SPEEDPRO SERIES

КАК ПОСТРОИТЬ И МОДИФИЦИРОВАТЬ СПОРТИВНЫЙ АВТОМОБИЛЬ

ПОДВЕСКА & ТОРМОЗА

DES HAMMILL

Легион-Автодата

Дэс Хаммилл

ПОДВЕСКА И ТОРМОЗА

Как построить и модифицировать спортивный автомобиль

Применимо для всех спортивных автомобилей с независимой передней подвеской, телескопическими амортизаторами, винтовыми пружинами подвески и задней зависимой и независимой подвеской

VELOCE PUBLISHING PLC
PUBLISHERS OF FINE AUTOMOTIVE BOOKS

УДК 629.314.6
ББК 39.335.52
Д39

Дэс Хаммилл *ПОДВЕСКА И ТОРМОЗА. Как построить и модифицировать спортивный автомобиль. / Перевод с английского. - М.: Легион-Автодата, 2005. - 96 с.: ил.*

ISBN 5-88850-228-6 (ЗАО "Легион-Автодата")
ISBN 1-901295-08-7 (Издательство "Veloce Publishing Plc")

Настоящие издание опубликовано издательством "Veloce Publishing Plc" в серии "SPEEDPRO SERIES" под названием "SUSPENSION & BRAKES".
Первое издание в 1999 году. Переиздано и дополнено в 2000 году.
Veloce Publishing Plc., 33, Trinity Street, Dorchester DT1 1TT, England. Fax: 01305 268864
e-mail: veloce@veloce.co.uk/website: http:// www.veloce.co.uk

Когда заходит разговор о типах подвески и управляемости автомобиля, можно получить довольно много разных советов. К несчастью, многие из них плохие, некомпетентные или устаревшие. В этой книге показано, что регулировки и модификации подвески, рулевого управления и тормозной системы могут быть проделаны действительно хорошо и без привлечения "черной магии", без чего, как многие считают, обойтись невозможно.

Автор, Дэс Хаммилл (Des Hammill) - инженер, имеющий большой опыт работы с подвесками скоростных спортивных автомобилей. В предлагаемой Вашему вниманию книге, в доступной форме, изложены основные положения настройки подвески и тормозов.

Примечание переводчика: в оригинале текста книги используется термин "kit car" (кит-кар), т.е. дословно "автомобиль, собранный из набора запасных частей на несущей конструкции (раме)". В переводе мы не будем уточнять, каким способом создан автомобиль, просто будем говорить о спортивном автомобиле.

© Des Hammill and Veloce Publishing Plc 1999 & 2000
© ЗАО "Легион-Автодата" 2005
тел. (095) 679-96-63, 679-96-07, 517-05-40
факс (095) 679-97-36
E-mail: Legion@autodata.ru
http://www.autodata.ru

Издательство приглашает к сотрудничеству авторов.

Замечания, советы из опыта эксплуатации и ремонта автомобилей, рекомендации и отзывы о наших книгах Вы можете направить в адрес издательства:
115432, Москва, ул. Трофимова, д. 13
или по электронной почте: notes@autodata.ru
Готовы рассмотреть предложения по размещению рекламы в наших изданиях.

Лицензия ИД №00419 от 10.11.99.
Подписано в печать 16.11.05.
Формат 60×90 1/8. Усл. печ. л. 12.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Тираж 1000 экз. Заказ № 4693-05.

Издание находится под охраной авторского права. Ни одна часть данной публикации не разрешается для воспроизведения, переноса на другие носители информации и хранения в любой форме, в том числе электронной, механической, на лентах или фотокопиях.
Несмотря на то, что приняты все меры для предоставления точных данных в руководстве, авторы, издатели и поставщики руководства не несут ответственности за отказы, дефекты, потери, случаи ранения или смерти, вызванные использованием ошибочной или неправильно преподнесенной информации, упущениями или ошибками, которые могли случиться при подготовке руководства.

Оглавление

Введение 4
Заключение 5
Важные замечания 5
ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ 6
Недостаточная поворачиваемость 6
Избыточная поворачиваемость 7
Статический отрицательный развал (Static negative camber) 7
Динамический угол развала (Dynamic camber) 8
Положительный угол продольного наклона оси поворота (Positive castor) 9
Угол поперечного наклона оси поворота (King pin inclination KPI) 11
Ударное управление (Bump steer) 11
БЛАГОДАРНОСТЬ 12

Как пользоваться книгой и необходимая информация 13
КАК ПОЛЬЗОВАТЬСЯ КНИГОЙ 13
НЕОБХОДИМАЯ ИНФОРМАЦИЯ 13

Глава 1. "Шасси" 14
МЕТОД ПРОВЕРКИ ЦЕЛОСТНОСТИ ШАССИ 14
Действительное шасси 14
Несущий кузов (монокок) и кузов на раме 15
ПРОВЕРКА ГЕОМЕТРИИ ШАССИ 16
Параллельность осей 16
Рамное шасси 19
Несущий кузов 20
Точки крепления верхних рычагов 21

Глава 2. Высота подвески 22
ПЕРЕДНЯЯ ПОДВЕСКА 23
ЗАДНЯЯ ПОДВЕСКА 25
Зависимая подвеска заднего моста 25
Независимая подвеска заднего моста 26
Подвеска с качающейся осью 26
Подвеска на качающихся рычагах 28
Независимая подвеска - общие соображения 28
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 29

Глава 3. Геометрия подвески 30
ОПОРНЫЕ ТОЧКИ ПЕРЕДНЕЙ И ЗАДНЕЙ ПОДВЕСКИ 30
НИЖНИЙ ПОПЕРЕЧНЫЙ РЫЧАГ ПЕРЕДНЕЙ ПОДВЕСКИ 31
ВЕРХНИЙ ПОПЕРЕЧНЫЙ РЫЧАГ ПОДВЕСКИ 32
НЕЗАВИСИМАЯ ЗАДНЯЯ ПОДВЕСКА 34
ПРОТИВОКЛЕВКОВАЯ ГЕОМЕТРИЯ 36
НАПРАВЛЯЮЩИЙ РЫЧАГ ЗАДНЕЙ ЗАВИСИМОЙ ПОДВЕСКИ 37

Глава 4. Пружины подвески и амортизаторы 39
СТОЙКА ПОДВЕСКИ (COIL-OVER SHOCK ABSORBERS) 39
ПРУЖИНЫ 40
ПОДРЕССОРЕННЫЕ И НЕПОДРЕССОРЕННЫЕ МАССЫ 43
АМОРТИЗАТОРЫ 43

Глава 5. Развал, продольный и поперечный угол наклона оси поворота 46
ОТРИЦАТЕЛЬНЫЙ РАЗВАЛ (CAMBER) 46
ПРОДОЛЬНЫЙ НАКЛОН ОСИ ПОВОРОТА (CASTOR) 47
ПОПЕРЕЧНЫЙ НАКЛОН ОСИ ПОВОРОТА (KPI) 48
Взаимосвязь между продольным и поперечным углами наклона оси поворота 51

