменять давление в шинах. А для некоторых автомобилей, например для амфибий (плавающих автомобилей), необходимо переменить давление в шинах: при входе в водоем и при выходе из него колеса пре-

одолевают очень мягкий грунт, но должны иметь возможность двигаться и по твердой дороге.

До какого предела допустимо снижать давление в шинах обычного автомобиля, если предстоит продолжительная поездка по плохим дорогам? Напомним, что пониженное давление в шине приводит к быстрому ее износу. Будем считать, что скорость движения на данной трассе не будет превышать 50 км/час для легкового автомобиля и 30 км/час для грузового. Если расширить границы номограммы (ее правой части), приведенной на стр. 40, можно увидеть, что в рассматриваемых условиях без ущерба для грузоподъемности шины можно снизить давление в ней против нормального примерно на 40%. Именно этот принцип оправдывает применение на некоторых автомобилях высокой проходимости устройств для регулирования давления в шинах в больших пределах во время движения автомобиля. Так, на автомобиле ЗИЛ-157 можно снижать давление до $2,5 \text{ кг/см}^2$ (вместо нормального $3,5 \text{ кг/см}^2$). Не исключено, что подобные устройства найдут применение в будущем на всех автомобилях.

В ЛЕСУ

Проселочная дорога углубляется в лес. Опытные водители почти всегда с некоторой тревогой покидают полевой участок дороги — пусть пыльный и ухабистый, но сухой. В тени деревьев, в низинках грунтовая дорога долго после распутицы или периода дождей сохраняет глубокие лужи и колеи, заполненные водой и жидкой грязью. И бывает так: все идет хорошо, машина мягко переваливает еще через один бугор, но за ним

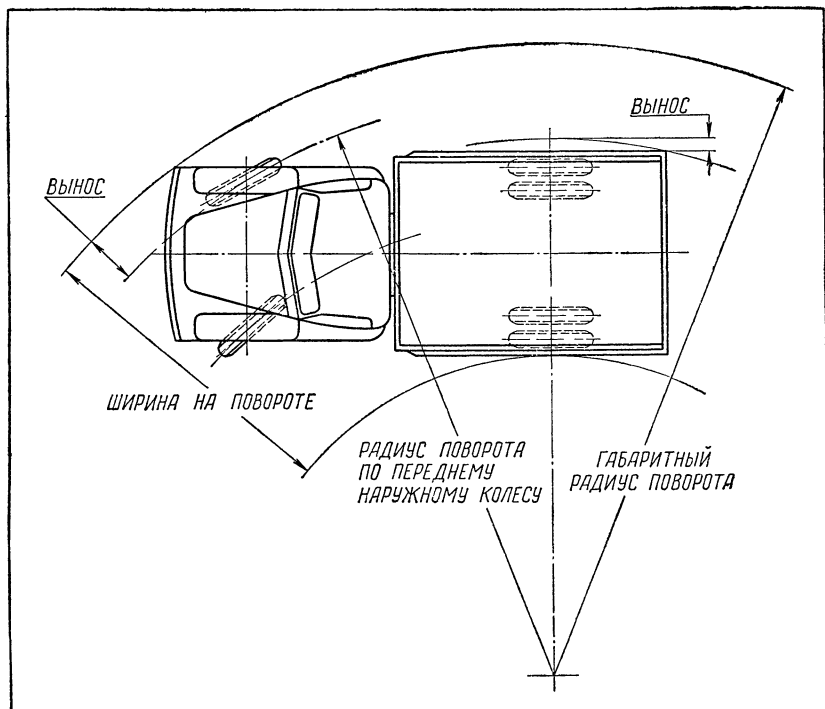
болотце, в котором пропадают колеи проселка. В таком месте автомобиль может застрять.

Но ехать нужно, и водитель должен выбрать способ движения. *Всегда полезно выйти из машины и изучить дорогу:* глубину колеи, мягкость грязи, наличие твердого грунта под колесей. Если дорога без ухабов, то можно попробовать преодолеть болотце с разгона, на большой скорости. Можно, наоборот, проехать грязный участок при движении с малой скоростью и с малой подачей топлива.

Движение по болоту возможно, если колеса не буксуют и не закапываются в грунт. Когда водитель преодолевает болото с разгона, автомобиль движется вперед в основном не за счет тяговой силы, а по инерции; поэтому ведущие колеса не успевают закопаться, и буксование их неопасно. Но силы инерции хватает ненадолго, и дальше надо будет ехать медленно при очень малой тяговой силе. Дело в том, что сцепление частиц болотистого грунта очень невелико, они легко отделяются друг от друга. Стоит передать через колеса повышенный крутящий момент, как тяговая сила вызовет сдвиг и срез грунта, колесо начнет буксовать, в результате чего закопается. Иногда полезно «раскачать» автомобиль переменным движением вперед и назад. При этом грунт постепенно уплотняется, и автомобиль, хотя и медленно, но продвигается вперед. Однако нельзя допускать резких движений педалями, так как это может вызвать буксование. Лучше объехать болотце стороной; но при этом следует соблюдать осторожность: под травой и листьями тоже может быть болото.

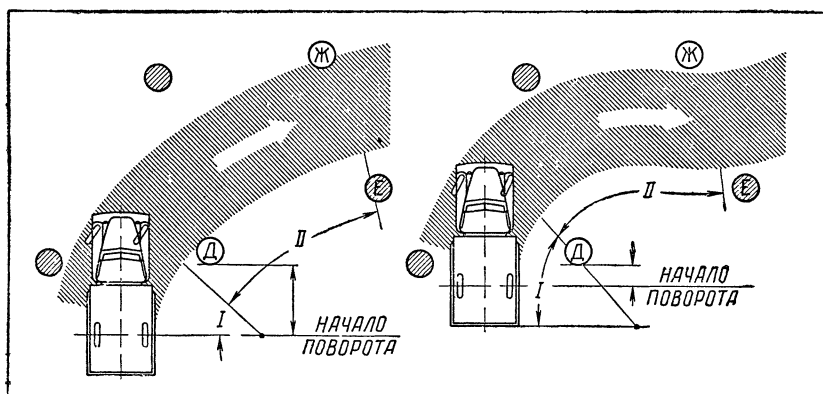
Если лес не слишком частый, и автомобиль обладает хорошей маневренностью, можно объехать заболоченный участок, петляя между деревьями. Маневренность автомобиля полезна и при езде по плохим дорогам: иногда можно обойти препятствие с фланга вместо того, чтобы брать его «в лоб». Кроме того, автомобиль с хорошей маневренностью легче установить в гараже или на местах стоянки.

Маневренность автомобиля оценивается в первую очередь по величине радиуса поворота, а также по ширине занимаемого автомобилем пространства и по величине так называемых выносов передней и задней частей автомобиля при прохождении поворота. Если правильно использовать особенности движения автомобиля на повороте, можно преодолеть на первый взгляд непроходимый участок, и наоборот. Так, сделав слишком крутой и преждевременный поворот на участке *I*, водитель рискует задеть правым задним крылом дерево *D*, хотя оно и стоит в стороне от трассы; на участке *II*, наоборот, опасаясь задеть тем же правым задним крылом дерево *E*, водитель делает недостаточно крутой поворот, и на его пути оказывается дерево *Ж*.

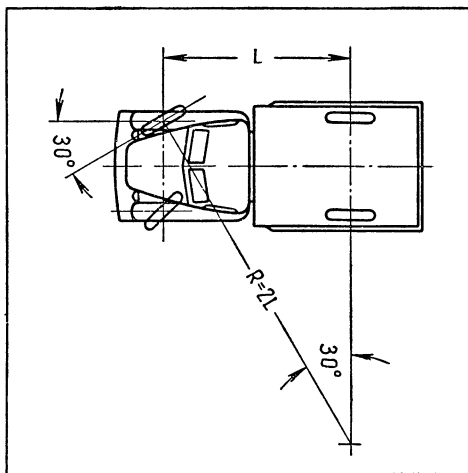


Радиусы поворота и вынос автомобиля.

Правильно используя особенности поворота автомобиля, можно благополучно проехать в очень тесном пространстве (справа). Слева показан пример неудачного маневрирования.



Общие правила при маневрировании в тесном пространстве таковы: перед любым поворотом следует подвести возможно ближе к границе трассы левую сторону автомобиля, если предстоит поворот вправо (и наоборот) и вести автомобиль по прямому (хотя бы и очень короткому) отрезку пути до положения, когда задняя часть кузова выравнивается с препятствием; затем нужно как можно круче поворачивать, следя за передним наружным (по отношению к центру поворота) углом кузова (крылом) и оглядываясь время от времени на задний внутренний угол; как только переднее наружное колесо прошло препятствие, нужно выровнять автомобиль и снова вести его по прямому участку до описанного выше положения.



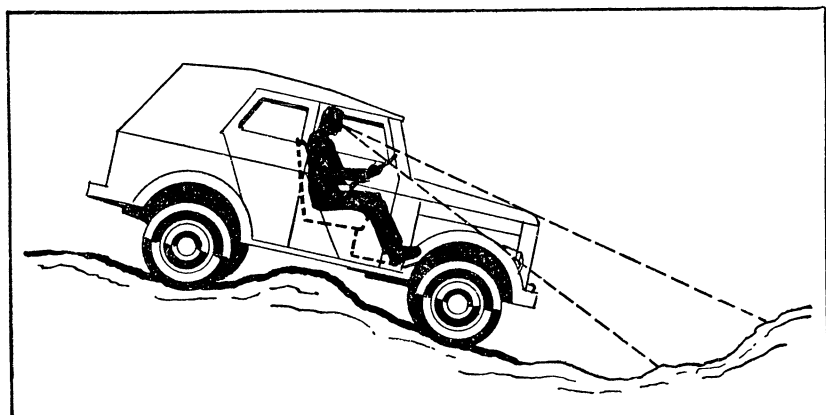
Радиус поворота по переднему наружному колесу равен примерно удвоенной величине базы

Каждое колесо автомобиля идет на повороте по своему пути, имеющему определенный радиус поворота. *Наиболее важным для оценки маневренности принято считать радиус поворота переднего наружного колеса.* Учитывая, что наибольший угол поворота колеса равен у большинства автомобилей примерно 30° , можно считать наименьший радиус поворота автомобиля приблизительно равным двум длинам базы (см. табл. 12).

СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ. ВИДИМОСТЬ ПУТИ

Выше было подчеркнуто, что одним из назначений автомобиля является быстрая перевозка пассажиров и грузов. Если при движении по хорошей дороге это означает движение с возможно большей скоростью (в пределах допустимой требованиями безопасности), на плохих дорогах дело обстоит иначе.

На плохой дороге скорость движения должна быть существенно снижена. Только при сравнительно небольшой скорости можно достаточно внимательно рассмотреть сомнительные места дороги и точно направить колеса автомобиля по надежной трассе; вовремя переключить передачу и затормозить; предотвратить резкие броски машины, которые не только неприятны

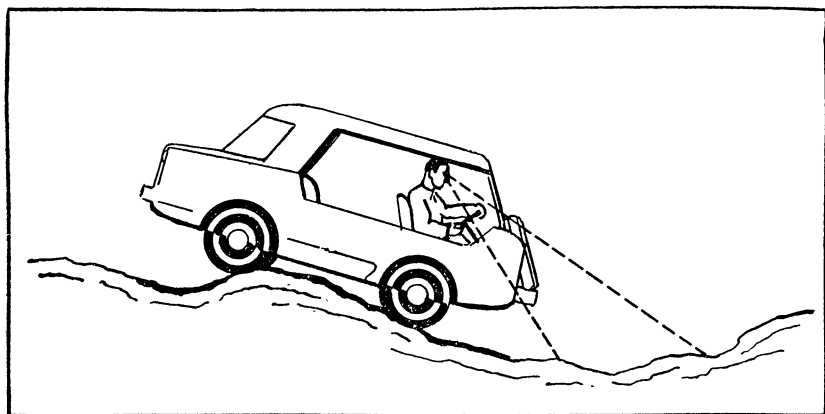


Высоко расположенное сиденье водителя и уменьшенные объемы капота и крыльев обеспечивают хорошую видимость пути.

пассажирам и приносят вред грузу, но могут и привести к поломке рессор, осей, повреждениям ободов; избежать застревания колес и т. д. В конечном счете замедленное и равномерное движение по плохой дороге, как правило, дает наилучший результат: заданный трудный участок пути автомобиль проходит без повреждений и в короткий отрезок времени. Но это, как уже говорилось, не относится к движению по сравнительно ровной дороге с мягким грунтом: по такой дороге нужно ехать как можно быстрее.

Когда автомобиль идет со скоростью свыше 30—40 км/час по хорошей (или среднего качества) дороге, водителю не нужно

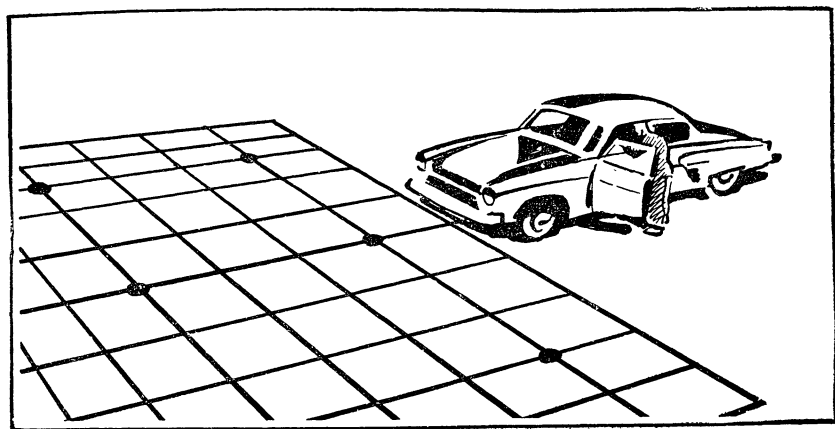
Расположение сиденья водителя в самой передней части автомобиля дает особенно хорошую обзорность.

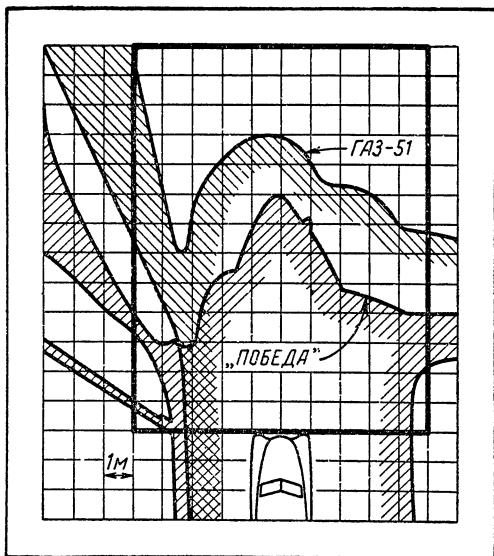


видеть дорогу перед самым автомобилем: скорость превышает 10 м/сек, и, если водитель заметит какое-нибудь препятствие не заблаговременно, а в последний момент, все равно уже трудно успеть принять необходимые меры. В этих условиях нужно видеть дорогу примерно в 10—20 м впереди автомобиля (в зависимости от скорости движения). Такая видимость дороги обеспечена, практически, на всяком автомобиле. При езде же по плохой дороге положение меняется: машина идет сравнительно медленно, препятствия одно за другим приближаются к передним колесам, и очень важно, чтобы они были в поле зрения водителя тогда, когда еще можно направить колеса по наиболее выгодной трассе, т. е. требуется очень хорошая обзорность. Поэтому на автомобилях повышенной проходимости стремятся, в пределах допустимого, установить сиденье водителя как можно выше, а объемы капота и передних крыльев сделать возможно меньшими. В данном случае непригодны массивные формы передней части современных легковых машин. Наилучшая видимость пути достигается при выносе сиденья водителя вперед, как это сделано, например, на автомобиле «Белка». Если приходится преодолевать плохую дорогу на обычном автомобиле, можно улучшить видимость пути, положив на сиденье дополнительную подушку.

Видимость пути или обзорность, обеспечиваемая на данном автомобиле, может быть оценена простым опытом. Ровная площадка размером 10 × 10 м расчерчивается на клетки со стороной 1 м; автомобиль устанавливают у середины края одной из сторон площадки. Сидящий за рулем в рабочем положении водитель среднего роста указывает другому участнику опыта крайние точки линий сетки, которые не загорожены

Съемка панорамы обзорности.

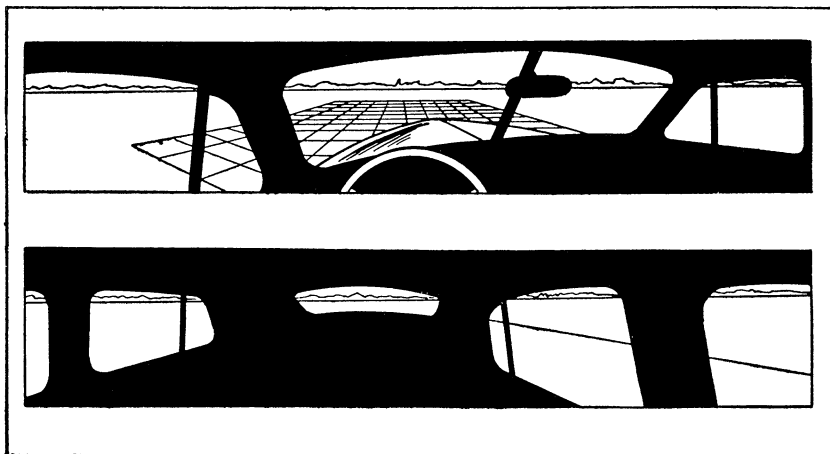




Проекция панорамы обзорности.

клеток всей площадки (4420), получаем показатель (или коэффициент) обзорности. В табл. 13 приведены значения этого показателя и соответствующая им оценка обзорности автомобиля. Там же даны другие употребительные характеристики обзорности: длина и ширина слепой зоны.

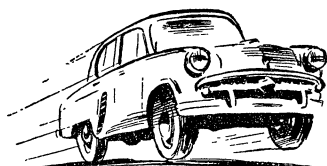
Так выглядит панорама обзорности (вверху — передняя, внизу — задняя).



Оценка обзорности автомобиля

Оценка	Показатель обзорности в ‰	Левая граница слепой зоны в м	Длина слепой зоны в м
Неудовлетворительно	Менее 0,4	Более 3,0	Более 10,5
Удовлетворительно	0,4—0,55	3,0—2,5	7,5—10,4
Хорошо	0,56—0,7	2,4—1,8	4,5—7,4
Отлично	Более 0,7	Менее 1,8	Менее 4,5

Из всего сказанного видно, что проходимость автомобиля зависит и от конструкции автомобиля, и от дорожных условий. Конструкторы могут создавать лучшие автомобили, а водители — применять ряд практических мер, улучшающих проходимость в данных условиях, только зная законы проходимости автомобиля.



Вопреки воле водителя

СОВРЕМЕННЫЙ АВТОМОБИЛЬ УСТОЙЧИВ, НО...

Автомобиль должен уверенно, устойчиво двигаться по направлению, заданному водителем.

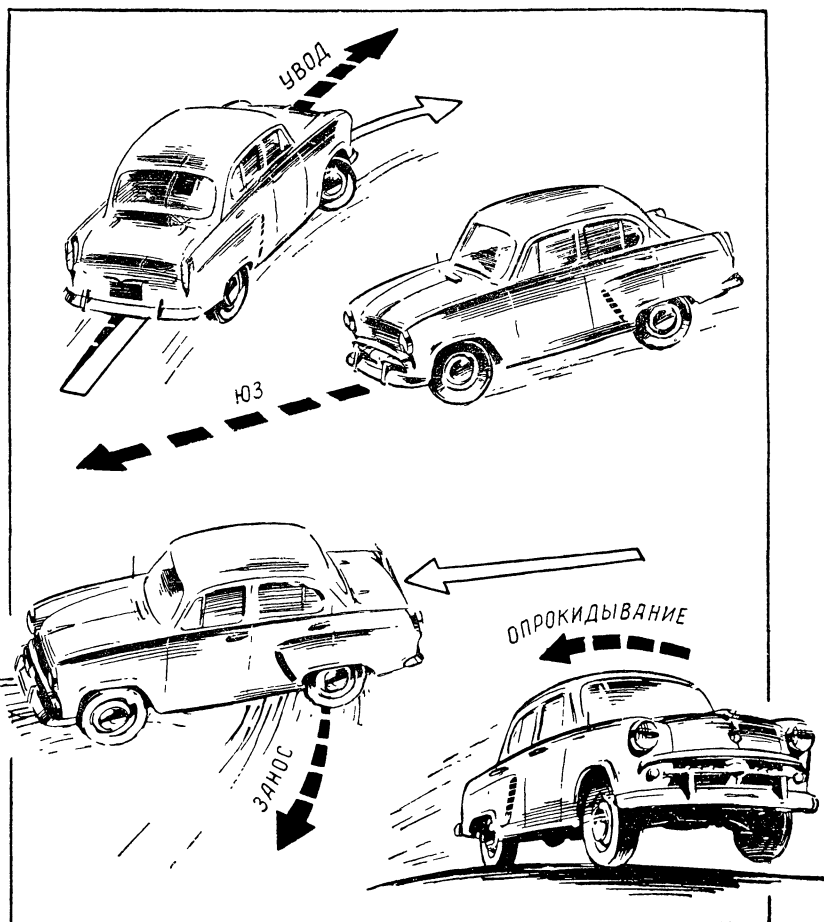
Для этого есть, как будто, все необходимое: мощный двигатель, сила которого, переданная на колеса, заставляет колеса отталкиваться от дороги и катить автомобиль вперед; достаточный (подчас даже чрезмерный) вес автомобиля, прижимающий колеса к дороге; эластичные шины, которые цепко держатся даже за гладкую поверхность накатанного до блеска асфальта; мягкая рессорная подвеска, не допускающая подсакивания колес на неровностях; низко расположенный центр тяжести автомобиля; сильные, плавно и равномерно действующие тормоза; рулевое управление, которое послушно передает на колеса движения рук водителя. Для того чтобы сдвинуть вбок или опрокинуть стоящий на дороге автомобиль, потребуются усилия многих людей. Не легче сдвинуть или опрокинуть автомобиль, когда он идет по дороге.

Несмотря на все это, приходится говорить об устойчивости автомобиля.

Существуют силы, способные вывести автомобиль из подчинения водителю, а именно:

- а) повести автомобиль по направлению, отличному от заданного водителем (увод автомобиля);
- б) сдвинуть автомобиль вперед при заторможенных колесах (юз) или вбок во время качения колес;
- в) повернуть автомобиль вокруг вертикальной оси, заставив при этом колеса скользить вбок (занос автомобиля);
- г) опрокинуть автомобиль (в редких случаях).

Устойчивость автомобиля — это его способность противостоять силам, стремящимся повернуть, сдвинуть



На автомобиль действуют силы, которые в некоторых условиях движения могут увести его от заданного направления, сдвинуть и даже опрокинуть.

нуть, занести или опрокинуть его вопреки воле водителя. Иногда противодействие силам первого вида выделяют, называя это способностью автомобиля точно следовать заданному направлению — управляемостью автомобиля. Однако явления управляемости и устойчивости тесно переплетаются, и их следует изучать совместно.

Обычно понятие «устойчивость автомобиля» связывают с его движением на повороте, на скользкой дороге или на наклонной поверхности и, по существу, принимают во внимание только высоту центра тяжести автомобиля, сцепление колес с дорогой и действие центробежной силы. Причем, говоря об устойчи-

ности, подразумевают аварийное положение, т. е. угрозу выхода автомобиля за пределы дороги, опрокидывания, столкновения с другими машинами и т. д.

Все это, действительно, очень важно, и угроза аварии не исключена. Но к устойчивости автомобиля имеют не меньшее отношение многие другие обстоятельства, например, эластичность шин, распределение веса по колесам, форма кузова. Самое главное состоит в том, что хорошая или плохая *устойчивость автомобиля сказывается не только при аварийных обстоятельствах, но и повседневно при нормальной работе автомобиля в обычных условиях.*

Если при езде по прямой сухой дороге со скоростью хотя бы 50—70 км/час попробовать вести автомобиль строго прямо, параллельно осевой линии дороги, то можно убедиться, что автомобиль подчиняется как бы неохотно и все время стремится отойти от намеченного курса слегка влево и вправо. Если на дороге, где нет осевой линии, наблюдать за автомобилем, идущим впереди, то можно увидеть, что какие-то силы плавно «водят» этот автомобиль влево — вправо. Чтобы держать машину «по курсу», приходится напрягать внимание, двигать рулевое колесо. Эта работа утомляет водителя, в конечном счете снижает скорость движения, вызывает дополнительный расход топлива.

Устойчивость автомобиля при движении по сухой, ровной, горизонтальной, прямой дороге имеет не меньшее значение, чем при движении на поворотах, на скользкой дороге или на значительном уклоне. В обычных, спокойных, неаварийных условиях движения самое важное среди явлений устойчивости и управляемости — увод автомобиля, а затем скольжение, занос, опрокидывание автомобиля.

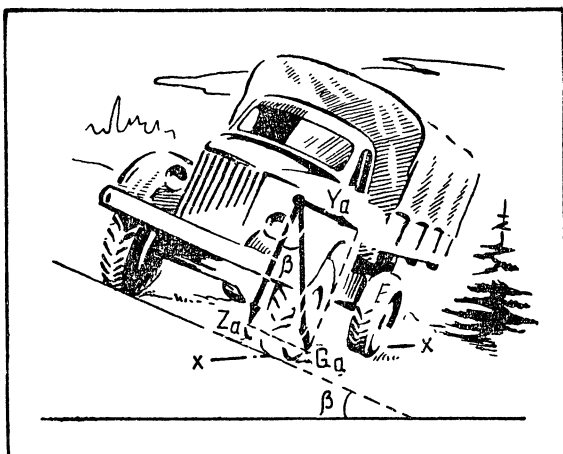
Так как увод связан с действием боковых сил, целесообразно сначала изучить эти силы, а также попутно, некоторые другие явления, вызываемые действием этих сил.

ВТОРОЙ ФРОНТ СИЛ

В первых двух разделах были рассмотрены действующие на автомобиль и его колеса внешние силы, направленные параллельно продольной оси автомобиля или лежащие в плоскости вращения колес, т. е. продольные силы. Эти силы способствуют или противодействуют поступательному движению автомобиля и вращению его колес.

Можно было бы ограничиться рассмотрением только этих сил, если считать, что автомобиль передвигается по совершенно прямой дороге, не имеющей поперечного уклона, в безветренную погоду или при строго попутном, или встречном ветре. Эти «идеальные» условия, как известно, не совпадают с действительными

условиями работы автомобиля. Дорога почти всегда имеет поперечный уклон для стока воды, а прямые участки дороги сравнительно коротки и связаны между собой закругленными, нередко с заметным поперечным наклоном к центру окружности; ветер не всегда дует попутно или навстречу. Тем более, что направление



Силы, действующие на автомобиль на косогоре, нарушают устойчивость

дороги часто изменяется. Поэтому даже при движении по хорошей дороге на автомобиль, кроме встречных и попутных сил, а на его колесо — кроме окружных (тангенциальных) и радиальных сил, всегда действуют боковые силы.

Таким образом, движению автомобиля всегда противостоят два фронта сил: продольные силы и боковые силы.

Первый вид боковых сил возникает вследствие наклона дороги. При безветрии на сухой горизонтальной прямой дороге, но с небольшим поперечным уклоном, единственной боковой силой является сила Y_a , возникающая в результате разложения направленной вертикально силы тяжести (веса) автомобиля G_a на составляющие. Одна из составляющих — Y_a направлена параллельно, другая — Z_a — перпендикулярно поверхности дороги. Эти силы приложены к центру тяжести автомобиля. Обозначим угол между горизонтальной плоскостью и плоскостью дороги греческой буквой β („бета“). Тогда

$$Y_a = G_a \sin \beta \text{ и } Z_a = G_a \cos \beta. \quad (70)$$

Если допустить, что автомобиль может опрокинуться, то это произойдет вокруг линии xx , соединяющей точки касания переднего левого и заднего левого колес с дорогой. В таком случае сила Y_a приложена на расстоянии h_g (высота центра тяжести) от линии xx , а сила Z_a — на расстоянии, равном половине колесной колеи, т. е. $\frac{B}{2}$.

Боковая сила Y_a создает опрокидывающий момент $Y_a h_g$, а сила Z_a — момент $Z_a \frac{B}{2}$, прижимающий автомобиль к дороге.

Опрокидывание может произойти, если линия действия силы G_a выйдет за пределы опорной площади, т. е., если

$$Y_a h_g > Z_a \frac{B}{2}. \quad (71)$$

Подставляя в неравенство (71) значения Y_a и Z_a из уравнений (70), получаем

$$G_a \sin \beta h_g > G_a \cos \beta \frac{B}{2}. \quad (72)$$

Отсюда следует, что опрокидывание автомобиля возможно только тогда, когда

$$\frac{\sin \beta}{\cos \beta} = \operatorname{tg} \beta > \frac{B}{2h_g}. \quad (73)$$

Напомним, что $\operatorname{tg} \beta$ — боковой уклон дороги, выраженный в процентах.

У легковых автомобилей высота h_g примерно равна $\frac{B}{2}$, у грузовых (с нагрузкой) h_g примерно в 1,5 раза больше $\frac{B}{2}$; у некоторых автомобилей повышенной проходимости высота h_g достигает величины B . С учетом этих значений h_g можно считать, что условие опрокидывания под влиянием бокового уклона для различных автомобилей имеет вид:

легковые автомобили	$Y_a > Z_a;$
грузовые автомобили	$1,5 Y_a > Z_a;$
некоторые автомобили повышенной проходимости	$2Y_a > Z_a.$

Поперечный уклон автомобильных дорог обычно не превышает 3%, т. е. $\operatorname{tg} \beta = 0,03$; $\sin \beta = 0,03$; $\cos \beta = 0,99$.

Нетрудно убедиться, что на обычной дороге ни один автомобиль не опрокинется, так как даже в самом худшем случае, например, когда $h_g = B$, левая часть неравенства (73) будет в 16 раз меньше правой (0,03 и 0,5).

Чтобы не было бокового скольжения, сила Y_a не должна превышать силы сцепления с грунтом. Напомним, что коэффициент сцепления шины с сухой дорогой равен для современных шин около 0,8, с обледенелой дорогой — около 0,2; обозначается он греческой буквой φ («фи»).

Таким образом условие скольжения можно записать так

$$Y_a > Z_a \varphi, \quad (74)$$

т. е.

$$\operatorname{tg} \beta > \varphi.$$

В действительных условиях левая часть неравенства (74) в 5—10 раз меньше правой, поэтому скольжения не происходит.

Сила Y_a значительно возрастает, а сила Z_a — уменьшается с увеличением угла β . Уже на твердом сухом косягоре с уклоном в 27° автомобиль, имеющий высоко расположенный центр тяжести ($h_g = B$), может опрокинуться под действием собственного веса, а на обледенелой дороге с уклоном в 12° любой автомобиль будет скользить вбок. Известны случаи бокового опрокидывания автомобилей ГАЗ-63, когда на эти автомобили устанавливали сравнительно высокие кузова передвижных ремонтных мастерских и т. п. По этой же причине следует рекомендовать водителям проявлять особую осторожность при езде по неровной дороге с высокими грузами (например, станками, железнодорожными контейнерами).

Надо заметить, что влияние поперечного наклона дороги на устойчивость автомобиля при движении с малой скоростью обычно невелико, но с увеличением скорости в совокупности с силами, возникающими вследствие наклона дороги, начинают действовать другие силы, о которых будет рассказано ниже. Пока мы рассматриваем каждую силу и каждое явление в отдельности, а далее рассмотрим их во взаимодействии.

Второй вид боковых сил — воздушные (или аэродинамические) силы. Эти силы могут оказать не меньшее, а иногда и большее влияние на устойчивость автомобиля, чем боковой наклон дороги. Сильный ветер (скорость ветра до 10—11 м/сек), дующий под прямым углом к направлению движения, давит на боковую поверхность легкового автомобиля с силой около 75 кг, а грузового — 120—200 кг. Коэффициент бокового сопротивления автомобиля, обозначаемый K_6 , значительно больше коэффициента лобового сопротивления, но изменяется в широких пределах в зависимости от угла между направлением ветра и направлением движения. Боковую воздушную силу Y_6 подсчитывают по уравнению

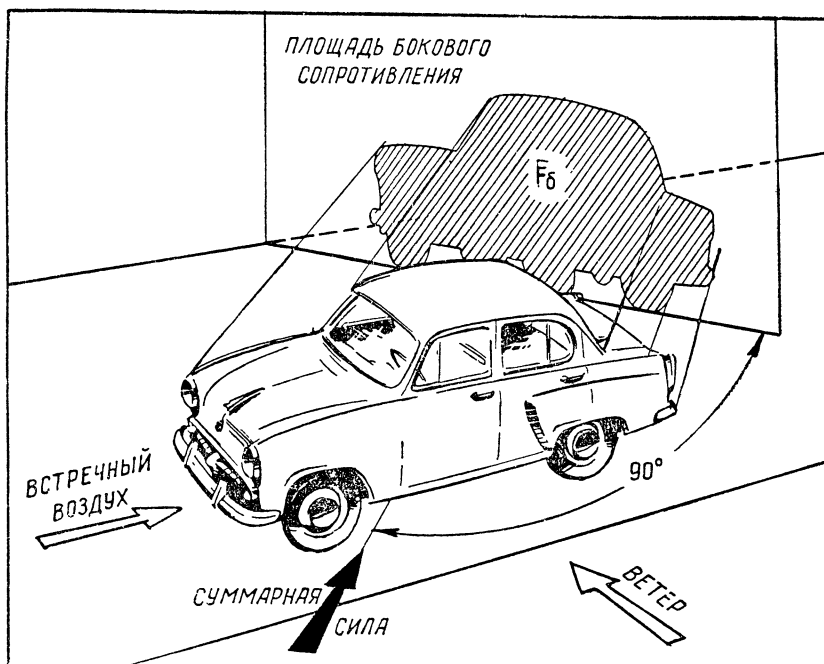
$$Y_6 = K_6 v^2 F_6, \quad (75)$$

где K_6 — коэффициент бокового сопротивления;

v — скорость воздушного потока в м/сек;

F_6 — площадь сечения, перпендикулярного к направлению потока, в m^2 .

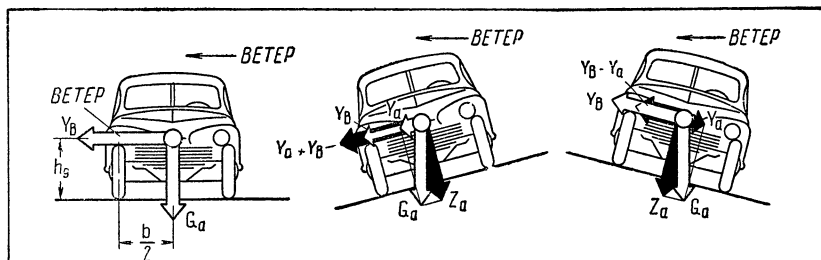
Для правильной оценки боковой воздушной силы необходимы некоторые уточнения. Направление воздушного потока не совпадает с направлением ветра при движении автомобиля; поток встречного воздуха и ветер являются составляющими суммарного воздушного потока (см. стр. 7). Суммарная воздушная сила почти никогда не действует под прямым углом к направлению движения автомобиля. Далее нужно учитывать, что площадь бокового сопротивления представляет собой проек-



Сопротивление воздуху оказывает площадь, перпендикулярную результирующей воздушной силе.