Глава 6. Углы Аккермана, схождение колес, "ударное управление" и стабилизаторы поперечной устойчивости 52
УГЛЫ АККЕРМАНА (РУЛЕВОЙ ТРАПЕЦИИ) 52
ПОЛОЖИТЕЛЬНОЕ СХОЖДЕНИЕ (TOE-IN) 54
ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ СХОЖДЕНИЕ 54
"УДАРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ" (BUMP STEER) 56
СТАБИЛИЗАТОР ПОПЕРЕЧНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ 57

Глава 7. Задняя подвеска 58
ЗАВИСИМАЯ ПОДВЕСКА 58
Установка балки моста 58
Дифференциал повышенного трения (LSD - limited slip differential) 60
НЕЗАВИСИМАЯ ЗАДНЯЯ ПОДВЕСКА 63
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 64

Глава 8. Тормоза 65
ПЕРЕДАТОЧНОЕ ЧИСЛО ПЕДАЛИ ТОРМОЗА 65
ДИАМЕТР ГЛАВНОГО ТОРМОЗНОГО ЦИЛИНДРА 67
УСИЛИТЕЛИ ТОРМОЗОВ 68
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ 68
ПЕРЕДНИЕ ДИСКОВЫЕ ТОРМОЗА 69
Перечень проверок передних дисковых тормозов 69
Невентилируемые тормозные диски 71
Вентилируемые тормозные диски 71
Тормозные суппорты 71
ЗАДНИЕ ТОРМОЗА 72
Барабанные тормоза 72
Дисковые тормоза 72
ПРОВЕРКА ТОРМОЗОВ 72

Глава 9. Настройки автомобиля 73
ПРОВЕРКА ШИН 73
ПРОВЕРКА ОТРИЦАТЕЛЬНОГО РАЗВАЛА 74
ИЗМЕРЕНИЕ СХОЖДЕНИЯ КОЛЕС 75
ВЕС НА КОЛЕСЕ 77
Автомобиль с независимой передней подвеской и зависимой задней подвеской 78
Автомобиль с независимыми передней и задней подвесками 81

Глава 10. Тестирование и регулировки автомобиля 84
УСТАНОВКА КОЛЕС 84
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕСА НА КОЛЕСАХ 86
ШИНЫ 90
ТОРМОЗА 90
БОКОВОЙ УВОД АВТОМОБИЛЯ 92
ПРОБЛЕМЫ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ПОВОРОТОВ 92
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 96

Введение

Несколько лет назад один мой товарищ пришел ко мне с жалобами на низкую мощность его пятилитрового восьми цилиндрового двигателя Chevrolet. Двигатель был перебран и, после обкатки и настроек, был снова установлен на автомобиль.

Мы согласовали порядок тестов. После прогрева двигателя автомобиль сделал несколько кругов по треку со средней скоростью. Все было в порядке, так что пришло время сделать несколько быстрых кругов для проверки двигателя на полном дросселе. С клубами дыма горящих шин автомобиль, под рев двигателя змеей взял старт на полной мощности. Автомобиль прошел первый поворот и вышел на прямую, неистово пожирая пространство и оставляя за собой мощный звук мотора, работающего на полной мощности, и затем ... ничего. Автомобиль не закончил круг, как это предполагалось, а вокруг была тишина. Казалось, прошли года, прежде чем в боксы вернулся гонщик, весь в крови от порезов. Мы спросили его, что случилось. Он ответил, что двигатель просто великолепен, но как улучшить тормоза и управляемость?

Мораль этой истории в том, что надо принимать во внимание все аспекты, влияющие на поведение скоростных автомобилей (если, конечно, Вы дорожите своей жизнью). Этот инцидент возбудил во мне огромный интерес к исследованиям возможностей управляемости и торможения. Характеристики торможения и управляемости, как Вы можете убедиться позже, важнее чем увеличение мощности двигателя для достижения лучших результатов.

***

В этой книге автор рассмотрел некоторые аспекты улучшения управляемости автомобиля, которые могут быть полезны для тех, кто строит спортивные автомобили или кит-кары, или пытается улучшить ходовые качества автомобиля. Рассмотрены моменты проведения настроек подвески для автомобилей с передним и задним расположением двигателя, с независимой передней и зависимой задней подвеской или с полностью независимой подвеской. Другими словами, основная информация может быть применена для автомобилей практически всех типов.

Небольшие регулировки, которые могут быть проведены в Вашем гараже (если конечно там ровный и горизонтальный пол) с минимумом затрат времени, помогут улучшить управляемость автомобиля.

Естественно, большинство владельцев хотят, чтобы автомобиль хорошо ехал и управлялся. С одной стороны задачи раздела "ехать" более или менее ясны для всех, а с другой стороны решения, устраняющие недостатки управляемости, представляются как результат "черной магии".

Возьмем, к примеру, два идентичных кит-кара, купленных и собранных двумя разными людьми и настраиваемые

ими по своему усмотрению. С огромной вероятностью управляемость обоих автомобилей будет заметно отличаться. Автомобили все еще будут соответствовать спецификации, но если настройки проводятся без ясного понимания, что в результате надо получить и что способствует улучшению управляемости, в конце концов, приведут к созданию просто опасного автомобиля. И не надо после этого винить изготовителя.

Как правило большинство кит-каров поставляются со всем необходимым оборудованием, многие допускают наличие регулируемой и настраиваемой подвески. Но наличие возможности настроить подвеску и отсутствие знаний, как это сделать, приводит зачастую к худшим результатам.

На многие спортивные автомобили и кит-кары устанавливаются детали серийных машин. В одних случаях используется один автомобиль-донор, чьи детали непосредственно устанавливаются на спортивный образец. Такой подход с точки зрения управляемости приводит к возрастанию компромиссных решений. В других случаях имеется несколько автомобилей-доноров, поскольку конструкторы и изготовители спортивного автомобиля хотят установить наиболее подходящие, с их точки зрения, детали. Естественно, во внимание принимаются и вопросы стоимости изделий.

Некоторые автомобили созданы для кольцевых трасс, некоторые для трека, некоторые для обоих случаев. На чисто трековые автомобили, по понятным причинам, часто устанавливают лучшие детали, которые можно купить за деньги. Автомобили для кольца и для трека не так близко связаны между собой, как это принято думать. Решение о назначении автомобиля нужно принять сразу, чтобы сберечь время и деньги, выброшенные на установку совершенно неподходящих деталей и лишние регулировки.

Простейшие кит-кары основываются на конструкции с передним расположением двигателя и заднем приводе с зависимой задней подвеской. Задняя подвеска может быть также независимой. Некоторые версии кит-каров, например Westfield, выпускаются в обоих вариантах. Есть много "за" и "против" для применения этих двух схем подвесок: зависимая подвеска более легкая, но иногда создает проблемы с управляемостью. Независимая подвеска тяжелее, но обычно лучше передает тягу и способствует улучшению управляемости.

На некоторых версиях автомобилей двигатель устанавливается в середине колесной базы, привод осуществляется на задние колеса и устанавливаются обе независимых подвески. Таких автомобилей относительно мало, поскольку они более дорогие в изготовлении, но все же они есть, хотя их управляемость не всегда так хороша, как можно было бы ожидать.