цию формы автомобиля на плоскость, перпендикулярную к направлению суммарной воздушной силы, и изменяется в зависимости от этого направления; одновременно изменяется и величина коэффициента сопротивления воздуха K . Но нетрудно убедиться, что нужно разложить суммарную силу на составляющие, как и в случае действия силы тяжести; тогда получим боковую силу, которую можно с достаточной точностью оценивать по уравнению (75).

В зависимости от уклона дороги боковая воздушная сила оказывает на автомобиль различное действие.



Точка приложения боковых воздушных сил у большинства автомобилей находится примерно на той же высоте, что и центр тяжести, поэтому можно считать силу Y_g приложенной к центру тяжести автомобиля. Эта сила создает опрокидывающий момент $Y_g h_g$, так как воздушный поток проходит в плоскости, параллельной плоскости дороги. При горизонтальной дороге условие начала опрокидывания имеет вид

$$Y_g h_g > G_a \frac{B}{2}, \quad (76)$$

а условие скольжения

$$Y_g > G_a \varphi. \quad (77)$$

При наклоне дороги сила Y_g складывается с силой Y_a , вызванной поперечным наклоном дороги, и условие опрокидывания можно записать так:

$$(Y_a + Y_g) h_g > Z_a \frac{B}{2}; \quad (78)$$

условие скольжения

$$Y_a + Y_g > Z_a \varphi, \quad (79)$$

причем при противоположном направлении сил Y_a и Y_g , т. е. при наклоне дороги в сторону, откуда дует ветер, меньшую из них берут со знаком минус. На горизонтальной дороге и, тем более при уклоне навстречу направлению ветра, сильный боковой ветер¹ не может ни опрокинуть автомобиль, ни заставить его скользить вбок, так как правая часть неравенств (76) и (77) всегда больше левой.

Вряд ли также возможно опрокидывание легкового автомобиля с низким расположением центра тяжести и на уклоне по направлению ветра, так как для этого потребовался бы большой поперечный уклон, который крайне редко встречается в реальных условиях движения. Автомобиль повышенной проходимости окажется в значительно худшем положении. Для его опрокидывания достаточен поперечный уклон в 25°. Ветер может вызвать скольжение автомобиля на обледенелой дороге при уклоне 9—10°.

Из сказанного можно сделать вывод, что *движение на открытой местности по значительному косогору при сильном ветре может быть опасным для некоторых автомобилей.*

Третий вид боковых сил — центробежные боковые силы. Эти силы самые большие, но они вступают в действие только при поворотах автомобиля.

Центробежная сила равна массе автомобиля m , умноженной на квадрат скорости v_a в м/сек и деленной на радиус поворота R

¹ Ураганный ветер не рассматривается.

в м. Напомним, что масса равна весу в кг, деленному на ускорение силы тяжести (9,81 м/сек²). Таким образом, центробежная сила Y_u имеет вид

$$Y_u = \frac{mv_a^2}{R} = \frac{G_a v_a^2}{9,81R}. \quad (80)$$

На горизонтальной дороге (без уклона) действие центробежной силы подобно действию бокового ветра, а условия опрокидывания и скольжения также будут подобны неравенствам (76) и (77).

Условие опрокидывания:

$$Y_u h_g > G_a \frac{B}{2}; \quad (81)$$

условие скольжения:

$$Y_u > G_a \varphi. \quad (82)$$

Подставляя в неравенство (81) значение Y_u из уравнения (80), получаем

$$\frac{G_a v_a^2}{9,81R} h_g > G_a \frac{B}{2}$$

или, после сокращения и преобразования

$$\frac{v_a^2}{R} > \frac{4,905B}{h_g}. \quad (83)$$

Это выражение наглядно показывает, что для уменьшения действия центробежной силы важно снижать скорость на повороте, по возможности увеличивать его радиус, колея автомобиля должна быть как можно больше, центр тяжести расположен как можно более низко.

Подобное преобразование неравенства (82) дает

$$\frac{v_a^2}{R} > 9,81 \varphi. \quad (84)$$

Центробежная сила, в особенности при прохождении крутых поворотов с большой скоростью, во много раз превышает по величине силу, вызванную поперечным уклоном дороги, или силу бокового ветра. Уже при радиусе, равном 50 м (такой радиус имеется нередко и на хороших дорогах), даже без учета других явлений, о которых рассказано ниже, почти неминуемо опрокидывание автомобиля, идущего со скоростью 75 км/час. Для грузовых автомобилей опасная скорость на таком повороте равна примерно 60 км/час, для автомобилей с высоко расположенным центром тяжести — еще меньше.

На обледенелой дороге боковое скольжение начинается при радиусе поворота, равном 30 м, уже со скоростью около 25 км/час, а при радиусе 65 м — со скоростью около 40 км/час и т. д.

Для того чтобы уменьшить вредное действие центробежной силы, на хороших автомобильных дорогах радиусы закруглений выполняют очень большими (1000 м, в отдельных случаях допускают радиус около 300 м), а поверхности дороги придают поперечный уклон до 15—20% к центру закругления (вираж).

На повороте на автомобиль действуют уже известные силы G_a , Y_a и Z_a ; центробежная сила Y_u и ее составляющие

$$Y'_u = Y_u \cos \beta \text{ и } Z_u = Y_u \sin \beta.$$

Условие опрокидывания автомобиля на вираже имеет вид

$$(Y'_u - Y_a) h_g > (Z_u + Z_a) \frac{B}{2}; \quad (85)$$

условие скольжения:

$$(Y'_u - Y_a) > (Z_u + Z_a) \varphi. \quad (86)$$

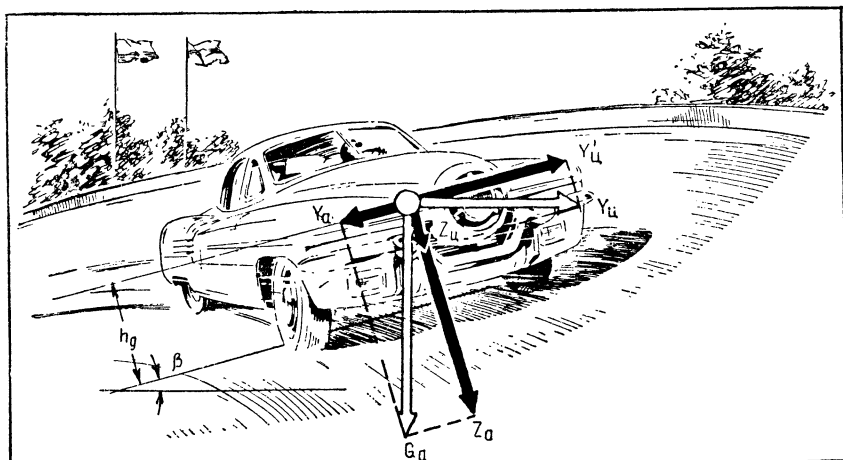
Для безопасного движения на повороте необходимо, чтобы левая часть неравенств была меньше правой. Это возможно при значительном поперечном уклоне дороги. Например: закругление радиусом 30 м рассчитывают на безопасное движение легковых автомобилей весом 1500 кг со скоростью 75 км/час (допустим, на спортивном автодроме); центробежная сила при этом достигает 2200 кг и угол β должен быть равен около 11° .

К сожалению, на многих дорогах еще имеются закругления, на которых сохранен нормальный для прямых участков поперечный уклон. В этом случае внешняя полоса дороги имеет обратный уклон, что создает особо опасные условия для движущихся автомобилей, так как только сила Z_a противодействует опрокидыванию, а все остальные силы ему содействуют, и условие опрокидывания имеет вид

$$(Y'_u + Y_a) h_g > (Z_a - Z_u) \frac{B}{2}. \quad (87)$$

Неудивительно, что на таких закруглениях водители зачастую, чтобы резко не снижать скорость, стремятся перейти на левую сторону дороги (срезают поворот), вопреки правилам движения. Это, конечно, может быть допущено только при совершенно открытом повороте и при отсутствии на нем в данный момент встречного движения.

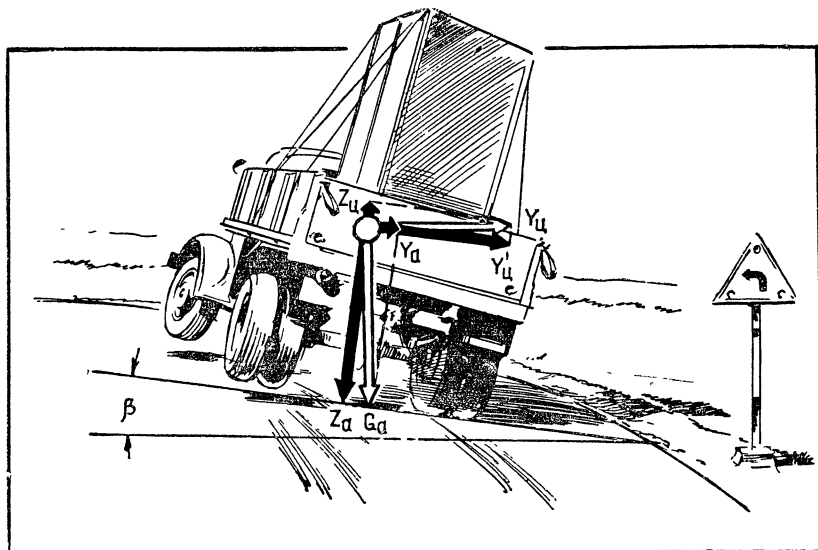
При рассмотрении действия центробежной силы выше было принято, что автомобиль движется по кривой постоянного радиуса, и передние колеса при этом уже повернуты на определен-



Силы, возникающие при движении по наклонной дороге (вираж), на повороте противодействуют центробежной силе.

ный угол. Но нельзя упускать из виду, что этому всегда предшествует переход к движению по кривой данного радиуса, когда водитель постепенно изменяет угол поворота передних колес автомобиля. В это время центробежная сила постепенно

Силы, возникающие при движении по обратному наклону дороги, на повороте содействуют центробежной силе.



увеличивается, если радиус поворота уменьшается. Кроме того, когда радиус вращения какого-либо тела меняется, к центробежной силе добавляется еще одна сила — сила инерции. Дополнительная сила инерции при уменьшении радиуса поворота складывается с центробежной силой, а при увеличении радиуса вычитается из нее. У автомобиля величина этой силы зависит от скорости движения и от скорости поворота рулевого колеса.

Возможны случаи, когда при резком повороте на большой скорости дополнительная боковая сила настолько велика, что в сочетании с центробежной силой приводит к заносу или опрокидыванию автомобиля.

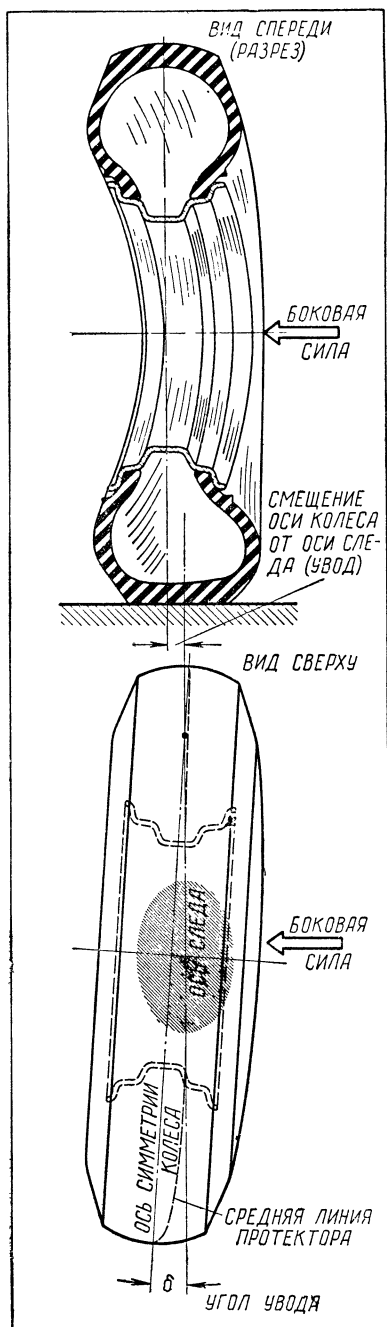
Резкость управления является одной из возможных причин потери автомобилем устойчивости.

Необходимо еще раз подчеркнуть, что рассмотренные явления взяты в отдельности, т. е. несколько условно. В реальных условиях действие центробежной силы сочетается с действием боковых сил (воздушных и от наклона дороги) и вызывает не только скольжение вбок или опрокидывание, но и явления заноса и увода, которые рассмотрены ниже.

НЕ ПО СЛЕДУ

Под действием боковой силы автомобиль может переместиться по направлению ее действия. Вместе с автомобилем перемещаются и его колеса. Однако шина имеет не только радиальную упругость (эластичность), но и боковую. Если дорога не скользкая и сцепление шины с дорогой достаточно велико, ближняя к дороге часть шины остается сцепленной с дорогой, сечение шины искривляется, деформируется, а колесо под действием боковой силы смещается на какое-то расстояние. Средняя линия рисунка протектора шины уже не целиком совпадает с плоскостью симметрии колеса; она лежит на оси отпечатка, затем переходит по искривленной части шины к плоскости симметрии колеса. Если бы колесо было неподвижным, продольная ось смещенного отпечатка шины была бы параллельной плоскости колеса. Но колесо вращается, и в передней точке отпечатка шины в соприкосновение с дорогой приходят все новые точки средней линии протектора, несколько сдвинутые от оси отпечатка. Передний край отпечатка все время перемещается по направлению к плоскости колеса, а плоскость колеса снова отдаляется от него. В результате ось отпечатка становится не параллельно, а под некоторым углом к плоскости колеса. Этот угол называют **углом увода шины или колеса** и обозначают греческой буквой δ («дельта»).

Выходит, что автомобиль идет не по следу колес, а по какому-то другому направлению.



Чем больше боковая сила и чем меньше боковая жесткость шины (т. е. чем больше ее боковая эластичность), тем меньше шина сопротивляется действию боковой силы и тем больше угол увода. Способность колеса (шины) сопротивляться уводу оценивают коэффициентом сопротивления уводу, обозначаемым буквой K . Этот коэффициент равен боковой силе, выраженной в килограммах и необходимой для поворота отпечатка шины на один радиан, т. е. на $57,3^\circ$ (в действительности отпечаток поворачивается на значительно меньший угол); силу условно относят к большому углу для получения целых чисел.

Вот простейшие примеры увода шин.

Шина автомобиля «Москвич-402» при внутреннем давлении, равном $1,7 \text{ кг/см}^2$, обладает коэффициентом сопротивления уводу примерно 2000 кг/радиан . Вес автомобиля с полной нагрузкой — около 1300 кг . Пусть автомобиль движется по прямой дороге с боковым уклоном 3° . В этом случае на автомобиль действует боковая сила, равная

$$1300 \sin 3^\circ = 1300 \cdot 0,052 = 68 \text{ кг}.$$

Такая небольшая сила, как известно, не может сдвинуть автомобиль вбок, даже если бы сцепление колес с дорогой было незначительным. Но эта сила

Под действием боковой силы шина деформируется и плоскость колеса не совпадает с осью отпечатка шины. Происходит увод колеса.

способна вызвать увод каждого из вращающихся колес с шинами на угол, равный в среднем

$$\delta = \frac{57,3 \cdot 68}{2000 \cdot 4} \approx \frac{3900}{8000} \approx 0,5^\circ.$$

Этого угла увода достаточно для того, чтобы автомобиль «Москвич-402», идущий на расстоянии 2 м от края дороги со скоростью 70 км/час, через 9 сек. с момента начала действия силы (т. е. в данном примере с начала бокового уклона) оказался правым передним колесом в кювете. Для автомобиля ЗИЛ-110, идущего со скоростью 120 км/час (шины 7,50—16; внутреннее давление 2,5 кг/см²; вес автомобиля около 3000 кг; $K = 4000$ кг/радиан), это время сократилось бы до 3,6 сек.

Немалый увод колес вызывает и сила бокового ветра.

Автомобиль «Москвич-402» идет по шоссе, огражденному густым лесом, со скоростью 80 км/час. Но вот шоссе выходит в поле. Дует боковой ветер, не слишком сильный, который на языке метеорологов называется «свежим», т. е. со скоростью около 9 м/сек. Ветер давит на боковую поверхность автомобиля с силой примерно 35 кг, это вызывает увод шин под углом 0°15' и может за 20 сек. увести автомобиль на 1 м в сторону.

Особенно же заметно явление увода шин при прохождении поворотов, так как центробежная сила в реальных условиях движения значительно больше других боковых сил.

Автомобиль «Москвич» проходит поворот радиуса 100 м со скоростью 60 км/час (16,7 м/сек). Центробежная сила, согласно уравнению (80), равна

$$Y_c = \frac{1300 \cdot 16,7^2}{9,81 \cdot 100} \approx 370 \text{ кг}$$

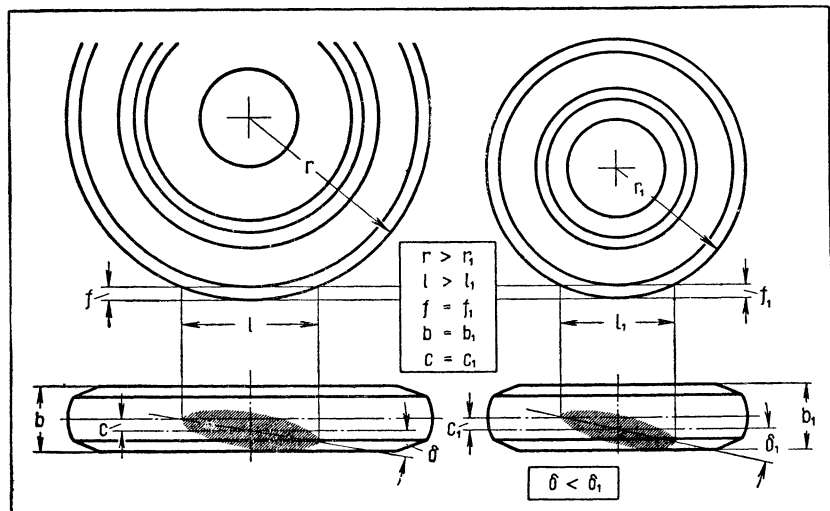
Это значит, что угол увода каждого колеса (если считать нагрузку распределенной равномерно), равен

$$\frac{57,3 \cdot 370}{2000 \cdot 4} \approx 2,65^\circ \approx 2^\circ 39'.$$

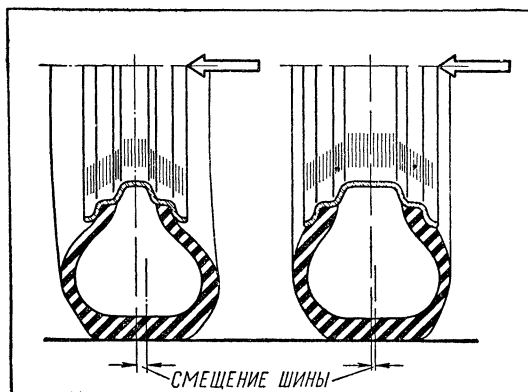
На каждом метре пути поворота автомобиль отклоняется от заданной водителем окружности на 4,5 см, т. е. через 10 м пути автомобиль отойдет в сторону на 0,5 м!

Из следующего раздела будет ясно, что увод передних и задних колес автомобиля неодинаков и что явление увода можно использовать для повышения устойчивости автомобиля. А пока установим, от чего зависит сопротивление колеса уводу.

Если шина нагружена в соответствии с нормой ее грузоподъемности, присутствующий ей коэффициент сопротивления уводу



Чем больше диаметр колеса, тем меньше его увод.



Чем шире обод, тем меньше увод колеса.

зависит в основном¹ только от размеров колеса и от давления в шине. Коэффициент сопротивления увода тем больше, чем больше наружный диаметр шины, ширина обода, размер профиля шины и внутреннее давление в шине.

Длина соприкосновения с дорогой шины малого диаметра меньше, чем шины большого диаметра. Поэтому сдвиг обода колеса на одинаковую величину по отношению к отпечатку шины дает для большого колеса меньший угол увода, чем для

¹ Рассмотрены шины с обычным рисунком протектора, а такие особенности конструкции шин, как, например, угол нитей корда, число слоев каркаса, не приняты во внимание, так как их влияние на коэффициент сопротивления уводу сравнительно невелико.

мало го колеса, т. е. с увеличением наружного диаметра шины коэффициент сопротивления уводу увеличивается.

Шина на узком ободе имеет грушевидное сечение со сравнительно узкой «шейкой» около обода, которую легко искривить. Коэффициент сопротивления уводу для шины на узком ободе относительно мал. С расширением обода сечение шины приближается к трапецевидному, которое труднее перегнуть, «шейка» исчезает, коэффициент сопротивления уводу увеличивается. При увеличении давления шина становится более жесткой, а значит и менее поддающейся искривлению.

Из опытного определения коэффициента сопротивления уводу для многих шин можно установить приблизительную зависимость значения K от размеров шины и давления в ней:

$$K = 5b(D + 2b)(p + 1) \text{ кг/радиан}, \quad (88)$$

где b — ширина профиля в дюймах;

D — диаметр обода в дюймах;

p — внутреннее давление в кг/см^2 .

В табл. 14 даны значения K для шин отечественных автомобилей, полученные опытным путем и подсчитанные по формуле (88).

Формула (88) относится к нормально нагруженным шинам с обычной шириной обода, на 2 дюйма меньшей, чем ширина

Таблица 14

Коэффициенты сопротивления уводу шин отечественных автомобилей

Марка автомобиля	Размер шины	Рекомендуемые по ГОСТ		Коэффициент сопротивления уводу в кг/радиан	
		нагрузка в кг	давление в кг/см^2	полученный опытом	по уравнению (88)
„Москвич-401“	5,00—16	320	2,10	1700	2000
„Москвич-402“	5,60—15	360	1,80	—	2050
М-20 „Победа“	6,00—16	415	2,00	2560	2520
М-21 „Волга“	6,70—15	—	1,80	—	2660
ЗИМ	7,00—15	605	2,25	3600	3550
ЗИЛ-110	7,50—16	785	2,50	3990	4050
ГАЗ-51	7,50—20	1000	4,00	—	6550
			5,00		7100*
ЗИС-5	34×7	1200	5,75	—	8000
			3,50		7700*
ЗИЛ-150	9,00—20	1550	4,25	—	9000
			4,50		9400

* Число в числителе относится к передним колесам, в знаменателе — к задним.

профиля шины. Увеличение ширины обода на 1 дюйм повышает коэффициент сопротивления уводу примерно на 10%. Влияние нагрузки описано в следующем разделе.

Если боковая сила становится очень большой, увод колеса сменяется боковым скольжением.

НЕ ПО ЗАДАННОЙ ОКРУЖНОСТИ

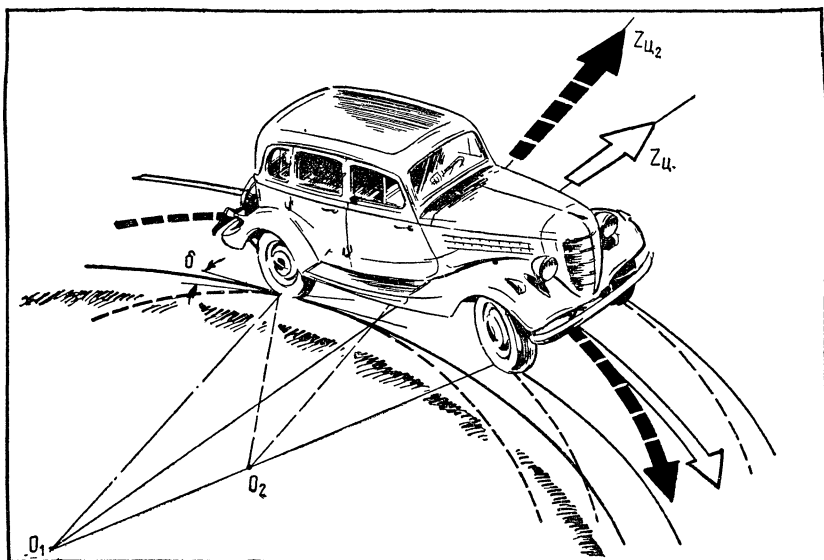
До сих пор было рассмотрено явление увода шин без учета того, что сопротивление уводу передних и задних колес не всегда одинаковое. Было предположено, что автомобиль уходит от намеченного курса по прямой линии, что все колеса при этом идут параллельно. В действительности дело обстоит сложнее.

Колеса и шины на переднем и заднем мостах серийных автомобилей одинаковы и взаимозаменяемы. Но внутреннее давление в шинах, нагрузка, приходящаяся на колеса, характер перемещения колес при работе подвески могут быть для передних и задних колес разными. А это оказывает существенное влияние на величину коэффициента сопротивления уводу. *Чем меньше давление в шине и чем больше отклонение нагрузки, приходящейся на колесо, от нормальной, тем заметнее искривляется шина под действием боковой силы, т. е. тем больше угол увода.*

Представим себе, что задние колеса подвержены уводу, а передние колеса имеют высокий коэффициент сопротивления уводу и их угол увода ничтожно мал (допустим, равен нулю). Тогда при действии боковой силы задняя часть автомобиля сдвинется в направлении действия силы, а передняя часть не получит бокового перемещения. Выходит, что автомобиль несколько повернется навстречу действию боковой силы. Если боковая сила не слишком велика, водитель может без большого труда заставить автомобиль двигаться прямо по дороге, слегка повернув передние колеса в сторону действия боковой силы.

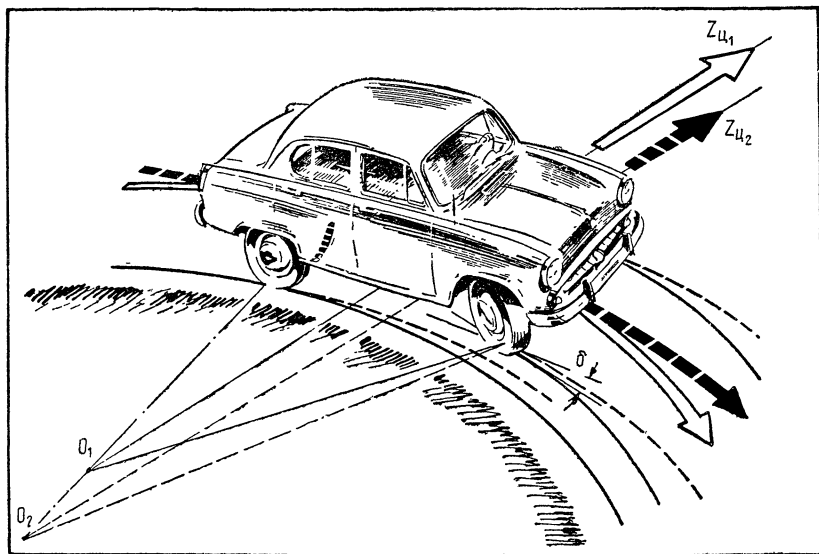
При большой боковой силе удержать автомобиль на дороге очень трудно. На повороте же увод задних колес будет оказывать уже только нежелательное влияние на движение автомобиля. Ведь боковая (центробежная) сила $Z_{ц1}$ действует в сторону, обратную центру поворота, и увод задних колес по направлению действия силы заставит автомобиль поворачивать еще круче. Центробежная сила будет неуклонно возрастать (сила $Z_{ц2}$), а радиус поворота — уменьшаться. Может случиться, что усилием водителя окажется недостаточно для противодействия этому и автомобиль начнет скользить по дороге вбок, перейдет «в занос».

Поведение автомобиля, у которого увод задних колес больше, чем передних, принято называть **излишней поворачиваемостью**.



Автомобиль с излишней поворачиваемостью стремится идти по кругу меньше заданного радиуса (штриховая линия). Центробежная сила и вероятность заноса увеличиваются.

Автомобиль с недостаточной поворачиваемостью стремится идти по кругу больше заданного радиуса (штриховая линия).



Совсем другая картина получается в том случае, когда больше увод передних колес. На прямой дороге автомобиль поворачивает в направлении действия боковой силы, и водителю приходится возвращать его на заданный курс, поворачивая передние колеса навстречу боковой силе. Управление становится несколько более тяжелым, чем при равном для передних и задних колес уводе или чем при излишней поворачиваемости. Зато на повороте увод передних колес как бы увеличивает радиус поворота; для спокойного прохождения поворота нужно лишь повернуть рулевое колесо несколько больше, чем это требовалось бы для движения автомобиля по заданной кривой при отсутствии явления увода.

Поведение автомобиля, у которого увод передних колес больше, чем задних, принято называть *недостаточной поворачиваемостью*.

Что выгоднее и безопаснее: излишняя или недостаточная поворачиваемость? Конечно, последняя, хотя работа водителя по управлению автомобилем и становится при этом более утомительной.

Очевидно, что *нужно стремиться к такой характеристике автомобиля, при которой обеспечивается незначительная недостаточная поворачиваемость или, во всяком случае, нейтральная, средняя устойчивость автомобиля, но только не излишняя поворачиваемость.*

Нагрузка не у всех автомобилей распределяется поровну между колесами, шины оказываются либо недогруженными, либо перегруженными против нормы. При обоих отклонениях от нормы изменяется коэффициент сопротивления уводу, особенно при наиболее часто встречающемся случае уменьшения нагрузки, так как перегрузки шин, как правило, избегают и к тому же она оказывает меньшее влияние на жесткость шины.

Опыт показывает, что если нагрузка меньше нормы на n процентов, то коэффициент сопротивления уводу меньше коэффициента для нормально нагруженной шины примерно на $\frac{n}{2}$ процентов.

Пользуясь приведенными данными, можно определить углы увода передних и задних колес любого автомобиля, если известны размеры шин, давление в них, распределение веса по колесам.

Недостаточную или излишнюю поворачиваемость автомобиля определяют в условиях отсутствия скольжения по разности $\delta_s - \delta_n$ углов увода задних и передних колес. Если эта разность положительна, то автомобиль обладает излишней поворачиваемостью. Как было указано, нужно стремиться придать автомобилю недостаточную поворачиваемость, т. е. желательно иметь разность углов увода $\delta_s - \delta_n$ отрицатель-

ной, но не больше чем минус 2—3°. При еще большей разнице углов управление автомобилем получается слишком тяжелым, утомительным.

Соотношение углов увода передних и задних колес зависит от конструкции автомобиля, в частности, от типа подвески, от распределения веса, от шин.

Для примера определим углы увода для автомобиля ГАЗ-51. Вес автомобиля в груженом состоянии 5360 кг, без груза 2710 кг, на передние колеса приходится соответственно 1610 кг (1300 кг), на задние 3750 кг (1410 кг). Нормальная грузоподъемность шин 7.50—20 составляет 1000 кг при внутреннем давлении 4 кг/см². На автомобиле ГАЗ-51 для передних шин рекомендуемое давление равно 3 кг/см², для задних — 3,5 кг/см². Грузоподъемность шин при этом снижается соответственно [по формуле (13)] до 800 и 900 кг. Значит, у груженого автомобиля передние шины нагружены нормально (1610 : 2 = 805), задние незначительно перегружены (3750 : 4 = 937,5), причем этой перегрузкой можно пренебречь. При порожнем автомобиле картина меняется. Передние шины становятся недогруженными на 18%, задние на 61% и их коэффициенты сопротивления уводу уменьшаются соответственно на 9 и 30%. Коэффициент сопротивления уводу передних шин равен округленно [по формуле (88)]:

с нагрузкой

$$5 \cdot 7,5 (20 + 15) \cdot (3 + 1) = 5250 \text{ кг/радиан},$$

без нагрузки

$$\frac{100-9}{100} \cdot 5250 = 4800 \text{ кг/радиан},$$

а задних шин:

с нагрузкой

$$5 \cdot 7,5 (20 + 15) \cdot (3,5 + 1) = 5900 \text{ кг/радиан},$$

без нагрузки

$$\frac{100 - 30}{100} \cdot 5900 = 4150 \text{ кг/радиан}.$$

Определим углы увода для автомобиля ГАЗ-51 на повороте радиусом 100 м (без наклона дороги), если он идет со скоростью 50 км/час, т. е. 14 м/сек. Центробежная сила составит:

для передней части автомобиля

с нагрузкой

$$\frac{1610 \cdot 14^2}{9,81 \cdot 100} = 320 \text{ кг},$$

без нагрузки 255 кг;

для задней части: с нагрузкой 730 кг, без нагрузки 280 кг.

Соответствующие углы увода равны:
для передней части

$$\frac{57,3 \cdot 320}{2 \cdot 5250} = 1,75^\circ \text{ или } 1^\circ 45',$$

$$\frac{57,3 \cdot 255}{2 \cdot 4800} = 1,52^\circ \text{ или } 1^\circ 31';$$

для задней части

$$\frac{57,3 \cdot 730}{4 \cdot 5900} = 1,8^\circ \text{ или } 1^\circ 48',$$

$$\frac{57,3 \cdot 280}{4 \cdot 4150} = 0,97^\circ \text{ или } 0^\circ 58'.$$

Таким образом, автомобиль ГАЗ-51 является устойчивым: он имеет нейтральную характеристику поворота при движении с нагрузкой и недостаточную поворачиваемость при движении без нагрузки (разность углов увода составляет $0^\circ 58' - 1^\circ 31' = -0^\circ 33'$). Однако нетрудно установить, что незначительное повышение давления в передних шинах или снижение давления в задних может существенно ухудшить характеристику устойчивости автомобиля ГАЗ-51.

Результаты подобных расчетов и для других грузовых автомобилей приведены в табл. 15. Отметим, что все расчеты сделаны пока без учета влияния на увод устройства подвески и при условии, что коэффициент сцепления достаточно велик (автомобиль не переходит в скольжение).

Из табл. 15 видно, что в отношении устойчивости автомобиля на сухой дороге повышенная нагрузка задних колес (т. е. расположение центра тяжести автомобиля ближе к задней оси, чем к передней) и значительная разница между распределением веса по колесам для груженой и негруженой машины являются нежелательными.

Если произвести подобные расчеты для легковых автомобилей, то можно было бы убедиться, что, вследствие повышенной нагрузки задних колес у автомобилей старых выпусков, эти автомобили имеют характеристику излишней поворачиваемости. Новейшие легковые автомобили (М-21 «Волга», «Москвич-402») с независимой подвеской передних колес и равномерным распределением веса по колесам обладают свойствами умеренной недостаточной поворачиваемости.

Очень большое влияние на угол увода оказывает и постоянный наклон колеса (например, развал передних колес) и переменный например, при работе независимой подвески). Вспомним, как смещаются точки средней линии протектора, что вызы-

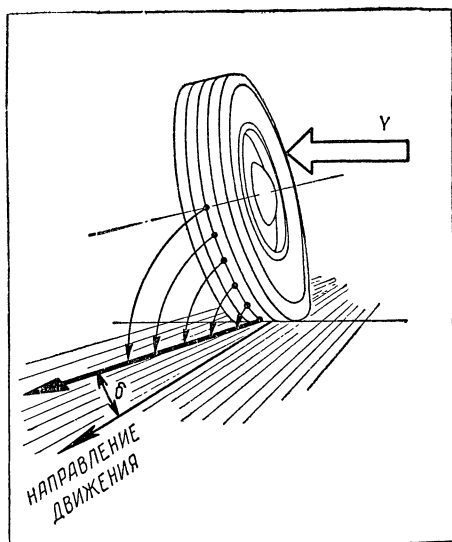
Расчетные углы увода шин грузовых автомобилей при движении на повороте радиуса 100 м со скоростью 50 км/час

Марка автомобиля	Колеса	Допустимая на грузка в кг	Без груза			С грузом		
			нагрузка в кг	K в кг/радиан	δ в град.	нагрузка в кг	K в кг/радиан	δ в град.
ГАЗ-51	Передние .	800	650	4800	1 52	805	5250	1.75
	Задние . .	900	352	4150	0.97	937	5900	1.80
ЗИС-5	Передние .	1070	630	5700	1.24	725	6000	1.35
	Задние . .	1200	460	5600	0.92	1200	8000	1.68
ЗИЛ-150	Передние .	1270	900	6600	1 52	1055	6900	1.71
	Задние . .	1480	525	6000	0.98	1504	9000	1.87

вает угол увода; теперь представим себе, что колесо наклонено по направлению действия боковой силы. В этом случае рассматриваемые точки средней линии окажутся еще более отдаленными от переднего края отпечатка шины, и угол увода увеличивается. Наоборот, если колесо наклонено против действия боковой силы, точки средней линии приблизятся к переднему краю отпечатка, угол увода уменьшится и может быть даже сведен к нулю.

Конструкторы учитывают эти явления при разработке подвески автомобиля. Стремясь обеспечить автомобилю недостаточную поворачиваемость (увеличение углов увода передних колес по сравнению с углами увода задних под действием боковой силы), устраивают подвеску таким образом, что передние колеса при повороте наклоняются от центра поворота, а плоскости задних колес остаются перпендикулярными к плоскости дороги или наклоняются к центру поворота.

При зависимой подвеске с жесткими осями (грузовые автомобили, задняя подвеска легковых машин) колеса на повороте (например, вправо) не меняют положения по отношению к дороге, а кузов под действием боковой силы наклоняется, сжимая левые рессоры и растягивая правые. Переднюю подвеску большинства современных легковых автомобилей делают независимой на двух поперечных качающихся рычагах с каждой стороны. При колебаниях колес их плоскость остается примерно параллельной плоскости симметрии автомобиля. Таким образом, при крене кузова под действием боковой силы колеса также кренятся по направлению действия силы, и угол их увода увеличивается. Независимую подвеску применяют и для задних



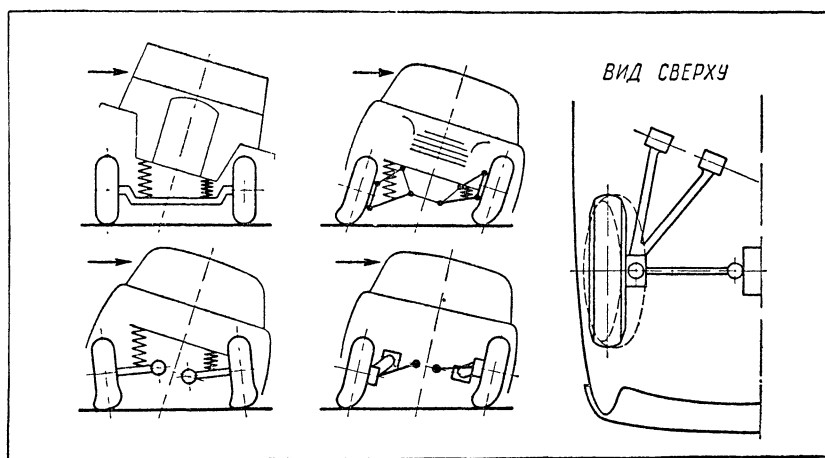
При наклоне колеса по направлению действия боковой силы увеличивается увод.

рычагов наискось, под некоторым углом задних колес.

Принято считать, что явление увода сказывается в чистом виде, если величина боковой силы не превышает примерно одной трети веса автомобиля ($Y : G_a = 0,33$). При большем значе-

колес, но схема ее иная, чем для передних: вместо двух рычагов устанавливаются один. При поперечном рычаге, роль которого выполняет иногда чулок полуоси (качающиеся полуоси), крен кузова вызывает наклон колес навстречу боковой силе, уменьшая увод. При продольном рычаге наклон колес происходит по направлению действия силы, что, как известно, для задних колес нежелательно; поэтому в новейших конструкциях преимущества продольных рычагов (передача толкающих усилий и др.) сочетаются с требованиями устойчивости путем установки

В зависимости от устройства подвески колесо может наклоняться по направлению действия боковой силы или против него.



нии боковой силы колеса начинают частично проскальзывать вбок.

Важным показателем устойчивости автомобиля является критическая скорость, с превышением которой движение автомобиля перестает быть устойчивым и сравнительно небольшая боковая сила Y резко нарушает установившееся направление движения.

Уравнение критической скорости имеет вид

$$V_{кр} = 3,6 \sqrt{\frac{gLY_a}{G_a(\delta_3 - \delta_n)}} = 3,6 \sqrt{\frac{9,81L}{\frac{G_3}{K_3} - \frac{G_n}{K_n}}} \text{ км/час}, \quad (89)$$

где G_3 и G_n — нагрузка на заднюю и переднюю оси в кг;
 K_3 и K_n — коэффициенты сопротивления уводу задней и передней осей в кг/радиан.

Ездить со скоростью больше критической невозможно, автомобиль круто уходит в сторону действия боковой силы, а затем наступает занос. Но и со скоростью, близкой к критической, ездить очень трудно и опасно, так как автомобиль под влиянием боковой силы заметно изменяет направление движения и водителю приходится все время выправлять его. Поэтому критическая скорость, свойственная данному автомобилю, должна быть значительно больше возможной скорости движения.

Увеличить критическую скорость и тем сделать движение устойчивым можно разными путями. Когда ясно, что новый автомобиль склонен к излишней поворачиваемости, лучше сделать длинную базу (L). Но самое сильное средство — изменить разность углов увода $\delta_3 - \delta_n$. Если автомобиль обладает избыточной поворачиваемостью, т. е. угол увода задних колес δ_3 больше угла увода передних δ_n , нужно стараться уменьшить разность этих углов. Если же автомобиль обладает недостаточной поворачиваемостью, то разность углов увода $\delta_3 - \delta_n$ отрицательна, и критической скорости для него вообще не существует, он всегда устойчив против увода, даже при очень короткой колесной базе, выгодной с точки зрения маневренности.

Подставляя известные уже величины, относящиеся к автомобилю ГАЗ-51, в уравнение (89), получаем для груженого автомобиля

$$V_{кр} = 3,6 \sqrt{\frac{9,81 \cdot 3,3}{\frac{3750}{4 \cdot 5900} - \frac{1610}{2 \cdot 5250}}} = 260 \text{ км/час},$$

что намного больше наибольшей скорости автомобиля (70 км/час).
Для негруженого автомобиля

$$V_{кр} = 3,6 \sqrt{\frac{9,81 \cdot 3,3}{\frac{1410}{4 \cdot 4150} - \frac{1300}{2 \cdot 4800}}} = 3,6 \sqrt{\frac{9,81 \cdot 3,3}{0,08 - 0,13}}$$

В данном случае под корнем получается отрицательное число, т. е. критической скорости не существует.

В табл. 16 приведены значения разности углов увода и критической скорости для отечественных грузовых автомобилей.

Таблица 16

Показатели устойчивости отечественных грузовых автомобилей

Марка автомобиля	$\delta_s - \delta_n$ в град	$V_{кр}$ в км/час
ГАЗ-51:		
без нагрузки	— 0,55	Не существует
с нагрузкой	+ 0,05	260
ЗИС-5:		
без нагрузки	— 0,32	Не существует
с нагрузкой	+ 0,33	130
ЗИЛ-150:		
без нагрузки	— 0,54	Не существует
с нагрузкой	+ 0,16	190

Главные средства по улучшению устойчивости в эксплуатации: снижение давления в передних шинах или повышение давления в задних; перемещение центра тяжести вперед; применение шин другого размера, которые обеспечат более выгодные отношения веса, приходящегося на колеса, к коэффициентам сопротивления уводу.

Рассмотрим для примера показатели наименее удовлетворительного по характеристике устойчивости автомобиля ЗИС-5 (табл. 16), у которого незначительное снижение давления в задних шинах может привести к недопустимому ухудшению устойчивости, и испытаем перечисленные средства. Давление в передних шинах может быть, согласно уравнению (14), снижено до $3,2 \text{ кг/см}^2$. Тогда коэффициент сопротивления уводу передних шин составит при движении с нагрузкой 4950 и без нагрузки 4650 кг/радиан ; углы увода соответственно равны $1,65^\circ$ и $1,52^\circ$. Разность углов увода задних и передних колес при этих условиях равна $+0,03^\circ$ и $-0,60^\circ$, а критическая скорость с нагрузкой поднимается до 400 км/час . Аналогичное изменение произошло бы при повышении давления в задних шинах.

Однако резкое изменение давления в шинах 34×7 (установленных на автомобиле ЗИС-5), в сторону уменьшения или в сторону увеличения, не рекомендуется по соображениям долговечности шин. Поэтому нередко на автомобили ЗИС-5 устанавливали шины 36×8 , допускающие большую свободу изменения давления.

При конструировании 3,5-тонного модернизированного автомобиля УралЗИС-355М, который сменил прежнюю модель ЗИС-5, центр тяжести смещен вперед, на передние колеса приходится нагрузка 1810 кг, на задние — 5200 кг. В задних шинах (8,25—20) можно поддерживать давление 4,5 кг/см², в передних — 3,5 кг/см². Тогда коэффициент сопротивления уводу составит для задних шин 6700 кг/радиан, для передних 5300 кг/радиан, а критическая скорость $V_{кр}$ возрастает до 200 км/час.

Нужно учитывать, что, говоря об уводе, мы имеем в виду идеальные условия: горизонтальная дорога, полная исправность автомобиля и т. д., в то время как в действительности условия устойчивости автомобиля могут быть нарушены различными обстоятельствами.

ПО ВОЛЕ ВЕТРА

Уже отмечено, что под влиянием бокового ветра возникает увод колес автомобиля и автомобиль может быть сдвинут по направлению ветра. Вначале мы считали, что все колеса имеют одинаковые углы увода; затем было установлено, что углы увода передних и задних колес различны вследствие неравномерного распределения веса автомобиля на колеса, жесткости шин и конструкции подвески. Отсюда следует, что при действии боковой воздушной силы автомобиль перемещается в результате явления увода не по прямой, а по окружности. Для рассмотрения аэродинамической устойчивости автомобиля требуется еще одно очень важное уточнение: ветер давит неодинаково на переднюю и заднюю части автомобиля, и это может уменьшить или увеличить поворот автомобиля, вызванный разностью углов увода.

Допустим, что вес автомобиля и сцепление колес с дорогой ничтожно малы. В этих условиях автомобиль имеет сходство с флюгером: под давлением ветра он будет поворачиваться вокруг вертикальной оси, пока не станет по направлению ветра. Если поверхность автомобиля, находящаяся перед упсмянутой осью, больше поверхности задней части, давление воздуха на переднюю часть будет больше, и автомобиль повернется «хвостом» к ветру, причем по мере его поворота давление ветра будет возрастать, пока автомобиль, вначале находившийся под небольшим углом к направлению ветра, не ока-

жется под прямым углом к нему, после чего давление ветра будет уменьшаться. Наоборот, если задняя часть поверхности больше передней, автомобиль повернется «носом к ветру» (на небольшой угол) и вскоре его продольная ось совпадет с направлением ветра, ветер уже не будет боковой силой и будет лишь увеличивать лобовое сопротивление.

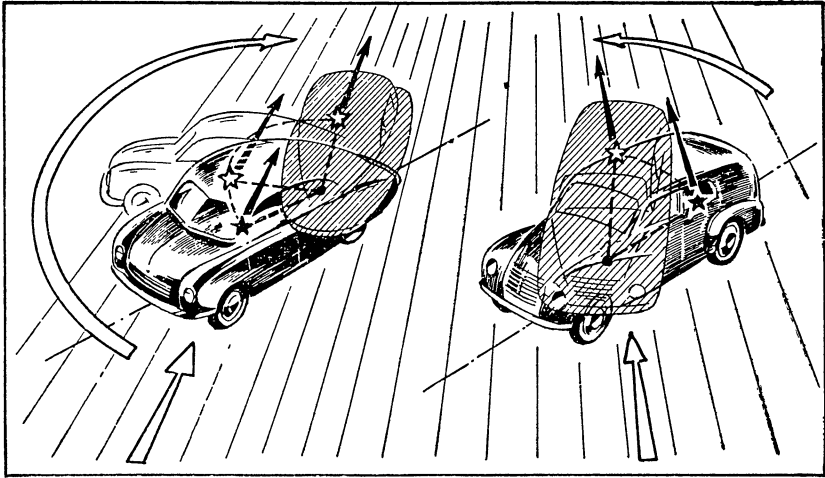
Выходит, что каплеобразные обтекаемые автомобили невыгодны с точки зрения аэродинамической устойчивости: у них массивная передняя часть и сужающаяся задняя. Для того чтобы устранить этот недостаток, в новейших конструкциях стремятся направить поток встречного воздуха по бокам автомобиля, сужая заднюю часть кузова в плане и сохраняя достаточно высокие очертания багажника и боковин в боковой проекции, или снабжают заднюю часть кузова киями-стабилизаторами. Кили незначительно увеличивают лобовое сопротивление, но резко улучшают аэродинамическую устойчивость.

Конечно, автомобиль не флюгер. Флюгер нередко нарочно устанавливают на подшипниках, снабжают противовесами, чтобы он легко поворачивался под давлением ветра. Автомобиль же находится на дороге, и, как известно, для его поворота вокруг вертикальной оси требуется немалая сила. Но увод шин под действием ветра — явление обычное, и с ним приходится считаться. Вертикальная ось поворота автомобиля под действием аэродинамических сил проходит не через центр тяжести, а через центр боковых реакций — точку, расстояние от которой до передней и задней осей автомобиля обратно пропорционально коэффициентам сопротивления уводу каждой оси. Другими словами, если этот коэффициент для задних колес больше, чем для передних (как это признано желательным в целях достижения недостаточной поворачиваемости автомобиля), ось поворота проходит ближе к задней оси. Но тем самым, поверхность задней части кузова еще уменьшается.

Несколько приближенно можно считать, что сила бокового ветра приложена в центре тяжести фигуры, образуемой проекцией автомобиля на плоскость, перпендикулярную к суммарному направлению ветра. Эту точку называют *метacentром*. Если метacentр находится на одной вертикали с центром боковых реакций, то автомобиль имеет нейтральную характеристику аэродинамической устойчивости. Если же метacentр сдвинут вперед или назад от центра боковых реакций, то автомобиль будет поворачиваться под действием бокового ветра в первом случае вплоть до полного поворота на 180° , а во втором случае — на небольшой угол.

Действие боковых воздушных сил в обычных условиях движения и для обычных автомобилей не представляет опасности. *Опасность возникает в трех случаях:*

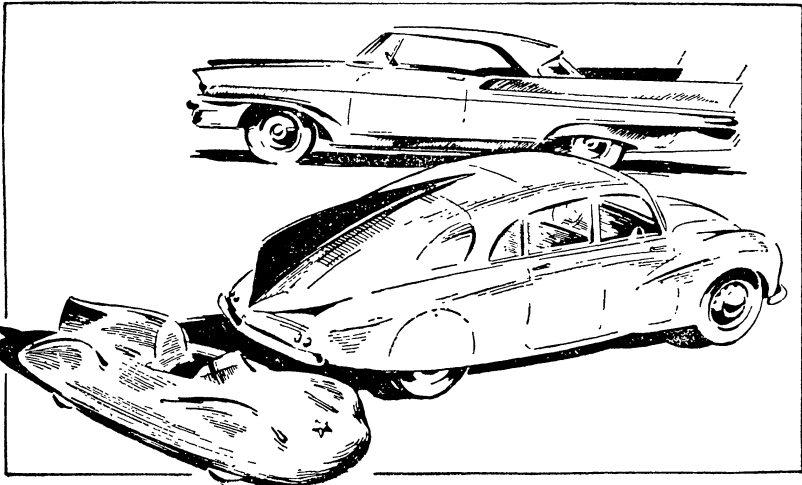
- а) при внезапном порыве ветра;



Обтекаемый автомобиль с покатою хвостовой частью без кля аэродинамически неустойчив. Нарушение устойчивости под действием боковой силы возрастает. Автомобиль с высокой хвостовой частью устойчив. Нарушение устойчивости под действием боковой силы уменьшается. Звездочкой обозначен метациентр.

- б) при очень сильном (ураганном) ветре;
- в) при неправильной форме скоростных (гоночных и рекордных) автомобилей.

Для повышения аэродинамической устойчивости обтекаемых автомобилей их снабжают кляями-стабилизаторами. На рисунке показаны рекордный автомобиль «Звезда-5-НАМИ», чехословацкий автомобиль «Татра» и современный американский легковой автомобиль.



Эта опасность усугубляется отмеченными выше особенностями автомобиля (разностью в углах увода и т. д.).

Многие водители не раз ощущали на рулевом колесе, как автомобиль перестает подчиняться им при порывистом ветре: в момент выезда из леса в поле или из улицы на большую площадь. Известны и аварийные случаи, например, с гонщиком Роземайером (Германия), автомобиль которого во время скоростного заезда на автостраде был выброшен порывом ветра за пределы дороги.

ПОВОРОТ АВТОМОБИЛЯ БЕЗ ПОВОРОТА КОЛЕС

Если сцепление шин с дорогой недостаточное, автомобиль как уже говорилось, под действием боковой силы начинает скользить по направлению действия силы. Причем скольжение передних и задних колес, как правило, неодинаковое. *Задние колеса обычно скользят быстрее.* Поворот автомобиля вокруг какой-то вертикальной оси происходит помимо воли водителя.

Этот поворот называют з а н о с о м. Явление заноса имеет сложное теоретическое объяснение; ниже это явление рассмотрено в несколько упрощенном виде.

Занос возникает в условиях недостаточного сцепления шин с дорогой в основном в следующих случаях:

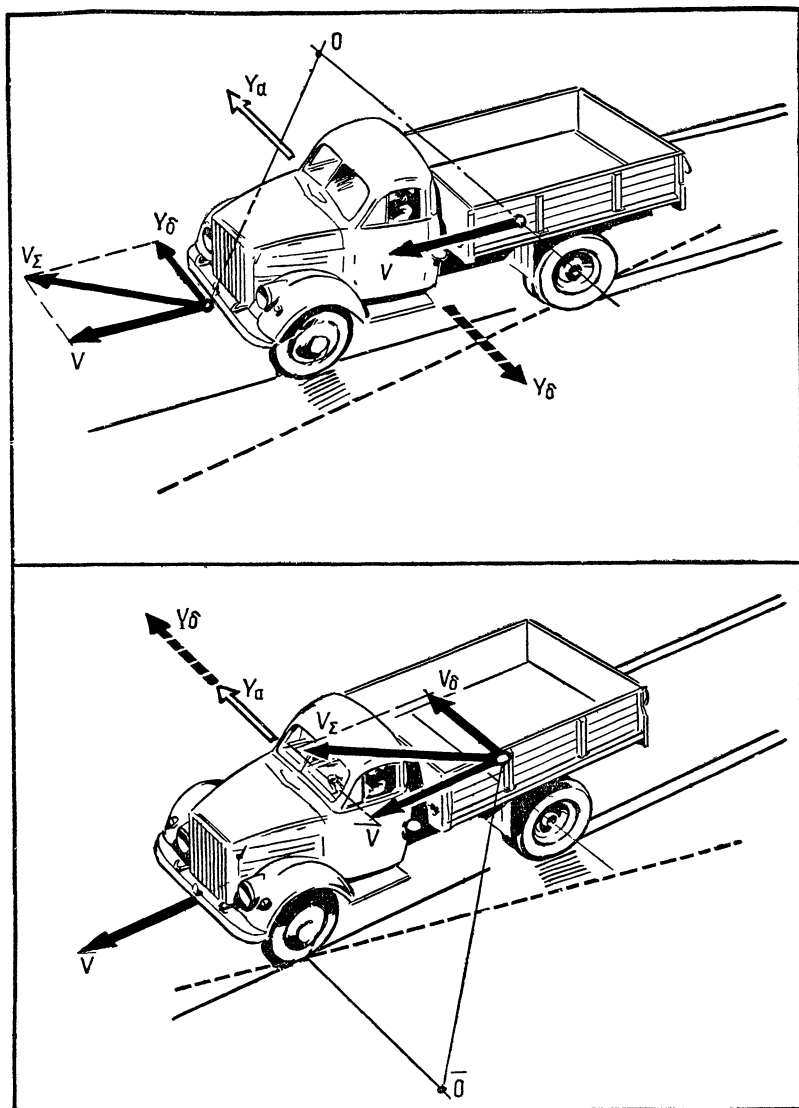
- а) на повороте, при действии центробежной силы, особенно при резком повороте;
- б) при движении по дороге с боковым уклоном;
- в) при торможении, особенно при резком торможении;
- г) при ускорении, особенно при резком нажатии на педаль подачи топлива;
- д) при подсакивании колес на неровностях дороги.

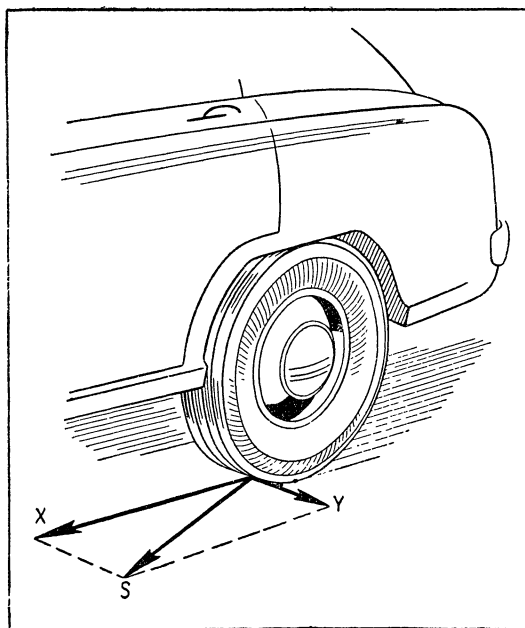
Рассмотрим эти случаи в отдельности, но предварительно отметим очень важное обстоятельство: скольжение передних колес, даже если и начнется, тотчас же приостановится. Объяснение этому можно дать с помощью приведенного рисунка, где применены следующие обозначения: V — скорость движения автомобиля; V_z — скорость заноса оси (в данном случае передней); V_{Σ} — суммарная скорость оси; Y_a — боковая сила, вызвавшая занос; Y_c — центробежная сила, появившаяся при заносе. По направлению скоростей передней оси V_z и задней V видно, что когда передняя ось скользит вбок, происходит поворот автомобиля вокруг точки O . Этот поворот вызывает появление центробежной силы Y_c , которая противодействует силе Y_a и прекращает занос.

Совсем иначе получается при заносе задней оси автомобиля. В этом случае появление центробежной силы Y_c усиливает занос, так как эта сила и сила Y_a направлены в одну сторону,

Поэтому занос передней части автомобиля можно не принимать во внимание и рассматривать только занос задней его части. Добавим, что к задним (ведущим) колесам почти всегда приложена продольная сила, которая вместе с боковой силой, как увидим ниже, может способствовать заносу.

Заносу передних колес противодействует, а заносу задних колес способствует появляющаяся при этом центробежная сила.





Силы, действующие на колесо.

Занос на повороте или на косогоре происходит вследствие появления большой боковой силы — центробежной или составляющей веса. Условия начала заноса (бокового скольжения) всего автомобиля были уже выявлены [см. уравнения (74) и (82)]. Условия начала заноса задней оси такие же, но вместо полного веса нужно подставить значение веса G_z , приходящегося на заднюю ось.

При торможении (а на ведущих колесах и при передаче крутящего момента) между колесом и до-

рогой действует продольная сила X . Колеса не будут скользить, если сила сцепления с дорогой больше действующей силы (продольной X , боковой Y или их суммы S). Если сила сцепления меньше действующей силы, колеса будут скользить в направлении этой силы. Возможны и часты такие случаи, когда сила сцепления больше боковой или продольной сил в отдельности, но меньше их суммы.

Приведем несколько примеров взаимодействия этих сил, когда в результате возникает занос автомобиля. Принимаем, что во всех случаях автомобиль движется по скользкой дороге, и сила сцепления шин с дорогой невелика.

На колесо действует незначительная, сама по себе безопасная, боковая сила на повороте большого радиуса, на уклоне. Если автомобиль идет с постоянной скоростью, занос не возникает. Но стоит резко нажать на педаль подачи топлива или затормозить, как появится большая продольная сила. Сумма сил S направлена под углом к направлению движения автомобиля, и если она больше силы сцепления с грунтом, начнется занос.

Другой пример. Боковая сила велика (например, на крутом повороте), она близка к силе сцепления, но все же сама по себе недостаточна для того, чтобы вызвать скольжение колес. Однако

в этих условиях достаточно едва заметного нажатия на педаль подачи топлива или легкого торможения, чтобы сумма сил превзошла силу сцепления и вызвала занос.

Еще один пример. Водитель тормозит или дает разгон на прямой ровной (скользкой!) дороге. Действует значительная продольная сила, близкая по величине к силе сцепления, однако колеса не идут «юзом» и не буксуют. Но вот колесо попало на едва заметную неровность и получило боковой толчок, или водитель слегка повернул рулевое колесо, или на кузов автомобиля подействовал порыв ветра, или задние колеса попали на особо скользкий участок дороги, и начинается занос автомобиля.

Вот почему *при движении по скользкой дороге на повороте и на прямой нужно избегать резкого разгона и торможения.*

Сила сцепления, естественно, уменьшается и даже исчезает, когда колесо подсакивает на неровностях, отрывается от поверхности дороги. В этих условиях действие даже небольшой боковой силы может быть причиной заноса и «виляния» автомобиля. Такое явление наблюдалось, например, при движении автомобиля «Москвич-401» по булыжной мостовой и объяснялось в основном наличием на этом автомобиле задних амортизаторов одностороннего действия, которые не удерживали колеса от подсакивания. То же самое можно наблюдать, например, при неисправных амортизаторах и на весьма устойчивом автомобиле М-20 «Победа».

Склонность автомобиля к заносу определяется не только качеством и конструкцией его подвески и амортизаторов, но и общей компоновкой автомобиля.

Автомобиль тем менее склонен к заносу, чем больше его база и колея, чем ниже и ближе к задней оси расположен центр тяжести.

Итак, занос автомобиля происходит в том случае, когда боковая сила (или сумма боковой и продольной сил) больше силы сцепления.

Таким образом, *чтобы предотвратить начало заноса при недостатке сцепления с дорогой (т. е. на мокрой, скользкой дороге), нужно избегать положений, при которых сила между колесом и дорогой может чрезмерно возрасти:* резкого торможения, резкого ускорения, крутых поворотов, прохождения поворотов с большой скоростью, а также наезда колес на неровности (по возможности, не прибегая к резким поворотам рулевого колеса). Следует помнить, что хотя на большой скорости движения по прямой вероятность начала заноса не на много больше, чем при медленном движении, приостановить начавшийся занос труднее. Поэтому *на скользкой дороге скорость должна быть снижена.* Опытный водитель ведет машину по скользкой дороге с пониженной скоростью; вместо нажатия

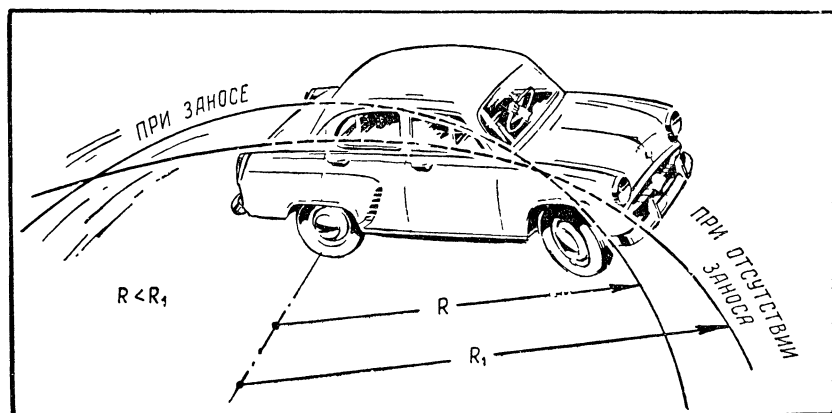
на педаль тормоза переходит на низшую передачу (т. е. тормозит двигателем); движения его при пользовании рулем, рычагом передач, педалями плавные. Кроме того, зная, что придется ехать по скользкой дороге, водитель может заранее уменьшить вероятность заноса путем некоторого снижения давления в шинах задних колес, т. е. увеличив коэффициент их сцепления с дорогой. При этом имеется в виду, что движение будет происходить на пониженной скорости, на которой допустима небольшая перегрузка шин, и что углы увода шины на скользкой дороге меньше, чем на сухой, так как шина при деформации не «держится за дорогу», а скользит по ней.

Но вот, несмотря на все предосторожности, занос автомобиля все же начался. Как приостановить занос?

Чтобы действовать правильно, нужно, во-первых, помнить о причине заноса и, во-вторых (независимо от причины), отчетливо представить себе, что происходит с автомобилем во время заноса. Занос можно представить как поворот автомобиля помимо воли водителя вокруг некоего центра, причем радиус R этого поворота меньше заданного радиуса R_1 поворота автомобиля, в особенности если автомобиль идет по прямой (заданный радиус поворота бесконечно велик). В процессе заноса радиус поворота все уменьшается, а центробежная сила возрастает; поэтому занос становится все более интенсивным и может перейти в опрокидывание.

Если занос начался вследствие торможения или разгона, т. е. в результате сложения продольной силы со сравнительно небольшой боковой, которая сама по себе не превышает силы сцепления, нужно прекратить действие продольной силы: снять ногу с педали тормоза или педали подачи топлива. Бывает, однако, что в данный момент все же нужно замедлить ход, чтобы предотвратить наезд, или ускорить движение, чтобы выйти из опасного положения. Нельзя дать единого указания для таких случаев, но можно посоветовать следующие меры: торможение двигателем (переход на низшую передачу); несколько коротких (не резких), с перерывами, нажимов на педаль тормоза; возможно более плавный нажим на педаль подачи топлива при одновременном осторожном, но настойчивом выравнивании автомобиля рулем.

Если прекращением торможения или разгона нельзя ликвидировать занос, либо если причиной заноса явились не торможение и не разгон, нужно уменьшить действие центробежной силы. Это может быть достигнуто уменьшением скорости движения, т. е. торможением, что нежелательно, или увеличением радиуса поворота. Другими словами, *нужно повернуть передние колеса в сторону заноса*. Поворот рулевого колеса должен быть быстрый, даже резкий, но не слишком крутой, чтобы не вызвать занос в обратную сторону. Как только автомобиль

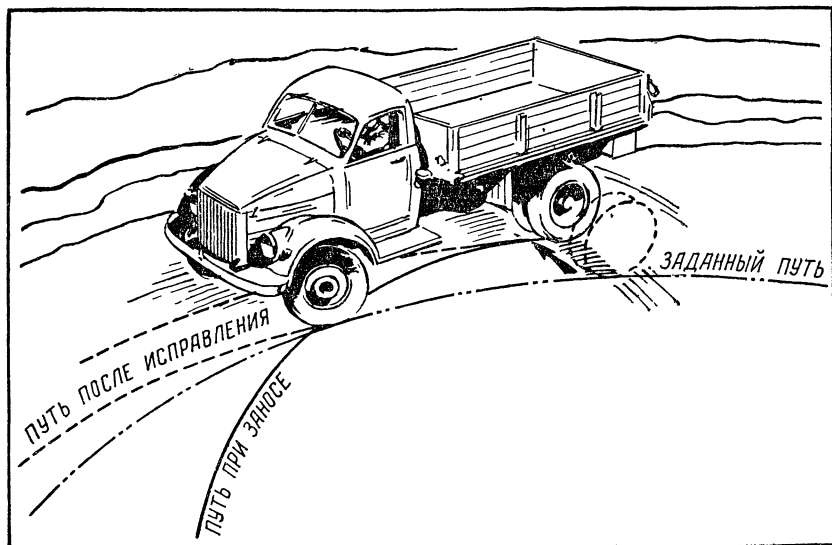


Движение автомобиля при заносе.

выровнялся «по курсу», нужно быстро и плавно повернуть рулевое колесо обратно.

Нужно помнить, что передние колеса не должны быть заторможены до «юз». Дело в том, что сопротивление качению меньше сопротивления скольжению, поэтому колесо будет катиться туда, куда повернул его водитель, и будет увлекать за собой в эту сторону весь автомобиль, как это и бывает при всяком

Занос можно приостановить своевременным поворотом передних колес в сторону заноса.



повороте. Если же колесо заторможено и не катится, то сила трения становится одинаковой во все стороны, и шина будет скользить по направлению движения автомобиля, как бы водитель ни поворачивал рулевое колесо.

Возможности водителя противодействовать заносу автомобиля в большой мере зависят от легкости управления и от четкости работы системы рулевого привода. Нужно особенно осторожно вести автомобиль по скользкой дороге после долгой стоянки на морозе, когда смазка в рулевом механизме застывает, и для поворота рулевого колеса требуется большое усилие. Рекомендуется после такой стоянки нарочно избрать маршрут с частыми поворотами, чтобы скорей «разогреть руль», или произвести специально несколько операций маневрирования. Этим же целям (наряду с другими) служит смена масла в рулевом механизме на зиму на менее вязкое. Вместе с тем, нельзя допускать и чрезмерную легкость руля, при которой незначительное усилие, случайно приложенное к рулевому колесу, может вызвать поворот колес и занос. Нужно обратить особое внимание на свободный ход рулевого колеса, свести его к минимуму, подтянуть на зимний период все соединения рулевого привода.

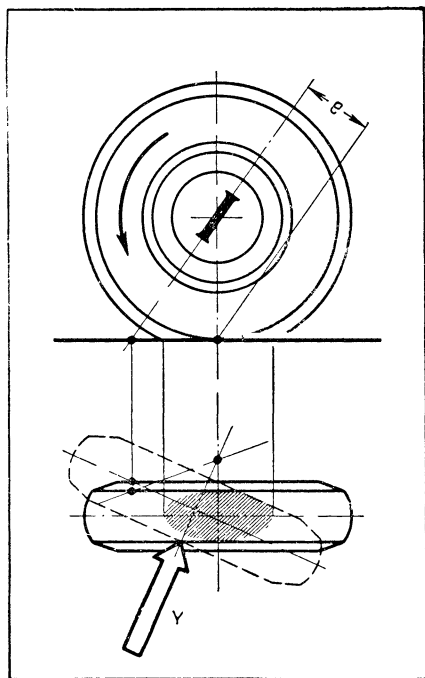
САМОУПРАВЛЯЕМОЕ КОЛЕСО

Водитель, как правило, держит обе руки на рулевом колесе. Но все водители знают, что на короткое время можно снять руки с рулевого колеса, и автомобиль будет двигаться по заданному направлению. Иногда это бывает и необходимостью: например, если нужно одновременно переменить передачу и дать сигнал или переключить свет. Случается, что колесо наезжает краем на неровность и слегка поворачивается помимо воли водителя, а затем под действием какой-то силы вновь занимает заданное положение. У большинства автомобилей колеса после поворота возвращаются в исходное положение без приложения силы водителя. Другими словами, передние колеса автомобиля обладают способностью, в известной мере, «держаться курса». Это называется *стабилизацией колес* и достигается вследствие наклона шкворня колеса назад и вбок и за счет увода колеса.