В сущности, спортивные автомобили должны иметь лучшую управляемость и исполнение, чем большинство обычных машин (цель, в наши дни не так легко достижимая, когда серийные автомобили исключительно хорошо "держат дорогу"). Подвески разных автомобилей имеют разную конструкцию, однако, главная цель остается неизменной, т.е. обеспечить управляемость автомобиля как можно лучше в заданных границах стоимости и ожидаемого комфорта. Главной задачей подвески является обеспечение безотрывного движения колеса по дорожному покрытию, во всех условиях движения. При этом желательно достичь одинакового размера пятна контакта всех шин с дорогой (правильного распределения веса автомобиля по колесам).

Многие автомобили (включая популярные спортивные версии) используют детали других выпускаемых автомобилей и, хотя это понятно с точки зрения стоимости, эти детали не всегда полностью подходят для назначенных целей, но приходится идти на компромисс.

Советы и рекомендации, рассмотренные в этой книге, следует отнести к автомобилям и кит-карам, скорость которых не превышает 210 км/ч.

Иногда удается весьма удовлетворительно настроить автомобиль самостоятельно. Однако, уровень осмысления, что надо делать с автомобилем и осознание причин его поведения и проблем, их вызывающих, дают основу для введения корректных изменений, неизбежно приводящих к желаемому результату. Проблемы управляемости могут иногда казаться неразрешимыми, но всегда логика и информация, приводимая в данной книге, помогут Вам отказаться от мысли, что настройка подвески относится к "черной магии". Идеи решений и процедуры исполнения, описанные в предлагаемой книге, простые, эффективные и не влекут за собой значительных материальных затрат. Помните, что простота часто лучшее решение.

Важные замечания

Основой аккуратной настройки геометрии подвески любого автомобиля является проведение измерений всех переменных величин от одной опорной точки. Это прежде всего означает необходимость подготовки плоскости измерений (пола). Пол должен быть горизонтальным и абсолютно плоским и на 1 метр шире и

длиннее габаритов автомобиля. Провести правильные измерения и затем отрегулировать подвеску без выполнения указанных требований **невозможно**. Отклонения поверхности пола от плоскости не должно превышать 1 мм по всей поверхности. Это требование может выглядеть очень строгим, однако обычные бетонные полы можно выполнить с указанной точностью на гораздо большем пространстве, чем нужно для зоны измерений. Бетонный пол, подвергнутый при укладке дополнительной обработке, может быть идеально ровным. Если пол уже уложен, приведение его в порядок потребует дополнительных усилий: в среднем отклонения от плоскости у бетонных полов достигает 3 мм, что не отвечает требованиям к точности измерений. При этом возможно реально провести регулировки подвески с достаточной точностью, однако нельзя получить автомобиль "без пятнышка". Любой пол, или часть пола, на горизонтальность можно проверить с помощью строительного уровня. Выровнять пол по горизонту можно без особенных затрат с помощью самовыравнивающегося компаунда, продающегося в строительных магазинах. Обычно этот компаунд используется для выравнивания пола до укладки кафеля и в большинстве случаев не предназначен для передвижения по нему автомобиля, однако если подложка пола достаточно прочная, его применение оправдано, кроме того, пользоваться компаундом может любой человек.

Причина применения компаунда лежит в его жидкотекучести. Поверхность, которую нужно выровнять, огораживают небольшой опалубкой и затем заливают компаунд. Поверхность компаунда располагается по горизонту и до застывания становится абсолютно гладкой. По соображениям прочности минимальная толщина компаунда должна быть больше 3 мм. подготовленный таким образом пол может прослужить несколько лет.

Можно провести регулировки автомобиля "на стороне", в помещении удовлетворяющем указанным условиям, что также создаёт определённые неудобства, но вам не придётся тратить время и деньги на подготовку пола в собственном гараже.

Если работы, связанные с регулировкой подвески, проводятся регулярно, участок пола, где проводятся регулировки (проверенный на горизонтальность и плоскостность), обычно помечают по периметру краской. Эта зона по возможности не должна использоваться для работ, не связанных с регулировками подвески, включая хранение автомобиля.

Надо ясно себе представлять, что все измерения и проверки, предлагаемые в этой книге, должны проводиться в указанных выше условиях. Нарушение этих обязательных требований приведет к ошибкам, которые отразятся на управляемости автомобиля.

Заметим, что проходящие в книге ссылки на "точки измерения шасси и подвески" означают те места автомобиля, в которых крепятся рычаги подвески. Не делается различия между рамной конструкцией и несущим кузовом.

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Имеется несколько общих терминов, которые часто применяются при обсуждении вопросов регулировки подвески. К этим терминам относятся положительный и отрицательный развал колес (camber), продольный наклон оси поворота колеса (castor или caster), угол нижнего рычага, угол верхнего рычага, положительное и отрицательное схождение колес. Эти термины нужно знать и понимать. Ниже приведем краткое определение каждого термина и, по возможности, их влияние на управляемость.

Недостаточная поворачиваемость

Если автомобиль старается поддерживать прямолинейное движение при повороте управляемых колес внутрь поворота, говорят о недостаточной поворачиваемости автомобиля. Это общая проблема, когда автомобиль слишком близко подходит к границе своих возможностей по управляемости.

К недостаточной поворачиваемости приводят несколько причин, большинство из которых могут быть скомпенсированы или устранены с помощью регулировок или модификаций узлов. Большинство людей хотят сделать что-нибудь для избавления от недостаточной поворачиваемости, потому, что она постоянно приводит в замешательство водителя. Недостаточная поворачиваемость вынуждает проходить повороты так, чтобы снизить ее эффект. В любом случае это означает, что автомобиль будет двигаться медленнее, чем он может. Нет ничего лучше, чем управлять автомобилем, который никогда не показывает недостаточную поворачиваемость и прощает ошибки при прохождении поворота.

В большинстве случаев к недостаточной поворачиваемости ведет неправильная установка колес (шины не имеют достаточного сцепления с дорогой). Тем или иным путем обычно все возвращается к геометрии подвески, за исключением выбора шин. Другим фактором, приводящим к не-

достаточной поворачиваемости, является взаимная "борьба" передних колес (см. раздел "Проблемы при прохождении поворотов").