При наклоне шкворня назад продолжение его оси пересекает дорогу впереди середины отпечатка шины (так же, как это сделано у велосипеда, или мебели на колесах). В случае поворота колеса, случайного или преднамеренного, обязательно появляется центробежная сила Y , направленная от центра поворота. Центробежная сила стремится сдвинуть колесо вбок, а сила трения между колесом и дорогой мешает этому. На рисунке штриховой линией показано положение колеса при

повороте, а стрелкой — сила трения. Эта сила приложена на плече (расстоянии) e от оси шкворня и потому стремится повернуть колесо обратно в прямое положение. Как только колесо вернется в такое положение, поворот прекратится, и центробежная сила исчезнет. Таким образом, *центробежная сила в данном случае используется для сохранения правильного положения колеса, для его стабилизации.*

Рассмотренная схема стабилизации правильна, но не для современного автомобиля: нельзя забывать об уводе колеса. Впереди шина подходит к дороге мало искривленная, а в задней части отпечатка она сильно искривлена. Поэтому шина в передней части отпечатка передает меньшую часть боковой силы и силы трения, а в задней — большую. Это



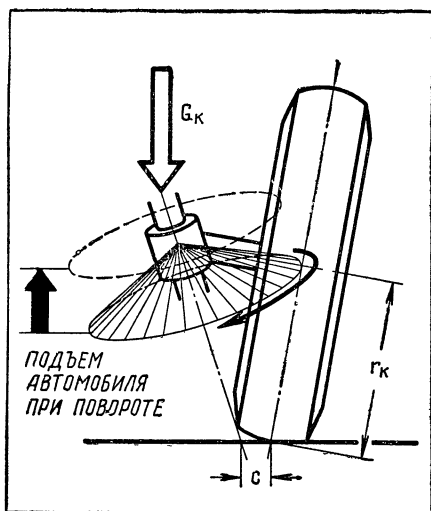
При наклоне шкворня назад боковая сила трения возвращает колесо в прямое положение.

значит, что стрелку на рисунке нужно поместить дальше от оси шкворня. Таким образом, увод увеличивает плечо действия боковой силы трения и улучшает стабилизацию.

Еще одним средством для стабилизации колеса служит наклон шкворня вбок. Во время поворота колеса центр его перемещается вокруг шкворня по окружности, изображенной на рисунке тонкой линией. В прямом положении центр колеса находится в верхней точке окружности, а в повернутом должен опускаться ниже. Однако опуститься ему некуда: колесо опирается на поверхность дороги, а радиус колеса меняется лишь ничтожно за счет эластичности шины. Поэтому при повороте колесо поднимает шкворень. Вес автомобиля давит на шкворень, опускает его вниз и тем заставляет колесо возвратиться в исходное положение.

Кроме того, наклон шкворня вбок дает возможность уменьшить радиус обкатки s и тем облегчить водителю повороты, так как уменьшается момент силы сопротивления качению.

Вследствие наличия углов наклона шкворня водителю приходится прикладывать некоторое дополнительное усилие, чтобы



При наклоне шкворня вбок можно использовать вес автомобиля для возврата колеса в прямое положение.

повернуть колеса автомобиля, но зато не нужно прилагать усилий для поддержания прямолинейного движения машины. Чтобы не слишком утяжелять управление, на автомобилях с мягкими шинами наклона шкворня назад не делают.

Соблюдение предусмотренных конструкцией автомобиля наклонов шкворня и давления в шинах,

обеспечивающего характеристику недостаточного поворачивания, является одним из залогов устойчивости автомобиля.

КОЛЕСО „ТАНЦУЕТ“

Еще в двадцатых годах обратили внимание на то, что передние (управляемые) колеса автомобилей совершают колебания («танцуют») вокруг оси шкворня, и не только на неровной дороге, но и на асфальте. Водители говорят: «бьет руль». Это явление колебания колес полностью не устранено и до настоящего времени, и оно оказывает серьезное влияние на устойчивость автомобиля.

Каковы причины колебаний колес? Этих причин много, но главные из них следующие:

а) неодинаковое сопротивление качению левого и правого колес при движении одного или обоих колес по неровной дороге;

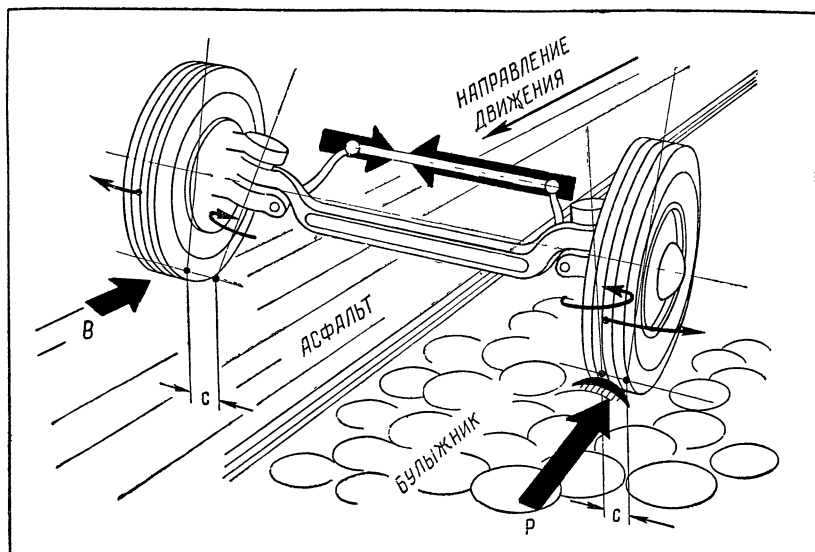
б) неуравновешенность колес;

в) несогласованность колебаний рессор и рулевых тяг;

г) гироскопическое действие колеса.

Ось шкворня не совпадает с плоскостью колеса не только потому, что шкворню придан боковой наклон для стабилизации колеса, но и из-за наличия тормоза и ступицы, которые обычно препятствуют углублению шкворня внутрь колеса. Поэтому между точкой пересечения оси шкворня с поверхностью дороги и точкой контакта шины с дорогой имеется расстояние s . В точке контакта шины приложена сила сопротивления P , создающая момент

$$M = P \cdot s.$$



Если сопротивление качению левого и правого колес неодинаково, возможны угловые колебания колес.

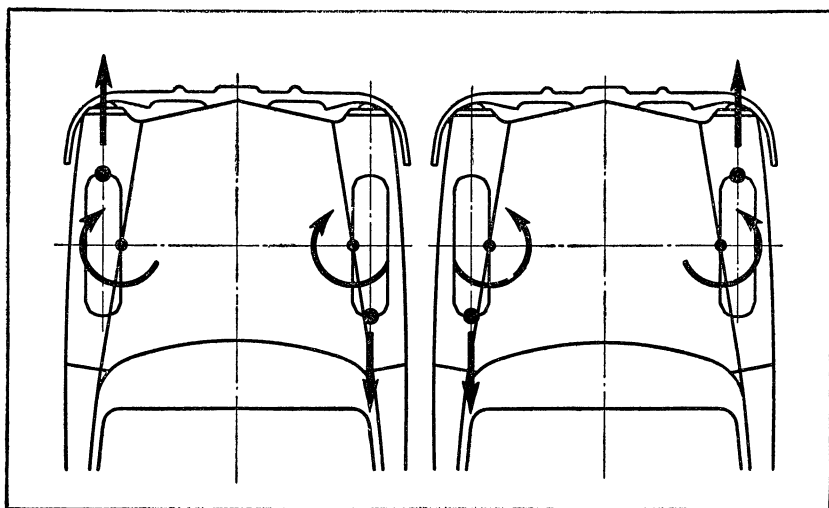
Момент M может повернуть колесо вокруг оси шкворня, но, если оба колеса идут по ровной дороге, моменты на обоих колесах уравниваются, так как колеса связаны поперечной тягой. Но если, например, левое колесо идет по булыжному полотну трамвайных путей, а правое — по асфальту, или левое — по асфальту, а правое — по обочине, то сила сопротивления, приложенная к одному из колес, возрастает, моменты M станут различными, и колесо, идущее по булыжнику или обочине, стремится повернуться. Так как сцепление с неровной поверхностью дороги непостоянно, колесо, удерживаемое поперечной тягой, все время то слегка поворачивается под действием указанного момента, то возвращается в исходное положение. Начнутся колебания колеса вокруг шкворня.

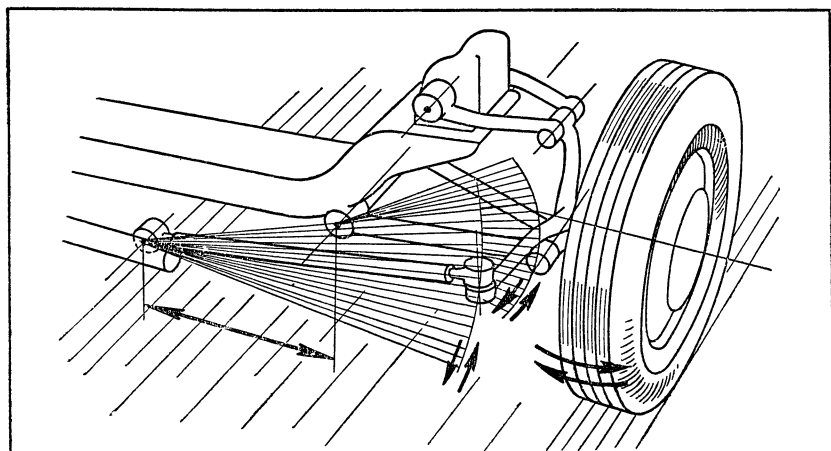
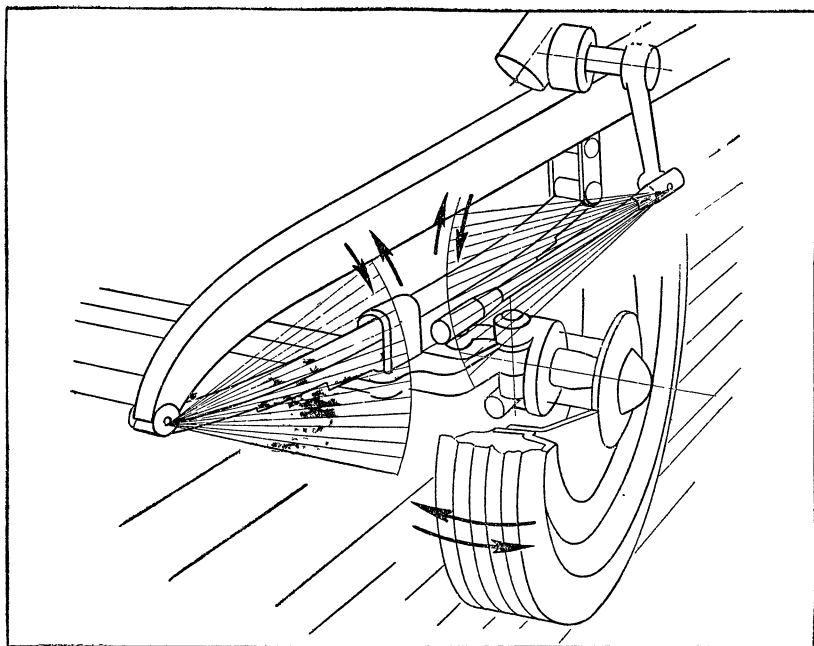
Колеса автомобиля кажутся идеально круглыми, а масса их — равномерно распределенной по окружности. Однако на окружностях почти всех колес имеется точка или сектор, где сосредоточена большая масса, чем в других точках и секторах: место расположения вентиля шины, утолщение отливки тормозного барабана, место вулканизации камеры или покрышки и т. д. Возможно положение, при котором неуравновешенные части двух передних колес направлены в разные стороны: на левом колесе — вперед, на правом — назад. Центробежная сила колеса, вызванная его вращением, наиболее велика именно там, где велика масса; сила создает момент вокруг оси шкворня,

и оба колеса на какое-то мгновение поворачиваются вправо. Но вот колеса совершили пол-оборота, и силы заставляют колеса повернуться влево. На протяжении одного оборота колес происходят два колебания; на скорости 50 км/час это составит 7—8 колебаний в секунду при больших значениях центробежной силы. Начинается виляние колес.

На некоторых (в частности, довоенных) конструкциях автомобилей с неразрезной передней осью можно было наблюдать виляние колес при езде по неровной дороге по другой причине: колесо перемещалось вверх и вниз по дуге, центром которой является точка переднего крепления рессоры; вместе с тем, передний конец продольной рулевой тяги также перемещался вверх и вниз вокруг центра на конце рулевой сошки. Получалось, что конец поворотного рычага должен был совершать движение по двум несовпадающим дугам. В результате, либо колесо получало колебательное движение вокруг оси шкворня, либо продольная тяга раскачивала сошку, чем вызывала «биение рулевого колеса». В новейших конструкциях с неразрезной осью (например, на грузовых автомобилях), стремясь устранить это явление, крепят передний конец рессоры на серьге или устанавливают рулевой механизм впереди оси, чтобы продольная тяга совершала примерно такие же колебательные движения, как и передняя половина рессоры. Колебания управляемых колес легковых автомобилей с независимой подвеской возможны, если центр качания рычагов подвески расположен далеко от центра качания соответствующего звена поперечной рулевой тяги.

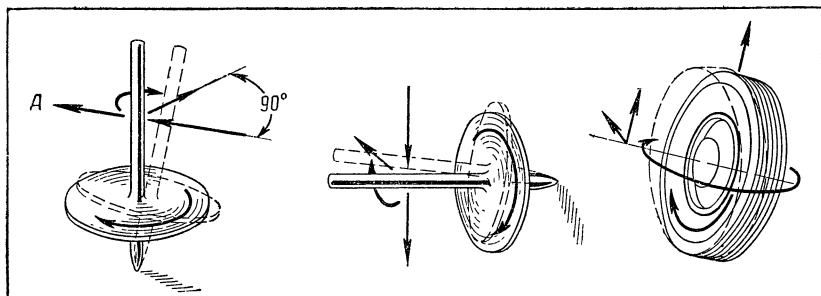
Недостаточная балансировка колес вызывает их угловые колебания.





Несовпадение центров качания рулевых тяг и рычагов или рессор подвески вызывает колебание колес. Вверху — подвеска с жесткой передней осью, внизу — независимая подвеска колес.

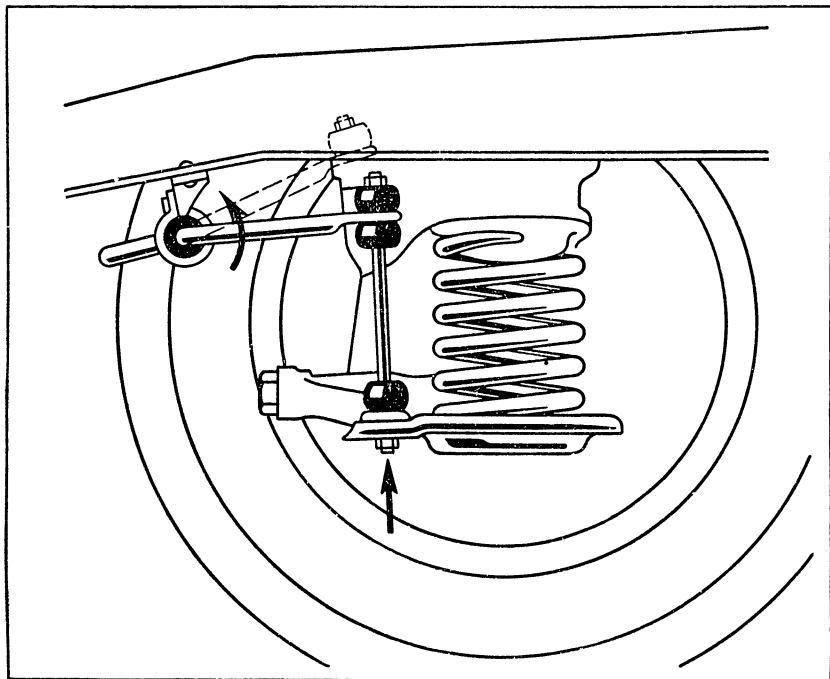
Колесо можно сравнить с волчком, который является простейшим гироскопом. Если попытаться наклонить вращающийся волчок по направлению А, волчок одновременно отклонится



Колесо, как волчок, стремится повернуться при наклоне.

в сторону под углом 90° . Если повернуть эту схему на 90° , то она становится похожей на колесо. При толчке от неровности дороги вращающееся колесо не только поднимается вверх и при этом наклоняется, но и вследствие гироскопического действия, стремится отклониться в сторону вокруг оси шкворня.

Вид сбоку (слева) на переднюю подвеску со стабилизатором поперечной устойчивости при снятом левом колесе. При подъеме левого рычага скручивается стержень стабилизатора, вследствие чего рама справа опускается и уменьшается крен кузова.



Это явление особенно заметно на автомобилях с неразрезной передней осью, у которых колеса наклоняются при переезде через неровности. При независимой подвеске колесо на неровной дороге сохраняет вертикальное положение. Однако на поворотах, когда кузов кренится под действием центробежной силы, наклоняются и колеса. Во избежание больших кренов кузова на автомобиле с независимой подвеской передних колес устанавливаются стабилизаторы поперечной устойчивости. Стержень стабилизатора связывает качающиеся части подвески с кузовом, скручивается при качании рычагов подвески и противодействует наклону кузова.

Упомянутые усовершенствования подвески современных автомобилей по сравнению с прежними не устраняют полностью колебаний колес. Колебания можно свести к минимуму, если обеспечить балансировку колес (не ставить на передние колеса вулканизированные покрышки) и правильную регулировку рулевых тяг, не допускать большого износа втулок и подшипников шкворня и передних колес, шарниров рулевого управления, чрезмерной затяжки пальцев передних концов рессор. Для хорошей балансировки колес удобно применять грузики, укрепляемые на ободе колеса в точке, противоположной неуравновешенному участку.

Если колебания управляемых колес становятся очень заметными, нужно уменьшить вертикальные перемещения колес. Это может быть достигнуто изменением скорости движения, лучше всего ее снижением (см. раздел „Плавность хода“).

ПРОКОЛ!

Будем надеяться, что читателю не придется терпеть серьезную аварию, которая может произойти вследствие потери устойчивости из-за соскакивания колеса, поломки той или иной части рулевого управления, заклинивания тормозов и т. д. Водители должны всегда следить за состоянием вверенных им автомобилей и не допускать такой аварии.

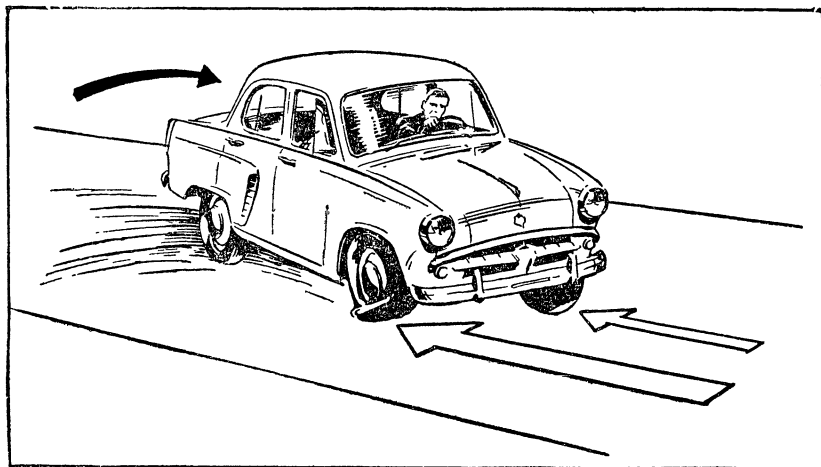
Но повреждение шины может случиться у каждого. И нужно знать, что происходит в этом случае с автомобилем и что должен делать при этом водитель.

При движении с малой скоростью неожиданный выход воздуха из камеры шины вследствие прокола или неисправности вентиля происходит на сравнительно длинном участке пути. Водитель, даже если он не услышал хлопка или свиста воздуха, успевает почувствовать, что автомобиль «ведет» в сторону поврежденной шины, что появилась неприятная тряска, и останавливает автомобиль без риска потери устойчивости. При движении с большой скоростью положение усложняется.

С понижением давления в шине увеличивается площадь контакта шины с дорогой и возрастает сопротивление качению колеса. Результирующая сил, приложенных к паре колес оси, в обычных условиях движения расположена посередине автомобиля, смещается в сторону и вызывает резкий поворот автомобиля вокруг центра, расположенного где-то около поврежденного колеса. Получается явление, сходное с заносом. Соответствующие меры должен предпринять и водитель. Но следует иметь в виду, что, если водитель, почувствовав повреждение шины, резко снизит скорость или начнет тормозить, то возросшая сила инерции еще больше увеличит занос. Поэтому в случае прокола шины на большой скорости нужно плавно снизить скорость и одновременно осторожно восстанавливать направление, хотя удержать рулевое колесо в руках бывает не так легко.

Говорят, что прокол — дело случая. Да, но от водителя зависит вероятность таких случаев. Нужно помнить, что причиной проколов чаще всего бывают гвозди от конских подков, от строительного мусора и что, как правило, переднее колесо поднимает гвоздь, ставит его на шляпку а шина заднего колеса прокалывается, если гвоздь не успел упасть. Отсюда выводы: не ездить по обочинам шоссе, накатанным гужевым транспортом, а если основное полотно шоссе не в порядке, то лучше снизить скорость и терпеть неудобства от выбоин шоссе, чем катить по мягкому проселку; не ездить (или ездить очень осторожно) по участкам дороги, засоренным строительным мусором; знать опасную в отношении прокола шин задних колес скорость дан-

При проколе сопротивление движению колеса резко возрастает.



ного автомобиля: для большей части автомобилей с базой около 3 м эта скорость равна примерно 80 км час; в тех местах, где возможно движение гужевого транспорта по основному полотну дороги (в населенных пунктах, на перекрестках), скорость нужно снизить это, кроме того, желательно и по соображениям безопасности, не связанным с сохранением шин).

РЕДКИЕ, НО ВСЕ ЖЕ ВОЗМОЖНЫЕ СЛУЧАИ

Автомобиль преодолевает очень крутой подъем. Скорость небольшая, установившаяся (вся тяговая сила затрачивается на преодоление сопротивления дороги) и поэтому силами сопротивления воздуха и ускорением можно пренебречь. Естественно предположить, что опрокидывание назад, если и произойдет, то вокруг линии, проходящей через точки касания задних колес с дорогой. Допуская опрокидывание, тем самым считаем, что реакция дороги на передние колеса в момент опрокидывания равна нулю, и ее можно не принимать во внимание. После всех этих допущений ясно, что автомобиль может опрокинуться, если сумма моментов, действующих вокруг этой линии против часовой стрелки, больше суммы моментов, действующих около той же оси по часовой стрелке, т. е. если

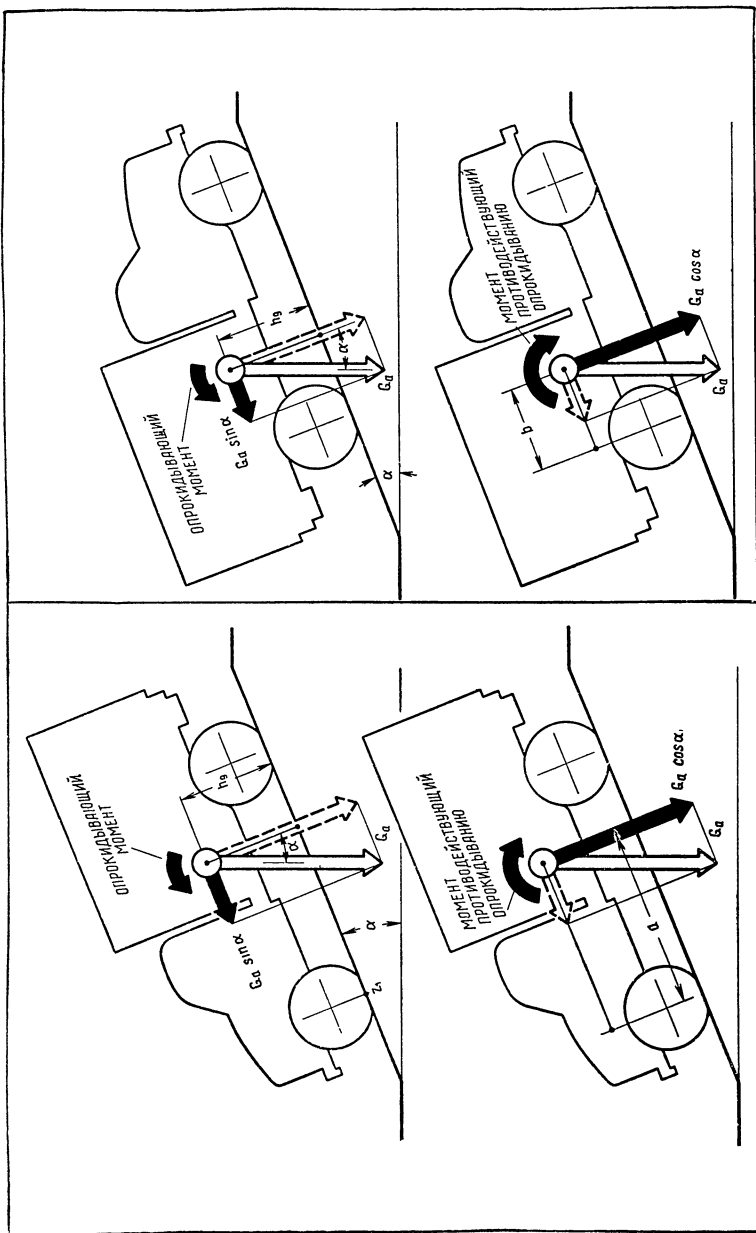
$$G_a h_g \sin \alpha > G_a b \cos \alpha. \quad (90)$$

Сокращая неравенство (90) на G_a и произведя преобразование, убеждаемся, что тангенс угла подъема (или подъем, выраженный в процентах), при котором может произойти опрокидывание, должен быть больше, чем отношение расстояния b к высоте центра тяжести h_g :

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} > \frac{b}{h_g} \text{ или } \operatorname{tg} \alpha > \frac{b}{h_g}. \quad (91)$$

Величина h_g у легковых автомобилей лежит в пределах 0,5—0,7 м, а величина b равна или немногим меньше половины колесной базы, т. е. 0,9—1,8 м (так как на задние колеса приходится 50—55% полного веса автомобиля). Отсюда вывод: для того чтобы легковой автомобиль мог опрокинуться назад на подъеме, тангенс угла подъема должен быть больше единицы (т. е. угол подъема больше 45°), в то время как предельный угол подъема для всех легковых автомобилей значительно меньше этой величины. Другими словами, легковой автомобиль не может опрокинуться назад: он либо остановится на подъеме, если сопротивление велико, а сцепление колес с грунтом достаточное, либо будет буксовать, скользить, если коэффициент сцепления мал.

У грузовых автомобилей с более высоким расположением центра тяжести и более нагруженными задними колесами отно-



На подъемах и спусках обычной крутизны опрокидывающему моменту противодействует значительно больший момент от веса автомобиля.

шение $b : h_g$ меньше, но все же близко к единице, и только в случаях перевозки длинномерных грузов (т. е. при смещении центра тяжести назад за заднюю ось) возможно уменьшение этого отношения до величины, меньшей, чем тангенс угла преодолеваемого автомобилем подъема.

Примерно то же значение, что и длинномерный груз, имеет прицеп к автомобилю, причем его влияние на опрокидывание автомобиля тем больше, чем больше его вес и чем выше расположено буксирное устройство на раме тягача. Тангенс угла подъема, при котором возможно опрокидывание тягача назад, определяется из равенства

$$\operatorname{tg} \alpha > \frac{G_a b}{G_a h_g + G_{np} h_c}, \quad (92)$$

где G_{np} — полный вес прицепа;
 h_c — высота буксирного устройства от поверхности дороги.

Приведем пример. Автомобиль ЗИЛ-150 весит 8000 кг, прицеп к нему — 4500 кг; на задние колеса автомобиля приходится 74% его веса при базе 4 м, т. е. величина b равна 1,04 м; высота центра тяжести груженого автомобиля около 1,25 м; высота буксирного устройства 0,76 м.

Тогда

$$\frac{8000 \cdot 1.04}{8000 \cdot 1.25 + 4500 \cdot 0.76} = 0,62,$$

т. е. опрокидывание произойдет, если тангенс угла подъема больше 0,62; значит угол должен быть больше 32° — величина, достаточно близкая к значению наибольшего преодолеваемого автомобилем ЗИЛ-150 угла подъема.

Еще худшее положение может быть при работе с прицепами автомобилей повышенной проходимости.

Рассматривая подобным же образом опрокидывание автомобиля вокруг передней оси, например, при движении с торможением на крутом спуске, убеждаемся, что такой случай еще менее вероятен, чем опрокидывание вокруг задней оси, так как расстояние a от передней оси до центра тяжести чаще всего больше b . Однако при резком торможении, как известно, появляется значительная сила инерции, направленная вперед. Поэтому для автомобилей с близким к равномерному распределению веса по осям и высоко расположенным центром тяжести резкое торможение на крутых спусках следует считать опасным.

Все сказанное относится к продольному опрокидыванию и сдвигу автомобиля на уклонах. На горизонтальной дороге продольное опрокидывание автомобиля может произойти лишь при редких, исключительных аварийных обстоятельствах.

УСТОЙЧИВОСТЬ АВТОМОБИЛЯ ЗАВИСИТ ОТ ВОДИТЕЛЯ

Конструкторы автомобилей сделали немало для того, чтобы автомобиль был устойчивым, безопасным. И современный автомобиль, действительно, устойчив и безопасен, но при одном условии: если водитель соблюдает определенные законы вождения машины. Эти законы следующие:

Следить за состоянием машины, особенно за исправностью шин, рулевого управления, рессор, амортизаторов и тормозов, за правильной установкой и балансировкой колес.

Не перегружать автомобиль, не нагружать его слишком высоким грузом.

Соблюдать рекомендуемое давление в шинах.

Если условия нагрузки шин позволяют добиваться характеристики недостаточного поворачивания путем снижения давления в передних шинах.

Снижать скорость перед поворотами.

Соблюдать осторожность при движении в ветреную погоду, особенно по местности, где открытые участки перемежаются с закрытыми.

Избегать резкости в управлении автомобилем, плавно поворачивать рулевое колесо, плавно нажимать на педаль тормоза и педаль подачи топлива.

На скользкой дороге снижать скорость, стараться не применять тормоза (лучше тормозить двигателем), не пытаться быстро разогнать автомобиль. Снижать давление в шинах задних колес. Проявлять особую осторожность на скользкой дороге.

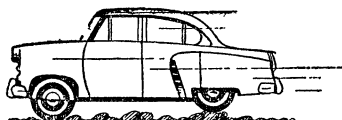
В случае заноса выправлять автомобиль быстрым поворотом рулевого колеса в сторону заноса.

В случае прокола плавно снижать скорость и выравнять автомобиль рулевым колесом. Избегать езды по обочинам и по строительному мусору, снижать скорость в населенных пунктах и на перекрестках.

Проявлять особую осторожность при езде с прицепом или длинномерным грузом на подъемах.

Не тормозить резко на спусках.

Можно и нужно ездить с большой скоростью. Но при этом не забывать, что сохранить устойчивость автомобиля на большой скорости труднее, чем на малой.



Плавность хода

НЕОБХОДИМО УМЕНЬШИТЬ ТРЯСКУ

Есть еще в наших автохозяйствах грузовые и легковые машины старых выпусков. Они угловатые, тихоходные, мало мощные, шумные, но не об этих качествах будет идти речь. Путешествие на такой машине даже по асфальтовой дороге — дело не очень приятное. При малейшей неровности на мостовой пассажиров подбрасывает на сиденьях, а грузы — на платформе; даже трещины асфальта отдаются в кузове сухими короткими ударами; если водитель не доглядел и не замедлил заблаговременно ход автомобиля перед малозаметной, но глубокой «волной» на дороге, машина ныряет в «волну» и потом еще долго качается; резкий удар сотрясает кузов, когда колесо попадает в выбоину мостовой; стоит попытаться объезжать каждую выбоину, делая крутые повороты, и кузов начинает раскачиваться с боку на бок. И вот, перед каждой неровностью водитель вынужден снижать скорость, напряженно следить за дорогой.

Но это мало выручает: после двух-трех часов езды водитель и пассажиры чувствуют недомогание, одежда сминается и начинает натирать тело, грузы в кузове занимают самые неожиданные положения. Что же говорить о езде в такой машине по булыжнику, тем более неровному, или по ухабистому проселку, где выбоины, «вслны» и выступающие камни встречаются на каждом метре пути. Езда становится мучительной, автомобиль бросает в стороны. Вдвое снижается скорость, растет сопротивление движению, водителю приходится часто переключать передачи и тормозить, двигатель работает неравномерно. В результате — повышенный расход топлива, малая произво-

длительность автомобиля и быстрый его износ, переутомление водителя и пассажиров, порча грузов.

Так обстоит дело при езде на несовременном автомобиле по плохим дорогам, которых еще немало. Но такой автомобиль не только невыгоден в эксплуатации, не только портится сам от своих же недостатков, но и портит дорогу. Удары его колес, их переменное давление на дорогу стирают дорожное покрытие, создают трещины и выбоины, создают и углубляют «волны», а затем вовсе разрушают покрытие до основания.

Современные автомобили, в особенности многие легковые, в значительной мере лишены этих недостатков. При езде по растресканному асфальту и даже по булыжной или гравийной дороге в кузове стоит только гул, но толчки не ощущаются. Попав на «волну» дороги, автомобиль мягко приседает на рессорах, раз-другой слегка качнется и снова ровно идет дальше. Можно ехать со сравнительно большой скоростью и по плохой дороге, не утомляясь, и без опасений разбить машину.

Что отличает современный автомобиль от прежнего с точки зрения плавности хода, т. е. его способности обеспечивать езду пассажиров или перевозку грузов с наименьшими колебаниями и толчками? На обоих автомобилях установлены пневматические шины, рессорная подвеска, пружинные сиденья. Но эти элементы разные у сравниваемых машин. У автомобиля старого выпуска — жесткие шины высокого давления, жесткие листовые рессоры, сиденья с обычными пружинными подушками, как у дивана в комнате. У современного автомобиля — большие шины низкого давления поглощают мелкие неровности дороги; на мягких витых пружинах передней подвески и длинных листовых рессорах задней подвески кузов плавно покачивается, а мощные жидкостные (гидравлические) амортизаторы прекращают качку, как только «волна» дороги, ухаб или бугор остались позади; в подушках сидений установлена система пружин в чехлах и матрацев. Сама компоновка всего автомобиля, многие его детали (рычаги подвески колес, резиновые втулки, прокладки и т. д.) устроены таким образом, чтобы дать автомобилю наилучшую плавность хода.

Из сказанного следует, что плавность хода — важное качество автомобиля, влияющее на его удобства, производительность, экономичность, долговечность. Для достижения этого качества необходимы мягкие шины и рессоры, сильные амортизаторы, соответствующая компоновка машины, рационально устроенные рычаги подвески, прокладки и т. д.

Однако при детальном изучении вопросов плавности хода автомобиля обнаруживается, что:

1) достаточно неправильно выбрать один из перечисленных элементов, участвующих в обеспечении плавности хода, чтобы нарушить согласованное действие всех прочих;

2) один неисправный элемент (например амортизаторы) может нарушить плавность хода даже у автомобиля с отличной плавностью хода;

3) на плавность хода автомобиля можно воздействовать определенными приемами вождения машины и ухода за ней; в руках опытного водителя и старинный автомобиль приобретает некоторую плавность хода, а в руках новичка современный автомобиль подчас кажется пассажирам несовершенным.