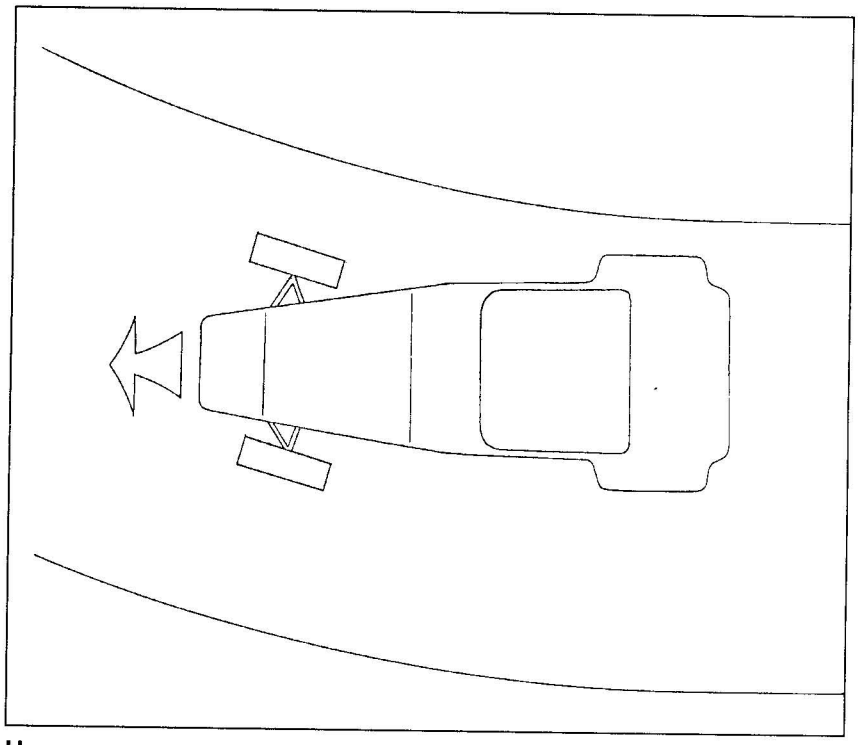
Избыточная поворачиваемость

Избыточная поворачиваемость проявляет себя как стремление автомобиля к заносу заднего моста при прохождении поворота. Автомобиль достаточно хорошо входит в поворот, но затем задний мост начинает заносить в сторону противоположную повороту: как говорят "автомобиль вильнул хвостом". Этот эффект может дать преимущества в прохождении поворотов в гонках, но зато ограничивает возможности возвращения автомобиля к прямолинейному движению.

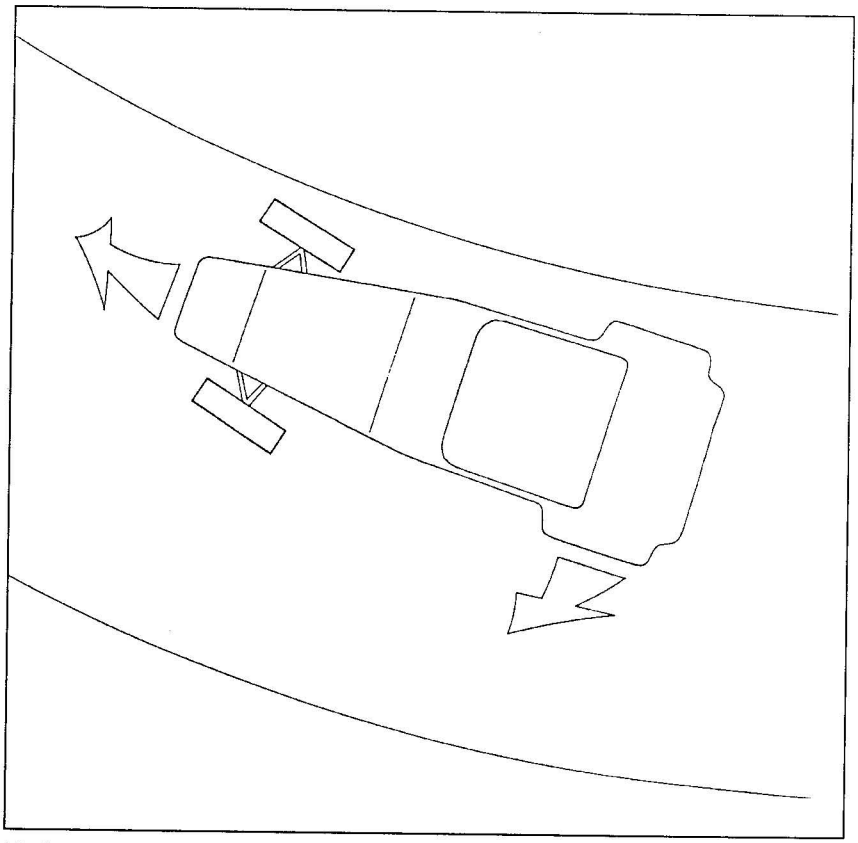
Если избыточная поворачиваемость очень велика, автомобиль практически всегда переходит к неуправляемому вращению. Только одна вещь поможет в некоторой степени справится с создавшимся положением: установка более мягких шин, которые сцепляются с дорогой, а не скользят по ней. Избыточная поворачиваемость может быть уменьшена путём изменения схождения задних колёс или изменением колёсной базы.

Статический отрицательный развал (Static negative camber)

Главным образом с развалом устанавливают передние колеса. Применение развала задних колес как правило используют только при независимой задней подвеске. Термин "отрицательный развал" применяется в случае, когда верхняя часть колеса или вертикальная ось колеса направлена внутрь колеи автомобиля (при положительном развале вертикальная ось ко-



Недостаточная поворачиваемость - управляемые колеса направлены внутрь поворота, но автомобиль старается поддерживать прямолинейное движение.



Избыточная поворачиваемость - автомобиль входит в поворот, но немедленно начинает поворачиваться вокруг вертикальной оси или "сходит" с траектории.

леса направлена наружу). "Статический" отрицательный развал определяется на стоящем автомобиле, при нормальном распределении нагрузки по осям и при управляемых колесах, установленных в положении прямолинейного движения. Отрицательный развал требует некоторого диапазона регулировки, обычно около двух градусов или несколько больше. Некоторые специальные гоночные автомобили, по специфическим причинам, имеют отрицательный развал до пяти градусов. Принято, что идеальный статический отрицательный развал должен иметь регулировки от 0,5 до 1,5 градусов. В этот допуск углов укладываются все автомобили, которые движутся со скоростями, диапазон которых рассматривается в рамках данной книги (см. раздел "Как пользоваться книгой").

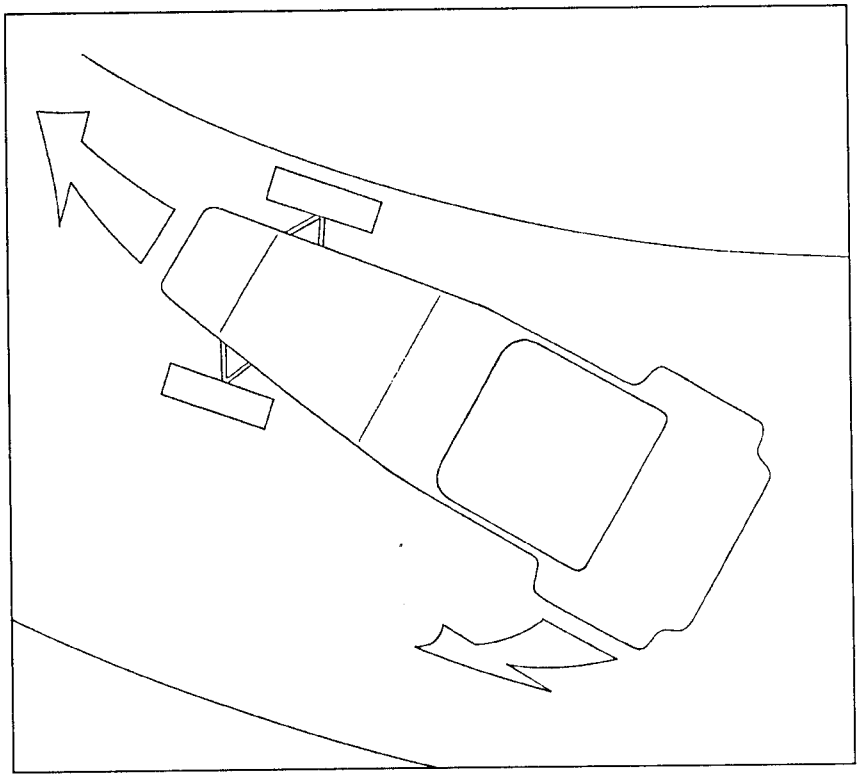
Хотя в статике устанавливается отрицательный угол развала, это не означает, что при прохождении поворота с некоторым креном кузова регулировки остаются неизменными: это далеко не так.