Наука о плавности хода — очень сложная и еще молодая наука. Поэтому рассмотрим только главные моменты, связанные с плавностью хода автомобиля, а именно:

1) как влияют колебания автомобиля на пассажиров и на грузы;

2) как оценивают плавность хода;

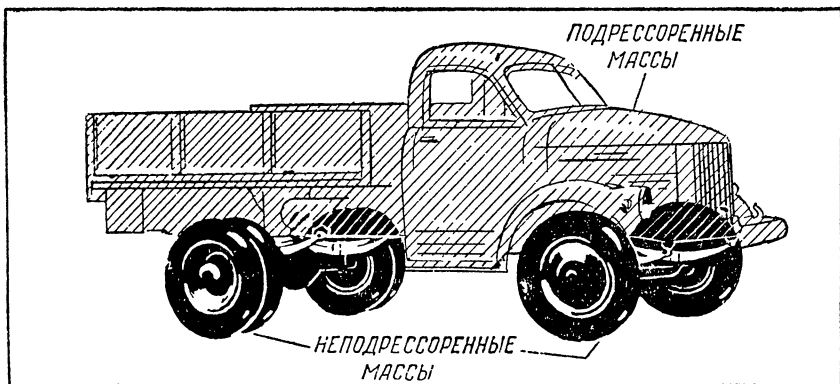
3) как колеблется автомобиль при переезде через те или иные неровности дороги, а также при разгоне и торможении;

4) как влияют на поведение автомобиля и на ощущения пассажиров (при переезде через неровности дороги) конструктивные особенности автомобиля; при каком устройстве отдельных элементов конструкции и каком их сочетании тому или иному автомобилю обеспечивается наилучшая плавность хода;

5) как водитель может улучшить плавность хода автомобиля.

Когда говорят о плавности хода автомобиля, нередко подразумевают не столько колебания от неровностей дороги, сколько рывки от небрежного включения передач и сцепления, от «дергания» двигателя, от резкого торможения. Эти явления хотя и влияют на плавный ход автомобиля, к плавности хода в современном научном понимании не относятся. Они очень мало зависят от конструкции автомобиля, в особенности если установлены коробка передач с синхронизаторами или автоматическая коробка передач, плавно действующие сцепление и тормозы, двигатель с большим запасом мощности. Эти явления почти целиком зависят от навыков водителя и рассматриваться не будут.

Массы отдельных частей автомобиля делят на две группы — подрессоренные и неподрессоренные, хотя эти укоренившиеся термины нельзя назвать очень удачными: подрессоренные массы, как правило, находятся над рессорами, а неподрессоренные — под рессорами. К подрессоренным массам относят части автомобиля, вес которых передается на упругие элементы подвески; эти части (рама с механизмами, кузов, полезная нагрузка) покоятся на упругих элементах (рессорах, пружинах), которые защищают их от толчков, передаваемых от неподрессоренных масс (колес с шинами и тормозами, осей и т. д.). Вес частей автомобиля, которые, с одной стороны, крепят к неподрессоренным частям, а с другой — к подрессоренным, принято делить пополам между неподрессоренными



Под рессорами расположены неподдресоренные массы, а над рессорами — поддресоренные.

и поддресоренными массами; к таким частям относятся сами упругие элементы подвески, рычаги подвески, карданные валы, рычаги амортизаторов, реактивные штанги.

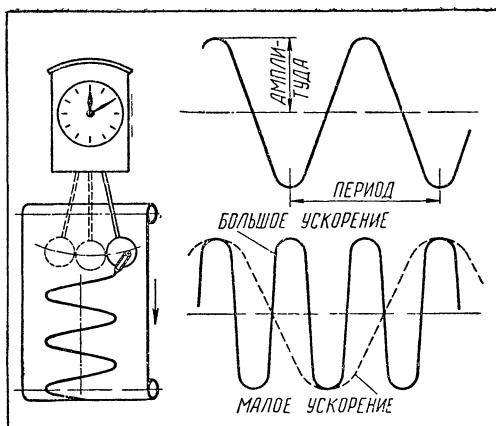
КОЛЕБАНИЯ

Под плавностью хода подразумевается отсутствие качки и тряски или, правильнее говоря, отсутствие неприятных и вредных колебаний. Поэтому при изучении плавности хода автомобиля в основном рассматривают колебания его масс (колес, осей, кузова и других частей) на неровностях дороги, т. е. при повторяющихся перемещениях этих частей машины. Наиболее существенны колебания в вертикальном направлении (вертикальные колебания) и колебания вокруг какого-нибудь центра (угловые колебания) в продольной плоскости.

Всем известна простейшая колебательная система — маятник. Если к маятнику приделать карандаш и передвигать под ним бумагу, то маятник вычертит кривую. Обычно по горизонтальной оси отложено время, а по вертикальной оси — отклонение маятника или какого-либо другого колеблющегося тела от среднего положения.

Всякие колебания тел характеризуются периодом этих колебаний, их частотой, амплитудой и ускорением. Период колебаний — это время между двумя последовательными возвращениями к одному и тому же положению тела, выражаемое в секундах или минутах. Частота колебаний — это число колебаний в единицу времени, т. е. величина, обратная периоду; если период колебаний составляет, скажем, 2 сек. или $\frac{1}{30}$ мин., то частота составляет $\frac{1}{2}$ (или 0,5) колебаний в секунду или 30 колебаний в минуту (кол/мин). Амплитуда — это

размах колебания, т. е. наибольшее расстояние, на которое при колебаниях отходит тело от среднего положения; амплитуда колебания измеряется в мм, см и м. Ускорение, как известно из изучения разгона и торможения автомобиля, — это изменение скорости за единицу времени. На графике колебаний ускорение определяется изменением наклона касательных к кривой колебаний.



Колебания маятника и запись колебаний.

Если наклон изменяется постепенно — ускорение невелико, если наблюдается резкое изменение наклона — ускорение велико.

Для правильного представления о том или ином ускорении следует сравнивать его с ускорением силы тяжести g ($9,81 \text{ м/сек}^2$), т. е. с ускорением, возникающим при свободном падении тела на землю без учета сопротивления воздуха.

После того, как тело выведено из состояния покоя или отклонено от установившегося направления движения (например, кузов автомобиля после толчка, переданного рессорами от колес при переезде через неровности), тело совершает дальнейшие свободные колебания, если этому не препятствуют какие-либо силы. Всякой упругой системе присущи свободные колебания с определенной для нее частотой свободных колебаний, называемой частотой собственных колебаний.

Частота собственных колебаний n зависит от массы тела (или от веса тела, деленного на ускорение силы тяжести) и от жесткости упругой части системы и может быть выражена уравнением

$$n = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{c}{m}} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{cg}{G}} \text{ кол./мин.} \quad (93)$$

где m — масса тела в кгсек²/см;

G — вес тела в кг;

π — (греческая буква «пи») — отношение длины окружности к ее диаметру; равно 3,14;

c — жесткость подвески в кг/см (т. е. количество кг, необходимое для прогиба или оседания тела на 1 см);

g — ускорение силы тяжести, равное $9,81 \text{ м/сек}^2$.

Подставляя в уравнение значения π и g , получаем (округленно)

$$n = \frac{30}{3.14} \sqrt{\frac{9.81c}{G}} \approx 30 \sqrt{\frac{c}{G}} \text{ кол./мин.} \quad (93)$$

Если тело изолировано от источников колебаний несколькими упругими элементами, их отдельные жесткости c можно привести к одной равноценной им приведенной жесткости c_n .

ПАССАЖИРАМ НУЖЕН ПОКОЙ

Человеку наиболее привычны колебания, близкие к колебаниям при ходьбе. Считая, что шаг пешехода равен в среднем 0,75 м, нетрудно подсчитать, что привычная для человека частота собственных колебаний составляет: при скорости хода 3 км/час

$$n_{r_1} = \frac{3000}{0.75 \cdot 60} = 67 \text{ кол./мин.}$$

при скорости хода 4 км/час

$$n_{r_2} = \frac{4000}{0.75 \cdot 60} = 89 \text{ кол./мин.}$$

Принято считать, что частота около 80 кол/мин воспринимается человеком безболезненно. Меньшая частота в известных условиях может вызвать укачивание, вплоть до тошноты; более высокая частота (примерно до 400—600 кол/мин) воспринимается болезненно, как неприятная тряска. Колебания при дальнейшем возрастании частоты приобретают характер вибрации, воспринимаемой иначе, чем тряска, и весьма неприятной, если она ничем не поглощается (впрочем, эластичность человеческого тела обеспечивает значительное поглощение вибрации). При вибрации тело (например, стенки кузова) вызывает колебания соседних слоев воздуха; эти колебания действуют на слуховые органы человека, как резкий шум, а сами вибрации воспринимаются как неприятная дрожь, что вредно отзывается на состоянии человека.

Колебания этого рода в дальнейшем подробно рассматривать не будем. Отметим лишь следующее. Доказано, что вибрации со временем разрушают различные сооружения: корпуса самолетов и судов, кузова автомобилей. В автомобиле вибрации вызываются мелкими повторяющимися неровностями дороги (например, на булыжной мостовой), колебаниями двигателя, карданного вала, а также свободными колебаниями больших плоскостей кузова. Защита пассажиров и грузов от высокочастотных колебаний может быть осуществлена разными средствами, в первую очередь снижением давления в шинах.

Другой мерой защиты является установка мягких резиновых прокладок между деталями кузова и источниками (или проводниками) вибраций — рычагами и балкой подвески, рессорами, лапами картера двигателя и т. д. Наконец, вибрации, все же дошедшие до кузова, могут быть как бы отгорожены от пассажиров или грузов слоем изоляции из мягких прокладок, битумной мастики, тканевой обивки. Тонкие плоские листы металла, плохо закрепленные детали легко воспринимают, передают и даже умножают вибрации, так как они под действием внешней силы сами склонны к высокочастотным колебаниям. Поэтому с точки зрения уменьшения вибраций очень важны надежное закрепление всех деталей автомобиля и большая жесткость самих деталей. Эта жесткость достигается тем, что панели кузова делают не плоскими, а выпуклыми или вогнутыми, снабжают их ребрами — выштамповками, придают им коробчатую форму, приваривают к ним профильные усилители. Этим одновременно увеличивается и прочность кузова.

Но дело не только в частоте колебаний. При одной и той же частоте колебания с малыми амплитудами воспринимаются человеком легче, чем с большими.

Особенно неприятным для человека в процессе колебаний является ускорение, т. е. нарастание или убывание скорости перемещения во время колебаний. Этим объясняются неприятные для многих людей ощущения на качелях, в лифтах, при спуске самолета или на «воздушных ямах», на морских судах, при езде на автомобиле с резкими поворотами или сменой подъемов и спусков (в горах). Ничтожное, казалось бы, вертикальное ускорение в $0,11—0,12$ м/сек² уже ощущается человеком (так называемый «порог раздражения»); ускорения примерно до $1,5—2$ м/сек² воспринимаются еще безболезненно, а дальнейшее возрастание ускорений вызывает крайне неприятные ощущения, вплоть до трудно выносимых головных и мышечных болей, тошноты и т. д. (при ускорениях около 10 м/сек² и выше).

Большое значение для восприятия имеет направление ускорений. Вследствие эластичности человеческого тела обеспечивается некоторая защита головного мозга от передаваемых к мозгу ускорений. Ускорения, направленные перпендикулярно продольной оси тела, почти не передаются голове (ускорение при разгоне и торможении автомобиля), ускорение же вдоль оси тела, в особенности резкие толчки, достигают головного мозга и воспринимаются болезненно. Самыми же неприятными являются угловые ускорения, тем более — в продольной плоскости (эти ускорения вызывают наклоны тела вперед и назад, наиболее резкие в верхней части тела).

Следует отметить, что все приведенные выше и далее величины частот, амплитуд и ускорений нужно рассматривать, как «средние». В зависимости от пола, возраста, состояния

здоровья, степени утомления, привычки того или иного человека к езде на автомобиле эти значения изменяются в очень больших пределах.

Из сказанного следует, что недостаточная плавность хода автомобиля приводит к физическому и нервному утомлению пассажиров и водителя, а это приводит к снижению скорости и уменьшению безопасности движения.

ГРУЗ И ТРЯСКА

Грузовые автомобили ГАЗ-63, ЗИЛ-150 и ЗИЛ-151 были испытаны на булыжных и проселочных дорогах среднего качества с помощью особого прибора — акселерографа, который записывал частоты колебаний и ускорения, испытываемые грузом, помещенным в передней или задней части платформы автомобиля. Скорость автомобилей составляла 30 и 50 км/час, т. е. соответствовала реальным условиям движения по плохим дорогам, нагрузка в кузове была неполной — 10 и 50% от полной нагрузки (работы д-ра техн. наук Я. М. Певзнера и А. В. Воробьева в НАМИ).

Когда расшифровали записи акселерографа, то увидели, что на кузов передаются колебания различной частоты: низкая частота от работы подвески при переезде через неровности дороги, равная для передней подвески 110—150 кол/мин, для задней 150—300 кол/мин; частота собственных колебаний неподрессоренных масс (колес, осей, рессор) 400—800 кол/мин; колебания от работы двигателя и силовой передачи 1400—2200 кол/мин; высокочастотные свободные колебания рамы и кузова 4500—5000 кол/мин.

При колебаниях последних трех диапазонов ускорения были сравнительно невелики, не превышали 4—7 м/сек². При колебаниях, возникающих при переезде через неровности дороги, картина резко менялась. Грузу, закрепленному на полу кузова, систематически сообщалось ускорение до 15 м/сек², нередко до 35 м/сек², а в отдельных случаях до 50 м/сек², т. е. в 5 раз больше ускорения силы тяжести. Ускорения незакрепленных грузов возрастали еще в 10 раз — до 500 м/сек².

При затягивании грузов веревками силой одного-двух человек ускорения все же доходили до 250 м/сек², когда прижимали груз доской, укрепленной на бортах, то уменьшалось ускорение легких грузов, а тяжелые грузы вызывали прогиб доски, и ускорения их были примерно равны ускорениям незакрепленного груза.

Ускорения были наибольшими в задней части платформы, наименьшими — в передней и возрастали с уменьшением нагрузки в кузове. При нагрузке в 50% от полной нагрузки ускорения были вдвое меньше, чем при почти пустом кузове

(10% от полной нагрузки). Ускорения в продольном направлении, вызываемые смещениями груза от тряски, от торможения, разгона и раскачиваний кузова на неровностях дороги, были примерно такими же, как и в вертикальном направлении.

Под действием больших ускорений грузы отрывались от пола кузова, подсакивали на высоту 25—80 мм и опрокидывались. В момент подсакивания грузов на высоту 25 и 50 мм ускорения доходили до 190 м/сек^2 , а при подсакивании на высоту 80 мм — до 245 м/сек^2 . Только в случае установки груза без закрепления, но на резиновых или иных подушках — амортизаторах — колебания груза снижались до уровня колебаний груза, закрепленного болтами на полу кузова.

Нетрудно представить себе, каковы были бы ощущения пассажиров в грузовом кузове (и это знают те, кому приходилось ездить в кузове грузовика по плохим дорогам) и какой ущерб наносит грузам, да и самому кузову недостаточная плавность хода автомобиля.

ЧТО ТАКОЕ „ХОРОШО“ И ЧТО ТАКОЕ „ПЛОХО“

В зависимости от конструктивных особенностей автомобиля — его веса, устройства подвески и амортизаторов, давления в шинах, эластичности сидений, расположения сидений (или грузового кузова) по отношению к осям передних и задних колес — в кузове обеспечивается та или иная характеристика колебаний.

Как оценить плавность хода автомобиля, какую характеристику следует считать хорошей и какую плохой?

Было предложено несколько методов оценки, но еще ни один не признан полностью пригодным. Из них наиболее близка к действительной и проста оценка по величине ускорений и по их числу. В основе ее лежит предпосылка, что утомление человека от езды в кузове автомобиля зависит главным образом от числа толчков или колебаний и от их величины, т. е. ускорений, с которыми происходят колебания. Чем больше толчков испытывает человек на определенном отрезке пути и чем резче эти толчки, тем скорее наступит утомление.

Результатом проведения многочисленных испытаний явилась шкала (табл. 17), которая дает возможность оценивать плавность хода любого автомобиля в данных условиях. Для этого нужно сделать запись колебаний с помощью акселерографа, который ставится на сиденье или на пол кузова, расшифровать эту запись и подсчитать число колебаний для каждого значения вертикальных ускорений.

На хорошей асфальтовой или бетонной дороге плавность хода современных легковых автомобилей, как правило, отличная, реже — хорошая, грузовых — хорошая и посредственная.

Шкала оценки плавности хода автомобиля

Оценка	Приблизительная характеристика плавности хода	Число толчков на 1 км пути при ускорении в вертикальном направлении в м/сек ²					
		2	2—3	3—5	5—7	7—10	Более 10
Отлично	Плавный ход автомобиля	15—20	2—5	—	—	—	—
Хорошо	Незначительные колебания	25—30	12—15	1—2	—	—	—
Посредственно	Колебания средней силы, толчки	—	30—40	10—12	0—1	—	—
Неудовлетворительно	Резкие толчки	—	—	—	Больше 10	Больше 1	—
Очень плохо	Непрерывные резкие толчки и сильные колебания; пассажиры вынуждены держаться	—	—	—	Больше 1	2—5	Больше 1

На булыжной мостовой среднего качества плавность хода автомобиля М-20 «Победа» и М-21 «Волга», ЗИМ, ЗИЛ-110 оценена отличной и хорошей на переднем сиденье, на заднем сиденье — снижена до посредственной. Оценка плавности хода автомобиля «Москвич-401» и грузовых автомобилей не превышает уровня «посредственно». У автомобиля «Москвич-402» плавность хода немного лучше.

ОТ ТРЯСКИ ЗАЩИЩАЮТ НЕ ТОЛЬКО РЕССОРЫ И ШИНЫ

Плавность хода зависит от многих обстоятельств, но в основном на нее влияют:

вес автомобиля, т. е. вес поддресоренных и неподдресоренных масс;

компоновка автомобиля, т. е. расположение сидений и помещения для груза и механизмов;

длина базы и ширина колеи автомобиля, расположение центра тяжести автомобиля и его поддресоренных масс по длине и по высоте;

размеры колес и шин;

жесткость передней и задней подвесок, трение в системе подвески, жесткость амортизаторов, внутреннее давление в шинах и их жесткость;

конструкция подвески и, в зависимости от нее, расположение оси крена, т. е. оси, вокруг которой происходит раскачивание кузова (см. ниже).

Для примера во всех случаях будем рассматривать легкой автомобиль среднего класса с полным весом 2500 кг и длиной 5,5 м; отдельные элементы автомобиля будем изменять, чтобы выявить их влияние на плавность хода; при этом будем считать, что остальные элементы выполнены наиболее целесообразными для данного случая.

Вес автомобиля в целом не имеет значения для плавности хода. Иногда говорят, что тяжелые автомобили более спокойные, но это утверждение опровергается многочисленными примерами. Грузовые автомобили значительно более тяжелые, чем легковые, но их плавность хода хуже. Другим примером могут служить современные малолитражные автомобили; езда в их кузове (например, в новой модели автомобиля «Москвич») гораздо спокойнее, чем в некоторых «больших» автомобилях прежних выпусков.

Упомянутое утверждение основано на том, что условия для плавности хода на маленьком автомобиле труднее осуществить, чем на большом, по причинам, которые рассмотрены ниже. Защитники такого утверждения обычно приводят «простое» доказательство: плавность хода нагруженного (т. е. более тяжелого) автомобиля, как правило, лучше плавности хода ненагруженного. Но это доказывает лишь, что плавность хода улучшается с увеличением веса поддресоренных масс, точнее с увеличением отношения веса поддресоренных масс к весу неподдресоренных. Ведь, когда увеличивается нагрузка автомобиля, увеличение его веса происходит исключительно за счет поддресоренных масс. Если вес, равный нагрузке, добавить к неподдресоренным массам (осям, колесам и деталям подвески) или даже поделить между поддресоренными и неподдресоренными, плавность хода не только не улучшится, но заметно ухудшится. По соображениям прочности неподдресоренные массы малого автомобиля трудно сделать очень легкими; поэтому плавность хода малых и легких (за счет двигателя, кузова и т. д.) автомобилей часто хуже плавности хода больших.

Чтобы разобраться в значении веса различных масс для плавности хода, сделаем мысленно такой опыт. Заставим автомобиль «Москвич» двигаться накатом и толкнуть буфером стоящий автомобиль ЗИМ. Всякому ясно, что после соприкосновения этих машин автомобиль ЗИМ едва сдвинется с места, а «Москвич» остановится или даже откатится назад. Если сделать наоборот, то стоявший до этого «Москвич» покатится довольно далеко, а ЗИМ лишь слегка замедлит ход. Объяснение этого опыта простое: масса автомобиля ЗИМ в 2 раза больше массы автомобиля «Москвич».

Примерно такое же взаимодействие масс происходит в вертикальном направлении, при толчке, передаваемом от колеса через подвеску на кузов автомобиля. Чем меньше масса колеса и других неподрессоренных частей и чем больше масса кузова и других поддрессоренных частей, тем менее ощутимым будет толчок, переданный на кузов, тем меньше переместится кузов.

Отношение поддрессоренной массы к неподрессоренной принято называть коэффициентом поддрессоренных масс и обозначать греческой буквой μ («мю»):

$$\mu = \frac{m_{\text{подр}}}{m_{\text{неподр}}} = \frac{G_{\text{подрг}}}{G_{\text{неподрг}}} = \frac{G_{\text{подр}}}{G_{\text{неподр}}} \text{ кг/кг.} \quad (94)$$

Так как множитель g ($9,81 \text{ м/сек}^2$) входит и в числитель и в знаменатель, коэффициент поддрессоренных масс можно рассматривать как отношение значений веса масс, а не самих величин масс.

Допустим, что удалось тем или иным способом уменьшить вес неподрессоренных масс рассматриваемого автомобиля, до этого составлявший 300 кг , на 5% , т. е. на 15 кг , и за счет этого (сохраняя полный вес 2500 кг) установить более мощный двигатель, автоматическую коробку передач или дополнительное оборудование в кузове. Коэффициент поддрессоренных масс, равный до этого

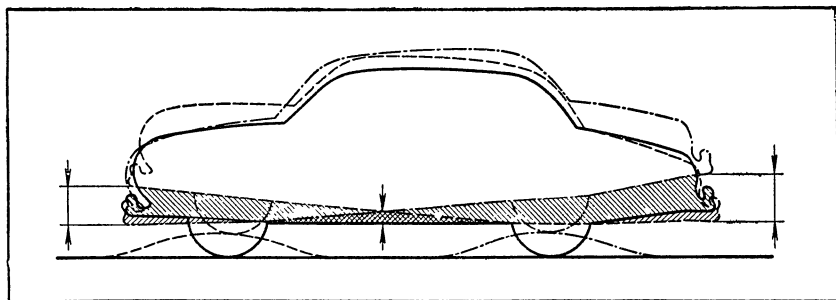
$$\mu_1 = \frac{2500 - 300}{300} = \frac{2200}{300} = 7,33,$$

возрастет до

$$\mu_2 = \frac{2500 - 285}{285} = \frac{2215}{285} = 7,76,$$

т. е. на 6% . Для большей наглядности укажем, что этот результат может быть получен путем облегчения каждого колеса с тормозом всего лишь на 4 кг . Облегчение неподрессоренной части на 15 кг без утяжеления поддрессоренной тоже дало бы ощутимое увеличение коэффициента μ на 5% .

Именно преимуществами, получающимися при уменьшении веса неподрессоренных масс, в первую очередь объясняется наблюдающееся в последние годы уменьшение колес автомобилей и применение независимой подвески колес. О том, как влияют на плавность хода уменьшенные размеры колеса и схема независимой подвески, будет рассказано ниже. Возможность уменьшения веса колес с уменьшением их размеров не требует особых доказательств: уменьшение же веса неподрессоренных масс при независимой подвеске достигается за счет устранения балки оси (или переноса ее на кузов). Известны и другие меры: перенос тормозных барабанов с колес на полуоси (при независимой подвеске задних колес), применение колес с отверстиями

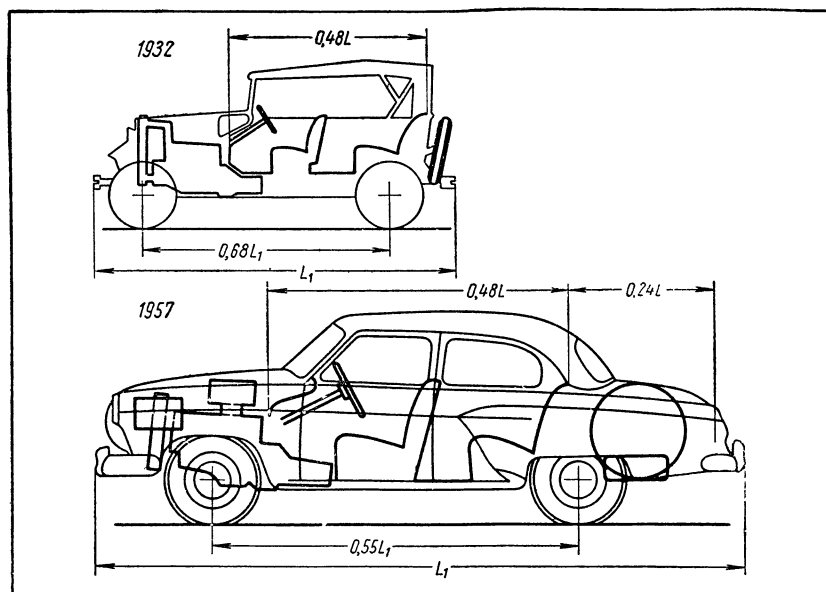


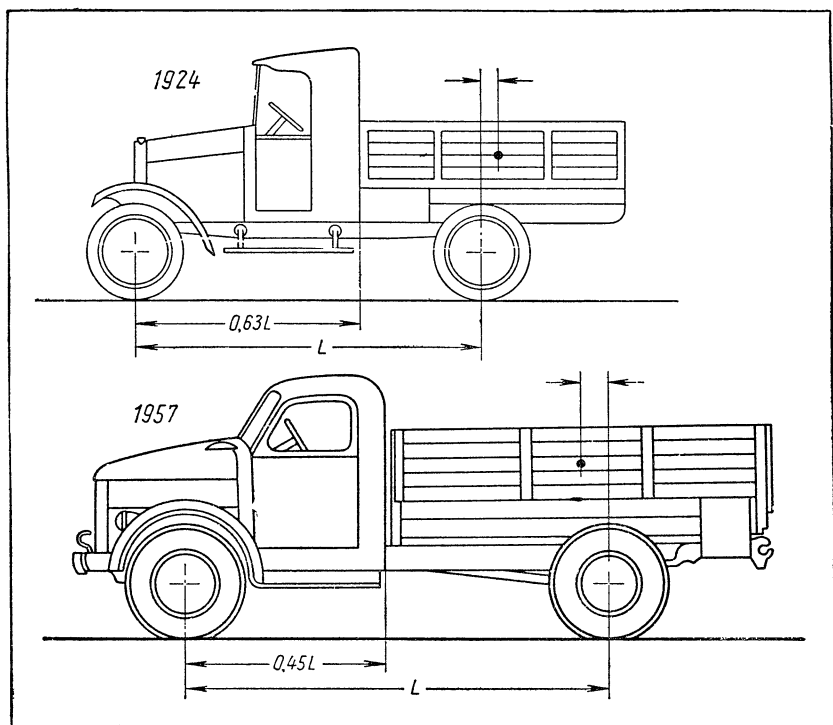
Вертикальные перемещения наименее ощутимы в середине базы.

(ГАЗ-51), тормозных барабанов из алюминия, легких дисковых тормозов, стержневой подвески вместо рессорной или пружинной. Эти меры получают все большее применение в конструкциях автомобилей.

Расположение сидений и помещения для груза по длине автомобиля имеет решающее значение для плавности хода, ощущаемой пассажирами или воспринимаемой грузом. *Колесная подвеска менее всего ощущается в средней части колесной базы, более всего — на крайних участках переднего и*

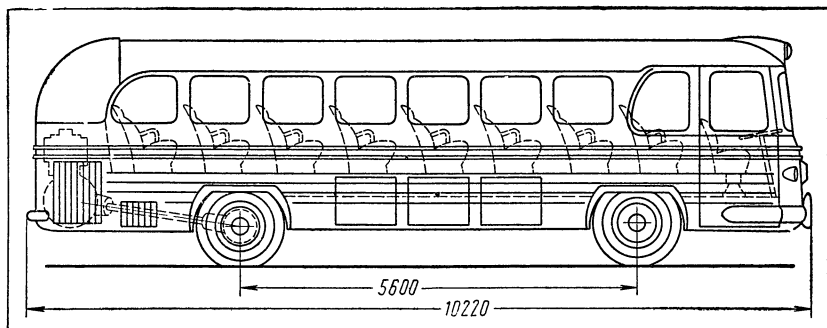
Поддрессоренные массы прежних легковых автомобилей находятся в пределах базы, а у новых — разнесены по всей длине, причем база относительно короткая.





Центр тяжести поддресоренных масс прежних грузовых автомобилей сдвинут назад, у новых — вперед.

заднего свесов автомобиля. В последних конструкциях легковых автомобилей сиденья смещены вперед (по сравнению с прежним их положением, когда заднее сиденье находилось в области заднего моста) и расположены в пределах базы (ЗИМ, М-21 «Волга»); на грузовых автомобилях кабина и платформа также сдвинуты вперед (ГАЗ-51). Однако выполнение требования лучшего использования пространства и сокращения базы (например, по соображениям маневренности) иной раз приводит к такой компоновке, при которой водитель и пассажиры располагаются непосредственно над осями колес, и за пределами базы (в автобусах вагонного типа); тогда приходится принимать особые меры для улучшения плавности хода. Вместе с тем, такая компоновка и сама несколько выправляет положение, так как поддресоренные массы лучше распределены по длине автомобиля. *Автомобиль труднее раскачать, если его поддресоренные тяжелые части расположены далеко от середины, но зато и остановить уже начавшиеся колебания труднее, потребуются мощные амортизаторы.*



У автобуса вагонного типа сиденья расположены не только в пределах базы, но и над осями, и в области переднего и заднего свесов.

Склонность автомобиля к раскачиванию оценивают коэффициентом распределения массе («эпсилон»):

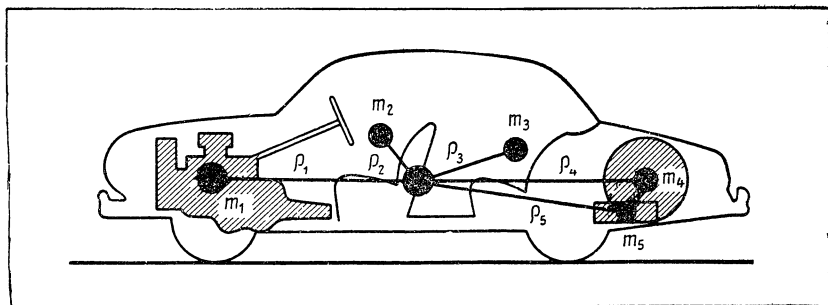
$$\epsilon = \frac{\rho^2}{ab}, \quad (95)$$

где ρ (греческая буква «ро») — радиус инерции поддрессоренных масс;

a и b — соответственно расстояния от передней и задней осей до центра тяжести поддрессоренных масс.

Поясним, что такое радиус инерции. Масса автомобиля состоит из масс ряда механизмов, оболочки кузова, сидений, полезной нагрузки. Для всех этих масс можно найти такой условный общий центр, что если в нем поместить сразу всю массу автомобиля, то характер колебаний при этом не изменится. Радиусом инерции называется расстояние от центра масс до центра тяжести тела.

Радиусы инерции отдельных поддрессоренных масс.



Радиус инерции ρ поддресоренных масс автомобиля можно найти (несколько упрощенно) из уравнения

$$m_{\text{подр}}\rho^2 = m_1\rho_1^2 + m_2\rho_2^2 + \dots + m_n\rho_n^2 \quad (96)$$

или

$$\rho = \sqrt{\frac{m_1\rho_1^2 + m_2\rho_2^2 + \dots + m_n\rho_n^2}{m_{\text{подр}}}}, \quad (97)$$

где $m_{\text{подр}}$ — поддресоренная масса автомобиля;
 m_1, m_2, \dots — массы его отдельных элементов;
 ρ_1, ρ_2, \dots — радиусы инерции этих масс относительно центра тяжести автомобиля.

Так как значение ускорения силы тяжести входит в каждый член подкоренного выражения, величину радиуса инерции ρ можно узнать из еще более простого уравнения

$$\rho = \sqrt{\frac{G_1\rho_1^2 + G_2\rho_2^2 + \dots + G_n\rho_n^2}{G_{\text{подр}}}}, \quad (98)$$

где $G_{\text{подр}}$ — вес поддресоренных масс автомобиля;
 G_1, G_2, \dots — веса отдельных элементов автомобиля.

Желательно величину коэффициента распределения масс ϵ выдерживать примерно равной единице; значительное уменьшение или увеличение ϵ приводит к неудовлетворительной плавности хода и ухудшению устойчивости автомобиля.

Проверим распределение масс в рассматриваемом автомобиле. Если автомобиль сконструирован по довоенному образцу с двигателем позади передней оси и задним сиденьем около задней оси, то база равна примерно 3,6 м, расстояния a и b (в случае распределения веса по колесам в отношении 45—55%) равны 2,0 и 1,6 м, радиус инерции равен около 1,14 м, коэффициент распределения масс — около 0,4.

Для автомобиля с современной компоновкой, т. е. при вынесенном вперед двигателе, базе, сокращенной до 3,2 м, и сиденьях, расположенных в пределах базы, величины a и b составят по 1,6 м, радиус инерции равен около 1,6 м, коэффициент распределения масс — около единицы.

Если попробовать применить рассмотренную выше автобусную компоновку «вагонного типа», радиус инерции примерно сохранится, но база сократится до 2,5 м, расстояния a и b — до 1,25 м, а коэффициент распределения масс будет равен 1,63. Потребуется особые меры, чтобы предотвратить раскачивание (галопирование) автомобиля, которое может возникнуть на значительных волнообразных неровностях дороги.

Нередко считают, что длина колесной базы является почти главной особенностью автомобиля, определяющей его плавность хода, и что чем больше база, тем спокойнее автомобиль,

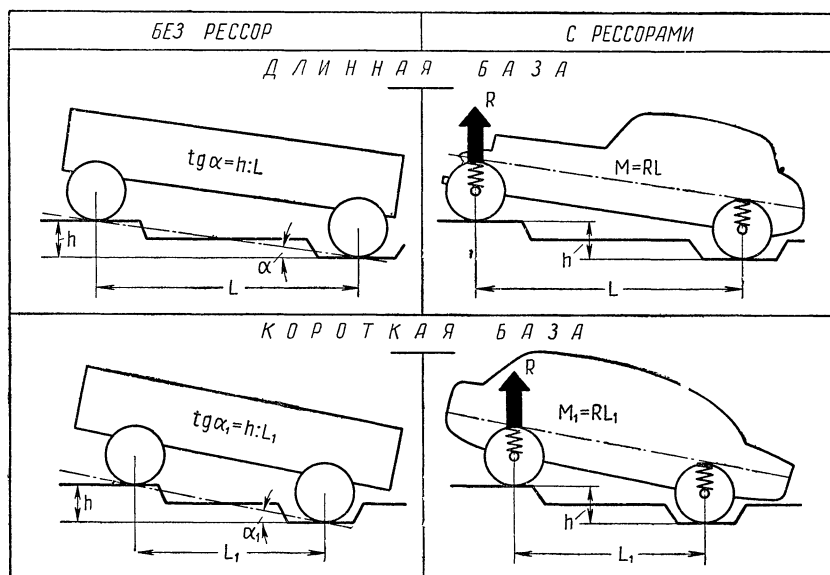
Однако, если сравнить современные автомобили с прежними, можно обнаружить, что отношение базы автомобилей к вместимости или грузоподъемности автомобиля становится все меньше. Для примера укажем, что база автомобилей М-20 «Победа» и М-21 «Волга» на 150 мм короче базы автомобиля ГАЗ-М-1; база шестиместного автомобиля ЗИМ на 400 мм короче базы аналогичного по классу и вместимости довоенного автомобиля ЗИС-101; база автомобиля ГАЗ-51 грузоподъемностью 2,5 т на 40 мм короче, чем автомобиля ГАЗ-ММ грузоподъемностью 1,5 т; база автобуса ЗИЛ-155 на 1 м короче базы автобуса ЗИС-16. Несмотря на это, новые автомобили обладают значительно лучшей плавностью хода, чем прежние, что является не только следствием уменьшения жесткости подвески и наличия амортизаторов или изменения давления в шинах, которое, кстати, в отдельных приведенных примерах даже увеличилось.

Мнение о преимуществах длиннобазного автомобиля основано на том, что, говоря о короткой базе, часто имеют в виду маленький, короткий автомобиль. При этом упускают из виду, что большой автомобиль имеет не только большую базу, но и больший вес поддресоренных масс, большее отношение весов поддресоренных и неподдресоренных масс, длинные и мягкие рессоры, особенно эластичные подушки сидений, что улучшает показатели плавности хода.

Уже известно из сказанного выше, что коэффициент распределения масс увеличивается с увеличением радиуса инерции ρ поддресоренных масс и с уменьшением произведения ab , величина которого зависит от колесной базы ($a + b$). Наилучшее для плавности хода отношение $\rho^2 : ab$, близкое к единице, достигнуто в современных автомобилях со сравнительно короткой базой и с вынесенными за пределы базы отдельными массами: радиатором и частично двигателем впереди; запасным колесом, бензобаком и багажником сзади.

К этому можно добавить еще некоторые соображения. Если бы автомобиль не имел рессор, его продольные угловые колебания были бы тем больше, чем меньше база. Такую характеристику имеет телега, и ехать в ней тем спокойнее, чем телега длиннее. Наличие рессор резко меняет положение. При одинаковых распределении масс, характеристике подвески и величине преодолеваемого препятствия реакции рессор от подъема или провисания колес, передаваемые на раму или кузов, равны для автомобилей с короткой и с длинной базой. Момент, действующий на раму или кузов, пропорционален длине базы (больше для длиннобазного автомобиля), и кузов длиннобазного автомобиля совершит большие угловые колебания, чем кузов короткобазной машины, но с меньшей частотой.

Из сказанного следует, что *длина колесной базы сама по себе не определяет плавности хода автомобиля*, и ее выбор должен



Чем меньше база, тем больше угол наклона экипажа. Однако момент, действующий на кузов, пропорционален длине базы; поэтому при наличии рессор кузов получает тем меньше толчок, чем короче база.

делаться с учетом планировки кузова, величины коэффициента распределения масс, характеристики шин, подвески и т. д. Уменьшение длины базы в некоторых новейших моделях автомобилей оправдывается именно таким подходом к вопросу, причем малая длина базы целесообразнее и по соображениям маневренности, проходимости, веса автомобиля и др.

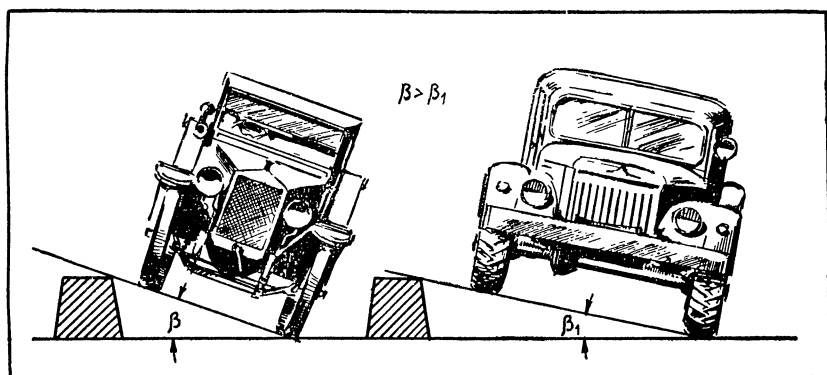
Размеры колес и шин, так же, как и длину базы, иной раз оценивают неправильно с точки зрения плавности хода, считая, что большие колеса лучше малых, так как большое колесо, якобы, лучше перекачивается через препятствие. Между тем, по каким-то на первый взгляд непонятным причинам на автомобилях устанавливают колеса все меньших размеров. Это наиболее наглядно видно из сравнения автомобилей ЗИМ и ГАЗ-М1, имеющих шины одинакового профиля при меньшем у автомобиля ЗИМ диаметре обода (15 дюймов вместо 16 дюймов у ГАЗ-М1) и при большем весе автомобиля. На всех новейших отечественных легковых автомобилях установлены колеса с 15-дюймовыми ободами вместо 16- и даже 19-дюймовых (ГАЗ-А), а на многих европейских машинах можно встретить 12-, 14- и даже 8-дюймовые ободья. На грузовых и специальных автомобилях наряду с 20-дюймовыми ободьями теперь устанавливают 18-дюймовые (ГАЗ-63) и 16-дюймовые (ГАЗ-62).

Отметив, что уменьшение размеров колеса целесообразно для его облегчения и сокращения размеров колесных кожухов в целях более удобной планировки кузова, и, не затрагивая влияния размеров колеса на другие ходовые качества автомобиля, следует предположить, что конструкторы не пошли бы на уменьшение колес, если бы это сказалось отрицательно на комфортабельности автомобиля. И действительно, при детальном изучении этого вопроса обнаруживается, что *уменьшение колес в разумных пределах* не только не ухудшает, но в некоторых отношениях *улучшает плавность хода* (при соблюдении ряда условий).

Уменьшение колеса приводит к уменьшению его веса и массы, поэтому автомобиль с малыми колесами имеет высокий коэффициент поддресоренных масс μ ; удар подвешенного на рессоре колеса о препятствие тем слабее, чем меньше его масса. Сила R , действующая на колесо при наезде его на препятствие, направлена примерно к точке крепления, т. е. к оси колеса (стр. 105) и может быть разложена на вертикальную R_v и горизонтальную R_h составляющие. Именно вертикальная составляющая силы удара действует на упругий элемент (рессору) подвески и вызывает колебания кузова.

В разделе «Препятствия» уже было показано, что для малого колеса вертикальная составляющая R_v меньше, чем для большого, даже при одинаковых массах колес, а с учетом массы колеса—еще меньше. При этом горизонтальная составляющая R_h , наоборот, вызовет увеличенные реакции на опорах рычагов подвески или на пальцах рессор (что в конструкциях современных автомобилей смягчается резиновыми втулками, установленными на этих точках), а также некоторое увеличение сопротивления движению. Но надо учитывать, что в реальных условиях, когда высота препятствия небольшая, а форма покатаая, горизонтальная составляющая увеличивается с сокращением диаметра колеса менее заметно, чем уменьшается вертикальная.

Обычно сокращение диаметра колес осуществляется в первую очередь за счет обода, а профиль сечения шины остается прежним или даже увеличивается. При этом для сохранения прежней грузоподъемности колеса достаточно лишь незначительно увеличить сечение шины, в то время как диаметр обода сокращается на большую величину. Так, сокращение диаметра обода на 2 дюйма дает для шин легкового автомобиля уменьшение внутреннего объема не более, чем на 10%, что возмещается увеличением сечения профиля всего лишь на $\frac{1}{4}$ дюйма; в результате наружный диаметр шины может быть уменьшен без ущерба для ее грузоподъемности округленно на 40 мм, или возможно снижение давления в шине при дополнительном увеличении ее профиля.

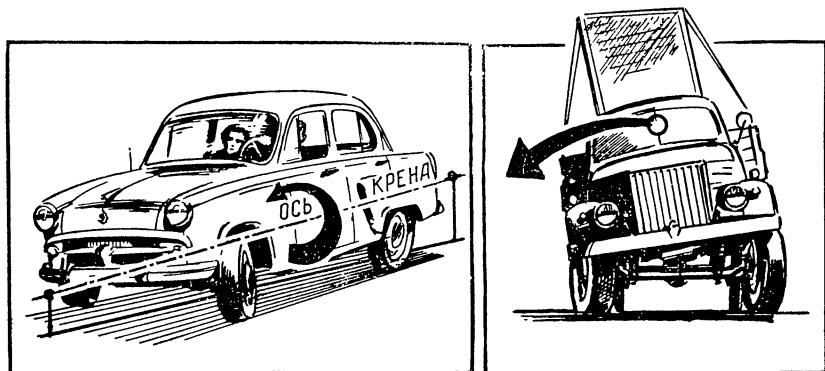


Чем шире колея, тем меньше угол наклона и крен осей и кузова.

Все это, конечно, применимо до определенных пределов. Слишком малые колеса могут застревать в выбоинах дороги, затруднена установка в их ободу тормозов, необходима особая конструкция подвески для соблюдения достаточных дорожных просветов. Во всяком случае, при соблюдении прочих требований возможно уменьшение наружного диаметра колес до 500—550 мм без ущерба для плавности хода автомобиля.

Ширина колеи также оказывает влияние на колебания кузова, особенно при подвеске с неразрезными осями, как, например, у грузовых автомобилей. Когда одно колесо передней или задней оси, накатываясь на неровность, поднимается или опускается, ось наклоняется; рессоры прогибаются, но все же немного наклоняется и кузов. *Чем шире колея, тем меньше угол наклона оси и, соответственно, кузова.*

Крен кузова происходит вокруг оси, называемой осью крена. Чем выше центр тяжести, тем резче качка кузова.



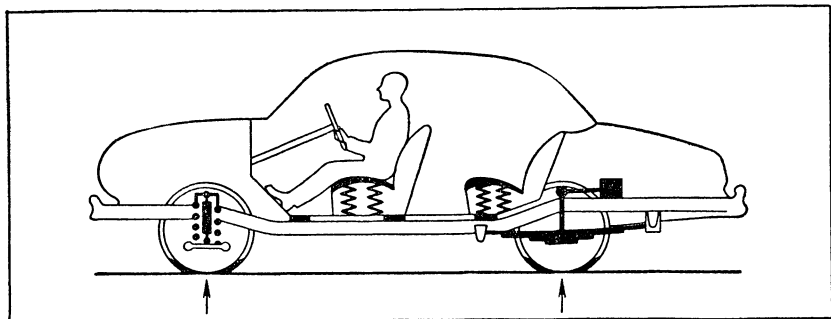
Боковая и килевая (продольная) качки особенно сказываются, если центр тяжести кузова расположен высоко. Высоко расположенный центр тяжести автомобиля означает обычно и высоко расположенный центр тяжести полезной нагрузки. Если принять, что кузов наклоняется (кренится) вбок или вперед-назад вокруг какой-то оси, то перемещения отдельных точек кузова будут наибольшими в верхней части и наименьшими около указанной оси, которую для боковых перемещений называют осью крена. Далее, чем выше (и, тем самым, дальше от оси крена) расположен центр тяжести подвесочных масс, тем больше момент боковой силы, возникающей при крене, тем резче качка кузова.

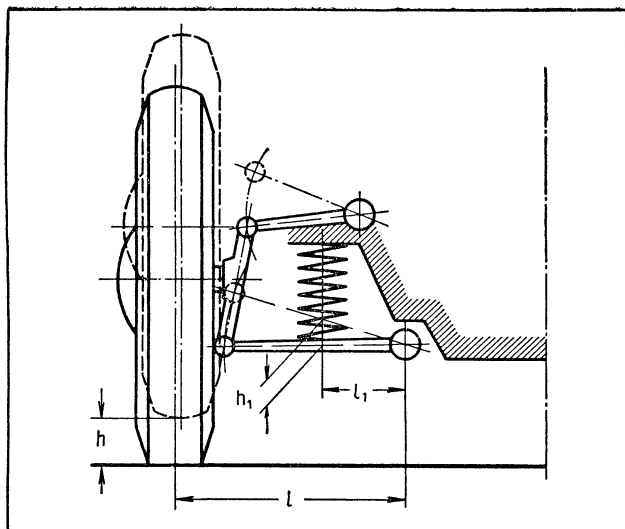
ПЯТЬ ЗАЩИТНИКОВ

Размеры, вес и другие особенности общей компоновки автомобиля, как бы они ни были хорошо подобраны, все же не уничтожают тряску. Для защиты пассажиров и грузов от толчков служат шины, рессоры той или иной конструкции, амортизаторы, прокладки между кузовом и рамой, наконец — подушки сидений.

Шина поглощает мелкие неровности дороги, и ее работа особенно важна на таких дорогах, как булыжные и щебеночные, где мелкие неровности следуют одна за другой. Эластичность шины возрастает с понижением давления воздуха в ее камере; шина низкого давления как бы обволакивает мелкие выступы и впадины, а на колесо, на подвеску толчок не передается. Шина имеет одно важное преимущество перед другими пружинящими элементами автомобиля: в шине пружинит воздух и лишь незначительно — резиновая оболочка самой шины; воздух, однажды сжавшись и снова расширившись, не совершает повторного колебания, как рессора подвески или

Пассажира защищают от толчков на неровностях дороги шины, рессоры, амортизаторы, прокладки крепления кузова и подушки сидений.





Подъем колеса и работа пружины подвески.

пружина сиденья, поэтому амортизатор не нужен. Поэтому шинам придают большое значение в деле защиты кузова от толчков. Давление в шинах новых моделей автомобилей принимают все более низким. Это, как известно, способствует и повышению проходимости автомобиля. Но с понижением давления в шинах растет сопротивление качению, снижается грузоподъемность шин, уменьшается коэффициент сопротивления их боковому уводу (что может быть желательным не во всех случаях), ускоряется износ шин. Поэтому *понижение давления в шинах допустимо лишь до известного предела*. Для помощи шинам в борьбе с толчками служат другие части автомобиля. Главные из них — рессоры.

Для оценки плавности хода автомобиля важно знать жесткость подвески, которая зависит не только от жесткости рессоры (пружины), но и от конструкции самой подвески.

Нередко путают жесткость рессоры (пружинного элемента) и жесткость подвески, но это не одно и то же. Как известно, жесткостью называют отношение силы к величине вызванного ею перемещения (прогиба). Если колесо и шарнир подвески поднимутся на h мм, то нижний конец пружины поднимется меньше, а именно на $h_1 = \frac{hl_1}{l}$ мм. Подъем колеса происходит под действием какой-то силы P , а пружина сжимается силой P_1 , которая больше P : $P_1 = \frac{Pl}{l_1}$. Жесткость подвески

$$C_{\text{подв}} = \frac{P}{h}, \quad (99)$$

а жесткость пружины значительно больше:

$$C_{np} = \frac{P_1}{h_1} = \frac{\frac{Pl}{l_1}}{hl_1} = \frac{Pl^2}{hl_1^2}. \quad (100)$$

Иногда считают, что рессоры того или иного вида — листовые, витые пружины, скручиваемые стержни (торсионы) — обеспечивают наиболее мягкую подвеску. Это не совсем верно. Какой бы ни была конструкция рессоры, можно придать подвеске определенную жесткость путем подбора длины листов, диаметра прутка, из которого сделана пружина, сечения стержня и т. д., а также соответствующим расположением рессоры (пружины, стержня) по отношению к колесу и шарнирам подвески. Большая мягкость рессор обычно связана с большой их длиной и малым поперечным сечением пружинящих элементов. Отсюда — необходимость в большом пространстве для размещения рессорно-листовой или стержневой подвески и в особо прочных материалах для рессор, пружин и стержней. Чем мягче подвеска, тем больше перемещение (ход) колеса. Однако при очень большом ходе колесо или детали подвески могут удариться о кузов. Чтобы этого не было, приходится делать подвеску не очень мягкой.

Есть и другая важная причина для того, чтобы сохранять достаточно большую жесткость рессоры.

Рессора должна изгибаться, растягиваться, сжиматься или скручиваться от толчка, переданного ей колесом, и при этом поглощать часть энергии толчка и передавать толчок кузову значительно ослабленным, или не передавать совсем. Но рессора обладает свойством упругости, т. е. после толчка она начинает совершать собственные колебания. Первое колебание, возникшее на неровности дороги, было полезным. А следующие, повторные, уже не нужны: если они произойдут (на ровной дороге или, тем более, на следующей неровности), кузов получит от рессоры толчок, затем другой, пока рессора не успокоится. Начнется раскачка кузова. Жесткая рессора не совсем хорошо защищает кузов от первого толчка, но и не очень его раскачивает; мягкая рессора имеет противоположные свойства.

Чтобы разрешить это противоречие, автомобили снабжают мягкой подвеской в сочетании с особыми приборами — амортизаторами. Наиболее распространены жидкостные (гидравлические) амортизаторы. При качаниях колеса поршни (плунжеры) амортизатора, связанные с осью или с качающимися рычагами подвески посредством стоек и рычажков, перегоняют жидкость из одной полости цилиндра в другую. В момент толчка перетекание жидкости через имеющийся в амортизаторе клапан

лишь незначительно увеличивает сопротивление подвески перемещению колеса (т. е. жесткость), а при обратном ходе колеса, когда клапан закрыт, жидкость в амортизаторе перетекает через оставшееся открытым маленькое отверстие, тем самым затормаживая раскачку.

Чем мягче подвеска и больше коэффициент распределения масс, тем сильнее должны быть амортизаторы, так как при этом автомобиль склонен к раскачке.

Воспринятые шинами и подвеской толчки иногда совсем не доходят до рамы шасси и кузова автомобиля или доходят значительно ослабленными. Все же и эти слабые толчки желательно устранить. Кроме того, существуют и колебания в механизмах самого автомобиля при работе двигателя, механизмов силовой передачи; от этих колебаний тоже нужно защитить пассажиров и груз. При этом опять имеются два вида колебаний: высокочастотные (вибрации) от работы механизмов и от мелких неровностей, воздействие которых не поглощено шинами и подвеской, и низкочастотные от наездов колес на большие неровности, когда иной раз происходит значительный перекося не только осей, но и рамы и кузова автомобиля или раскачка кузова, не устраненная работой рессор и амортизаторов.

Для дополнительной защиты от колебаний кузовов эластично крепят к раме или механизмы (в том числе детали подвески) — к раме и кузову. В большинстве случаев в точках крепления ставят резиновые, реже войлочные и другие прокладки, которые хорошо гасят высокочастотные колебания. Такие прокладки в виде подушек (блоков или втулок) устанавливают в точках крепления двигателя, концов рессор, осей рычагов качания колес при независимой подвеске и в точках крепления кузова к раме при рамной конструкции.

На грузовых автомобилях (и на некоторых легковых) крепление кузова или кабины к раме устроено таким образом, что оно служит не только для изоляции кузова от вибраций, но и для уменьшения перекосов кузова. Дело в том, что на значительных неровностях дороги рама при больших перекосах как бы скручивается; находящиеся обычно в одной плоскости передняя и задняя поперечины рамы при этом становятся один к другому под углом до 30° (см. стр. 102). Соответственные наклоны и перекосы испытывал бы и кузов, если бы он был жестко связан с рамой во всех точках крепления. Поэтому часть точек крепления снабжают пружинами или достаточно массивными и мягкими резиновыми подушками. Такое крепление особенно необходимо для кабин грузовых автомобилей, у которых рама длинная, а кабина занимает небольшой участок длины рамы. Если установленный жестко почти на всей длине рамы кузов легкового автомобиля в какой-то степени усиливает

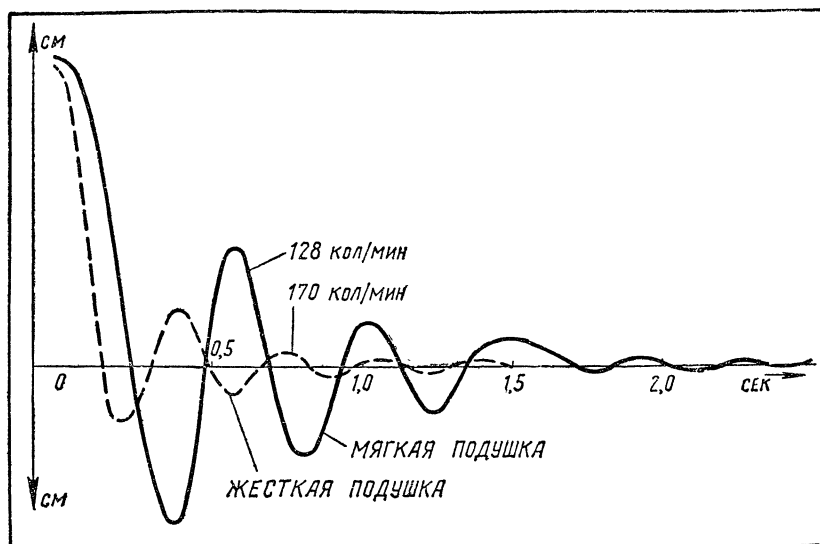
раму и уменьшает ее перекосы, корпус кабины грузового автомобиля не может удержать длинную раму от перекосов, и деформации рамы расшатывали бы закрепленную жестко кабину; кроме того, вследствие сравнительно жесткой подвески и высокого давления в шинах грузовых автомобилей, требуется дополнительное подрессоривание кабины.

Защитить груз от толчков, кроме указанных мер, можно и соответствующей установкой груза.

Но водитель и пассажиры нуждаются в еще большей заботе. Сиденья служат еще одним средством защиты от толчков. Для оценки комфортабельности сиденья важна характеристика (жесткость и частота колебаний) всей подушки или спинки в сборе, а не только их пружин.

Снижение коэффициента жесткости подушкой не всегда способствует увеличению удобств, создаваемых подушкой. Наоборот, при чрезмерно мягких пружинах подушка может вызывать раскачку пассажира, пробивание подушки вплоть до остова или подставки при резких колебаниях автомобиля, повышенный износ обивочных материалов. В грузовых автомобилях мягкие подушки вызывают, кроме значительных колебаний пассажира на сиденье, также трение его спины о спинку сиденья. Помимо неудобств для пассажира, такое перемещение является причиной усиленного истирания обивки спинки пуговицами, пряжками и другими частями одежды пассажира.

Колебания пассажира на обычной подушке грузового автомобиля и на улучшенной более жесткой подушке.



Частота колебаний составляет для мягкой подушки 128 кол/мин, для жесткой — 170 кол/мин; во втором случае амплитуды колебания значительно меньше по величине, и колебания быстро затухают. Лучшая амортизирующая способность более жесткой подушки достигается плотным матрацем и тем, что подушка снизу закрыта фибровым или фанерным листом с небольшим отверстием. При сжатии подушки сжимается также и воздух, находящийся внутри подушки. Воздух медленно выходит через отверстие в нижнем листе и гасит часть колебаний.

В других случаях (легковой автомобиль) подобная амортизация достигается матрацем и чехлами из ткани, в которые заключают пружины. При установке чехлов на пружинах устраняется взаимное соприкосновение пружины, чем обеспечивается бесшумность работы всей системы.

Однако при слишком жесткой подушке пассажир быстро утомляется, даже в том случае, когда автомобиль движется по ровной дороге.

Таблица 18

Некоторые показатели плавности хода автомобилей (с нагрузкой)

Показатель	Легковые автомобили						Грузовые автомобили	
	ГАЗ-М-1	*Москвич-401*	*Москвич-402*	М-20 *Победа*	ЗИМ	М-21 *Волга*	ГАЗ-51	ЗИЛ-150
Коэффициент поддресоренных масс μ	4,55	6,23	Около 7,0	6,37	7,3	Около 6,5	4,77	4,37
Коэффициент распределения масс ϵ , около	0,5	0,7	0,8	1,05	1,06	1,1	0,9	1,0
Жесткость подвески в кг/см:								
передней	108	34	29	30	54	25	73	126
задней	55	45	44	55	48	23	154*	167*
Давление в шинах в кг/см ² :								
передних колес	1,5	1,8	1,7	2,0	2,25	1,7	3,0	3,5
задних колес	2,0	2,0	1,7	2,2	2,25	1,7	3,5	4,25
Вертикальные (средние) ускорения в м/сек ² , замеренные на булыжнике, около:								
на переднем сиденье . .	—	3,0	—	1,5	1,3	1,7	—	—
на заднем сиденье . . .	—	4,0	—	2,0	1,4	2,15	—	—

* Включая дополнительные рессоры.

Иногда для уменьшения колебаний и устранения относительного перемещения подушки и спинки все сиденье водителя устанавливают на пружинной подставке (на грузовых автомобилях) или подвешивают, также с помощью пружинного устройства, к задней стенке кабины.

В табл. 18 приведены показатели плавности хода отечественных автомобилей.

МЕРТВАЯ ПЕТЛЯ НА АВТОМОБИЛЕ

Известен аттракцион: в павильоне или на арене цирка устанавливают широкую полосу дороги, загнутую в виде петли; на полосу выезжает автомобиль; он пронесется по петле, взбираясь на вертикальный подъем, и даже в какой-то момент находится в положении «вверх колесами». Какая сила прижимает автомобиль к петле? Это известная уже центробежная сила, только действует она теперь не в горизонтальной плоскости, а в вертикальной. Нетрудно подсчитать, что для прохождения петли диаметром 15 м нужна не такая уж большая скорость. Если легкий «цирковой» автомобиль с водителем весит около 300 кг, то для его удержания в верхнем положении нужна немногим большая сила, допустим 350 кг. Тогда, согласно уравнению (80):

$$350 = \frac{300v_a^2}{9,81 \cdot 7,5}$$

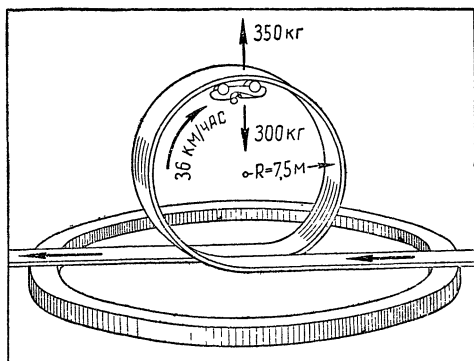
$$v_a = \sqrt{\frac{350 \cdot 9,81 \cdot 7,5}{300}} = 10 \text{ м/сек или } V_a = 36 \text{ км/час.}$$

Такой же примерно должна быть скорость и для автомобилей с другим весом.

Эти расчеты имеют прямое отношение к действительным условиям движения автомобиля, так как на дорогах существуют перекаты и впадины.

Впадина подобна только что описанной «мертвой петле». Центробежная сила прижимает автомобиль к дороге. Это как будто неплохо, так как повышается устойчивость автомобиля. Но центробежная сила может, в особенности при быстрой езде, быть настолько сильной, что создаст значительную

Мертвая петля на автомобиле.



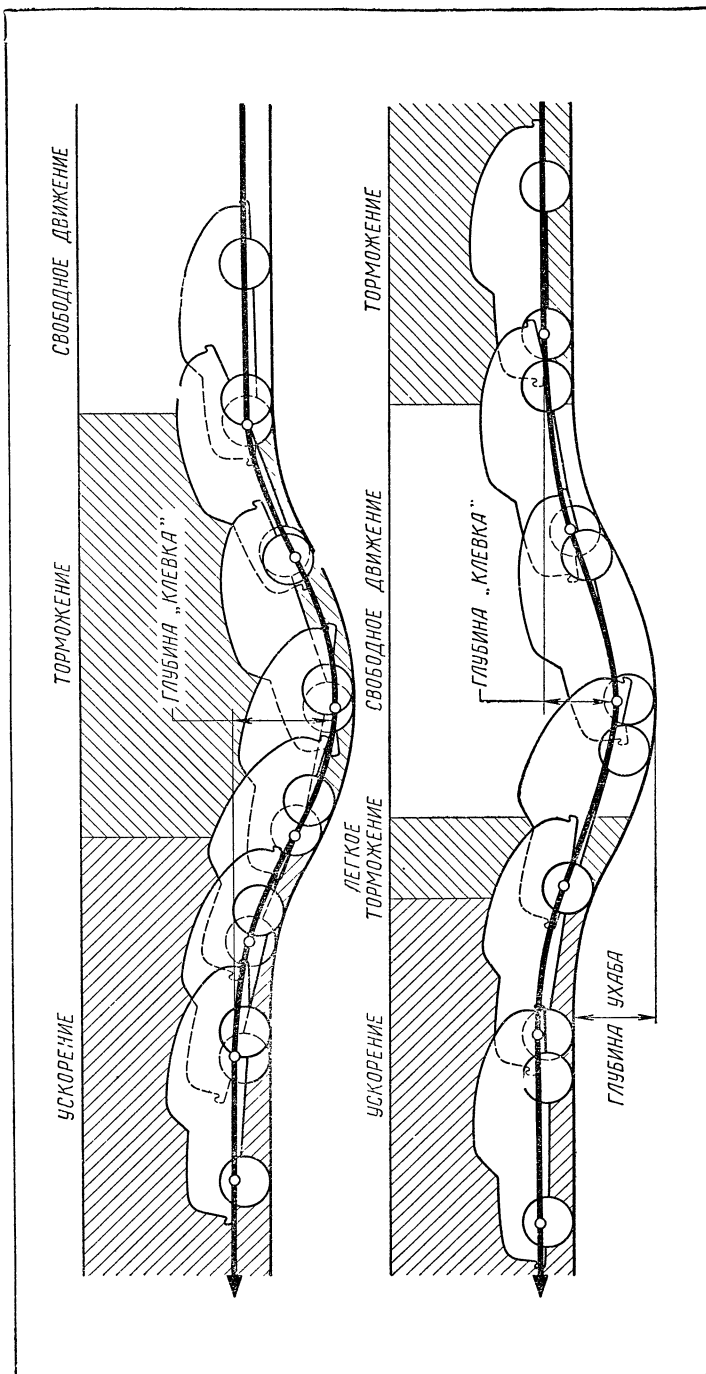
перегрузку шин и других элементов ходовой части автомобиля. Вполне возможны случаи, когда величина центробежной силы равна величине полезной нагрузки автомобиля, т. е. автомобиль идет как бы с удвоенной нагрузкой. Чтобы убедиться, можно проверить это расчетом по уравнению (80).

Нагрузка на ходовую часть при прохождении впадины может оказаться особенно ощутимой в низшей точке впадины, где чаще всего находится мост, слегка приподнятый над общим уровнем полотна дороги. Здесь, во-первых, силы тяжести и центробежная сила совпадают по направлению и суммарная сила наибольшая (см. стр. 7), в то время как на спуске и на подъеме суммарная сила является диагональю параллелограмма, а составляющие силы — его сторонами. Во-вторых, рессоры и шины получают дополнительную нагрузку от толчков при въезде на мост. Возможны разрывы шин, поломки рессор и других деталей ходовой части с соответствующими последствиями, в частности для устойчивости автомобиля.

При движении по перекаату центробежная сила действует в обратном направлении, как бы приподнимает автомобиль над дорогой, уменьшает силу сцепления, разгружает рессоры и тем самым повышает центр тяжести машины (см. стр. 7). В результате возможна пробуксовка колес, занос, ухудшение управляемости автомобиля.

Очень существенно для плавности хода своевременное торможение и ускорение автомобиля при переезде через дорожные впадины и перекааты. Нередко водитель замедляет ход машины перед ухабом (небольшая впадина) и резко тормозит на самом ухабе; к опусканию передних колес в ухаб при этом добавляется перераспределение нагрузки и сжатие пружин или рессор передней подвески; кузов резко наклоняется (так называемый «клевок»). Когда задние колеса проходят ухаб, водитель отпускает тормоз и увеличивает подачу топлива, чтобы вытянуть машину из ухаба; снова происходит перераспределение нагрузки, и к опусканию задних колес в ухаб добавляется подъем передней части кузова и опускание задней его части при сжатии задних рессор. Таким образом, после наклона вперед кузов тотчас же наклоняется назад. Такая качка плохо воспринимается пассажирами.

Опытный водитель поступает иначе. Наибольшее торможение он производит перед самым ухабом, а пересекает его почти без торможения и без ускорения; слегка тормозит, когда передние колеса идут на подъем из ухаба, и увеличивает подачу топлива, когда из ухаба начинают выходить задние колеса. В момент оттормаживания на входе в ухаб кузов отходит вверх от передних колес, растягивая пружины или рессоры передней подвески. Оттормаживание привело бы к чрезмерному подъему



При умелом пользовании тормозами и педалью подачи топлива можно уменьшить колебания во время пересечения ухаба.

передней части кузова при выходе передних колес из ухаба. Задняя часть кузова при выходе из ухаба опускается, в то время как колеса поднимаются на бугор. Умелое применение этих приемов, достигаемое тренировкой, позволяет проходить большие ухабы со сравнительно высокой скоростью и почти без угловых колебаний кузова.

При пересечении бугров, вздутий асфальта, холмиков требуется иная тактика: тормозить в момент подъема передних колес на бугор, оттормаживать при их спуске с бугра, ускорять движение при подъеме задних колес, слегка тормозить или идти свободно при их спуске, снова ускорять движение сразу же после прохождения препятствия.

ВОДИТЕЛЬ И ПЛАВНОСТЬ ХОДА

Автомобиль приближается к неровности дороги. Водитель замедляет ход машины, тормозит. Во многих случаях можно пересечь неровность настолько плавно, что пассажиры не обратят на нее внимания, груз не шелохнется в кузове, даже и при не слишком совершенной подвеске. Как это достигается?

Прежде всего уместно напомнить, что при езде по плохой дороге нужно в какой-то мере снижать скорость, если невозможно объехать препятствия без резких поворотов.

Узкие поперечные препятствия (трещины асфальта, швы бетона, щели у рельс, жерди) *нужно переезжать*, когда условия и правила движения допускают это, *не снижая скорости* около самого препятствия. Тогда, если давление в шинах низкое, шина «проглотит» препятствие; если давление в шинах сравнительно велико, произойдет короткое подскакивание колеса, которое не повторится вследствие действия амортизатора. *Широкие препятствия* — «волны» дорожного полотна, канавы, ухабы — *нужно переезжать медленно*, по возможности не доводя рессоры до существенного прогиба; тогда можно избежать ощутимого раскачивания кузова.

Во всех случаях пересечения сухих поперечных препятствий, где только это возможно, *следует направлять автомобиль не под прямым, а под острым углом к препятствию*. Этим, во-первых, увеличится время прохождения препятствия (и тем самым снизится скорость его прохождения), и, во-вторых, колеса каждой оси будут пересекать препятствие не одновременно.

Если препятствие (особенно выступ, рельс и т. п.) мокрое или обледенелое, его нужно, наоборот, несмотря на необходимость плавности хода, пересекать под прямым углом, чтобы избежать возможного скольжения колес вдоль препятствия и заноса автомобиля.

Если препятствие занимает не всю ширину дороги, надо стараться пройти по нему только левыми колесами или только правыми (как при пересечении препятствия наискось), допускать подъем или опускание только одного колеса.

Ухабистая дорога или дорога с поперечными «волнами» нередко имеет определенную среднюю «длину волны»: выступы и углубления чередуются через более или менее равные расстояния. Попав на протяженный участок такой дороги, водитель должен оценить, с какой скоростью выгодно ехать на данном автомобиле (с данной длиной колесной базы), чтобы добиться наилучшей плавности хода. Если «длина волны» близка к длине базы или больше ее, скорость должна быть снижена и, возможно, придется прибегнуть к описанным выше приемам переезда через ухабы и бугры. Если длина «волны» меньше длины базы, бывает нередко выгодно ехать по «волнам» дороги с большой скоростью. Наиболее подходящая скорость подбирается опытным путем.

При езде по булыжнику или по гравийному щебеночному шоссе приходится учитывать не только длину «волны» (если полотно дороги неровное), но и высокочастотные колебания, вызываемые камнями. Как правило, когда дорога хорошо видна или знакома и когда водитель не рискует попасть в неожиданную выбоину, по такой дороге лучше ехать как можно быстрее, так как частота колебаний при этом повышается до звуковой.