Отрицательный угол развала обычно вещь хорошая, но далеко не во всех случаях.

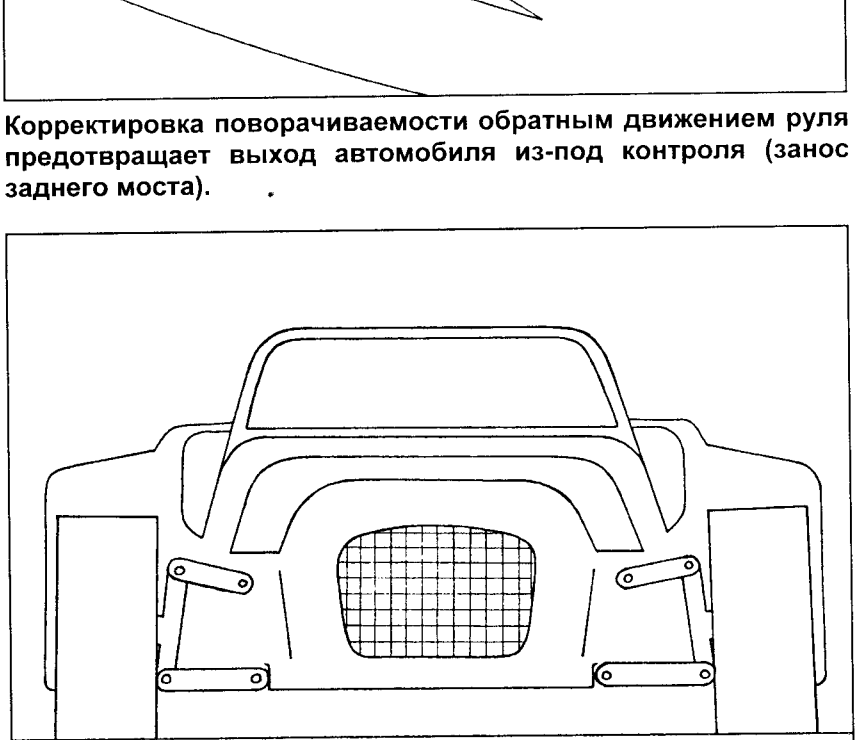
Динамический угол развала (Dynamic camber)

Этот термин применим в условиях движущегося автомобиля и, особенно, при прохождении поворотов. Три события могут произойти с левым передним колесом при повороте вправо:

- статический развал не изменится,
- увеличится отрицательный угол развала,
- отрицательный развал перейдет в положительный (до двух-трех градусов в тяжелом повороте).



Корректировка поворачиваемости обратным движением руля предотвращает выход автомобиля из-под контроля (занос заднего моста).



Передние колеса с отрицательным развалом в два градуса.

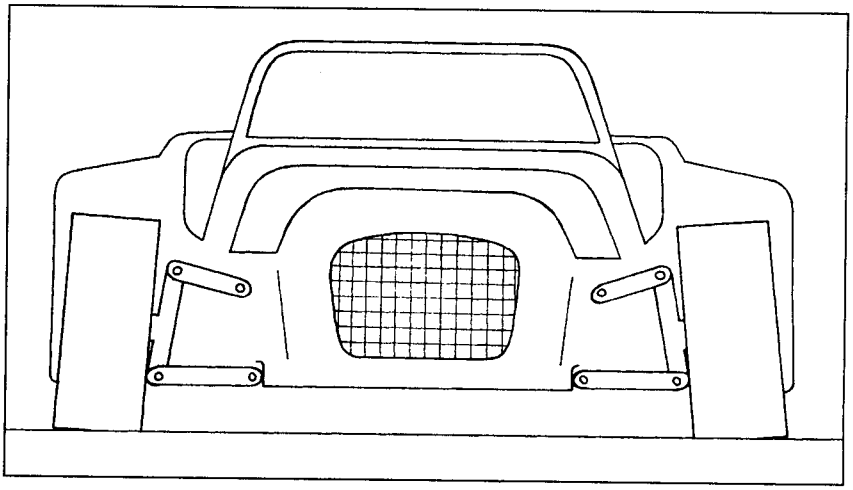
Естественно, то же происходит с правым колесом в левом повороте. Поскольку крен кузова изменяет геометрию подвески, желательно чтобы колесо в повороте имело от 1 градуса отрицательного развала до 2 градусов положительного. Если динамический развал выходит за указанные пределы, требуется введение корректировок, даже если управляемость остается вполне удовлетворительной. К указанным величинам динамического развала нужно стремиться при конструировании подвески. Правое колесо в правом пово-

роте в идеале должно иметь нулевой динамический развал. На практике, наиболее часто встречается вариант, когда правое переднее колесо имеет небольшой отрицательный развал (или, что хуже, очень большой отрицательный развал: до 8°, что невозможно).

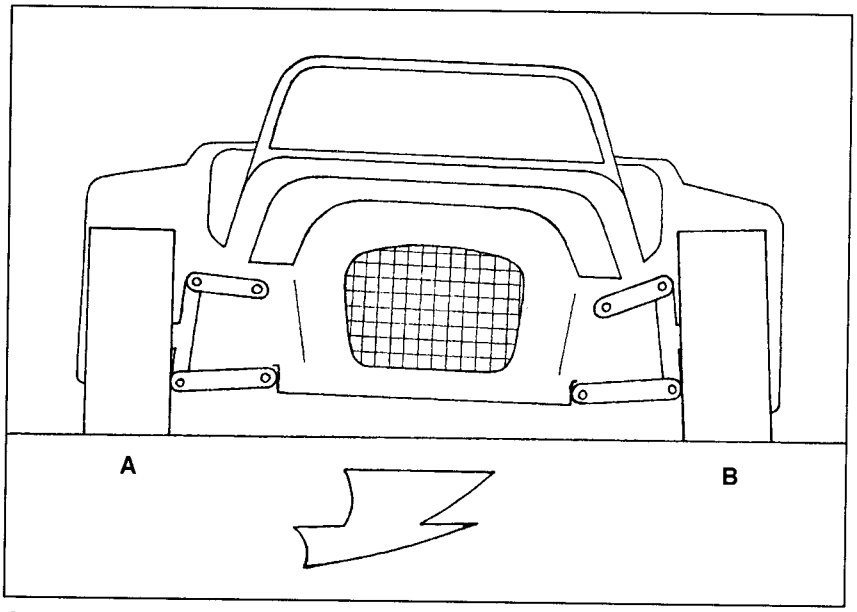
Итак, если автомобиль проходит крутой правый поворот на максимально возможной скорости левое переднее колесо может иметь развал от минус одного до плюс шести градусов, в то время как в идеальном случае развал должен быть ограничен диапазоном от минус одного до плюс двух градусов.

В той же ситуации правое переднее колесо может иметь развал от нуля до минус восьми градусов. В идеале это колесо должно иметь развал от нуля до минус двух градусов (нулевой развал получить очень трудно, а отрицательный в восемь градусов свидетельствует о печальном состоянии дел).

Основная причина необходимости иметь возможность регулировать развал в том, чтобы обеспечить правильный контакт шины с дорогой, при изменении нагрузки на колеса при прохождении поворотов. Положение шины становится особенно важным в тяжелых поворотах. При положительном развале больше пяти градусов шина левого переднего колеса в правом повороте старается провернуться на диске, что ухудшает управляемость. Если в это же время внутреннее колесо имеет отрицательный развал, так что пятно контакта составляет только 30% от максимально возможного, автомобиль будет себя вести не так, как если бы он имел недостаточную поворачиваемость. Частично секрет хорошего динамического развала раскрывается в правильном выборе положительного продольного наклона оси поворота.



Отрицательный развал в пять градусов так же плох, как выглядит.



Автомобиль поворачивает в право с креном кузова. Внутреннее колесо (A) имеет нулевой развал, внешнее колесо (B) имеет 2 градуса отрицательного развала: это идеальный случай, но трудно достижимый.

Положительный угол продольного наклона оси поворота (Positive castor)

Угол продольного наклона оси поворота считается положительным, если ее верхняя часть отклонена к заднему мосту. Колесная ступица (поворотный кулак) крепится к рычагам подвески через шаровые шарниры. Эффективный угол продольного наклона определяется как угол между вертикалью и линией, проходящей через центры шарниров поворотного кулака.

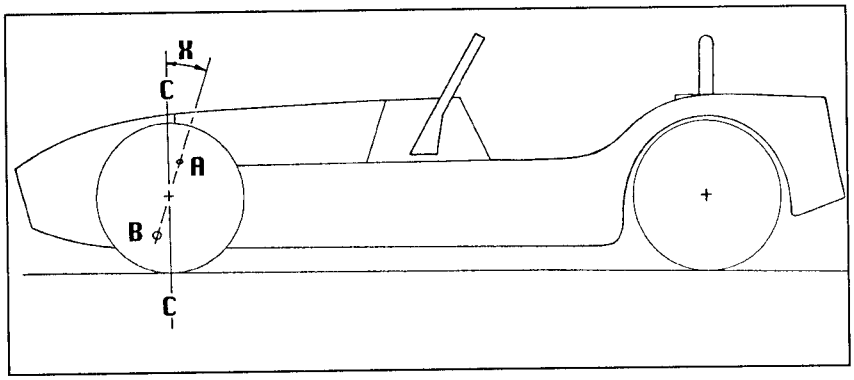
Диапазон положительного продольного угла наклона оси поворота находится в пределах от 4° до 8°. Углы, меньше 4° не оказывают никакого заметного эффекта. Углы, больше 8° устанавливать не имеет смысла. Регулировку всегда нужно начинать с малых углов с начальным шагом в один градус: с увеличением угла продольного наклона руль становится все

более "тяжелым", не следует и проводить регулировку в обратном порядке от 8° к 4°.

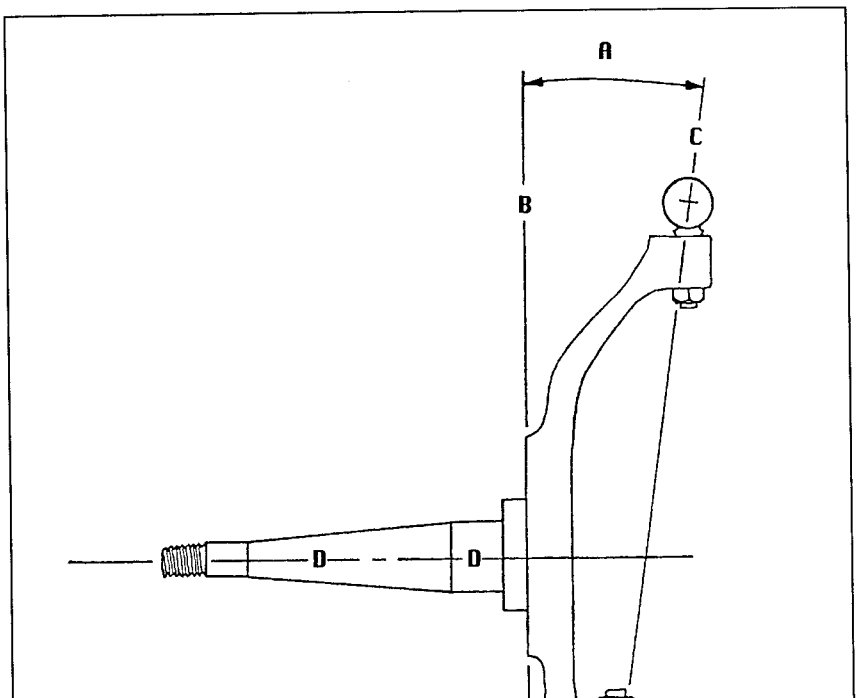
Влияние угла продольного наклона оси поворота проявляется в изменении развала колес (на одном колесе развал увеличивается, на другом уменьшается, в зависимости от направления поворота колеса). Дополнительно продольный наклон оси поворота приводит к стабилизации курсовой устойчивости автомобиля. Чем больше угол продольного наклона, тем большее приращение угла развала достигается при одном и том же повороте рулевого колеса. Итак, изменение угла продольного наклона оси поворота является хорошим методом изменения развала при прохождении поворотов. Например, для автомобиля, делающего правый поворот, левое переднее колесо увеличивает отрицательный развал, в то время как правое колесо отрицательный развал теряет (здесь мы не принимаем в расчет крен кузова).

Напомним, что продольный и поперечный углы наклона оси поворота очень тесно связаны между собой. Каждый их них вносит свой вклад в изменение развала колес при повороте рулевого колеса. Большой угол поперечного наклона совместно с большим углом продольного наклона при прохождении поворота приводят к увеличению развала нагруженного колеса и уменьшению развала разгруженного колеса. Мы можем найти такую комбинацию углов продольного и поперечного наклона оси поворота, которая приведет к требуемой динамической геометрии подвески. Так, поворотный кулак с небольшим углом поперечного наклона оси поворота может потребовать введения большого угла продольного наклона.