Большое значение для плавности хода имеет состояние автомобиля, частей его подвески, амортизаторов, шин, кузова. Бывает, что регулировка амортизаторов рассчитана на движение автомобиля с полной нагрузкой, а автомобиль систематически работает с малой нагрузкой (и наоборот), или регулировка амортизаторов нарушена. Автомобиль часто попадает в качку. Первое условие плавного хода данного автомобиля — соответствующая регулировка его амортизаторов. Амортизаторы на многих автомобилях оказываются слишком слабыми, сопротивление их недостаточным. Из этого, впрочем, не следует, что их нужно делать настолько тугими, чтобы они препятствовали нормальной работе рессор.

Резкого улучшения плавности хода во всех случаях можно достигнуть снижением давления в шинах. Однако при снижении давления увеличиваются износ шин, сопротивление движению автомобиля и расход топлива, а в некоторых случаях ухудшается устойчивость автомобиля (см. раздел «Вопреки воле водителя»).

Все же бывают случаи, когда плавность хода важнее, чем любые иные качества, например, при перевозке больных или при транспортировке ценных хрупких и т. п. грузов. В этих случаях нужно снижать давление в шинах, но желательно не

ниже предела, при котором, с учетом фактической нагрузки на колеса, шины не перегружаются выше нормы. Дальнейшее снижение давления допустимо лишь на очень короткий период при крайней необходимости.

Какое давление в шине можно считать допустимым без существенного ущерба для срока ее службы? Напомним, что по уравнению (14) можно выбрать допустимое давление в шинах при данной нагрузке.

Например: предстоит перевозка на автомобиле ЗИЛ-150 по плохим дорогам большой партии точных приборов в таре. Несмотря на тщательную упаковку груза, есть опасения повредить груз. Груз легкий; при полном использовании габаритов платформы, даже с надставкой бортов, полезная нагрузка составляет не более 2 т. Эту нагрузку можно считать полностью приходящейся на двухскатные задние колеса (с шинами 9.00—20) вместо наибольшей допустимой для ЗИЛ-150 полезной нагрузки в 4 т. Всего на задние колеса автомобиля ЗИЛ-150 с полной нагрузкой приходится около 6 т, в рассматриваемом примере 4 т, а на одно колесо 1 т. Подставляя соответствующие величины в уравнение (14), получаем

$$p = \frac{15,5 \cdot 1000 \cdot (20 + 9,2)}{60,5 \cdot 9^2 \cdot (20 + 9)} - 1 = \frac{1000 \cdot 38}{3,9 \cdot 81 \cdot 29} - 1 = 3,15 \text{ кг/см}^2.$$

Таким образом, на период перевозки данной партии груза давление в шинах задних колес может быть снижено до 3,15 кг/см² вместо стандартного 4,25 кг/см², что существенно улучшит плавность хода автомобиля. Давление в шинах передних колес должно быть оставлено стандартным; поскольку приходящаяся на эти шины нагрузка почти не изменяется.

Большого эффекта можно добиться путем изменения жесткости рессор, например, снятием одного листа рессоры. Но это мероприятие не может быть рекомендовано и применяется только в тех случаях, когда автомобиль в целом предназначен для постоянной эксплуатации с небольшой нагрузкой и с повышенными требованиями к плавности хода, как, например, при переоборудовании грузового автомобиля или автобуса в санитарный.

Характеристика колебаний пассажиров на сиденьях может быть улучшена путем сравнительно несложного дополнительного оборудования самих сидений, если это не предусмотрено в их конструкции (в частности, на автомобилях прежних выпусков). Нередко, особенно в кабинах грузовых автомобилей, наблюдается раскачка пассажиров на сиденьях уже после того, как автомобиль пересек неровность дороги; действие пружин подушки сиденья не амортизируется. Хорошим амортизатором подушки может служить наполняющий ее воздух. Чтобы заставить воздух служить в качестве амортизатора, нуж-

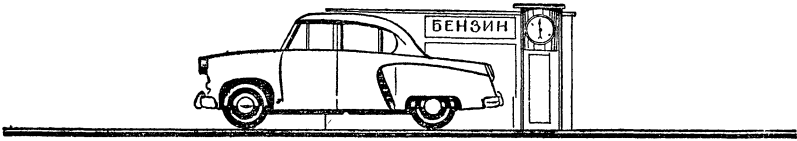
но позаботиться о плотном закреплении обшивки подушки на ее рамке, а рамку снизу перекрыть листом тонкой фанеры или плотного картона, предусмотрев в этом листе 2—3 отверстия.

Для улучшения условий перевозки груза, в дополнение к указанному выше, нужно по возможности груз располагать в передней части платформы (где колебания наименьшие) и крепить его к полу. Если груз легкий, достаточно закрепить его веревками, если груз тяжелый, надо попробовать прижать его к полу кузова крепкими досками или брусками, закрепленными на бортах, или болтами непосредственно к полу. Для уменьшения колебаний и для защиты груза от колебаний высокой частоты под груз следует положить тканевые, войлочные или резиновые подкладки.

С точки зрения плавности хода и наибольшего использования грузоподъемности автомобиля, целесообразна максимальная допустимая нагрузка кузова. При полной нагрузке возрастает вес поддресоренных масс. Но возможны случаи, когда требуется перевезти легкий и поддающийся повреждению груз, при котором нагрузка машины меньше полной (например, в уже рассмотренном случае с приборами). Тогда нужно догрузить кузов металлическими чушками, мешками с песком или просто песком, хотя бы и в ущерб расходу топлива и скорости погрузочно-разгрузочных операций. Само собой разумеется, что при полной нагрузке автомобиля уже не придется снижать давления в шинах.

Доведение нагрузки до полной приводит главным образом к уменьшению колебаний низкой частоты, снижению давления в шинах — к уменьшению частоты собственных колебаний неподдресоренных масс и к ослаблению вибраций.

Надо твердо помнить то, что было сказано в начале главы: от плавности хода автомобиля зависят не только удобства пассажиров и сохранность груза, но и динамика, экономичность, проходимость автомобиля, сохранность дорог. Наши конструкторы делают многое для того, чтобы улучшить плавность хода отечественных автомобилей. Усилия конструкторов должны быть дополнены работой водителей.



Расходы

СМЕТА

Усложнением конструкции автомобиля можно получить весьма высокие показатели динамики, плавности хода, проходимости и др. При этом почти во всех случаях нарушается одно из основных требований к автомобилю: перевозить пассажиров или грузы с наименьшими затратами. Очевидно, что всякое значительное усложнение конструкции означает введение дополнительных механизмов (а следовательно, дополнительных производственных операций при изготовлении машины, ее обслуживании и ремонте) и увеличение веса машины, если не применить дорогостоящие особопрочные и особолегкие материалы. Поэтому одна из задач конструктора при создании новых машин — находить простые решения, которые уменьшали бы затраты на перевозку полезной нагрузки и вместе с тем не ухудшали бы (а желательно улучшали) другие показатели автомобиля. Задача водителей и работников автохозяйств — применять при работе автомобиля такие приемы вождения машины и ее обслуживания, которые обеспечивают экономичность в эксплуатации.

Главные показатели экономичности автомобиля следующие:

1. Первоначальная стоимость, которая зависит от:
 - а) веса конструкции;
 - б) сложности изготовления;
 - в) стоимости материалов.
2. Амортизационные расходы, которые тем ниже, чем больше долговечность конструкции.
3. Эксплуатационные расходы, состоящие из:
 - а) расхода топлива;
 - б) расхода шин;
 - в) расхода масла и других эксплуатационных материалов;

г) стоимости обслуживания;

д) стоимости хранения (размеры и устройство гаража).

В данной книге автомобиль рассматривается в движении, поэтому первые две группы расходов не имеют значения. Из третьей группы следует выделить расход топлива и расход шин, так как эти расходы непосредственно связаны с движением автомобиля. Остальные расходы зависят в основном от конструктивного решения отдельных механизмов и частично от компоновки автомобиля (например, от удобства доступа к точкам обслуживания, от габаритных размеров и веса автомобиля).

Экономичность автомобиля обычно оценивают, прежде всего по расходу топлива. Но какую нужно выбрать меру и в каких условиях измерять расход?

Прежде всего нужно отличать расход топлива двигателем от расхода его автомобилем. Расход топлива двигателем зависит от развиваемой мощности и времени работы. Чтобы сравнивать экономичность двигателей, удобно подсчитывать расход топлива на каждую лошадиную силу за час работы. Полученную величину называют удельным расходом топлива и обозначают через g_e . Приведем пример: двигатель развивает мощность 40 л. с. и при этом расходует в час 13 л топлива. Удельный вес топлива равен $0,75 \text{ г/см}^3$; поэтому двигатель расходует $13 \times 0,75 \times 1000 = 9750 \text{ г}$ в час. Отсюда находим удельный расход

$$g_e = \frac{9750}{40} = 269 \text{ г/э. л. с. ч.}$$

(читается: 269 грамм на эффективную лошадиную силу в час).

Удельный расход топлива правильно характеризует экономичность работы двигателя, но он не пригоден для оценки экономичности автомобиля. Экономичность автомобиля зависит и от расхода топлива, и от выполненной при этом работы, которую обычно считают пропорциональной пройденному расстоянию.

Эксплуатационный расход топлива вычисляют путем деления суммарного расхода за возможно больший период времени на число пройденных сотен километров (включая расход топлива на стоянках, при езде накатом, при прогреве двигателя, т. е. весь расход). Например: за месяц автомобиль прошел 4527 км или 45,27 сотен км и израсходовал 510 л топлива. Эксплуатационный расход составляет

$$Q = \frac{510}{45,27} = 11,25 \text{ л/100 км}$$

(читается: 11,25 литра на 100 км). Эксплуатационный расход является важнейшим измерителем экономичности автомобиля;

для каждого типа автомобилей установлены государственные нормы эксплуатационного расхода топлива.

Для более скорой проверки экономичности находят контрольный расход топлива (тоже в $л/100 км$). Контрольный расход определяют на ровном шоссе (без больших подъемов и спусков) при движении полностью нагруженного автомобиля на определенном расстоянии (10, 50, 100 или 200 $км$) с примерно постоянной скоростью (60—80 $км/час$ для легковых автомобилей и 30—40 $км/час$ для грузовых) без применения наката. Измерять расход топлива можно путем доливки топлива в бак; бак автомобиля полностью заправляют перед заездом, а после заезда доливают, используя мерную посуду или взвешивая долитое топливо.

Стоимость перевозки в значительной степени зависит от стоимости израсходованного топлива. Поэтому часто определяют расход топлива на перевозку одного пассажира или 1 t груза. Приведем примеры: автомобиль М-20 «Победа» при пяти пассажирах расходует на шоссе 11 $л/100 км$ или 2,2 $л/100 пасскм$ (2,2 литра на 100 пассажирокилометров); грузовой автомобиль ЗИЛ-150 с нагрузкой 4 t расходует в тех же условиях 29 $л/100 км$ или 7,25 $л/100 ткм$ (7,25 литра на 100 тоннокилометров).

ВЕС АВТОМОБИЛЯ И РАСХОД ТОПЛИВА

Расход топлива зависит от расхода энергии. Энергия тратится на работу двигателя, на работу механизмов силовой передачи, на преодоление сопротивления качению, сопротивления воздуха, на разгон автомобиля и преодоление подъемов. Расход топлива тем меньше, чем совершеннее двигатель и силовая передача и чем меньше внешние сопротивления. Отсюда ясно, что если нужно снизить расход топлива, необходимо обеспечить уменьшение расхода энергии на преодоление внутренних и внешних сопротивлений.

Условимся, что во всех рассматриваемых случаях двигатель находится в отличном состоянии. Потери в силовой передаче составляют, как известно, примерно одну десятую всех прочих затрат энергии, поэтому главное внимание нужно направить на внешние сопротивления, отнимающие львиную долю расхода энергии и топлива.

Автомобиль сравнительно редко движется с большими скоростями, на которых сопротивление воздуха очень велико. Поэтому в течение большей части времени движения энергия двигателя расходуется главным образом на сопротивление качению, на разгон автомобиля, на преодоление подъемов. Развиваемая двигателем мощность почти прямо пропорциональна расходу топлива. Отсюда вывод: расход топлива как будто

должен быть пропорционален весу автомобиля. И действительно, достаточно выписать значения веса автомобилей и соответствующие этим автомобилям расходы топлива, чтобы убедиться в этой пропорциональности. Французский инженер Ш. Фару предложил даже такую простую формулу для определения расхода топлива автомобилем:

$$Q = K G_c, \quad (101)$$

где Q — эксплуатационный расход топлива в л/100 км;
 G_c — сухой вес автомобиля в кг;
 K — постоянный коэффициент, равный по расчетам Фару 0,01.

Т а б л и ц а 19

Расход топлива и вес автомобилей

Марка автомобиля	Год выпуска	Эксплуатационный расход топлива в л/100 км	Вес автомобиля в кг		Эксплуатационный расход топлива в л/100 км на тонну веса	
			сухой	полный	сухого	полного
ГАЗ-А	1932	12	1020	1455	11,75	8,25
ГАЗ-М-1	1936	14,5	1300	1745	11,15	8,3
ЗИС-101	1936	25,5	2400	3000	10,65	8,5
КИМ-10	1940	9	800	1140	11,25	7,9
„Москвич-401“	1950	9	810	1150	11,1	7,8
М-20 „Победа“	1946	13,5	1360	1835	9,9	7,35
ЗИМ	1951	18,0	1800	2390	10,0	7,55
ЗИЛ-110	1946	27	2400	3100	11,25	8,7
„Москвич-402“	1956	8	900	1280	8,9	6,25
М-21 „Волга“	1956	12,5	1360	1835	9,2	6,8
ГАЗ-АА	1932	20,5	1700	3460	12,0	5,95
ЗИС-5	1934	34	2910	6250	11,7	5,45
ГАЗ-51	1946	26,5	2525	5360	10,5	4,95
ЗИЛ-150	1946	38	3700	8125	10,25	4,7

Такой формулой, конечно, не вполне точно отражается физический смысл расхода топлива, так как не учитывается давление в шинах, скорость и нагрузка автомобиля, степень совершенства двигателя. То, что эта формула дает величины расхода топлива, очень близкие к действительным для всех современных автомобилей, объясняется следующим: коэффициенты сопротивления качению всех современных грузовых автомобилей меньше, чем у легковых, сопротивление же воздуха при эксплуатационных скоростях невелико, но у грузовых больше, чем у легковых.

**Расход топлива на единицу веса и полезной нагрузки автомобиля
нагруженного на 50%**

Марка автомобиля	Вес при половинной нагрузке в кг	Число мест или грузоподъемность в т	Удельный расход в г/э л. с. ч.	Эксплуатационный расход топлива в л/100 км	
				на 1 т эксплуатационного веса	на одного пассажира или на 1 т груза
ГАЗ-А	1270	5	290	9,5	4,8
ГАЗ-М-1	1560	5	280	9,3	5,8
ЗИС-101	2775	6	290	9,2	8,5
КИМ-10	1000	4	240	9,0	4,5
„Москвич-401“	1000	4	295	9,0	4,5
М-20 „Победа“	1645	5	265	8,2	5,4
ЗИМ	2165	6	245	8,3	6,0
„Москвич-402“	1150	4	225	7,1	4,0
М-21 „Волга“	1645	5	225	7,6	5,0
ГАЗ-АА	2635	1,5	280	7,8	27,4
ЗИС-5	4675	3,0	295	7,3	22,6
ГАЗ-51	4035	2,5	270	6,6	21,2
ЗИЛ-150	6050	4,0	255	6,3	19,0

Более точное совпадение получается при сравнении эксплуатационного расхода топлива с весом автомобиля, нагруженного на 50% (что, в среднем, наиболее соответствует действительным условиям нагрузки): для легковых автомобилей довоенных лет расход топлива на тонну эксплуатационного веса составлял 9,0—9,5 л/100 км, для грузовых — около 7,5 л/100 км; для новых легковых автомобилей расход топлива соответственно снижается до 7—7,5, для послевоенных грузовых — примерно до 6,5 л/100 км на 1 т веса.

Во всяком случае вес автомобиля решающим образом влияет на расход топлива. При облегчении автомобиля не только снижается первоначальная стоимость машины и расход материалов, но и уменьшается расход топлива. Но уменьшать вес можно в ограниченных пределах, так как автомобиль должен перевозить как можно больше груза. Иногда можно уменьшить полный вес автомобиля или увеличить его грузоподъемность за счет собственного веса.

Если, например, радиус действия автомобилей данного хозяйства короткий, то целесообразно не брать с собой запасное колесо (оно может понадобиться в редких случаях), заливать в бак минимальное количество топлива (достаточное для определенного количества рейсов с возвратом к заправочной станции), свести к минимуму комплект инструмента. На грузовом

автомобиле или автобусе эти меры дают возможность снизить вес машины на 150—200 кг, взять дополнительно двух-трех пассажиров или соответственное количество груза. Тогда снижается расход топлива, приходящийся на единицу полезной нагрузки, т. е. на одного пассажира или на 1 т груза, а такой расход определяет по существу экономичность использования автомобиля.

При увеличении грузоподъемности грузовых автомобилей собственный вес увеличивается в меньшей степени; при этом возрастает коэффициент удельной грузоподъемности (см. первый раздел).

Из табл. 20 видно, что при увеличении полезной нагрузки грузовых автомобилей расход топлива на 1 т перевезенного груза уменьшается. В этом заключается одна из основных причин все большего применения грузовых автомобилей высокой грузоподъемности и автопоездов с прицепами.

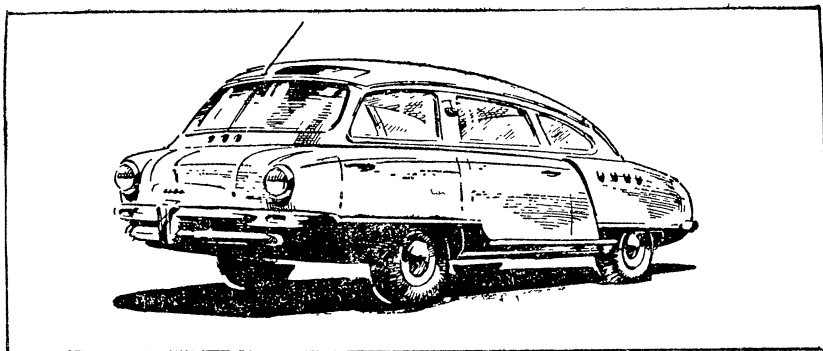
Читатель может возразить, что в легковых автомобилях расход топлива на перевозку одного пассажира увеличивается при повышении числа мест. Но это легко объяснить: многоступенчатые автомобили делают более просторными и с дополнительными устройствами, повышающими комфортабельность; отсюда — значительное увеличение веса и расхода топлива.

СОПРОТИВЛЕНИЕ ВОЗДУХА И РАСХОД ТОПЛИВА

С повышением скорости, например при дальних рейсах по шоссе, на расход топлива влияет и обтекаемость автомобиля: на преодоление сопротивления воздуха затрачивается дополнительная мощность, а значит и дополнительное количество топлива. Даже при одинаковых не очень больших скоростях для передвижения обтекаемого автомобиля требуется меньшая мощность и у него будет меньший расход топлива, чем у малообтекаемого. Это подтверждается и расчетами, и многочисленными опытами.

Когда на шасси автомобиля ГАЗ-А инж. А. И. Никитин установил обтекаемый кузов вместо открытого, то уже при движении со скоростью 30 км/час было получено около 6% экономии горючего, а при скорости 80 км/час экономия составляла уже 26%. Даже в городских условиях движения со средней скоростью 30 км/час экономия топлива составляла около 3%.

В НАМИ (Научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт) были проведены испытания опытного легкового автомобиля с обтекаемым каплеобразным кузовом. Вес этого автомобиля при испытании был на 200 кг меньше веса автомобиля ЗИМ; лобовая площадь и давление в шинах у сравниваемых автомобилей отличались незначительно, экономи-

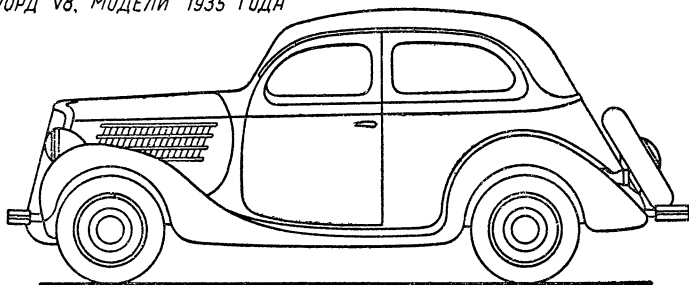


Обтекаемый автомобиль НАМИ с задним расположением двигателя.

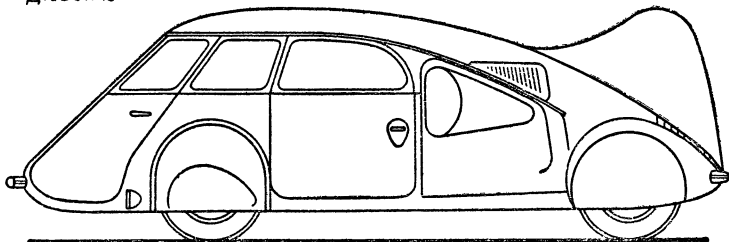
ческие характеристики их двигателей были примерно одинаковыми. Оказалось, что при скоростях до 50—60 км/час расход топлива у автомобиля НАМИ был на 2—3 л/100 км меньше, чем у автомобиля ЗИМ, как и следовало ожидать вследствие разницы в весе автомобилей, а при движении с более высокими

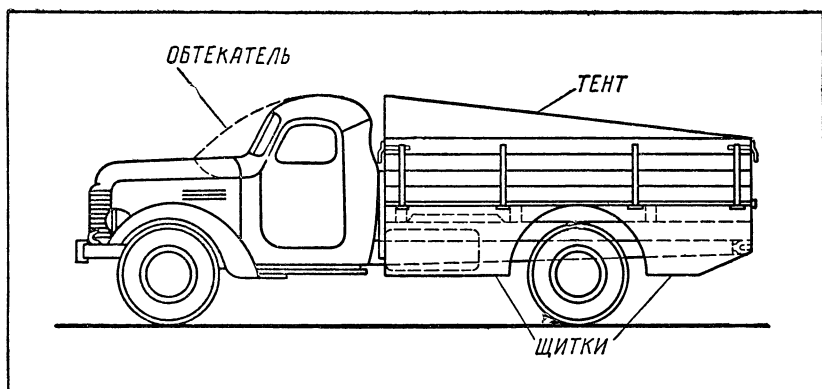
Автомобиль Дюбоннэ, равный по весу и характеристике двигателя автомобилю Форд, расходовал на 30% меньше топлива.

ФОРД V8, МОДЕЛИ 1935 ГОДА



ДЮБОННЭ





Простые приспособления для улучшения обтекаемости грузового автомобиля.

скоростями разница в расходе топлива доходила до 7—9 л/100 км.

Подобные же наблюдения сделаны многими зарубежными учеными. Например, были совместно испытаны автомобили Форд и Дюбоннэ с одинаковыми двигателями и примерно равные по весу (1400 и 1380 кг), но с кузовами различной формы: на автомобиле Форд был установлен обычный кузов со скругленными углами, а на автомобиле Дюбоннэ — каплеобразный кузов хорошей обтекаемой формы (двигатель расположен сзади). Расход топлива составил для первого автомобиля 15,5 л/100 км, для второго — всего 10,8 л/100 км.

В результате проведения опытов по улучшению обтекаемости грузовых автомобилей, было доказано, что увеличивают сопротивление воздуха открытая сверху платформа и незащищенные снизу и с боков части шасси грузового автомобиля и что сопротивление воздуха и расход топлива могут быть существенно уменьшены путем несложных дополнений конструкции грузового автомобиля (предложены Б. И. Миндровым и Н. В. Диваковым). Так, при установке щитков ниже борта кузова расход топлива уменьшается на 2,5%, при покрытии кузова брезентом на уровне бортов — на 4—4,5%. Эти данные относятся к движению по шоссе со скоростью 50—60 км/час. Еще лучших результатов можно достигнуть путем одновременного придания более обтекаемой формы кабине и оперению грузового автомобиля, но это связано с изменением всей конструкции этих элементов.

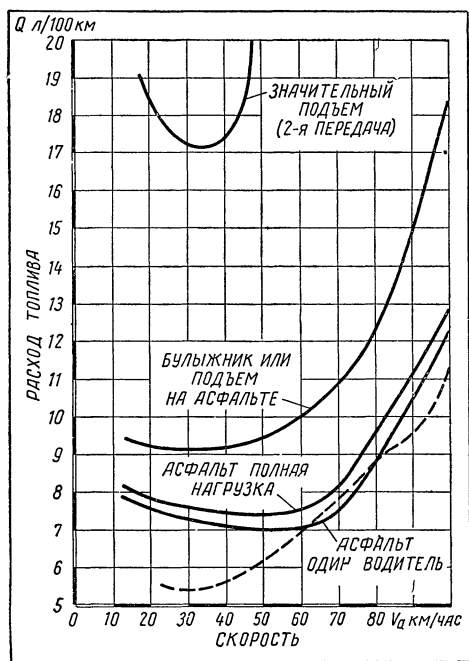
Разумеется, что при уменьшении веса автомобиля или улучшении формы его кузова нужно применить и меньшее передаточное число главной передачи, что способствует уменьшению расхода топлива.

КАКАЯ СКОРОСТЬ ВЫГОДНА?

Прежде чем ответить на этот вопрос, опытный водитель сам спросит: «А в каких условиях?» Уже известно, что на расход топлива влияют вес автомобиля и его обтекаемость. Качество дороги, скорость движения, характеристика двигателя тоже сказываются на расходе топлива.

Чтобы судить об изменении расхода в разных условиях движения, применяют экономическую характеристику автомобиля. На горизонтальной оси графика откладывают скорость автомобиля в км/час, а на вертикальной оси — расход топлива в л/100 км; каждая кривая относится к данным условиям дороги и нагрузки. Можно, например, определить, что если автомобиль едет с полной нагрузкой по асфальтовому шоссе со скоростью 80 км/час, то при этом он расходует около 10 л/100 км.

Расход топлива в различных дорожных условиях (экономическая характеристика автомобиля «Москвич-402»). Кривые построены по уравнению (102) на основе графика, помещенного на стр. 211. Штриховой линией показана экономическая характеристика, полученная на асфальтовом шоссе опытным путем.



Экономическую характеристику можно построить разными способами. Можно провести опыты по контрольному измерению расхода топлива при разных условиях и полученные данные нанести на график. При этом способе получаются правильные результаты; опыт простой, но для его проведения требуется много времени.

По другому способу строят экономическую характеристику автомобиля теоретическим, расчетным путем. Для этого нужно прежде всего знать внешнюю характеристику двигателя (см. стр. 22) и экономическую характеристику двигателя при частичных нагрузках. На вертикальной оси этой экономической характеристики двигателя отложены значе-

ния удельного расхода двигателя, а по горизонтальной — процент мощности по сравнению с работой при полном открытии дроссельной заслонки; каждая кривая относится к определенному числу оборотов вала двигателя. Далее нужно подсчитать мощности, затрачиваемые на преодоление сопротивлений, и построить график баланса мощностей (см. раздел «По ровной дороге»).

Из баланса мощностей видно, какую мощность N_e двигатель может развить (верхняя кривая) и какая мощность нужна для движения (сумма мощностей сопротивлений N_{Σ}). Для любой скорости легко подсчитать, какую часть (в процентах) составляет нужная мощность от возможной. Теперь, зная процент использования мощности ($\% N_e$) и число оборотов двигателя n_e , при данной скорости, можно по графику определить удельный расход двигателя.

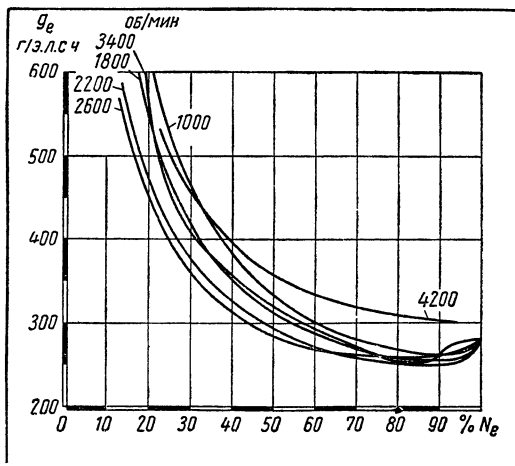
Наконец, подсчитываем расход топлива Q автомобилем по формуле

$$Q = \frac{g_e N_{\Sigma}}{10 V_a \eta \gamma} \text{ л/100 км,} \quad (102)$$

где V_a — скорость автомобиля в км/час;
 η — коэффициент полезного действия трансмиссии;
 γ — удельный вес топлива.

Подсчитав Q для разных скоростей и для разных дорог или нагрузок, можно построить график экономической характеристики автомобиля.

В большинстве случаев водитель не нажимает на педаль подачи топлива до отказа. При этом увеличиваются относительные внутренние потери энергии в двигателе на каждую отданную лошадиную силу мощности, поэтому удельный расход

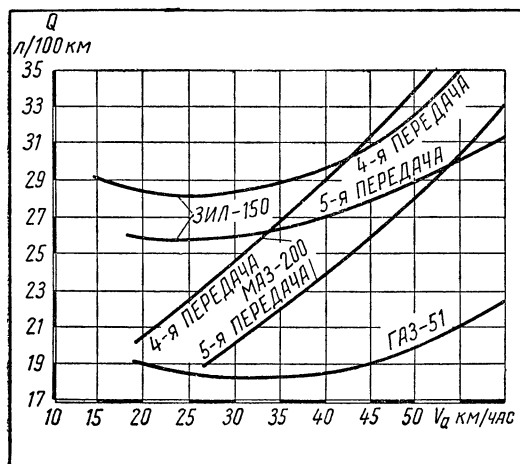
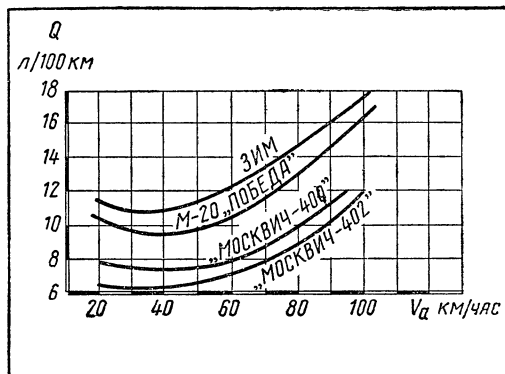


К определению расхода топлива (автомобиль «Москвич-402»).

топлива g_e г/э. л. с. ч. тем больше, чем больше прикрыта дроссельная заслонка. Когда водитель желает увеличить скорость, он сильнее нажимает на педаль, что приводит к увеличению общего расхода топлива; но при этом настолько повышается мощность, что удельный расход топлива уменьшается. Этим объясняется уменьшение удельного расхода топлива автомобилем при увеличении скорости от малой к средней.

Для движения с большой скоростью нужно преодолеть возрастающие сопротивления качению и воздуха и для этого надо сжечь больше топлива. Поэтому при переходе от средних скоростей движения к большим наблюдается увеличение расхода топлива. Вот теперь, глядя на экономическую характеристику, можно дать ответ на поставленный в заголовке во-

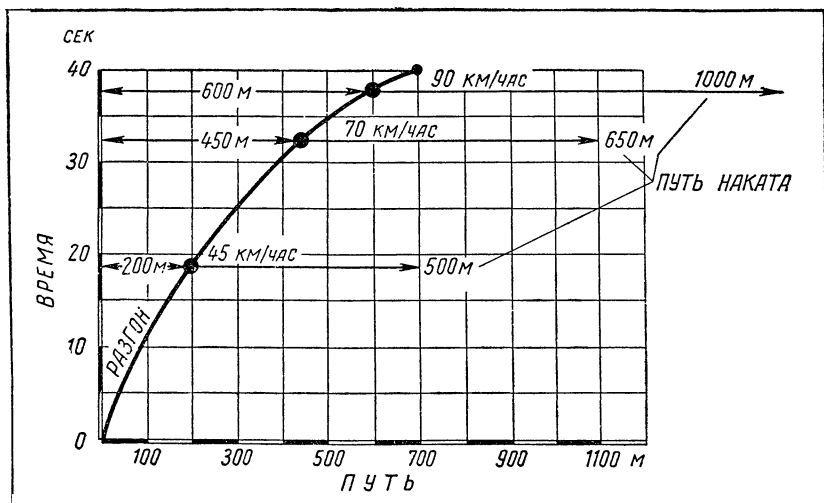
Экономические характеристики отечественных автомобилей при движении по асфальтовому шоссе, вверху — для легковых автомобилей, внизу — для грузовых.



прос: с точки зрения расхода топлива лучше поддерживать такую скорость, при которой расход топлива будет наименьшим.

Каждый водитель должен знать наивыгоднейшую в экономическом отношении скорость движения данного автомобиля.

Пользуясь накатом, можно в ряде случаев значительно понизить средний эксплуатационный расход топлива. Но накат целесообразен в условиях, когда разгон может быть достаточно интенсивным, а движение на холостом ходу — продолжительным и не связанным с быстрым падением скорости. Эти условия: движение по хорошей ров-



Путь наката значительно больше пути разгона.

ной дороге с большой скоростью, движение с частыми остановками, движение с чередующимися подъемами и уклонами.

Нужно учитывать, что в период разгона двигатель расходует значительно больше топлива, чем при движении с постоянной скоростью. Это объясняется специальным обогащением рабочей смеси, а также и более низким к. п. д. двигателя при непостоянном режиме. Кроме того, увеличиваются потери на сопротивление разгону. Вот почему движение накатом невыгодно применять, если нужны частые разгоны при малой продолжительности наката.

Решать, нужно ли применять движение методом «разгон — накат», лучше всего опытным путем в каждом отдельном случае.

Когда автомобиль идет по шоссе, где возможно продолжительное движение с большой, но не максимальной скоростью, т. е. при этом еще имеется запас мощности, целесообразно, чтобы двигатель работал при оборотах вала, соответствующих наименьшему расходу топлива или близких к ним. Для этого нужно уменьшить передаточное число главной передачи или предусмотреть в коробке передач, кроме прямой передачи, еще и повышающую. Так сделано, например, в конструкции коробки передач автомобиля ЗИЛ-150. Снижением оборотов вала двигателя достигается и другой экономический эффект — двигатель работает на спокойном режиме, износ его частей невелик. Уменьшение передаточного числа главной передачи представляется более простой мерой, но при этом получается замедленный разгон автомобиля. Эту меру применяют при

наличии в коробке передач сравнительно большого числа ступеней, или при установке на автомобиль автоматической коробки передач вместе с жидкостным трансформатором (гидротрансформатором).

В данной главе коротко затронуты только самые главные моменты, связанные с расходом топлива — вес автомобиля, его обтекаемость, скорость движения, использование наката, передаточные числа силовой передачи. Не останавливаясь подробно на всех прочих элементах, можно только отметить, что на расход топлива отрицательно влияет все, что хоть скольконбудь затрудняет движение автомобиля: пониженное давление в шинах, чрезмерное трение в системе силовой передачи, перегрев и переохлаждение двигателя, большое сопротивление дороги, встречный и боковой ветер, даже удобство посадки водителя и плавность хода. Для примера укажем, что на работу подвески тоже расходуется энергия двигателя, переданная движущемуся автомобилю, колесам, а при их наезде на неровность — подвеске.

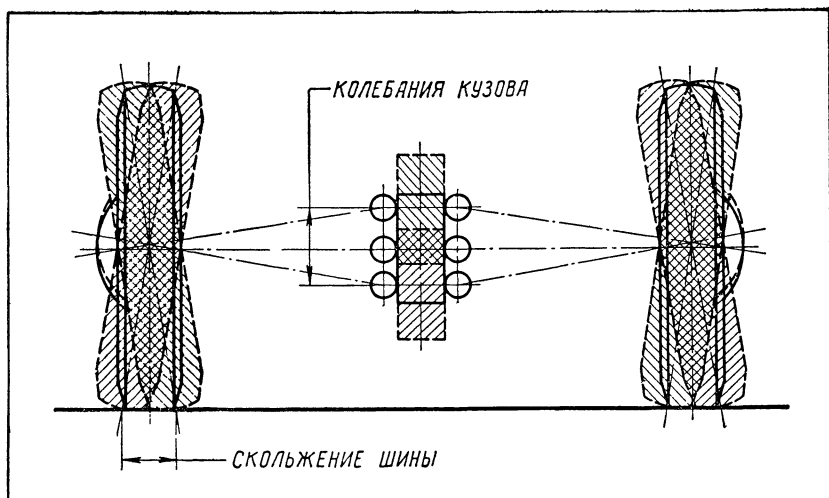
Водитель может сделать из сказанного некоторые практические выводы. Он должен заботиться о сокращении расходов топлива, не только поддерживая правильные регулировку и тепловой режим работы двигателя, устраняя излишний вес автомобиля и улучшая его обтекаемость, поддерживая достаточную смазку органов силовой передачи и правильную затяжку подшипников, но соблюдая установленное давление в шинах (и, возможно, увеличивая его при дальних рейсах по хорошим дорогам), своевременно используя инерцию автомобиля, а также добиваясь плавной, спокойной работы автомобиля в различных дорожных условиях.

БЕРЕЧЬ ШИНЫ

Шины все время совершают работу — растягиваются под действием центробежной силы, отталкиваются от поверхности дороги и сцепляются с ней, сжимаются под действием веса автомобиля и под ударами от дорожных неровностей, скручиваются под действием боковых сил. Чем напряженней работа шины, тем меньше ее срок службы. Поэтому нужно, чтобы шина совершала только такую работу, которая необходима для движения автомобиля.

Рассмотрим еще раз действие разных сил на шину и возможности их уменьшения до разумного предела.

Напомним, что центробежная сила увеличивается с ростом окружной скорости (пропорционально квадрату скорости) и с уменьшением радиуса колеса. Радиус колеса тем больше, чем выше давление в шине. Давление в шине не должно быть меньше рекомендуемого. Что же касается окружной скорости



Изменение колеи при качающихся полуосях вызывает скольжение и износ шин.

шины, то ее трудно уменьшить, когда нужно увеличить скорость движения автомобиля. Трудно, но возможно. Вот простой пример: автомобиль идет со скоростью 60 км/час; если движение равномерное, то действующая на колесо центробежная сила пропорциональна квадрату скорости, т. е. числу 3600; если же автомобиль идет полчаса со скоростью 30 км/час, а полчаса со скоростью 90 км/час, средняя центробежная сила пропорциональна $30^2 : 2 + 90^2 : 2 = 450 + 4050 = 4500$, т. е. на 25% больше, чем в первом случае. Отсюда вывод: для шин лучше, чтобы автомобиль двигался с постоянной скоростью, близкой к средней. Это тем более верно, что неравномерное движение, как правило, связано с периодической резкой подачей топлива, когда колесо может пробуксовывать, сдвигаться по отношению к дороге; в этих случаях возникает повышенный износ и нагрев шин.

Уменьшение сдвигов шины по отношению к поверхности дороги достигают плавным торможением, снижением скоростей на поворотах и, по возможности, увеличением их радиусов.

Последнее относится не только к сдвигу шин, т. е. к их скольжению по поверхности дороги, но и к скручиванию участков шин, т. е. к их уводу. Как известно, при снижении давления в шинах увеличивается увод шин. И поэтому нужно следить за соблюдением рекомендуемого давления в шинах.

Снижать давление в шинах целесообразно не только для проходимости и плавности хода, но и для сохранения шин при движении по неровным дорогам. При высоком давлении шина подсакивает на неровностях и, возвращаясь к соприкоснове-

нию с дорогой, получает удары. Так как в этих условиях автомобиль вынужден двигаться с малой скоростью, в случае продолжительных перегонов по плохим дорогам целесообразно и допустимо несколько уменьшать давление в шинах.

Сохранность шин ухудшается при неправильной установке колес, когда шина все время перемещается при наличии бокового увода или скольжения по поверхности дороги под некоторым углом, при их недостаточной балансировке или других причинах, вызывающих колебания колес, описанные в разделах «Вопреки воле водителя» и «Плавность хода».

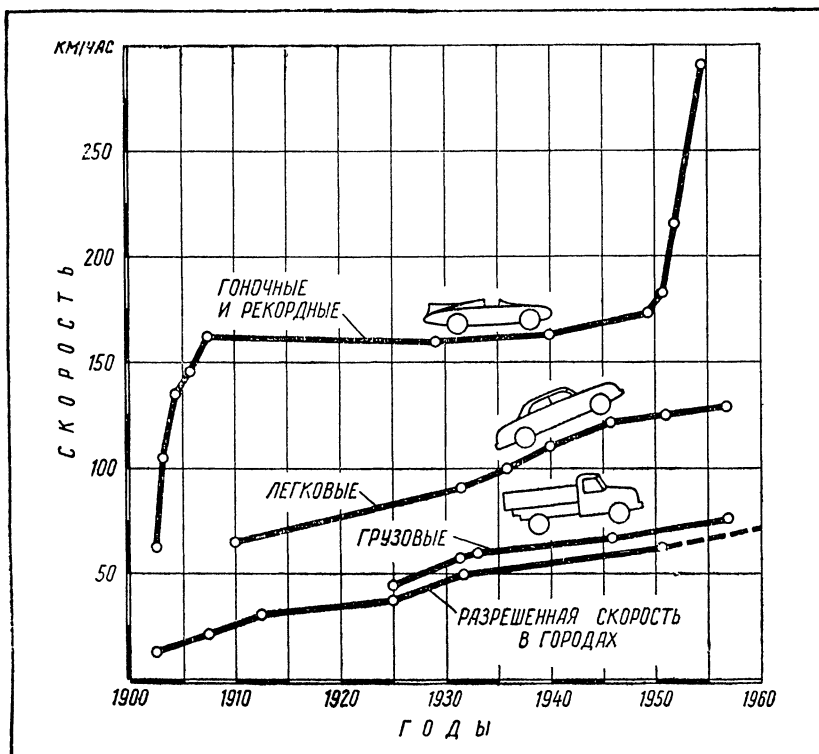
Наконец, повышенный износ шин может быть вызван заведомо невыгодной кинематикой подвески, например при так называемых качающихся полуосях с одним карданным шарниром на каждой, когда при вертикальных перемещениях колес одновременно происходит и значительное изменение колеи.

ЕЩЕ РАЗ О СКОРОСТИ

При оценке автомобиля, как известно, в числе прочих качеств рассматривают наибольшую развиваемую автомобилем скорость. Хотя этот показатель и не является важнейшим для автомобиля, его значение весьма велико. Прежде всего, именно быстрходность отличает автомобиль от других средств безрельсового сухопутного транспорта. Наибольшая скорость, наряду с другими тяговыми показателями, является основой динамического расчета всякого нового автомобиля и определяет его среднюю скорость, подбор передаточных чисел в системе силовой передачи и режимы работы двигателя, мощность проектируемого двигателя, экономическую характеристику автомобиля, конструкцию тормозов, рулевого управления и т. д. Поэтому очень важно установить, к каким наибольшим скоростям должны стремиться конструкторы при проектировании автомобилей, на какие скорости нужно рассчитывать прокладываемые дороги.

Существует мнение, что перспективы увеличения наибольшей скорости автомобиля неограничены, что усовершенствование автомобиля и дорог, а также постепенное приспособление человеческого организма к движению со все большими скоростями позволяют достигнуть огромных скоростей. Ход развития автомобильной техники, казалось бы, подтверждает это мнение. За сравнительно короткий исторический отрезок времени (около 50 лет) наибольшая скорость легкового автомобиля возросла с 30—40 до 90—180 км/час для обычных машин и со 100 до 200—300 км/час для рекордно-гоночных, а на отдельных автомобилях достигнуты скорости, превышающие 600 км/час.

Наибольшая скорость отечественных грузовых автомобилей примерно с 1930 г. увеличилась с 40—50 до 65—70 км/час,



Наибольшая скорость отечественных автомобилей неуклонно возрастает.

и с тех пор практически не изменилась, скорость междугородных автобусов неуклонно приближается к скорости легковых автомобилей.

Разрешаемая в городах с учетом требований безопасности скорость увеличилась втрое (например, в Москве для легковых автомобилей — с 20 верст¹ в час в 1910 г. до 60 км/час в настоящее время).

«Теория беспредельности» скорости автомобиля была бы допустимой, если рассматривать наибольшую скорость автомобиля только в смысле возможностей техники (автомобильной и дорожной) и приспособляемости человеческого организма к различным условиям. Однако главными исходными показателями для определения характеристики любой новой машины являются экономические показатели. Так, одной из основных дискуссионных тем в начале развития автомобилестроения была тема: «Что дороже — конный экипаж или автомобиль». Тема

¹ 1 верста = 1 $\frac{1}{15}$ км.

была снята с повестки дня лишь после достижения автомобилем некоторой степени совершенства, прежде всего в части его экономических показателей, включая надежность.

Если подходить к оценке качеств автомобиля с экономической стороны, рассматривать его в связи с другими видами транспорта, перспективы увеличения его наибольшей скорости представляются иными, чем при учете одних конструктивных и физиологических возможностей. Тщательный научный анализ показывает также, что постепенное количественное изменение скорости приводит к необходимости коренного качественного изменения связанных с этим факторов: ускорения (при разгоне автомобиля и замедления при торможении), так как предел ускорения для человеческого организма все же существует; устройства дорог; устройства самого автомобиля.

Можно сделать вывод о примерных целесообразных значениях скорости движения сухопутного безрельсового транспорта. При этом было бы ошибкой считать, что ограничение скорости явится препятствием для развития автомобиля или что автомобиль станет ненужным. Так же как конный транспорт, занимающий по настоящее время вполне определенное место в народном хозяйстве, автомобиль займет свое место, уступив задачу преодоления больших расстояний с высокими скоростями другим видам транспорта.

Не подлежит сомнению, что автомобиль должен быть в большой степени универсальным и при будущем развитии дорог: он должен маневрировать с небольшой скоростью в условиях городского движения и на стоянках, развивать высокую скорость на загородных магистралях, преодолевать препятствия в случаях отклонения от магистралей. Отсюда общие требования к автомобилю: сравнительно небольшие размеры его, наличие пружинящих и амортизирующих устройств, возможность изменения скорости в значительных пределах при сравнительно несложных механизмах для этого, известная проходимость. К этому следует добавить очевидную необходимость в достаточно прочном и жестком кузове (для груза или пассажиров) с сиденьями, устройствами для входа и выхода, вентиляции, отопления, звуко- и теплоизоляции. Здесь умышленно обойден источник энергии, так как предполагается, что он, в том или ином виде, необходим для любой транспортной машины.

Обзор этих требований способствует определению реальных условий для уменьшения сопротивления движению автомобиля. Даже при высоком давлении в шинах (около 3—4 $кг/см^2$ у легковых машин и 5—6 $кг/см^2$ у грузовых) и при отличном дорожном покрытии коэффициент сопротивления качению не может быть существенно уменьшен. Как уже отмечено выше, до недавнего времени считалось, что этот коэффициент мало зависит

от скорости движения. Экспериментальные данные показывают, что при увеличении скорости от 100 до 200 км/час величины коэффициента сопротивления качению увеличиваются в зависимости от давления в шинах на 50—150% (см. гл. вторую). Возможности облегчения автомобиля неограничены. Даже при применении особо-легких материалов, но при соблюдении повышающихся с ростом скорости требований надежности, вес автомобиля вряд ли может быть уменьшен более, чем на одну треть против существующего. Коэффициент сопротивления воздуха K даже при каплеобразной форме кузова, при полном утапливании колес и других деталей (с учетом возможного удлинения кузова, осуществляемого без утяжеления автомобиля и ухудшения его проходимости) составит для легкового автомобиля 0,013. Для грузового автомобиля с бортовой платформой и улучшенными формами кабины и оперения этот коэффициент будет равен не менее 0,06 и только в случае применения обтекаемого кузова типа «фургон» снизится примерно до 0,03. Наконец, к. п. д. силовой передачи, очевидно, не может быть больше 0,95, а с введением жидкостных и других автоматизированных систем силовой передачи — еще меньше.

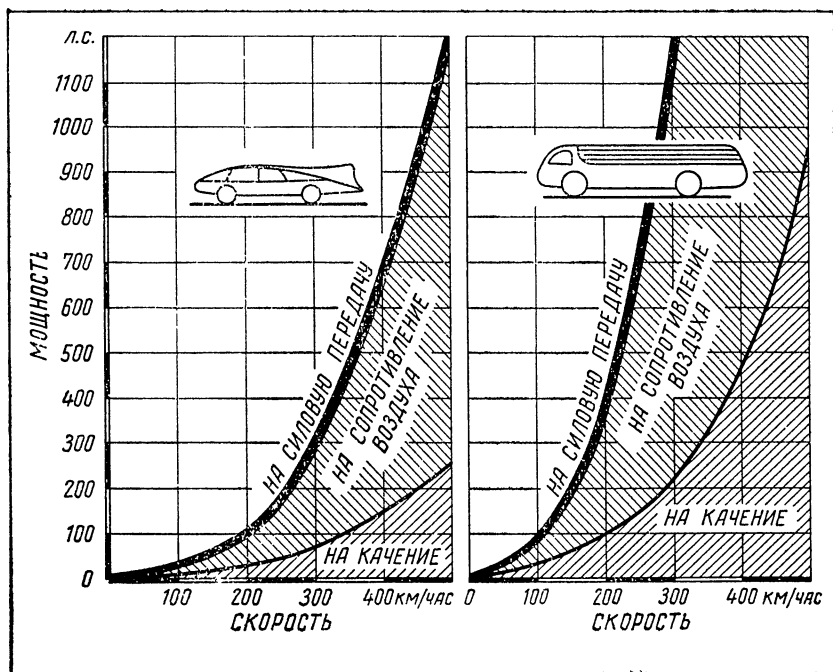
Если взять приведенные выше примерные данные и произвести расчет, например, пятиместного автомобиля (+125 кг на багаж, инструмент и радио), то станет ясным, что такому автомобилю для достижения скорости в 200 км/час потребуется двигатель мощностью около 100 л. с., для 250 км/час — 190 л. с., для 300 км/час — 320 л. с., для 400 км/час — 800 л. с., для 500 км/час — 1300 л. с. Этот расчет сделан в предположении, что вес механизмов автомобиля одинаков для всех рассматриваемых случаев. Однако их вес зависит от мощности двигателя. С учетом этого обстоятельства приведенные «сверхидеальные» цифры (кроме первой) возрастут примерно до 220, 385, 1100 и 2500 л. с. Расход горючего будет, конечно, соответствовать расходуемой мощности.

Аналогичный расчет можно сделать для обтекаемого грузового автомобиля грузоподъемностью 4 т.

Можно спорить о точности приведенных расчетов, но даже если, например, совсем пренебречь собственным весом легкового автомобиля и предположить, что по дороге будут каким-то чудом передвигаться только пассажиры (в невесомом кузове на невесомых колесах), то и в этом случае для скорости 500 км/час потребовался бы двигатель мощностью до 1000 л. с., а вес самого двигателя удвоил бы указанную величину.

Таково значение сопротивления движению автомобиля по дороге.

Между тем, сегодня человечество располагает средствами передвижения, которым для достижения подобных скоростей требуются двигатели значительно меньшей мощности. Это —



Расход мощности идеально обтекаемого легкового автомобиля (слева) и обтекаемого грузового автомобиля — фургона (справа).

самолеты. Можно провести по графику сравнение между современными 5-местными автомобилем и легкомоторным самолетом. На графике одной из линий соединены точки мощности двигателей для различных конкретных 5-местных самолетов, соответствующие наибольшей скорости этих самолетов. Остальные линии показывают мощности двигателей, необходимые для достижения различных скоростей автомобилями типа М-20 «Победа» и М-21 «Волга» и вышеупомянутым «идеальным». Последняя линия пересекает первую в точке, относящейся к скорости 230 км/час, остальные линии расположены значительно левее. Это означает, что при скорости больше 230 км/час самолет экономичнее автомобиля. Диаграмма не учитывает перспектив усовершенствования самолетов, что снизило бы рассматриваемые точки пересечения и сместило бы их еще более вниз и влево.

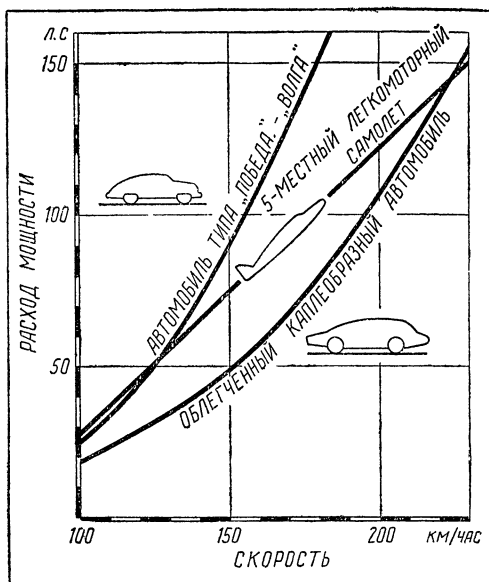
Таким образом, можно сделать вывод об экономически целесообразных значениях наибольшей скорости легковых автомобилей среднего класса. Эти значения для легковых автомобилей других классов (в сравнении с соответственными по вместимости и скорости классами самолетов) мало отличаются от приведенных.

По затронутому вопросу естественно ожидать возражений в том смысле, что автомобиль имеет преимущества перед самолетом, так как доставляет пассажиров непосредственно к месту назначения, работает в городских условиях и т. д. Эти преимущества окупают в известной степени увеличение расходов, связанных с достижением высокой скорости. Однако будущий автомобиль, способный и на высокую скорость, и на городское движение, должен быть снабжен рядом усложняющих его устройств (трансмиссия, приборы для регулирования жесткости подвески и давления в шинах), что повышает его стоимость и применимо лишь к автомобилям высшего класса, выпускаемым в ограниченном количестве.

Далее, для разгона автомобиля до высокой скорости необходим путь, измеряемый сотнями и даже тысячами метров. Укорочение пути и времени разгона возможно лишь в очень небольших пределах, так как человеческий организм воспринимает слишком резкое ускорение болезненно. Вследствие этого особо высокая скорость может быть использована только на длинных перегонах, т. е. в условиях, когда самолет вполне заменяет автомобиль. То же относится и к междугородным автобусам. Сравнивая самолет с легковым автомобилем, трудно доказать преимущество самолета в части комфортабельности, но при сравнении самолета с автобусом можно считать их равнозначными по комфортабельности, в особенности, если учесть, что и самолет, и скоростной междугородный автобус не приспособлены к доставке пассажиров непосредственно к месту назначения.

При определении целесообразной наибольшей скорости грузовых автомобилей требуется другой подход. Отмеченная выше некоторая стабилизация наибольшей скорости грузовых автомобилей в течение последних лет не случайна. Вследствие разнообразия перевозимых грузов, способов погрузки и разгрузки, широкого использова-

На скоростях свыше 200—250 км/час самолет выгоднее автомобиля.



ния грузовых автомобилей в сельском хозяйстве, приходится применять на грузовом автомобиле открытую бортовую платформу в качестве основного типа кузова. Тем самым пределы улучшения обтекаемости грузового автомобиля сужаются. Кроме того, для тех условий, в которых используют грузовой автомобиль, во многих случаях требуются упрощение его конструкции, отсутствие у него избытка облицовочных панелей, обычно связанных с обтекаемой формой.

Грузовой автомобиль с бортовой платформой и, в особенности, унифицированные с ним самосвалы и другие типы машин должны быть приспособлены к передвижению не столько с большой скоростью, сколько в тяжелых дорожных условиях, следствием чего является выбор определенных параметров силовой передачи и других устройств автомобиля. Сочетание этих параметров с параметрами быстроходного автомобиля неминуемо привело бы к значительному усложнению машины и к снижению ее технико-экономических показателей. Таким образом, нет оснований рассчитывать на существенное повышение наибольшей скорости грузовых автомобилей общего назначения.

В особом положении находятся магистральные автопоезда, предназначенные для движения в основном по дорогам благоприятного профиля и с весьма большими радиусами закруглений. Магистральные автопоезда могут быть, по соображениям обтекаемости, удлинены и снабжены кузовом обтекаемой формы, без слишком строгого учета маневренности. Пункты погрузки и разгрузки могут быть организованы применительно к малой маневренности автопоездов, которые во всяком случае обеспечивают более удобные условия погрузки и разгрузки, чем самолет и железнодорожный поезд. Вследствие этого возможно, что создание магистральных грузовых автопоездов, сконструированных с расчетом на передвижение с особо высокими скоростями, будет вполне оправданным. Практически, исходя из соображений устройства дорог, безопасности движения, унификации автопоездов с междугородными автобусами, скорость дальних автопоездов должна быть примерно равна скорости легковых автомобилей и междугородных автобусов.

Вышеизложенные расчеты нельзя распространять на автомобили, предназначенные для постоянной эксплуатации в городских условиях (с частыми остановками, поворотами, маневрированием), т. е. на такси, городские автобусы, автомобили для развозки почты, для обслуживания торговой сети. Даже при условии вряд ли осуществимого (и вряд ли целесообразного) переустройства всех городских улиц с созданием пересечений на разных уровнях, одностороннего движения, расширения проезжей части и при условии улучшения разгона и торможения автомобилей до пределов, допускаемых физиологическими свойствами пассажиров и водителя, скорость движения

в городах, практически, не превысит 100 км/час. Это значение наибольшей скорости, очевидно, и является оптимальным для городских средств транспорта.

В итоге определяются два значения рациональных наибольших скоростей будущих автомобилей: для грузовых автомобилей общего назначения, городских автобусов и такси — около 100 км/час, для легковых автомобилей общего назначения, междугородных автобусов и автопоездов — около 200 км/час.

Автомобили первой группы достигнут намеченного показателя в самом ближайшем будущем, так как это не связано с коренным переустройством всех улиц и дорог, а также самих автомобилей. Дальнейшее развитие этих машин пойдет по пути совершенствования прочих их качеств: веса, топливной экономичности, легкости управления, комфортабельности, надежности, безопасности движения. Повышение скорости автомобилей второй группы будет зависеть в первую очередь от усовершенствования дорог. Очевидно, что развитие и автомобилей, и дорог будет и впредь идти во взаимосвязи.

При всем совершенстве будущего автомобиля и при всей приспособленности к нему будущего человека (не рекордсмена), для массового передвижения автомобилей со скоростями около 200 км/час потребуются магистрали нового типа, весьма широкие, прямые и полностью изолированные от встречного и всякого иного движения. Каждое направление движения должно иметь по крайней мере четыре полосы, по две для машин каждой группы, с учетом возможного обгона. Строительство же магистралей для еще более высоких скоростей будет вряд ли оправданным при наличии в распоряжении человека средства передвижения, не нуждающегося в иных устройствах, кроме взлетно-посадочных площадок, и не представляющего опасности для попутных и встречных транспортных машин, т. е. самолета.

В отличие от прочих автомобилей, гоночные и рекордные машины, преследующие спортивные цели и цели испытания новых механизмов и материалов в условиях повышенных напряжений, должны развиваться в направлении все более высоких скоростей. Автомобили высшего класса должны иметь известный запас не только мощности, но и скорости.

Тот, кто сделает из этого разбора поспешный вывод о приближении автомобиля к пределу его развития, совершит большую ошибку.

Нет сомнения в том, что современные конструкторы могут обеспечить автомобилям практически любую скорость. Однако главное их внимание должно быть уделено достижению экономичности, долговечности, безопасности, комфортабельности быстходных автомобилей, а также увеличению удобства управления ими и их обслуживания. Намеченные значения наиболь-

шей скорости должны быть достигнуты наиболее дешевыми средствами: нужно снизить вес автомобиля, улучшить его обтекаемость, повысить к. п. д. силовой передачи.

При создании быстроходных автомобилей перед конструкторами встанут новые задачи. К ним относятся вопросы борьбы с шумом и вибрацией; боковой устойчивости автомобилей, в особенности — против действия аэродинамических сил; видимости пути; уменьшения потерь энергии на взбалтывание масла в системе силовой передачи и др. Если некоторые из перечисленных вопросов уже в какой-то степени разработаны в результате конструирования и испытания гоночных автомобилей (например, принудительная смазка коробки передач, примененная на рекордно-гоночном автомобиле «Звезда-НАМИ»), то для других требуется совершенно новый подход. Так, особое внимание придется уделить не только собственной обтекаемости кузова, но и уменьшению свиста воздуха; не только размерам ветрового окна, но и качеству стекла (не исключена необходимость в особой оптической характеристике стекла) и т. д. Каждая из этих задач, как и определение полного их перечня, заслуживает подробного самостоятельного рассмотрения.

ОТ АВТОРА

Эта книга должна показать, что все в конструкции автомобиля, в его развитии, в его работе направлено к осуществлению одной задачи:

передвигаться быстро, но с удобствами (или рационально перевозить груз), безопасно, с наименьшими расходами сил и средств.

Качества автомобиля нельзя рассматривать в отрыве одно от другого. Добиваясь улучшения тех или иных показателей, можно снизить другие. Нужно всегда взвешивать, насколько можно поступиться одним качеством ради другого, чтобы, в конечном счете, не вступить в противоречие с приведенным главным назначением автомобиля.

Пусть эта книга напомнит об основных особенностях движения автомобиля и не только напомнит, но и докажет значение этих особенностей.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Амортизаторы**
— влияние на плавность хода 191
— влияние на устойчивость 153
Амортизационные расходы 202
Амплитуда — см. колебания
Аэродинамика — см. обтекаемость
Аэродинамическая устойчивость автомобиля 127, 147
- База** автомобиля 12
Балансировка колес 159—160
Биение рулевого колеса 158
Боковое скольжение автомобиля 153—156
Боковые силы 124—133
Болото (преодоление) 115
- Вес** автомобиля
— в снаряженном состоянии 13
— полный 13
— собственный 13
— сухой 13
— ходовой 15
— элементов автомобиля 17
Вертикальные колебания 174
Вертикальные ускорения 175—178
Ветер 7, 127—129, 147—150
Вибрации 174
Видимость пути 118—121
«Влияние» колес 153—163
Выраж 131
Вихревое движение воздуха 65—67
Воздушные силы 67, 71, 147—150
Впадина дороги 7, 195—196
- Вращающий момент** — см. крутящий момент
Время разгона 60, 88—90
Выбег (см. накат)
Вынос автомобиля при повороте 116
Высота автомобиля 12
- Габаритные размеры** автомобиля 12
Грузоподъемность
— автомобиля 15
— колеса 39
Грунт мягкий (преодоление) 107—114
- Давление**
— воздуха 75
— удельное 6, 107—108, 112
Двигатель (внешняя характеристика) 22
Действие и противодействие 10—11
Диаграмма движения 82, 86
Динамическая характеристика 85—87
Динамический фактор 85—87
Длина автомобиля 12
- Жесткость** подвески 173, 190
- Занос** автомобиля 150—156
- Излишняя поворачиваемость** 138
Инерция 58
- Картина**
— давления 71, 75, 77
— обтекания 76

- Колебания
 — амплитуда 172
 — период 172
 — ускорение 173, 175
 — частота 172—173
 Колесо
 — качение 46—49
 — колебания 156—163
 — размеры 38, 43, 44, 105—106, 186
 187
 — стабилизация 156—163
 — увод 133—134
 Колея
 — автомобиля 12, 188
 — дороги 101
 Компоновка автомобиля 11—14, 178—
 182
 Коэффициент
 — бокового сопротивления 127
 — вращающихся масс 60—61
 — жесткости 193
 — поддресоренных масс 180
 — полезного действия силовой пере-
 дачи 25
 — распределения масс 183
 — сопротивления воздуха 70, 78—80
 — сопротивления качению 49—50
 — сопротивления уводу шин 137—
 143
 — сцепления 47—48
 Крен кузова 189
 Крепление кузова — влияние на плав-
 ность хода 192
 Критическая скорость по устойчи-
 вости 145
 Крутящий момент
 — двигателя 21
 — на колесах 46
 — определение 11
 — при опрокидывании 166, 188

 Лобовая площадь 74
 Лошадиная сила 21
 Маневренность автомобиля 114—117
 Масса 59
 Метацентр 148
 Мощностная диаграмма 8

 Мощностной баланс 81
 Мощность 21

 Нагрузка
 — на колесо 6, 39
 — полезная 18, 206
 Наибольшая мощность 21
 Наибольший крутящий момент 21
 Накат 64, 72—74, 213
 Наклон
 — дороги 125
 — шкворня 157—158
 Недостаточная поворачиваемость 140
 Неподдресоренные массы 171—172

 Обзорность — см. видимость пути
 Обод колеса — влияние на увод 136
 Обтекаемая форма 66—70, 149
 Обтекаемость 64—80
 Опрокидывание
 — вбок 125—133
 — на подъеме 165—167
 — на спуске 98, 167
 Органы управления автомобилем 28
 Ось крена 189
 Отпечаток шины 112, 134

 Параллелограмм сил 7
 Параллельные силы 8
 Пара сил 11
 Первоначальная стоимость автомобиля
 202
 Перекат дороги (преодоление) 7, 101,
 196
 Перекос осей 102
 Перераспределение нагрузки 63, 97
 Период — см. колебания
 Песок (преодоление) 109—110
 Плавность хода
 — определение 169—172
 — оценка 166—178
 Поверхностное трение воздуха 65
 Подвеска колес
 — влияние на плавность хода 185
 — влияние на устойчивость 143—144
 Поддресоренные массы 171—172
 Подъем (преодоление) 54—56, 165—
 167

Полезная площадь 14
Показатели
— весовые 18
— динамические 92
— использование габарита 12, 14
— обзорности 121
— обтекаемости 78, 80
— проходимости 113
— плавности хода 194
— удельной грузоподъемности шин 43
— устойчивости 146
— экономичности 206
Прокол шины 163—165
Просвет между автомобилем и дорогой 100—104
Проселочная дорога (преодоление) 99—121
Противодействие — см. действие и противодействие
Пройодимость автомобиля 99—121
Путь
— наката 64
— разгона 59, 60, 64, 88—90, 93, 213
— торможения 96

Равнодействующая сил 7—10
Радиус
— инерции 183
— поворота 115—116, 131
— проходимости 100—101
Разгон автомобиля 56—64, 87—90, 93
Разложение силы 9
Размеры автомобиля 11—12
Распределение веса по колесам 16, 181—182
Расход топлива
— контрольный 204
— наименьший 212
— средний 212
— удельный 203
— эксплуатационный 203
Рессоры — влияние на плавность хода 185
Свесы передний и задний 12, 100—101
Сиденья — влияние на плавность хода, 193—195

Сила
— ветра 7
— общие понятия 5
— сопротивления воздуха 71
— сопротивления качению 51, 87
— торможения 95—96
— тяговая 46, 52
Силовая передача (потери) 25—28
Система сил 6
Скльжение автомобиля 126—131
Скорость
— критическая 145
— наибольшая 78, 84—91, 216—224
— определение 51
— поворота 131—132
— средняя 88
— экономическая 210—214
Сложение сил 7
Снежная дорога (преодоление) 107—108
Собственная частота колебаний 173
Сопротивление
— воздуха 64—80, 107—209
— движению 81
— качению 49—51
— подъема 54—56
Спуск (преодоление) 97—98. 167
Сцепление шины с дорогой 48

Теория автомобиля 3
Торможение
— двигателем 32—33, 97
— колесными тормозами 32—34, 96—98
Тормозная сила — см. сила торможения
Трогание с места 61—64
Тяговая диаграмма 85—86
Тяговая сила 46, 52
Тяговый баланс 81

Увод автомобиля 135—138
Увод шины 133—134
Угловые колебания 175
Угол
— подъема 54—56
— свеса 100—101
Удельная грузоподъемность
— автомобиля 15
— шины 37—43

Управление автомобилем
— органы управления 28—34
— приемы 30—34, 56, 97, 168, 196, 198—201
Ускорение
— вертикальное 175—178
— колебаний 174
— наибольшее 87
— определение 58
— силы тяжести 58
— угловое 175
Ускоренное движение 58
Устойчивость автомобиля
— на повороте 130—133, 141
— на подъеме 165—167
— на спуске 167
— определение 122—124
— против заноса (бокового скольжения) 153—156
— против опрокидывания 125—130
Характеристика двигателя
— внешняя 22
— скоростная 21
— экономическая 23, 210

Центр
— боковых реакций 148
— поворота 139
— тяжести 19
Центробежная сила 130

Частота — см. колебания

Шины
— внутреннее давление 39, 214
— данные по шинам 43
— деформация 49
— радиусы 105, 106, 112
— развитие 34—37
— размеры 43, 45
— расход шин 214
Ширина автомобиля 12

Экономичность автомобиля 202—216
Эксплуатационные расходы 202
Энергия
— двигателя 20
— кинетическая 64, 95
— потенциальная 57

СОДЕРЖАНИЕ

Пока автомобиль не тронулся с места

Первый разговор с читателем	3
Силы	5
Размеры и вес автомобиля	11
Источник энергии	20
От двигателя к колесам	25
На командном посту	28
Великий труженик — колесо	34

По ровной дороге

Колесо и дорога	46
На подъем	54
Автомобиль набирает скорость	57
Лошадиные силы, выброшенные на ветер	64
Возможности автомобиля	80
Автомобиль замедляет ход	94

Препятствия

По плохим дорогам	99
Через пороги	105
По мягкому грунту	107
В лесу	114
Скорость движения. Видимость пути	117

Вопреки воле водителя

Современный автомобиль устойчив, но	122
Второй фронт сил	124
Не по следу	133
Не по заданной окружности	138
По воле ветра	147
Поворот автомобиля без поворота колес	150
Самоуправляемое колесо	156

Колесо «танцует»	158
Прокол!	163
Редкие, но все же возможные случаи	165
Устойчивость автомобиля зависит от водителя	168
Плавность хода	
Необходимо уменьшить тряску	169
Колебания	172
Пассажирам нужен покой	174
Груз и тряска	176
Что такое «хорошо» и что такое «плохо»	177
От тряски защищают не только рессоры и шины	178
Пять защитников	189
Мертвая петля на автомобиле	195
Водитель и плавность хода	198
Расходы	
Смета	202
Вес автомобиля и расход топлива	204
Сопротивление воздуха и расход топлива	207
Какая скорость выгодна?	210
Беречь шины	214
Еще раз о скорости	216
От автора	225
Предметный указатель	226

Юрий Аронович Д о л м а т о в с к и й
АВТОМОБИЛЬ В ДВИЖЕНИИ

Редактор издательства *В. А. Нахимсон*

Технический редактор *В. Д. Элькин*

Корректор *А. П. Гусева*

Рисунки *В. И. Арямса, Э. Р. Молчанова и автора*

Сдано в производство 26/VI 1957 г.

Подписано к печати 24/X 1957 г.

Т-09915. Тираж 25 000 экз. Печ л 14,5.

Уч.-изд. л 14. Бум л 7,25 Формат 60×92/16.

Заказ 2746

Типография № 6 УПП Ленсовнархоза
Ленинград, ул Мойсеенко, 10

8 руб.



Москва, Третьяковский проезд, 1