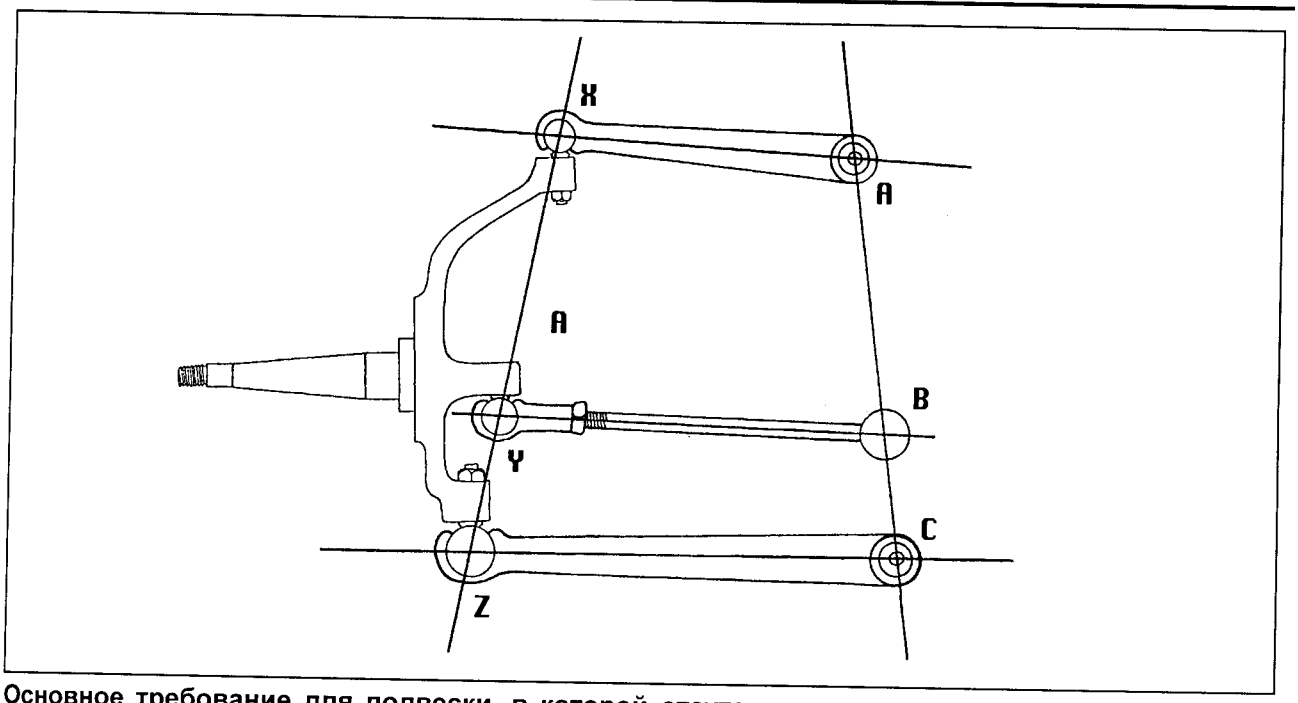
Сначала установим небольшой положительный продольный угол наклона оси поворота (например, в три градуса), при этом отрицательный развал не достаточен для правильной установки шины в тяжелом повороте. Затем с шагом в один градус будем увеличивать продольный наклон (одновременно на обоих колесах) до получения желаемого контакта шины с дорогой.



Положительный угол продольного наклона оси поворота (X). Точка (A) соответствует центру шарового шарнира верхнего рычага, Точка (B) соответствует центру шарового шарнира нижнего рычага. "C-C" - вертикальная ось.



Угол (A) поперечного наклона оси поворота, сформированный вертикальной осью "B-B" и линией центров шарниров "C-C" поворотного кулака. Ось ступицы "D-D" перпендикулярна оси "B-B".



Основное требование для подвески, в которой отсутствует ударное управление, это то, что опоры рычагов подвески "A" и "C" и шарнир рулевой рейки "B", располагаются на одной линии (колеса в положении прямолинейного движения). Центры шаровых шарниров ступицы под установку верхнего и нижнего рычагов подвески и рулевой тяги должны быть установлены, как показано на рисунке (то же в горизонтальной плоскости).

Очень важно, чтобы углы продольного наклона оси поворота были равны с обеих сторон автомобиля (исключение составляют трековые автомобили, едущие по трассе с односторонними поворотами).

Угол поперечного наклона оси поворота (King pin inclination KPI)

Хотя современные автомобили не имеют поворотного шкворня как такового, конструкция поворотного кулака такова, как будто шкворень есть и имеет свои углы продольного и поперечного наклона. Настоящий шкворень, вокруг которого поворачивается колесо, применялись на неразрезных мостах довольно давно. Многие создатели гоночных автомобилей, предназначенных для гонок по овальному треку, все еще применяют неразрезную балку переднего моста и, соответственно, устанавливают настоящий шкворень. Такая конструкция имеет в этом приложении некоторые преимущества перед другими типами подвески, хотя и является "старомодной". Итак, хотя шкворня как такового может и не быть, термины продольный и поперечный наклоны шкворня все еще остаются в употреблении.

Примечание переводчика: приведенные рассуждения о терминологии актуальны в английском оригинале. В англоязычной литературе по автомобилестроению термин "king pin inclination" (поперечный наклон шкворня) получил законное сокращение KPI, которое никто не собирается изменять. Мы же в переводе отказались от терминов "продольный наклон шкворня" и "поперечный наклон шкворня", заменив их на термины "продольный наклон оси поворота колеса" и "поперечный наклон оси поворота колеса" соответственно.

В частности, поперечный наклон оси поворота определяет статический развал колес.

Поскольку поперечный наклон относительно трудно регулировать, обычно для регулировки динамического развала применяется изменение продольного угла оси поворота.

Ударное управление (Bump steer)

Ударное управление возникает, когда одно или оба передних колеса изменяют свое схождение под действием неровностей дороги. Это приводит к потере курсовой устойчивости автомобиля ("виляние") при неподвижном рулевом колесе. Проблемы ударного управления могут быть почти всегда устранены регулировками геометрии подвески или модификацией отдельных компонентов.

Ударное управление может дать небольшое улучшение в прохождении поворотов, связанное с уменьшением схождения внутреннего колеса (имеет место крен кузова и зависание колеса). На внешнее

колесо дополнительного воздействия не оказывается. Что нужно изменить в подвеске с небольшой степенью ударного управления (которое нельзя полностью устранить)? В этом случае предпочтительнее перевести изменение схождения колес из-за ударного управления на момент нижнего положения рычагов подвески, чем на момент их верхнего положения. Если не удается устранить ударное управление простым изменением места подсоединения рулевой тяги, то надо, по крайней мере, сделать так, чтобы этот эффект работал на вас, а не против вас.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Я хотел бы поблагодарить Майка Хэллема (Mike Hallam) из M&S Print за оказанную им помощь. Во многих случаях Майк позволял мне пользоваться его оборудованием для создания рисунков. Всегда было весело работать с Майком и он смеялся над моими шутками (хотя, на самом деле, он человек угрюмый). Я благодарен тебе, Майк, всего хорошего.

Как пользоваться книгой и необходимая информация

КАК ПОЛЬЗОВАТЬСЯ КНИГОЙ

В тексте всей книги подразумевается, что Вы или Ваш механик уже имеете руководство по обслуживанию и ремонту Вашего автомобиля с детальным описанием процедур разборки, сборки, регулировки, величинами зазоров и моментов затяжек резьбовых соединений. В книге опущены стандартные спецификации изготовителей автомобиля, поэтому, если нет описания процедуры, последовательности измерений и не даны моменты затяжки, это означает, что нужно использовать стандартные процедуры, предусмотренные изготовителем.

Прежде чем приступать к работе или давать инструкции механику, прочитайте эту книгу целиком. Это нужно сделать, поскольку модификации или изменения, внесенные в одном месте могут потребовать внесения изменений в другом или других местах. Нужно держать в голове полную картину необходимых изменений и регулировок еще до начала работы.

НЕОБХОДИМАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Эта книга содержит информацию по практическим процедурам, однако эта информация подразумевает наличие достаточно высокого уровня квалификации, опыта проведения работ и необходимого инструмента для обеспечения безопасного ведения работ. С чем бы Вы не работали, с автомобилем в целом или с отдельным агрегатом, помните, что **персональная безопасность должна быть обеспечена в первую очередь.**

Издатель, автор, редактор и продавец данной книги не несут ответственности за несчастные случаи с персоналом или за механические повреждения, которые могут стать результатом использования рекомендаций, приведенных в книге, даже в случае ошибок или упущений в подаче информации. Если данные условия Вам не подходят, пожалуйста, не покупайте книгу.

В тексте книги пометками **ВНИМАНИЕ** - отмечены процедуры, имеющие потенциальную опасность для персонала или механического повреждения компонентов автомобиля. Это не означает что, в других случая можно забыть о технике безопасности при проведении работ.

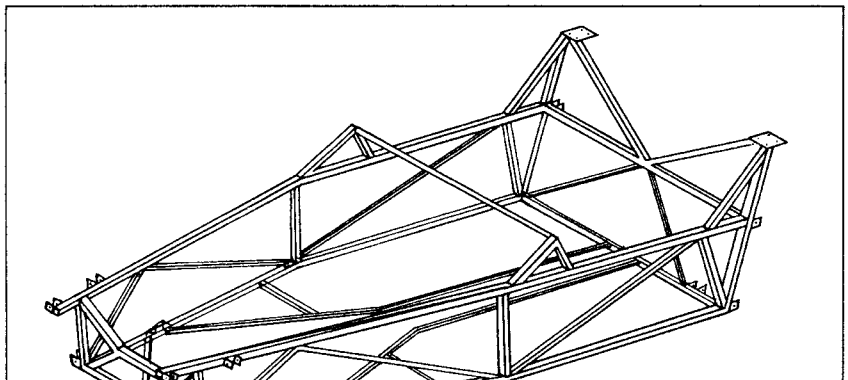
Помните, что внесение модификаций в какой-либо компонент автомобиля приводит к отмене гарантийных обязательств изготовителя, т.е. Вы снимаете ответственность с изготовителя за дефектную деталь и все связанные с этим последствия. Иногда, в зависимости от договора, необходимо о внесенных изменениях информировать страховщиков автомобиля.

Очень важно держать в порядке рабочее место. Кладите инструменты и приспособления на их места после завершения каждой операции. При очистке и мойке деталей моющими жидкостями полностью следуйте инструкциям изготовителя. При мойке деталей в бензине или керосине принимайте меры защиты кожи от попадания на нее этих жидкостей, соблюдайте меры противопожарной безопасности.

Глава 1
"Шасси"

В контексте данной книги термин "шасси" применим как к собственно действительному шасси (несущей рамной конструкции), так и к "шасси", образованному несущим кузовом (монококом) - оба варианта выполняют одну и ту же задачу.

Относящиеся к шасси элементы несущего кузова должны быть целыми, чтобы все точки крепления подвески были расположены в нужных местах относительно друг друга и кузова. При неверном расположении мест подсоединения подвески (например, при ошибке изготовления или в результате аварии) геометрия подвески будет искажена и подвеска не сможет полностью выполнять свои функции. Все центры мест подсоединения с каждой стороны кузова должны располагаться на одинаковом расстоянии от опорной поверхности (предпочтительнее от уровня пола). Даже если автомобиль полностью собран, все еще остается возможность без значительных усилий провести необходимые измерения. Проверка совмещения мест крепления подвески является первым шагом в направлении улучшения управляемости автомобиля.

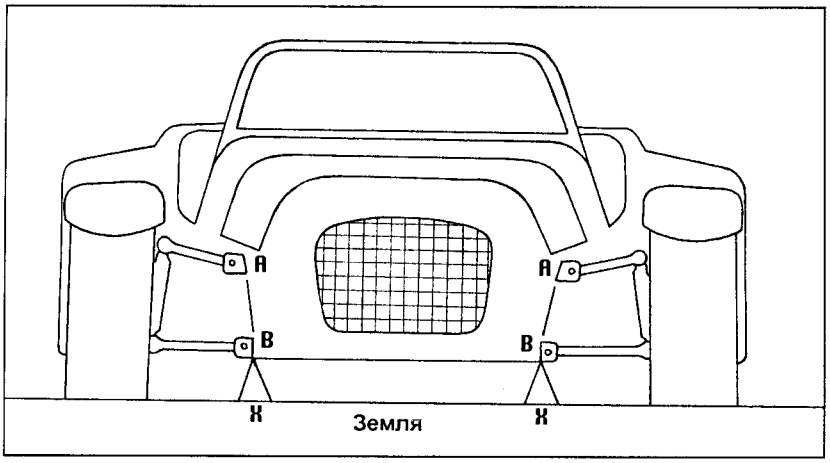


Трубчатая рама без выступающих за нижние лонжероны частей может быть твердо установлена на плоском полу.

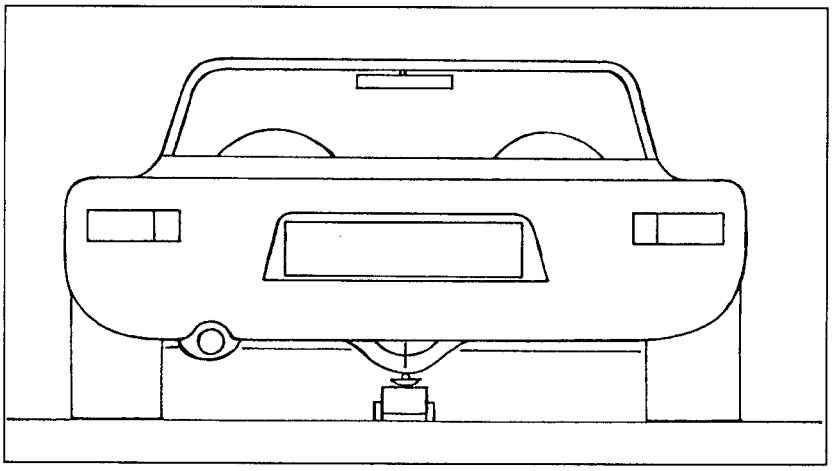
МЕТОД ПРОВЕРКИ ЦЕЛОСТНОСТИ ШАССИ

Действительное шасси

Если с шасси для ремонта снимается вся обшивка, проверить целостность шасси относительно легко. Это идеальное



Две нижних точки передней подвески устанавливаются на одинаковом расстоянии "X" от пола. Задний мост приподнимают для проведения измерений мест креплений задней подвески (см. нижний рисунок).



Перед поднятием заднего моста на накладку домкрата укладывают круглый пруток (12 - 16 мм в диаметре) для обеспечения точечного контакта. Пруток устанавливается под центр картера главной передачи. Точное положение центра определяется дополнительными измерениями.

время для проверки шасси, поскольку при обнаружении дефектов можно быстро провести соответствующий ремонт и затем проверить его качество. В идеально исполненном шасси все точки крепления подвески должны быть выполнены с допуском в один миллиметр, в некоторых случаях допускаются отклонения в два миллиметра. Погнутое шасси имеет отклонения точек крепления больше этих величин, что никогда не может быть устранено регулировками. Безрассудно предполагать наличие хорошей управляемости у автомобиля, имеющего большие погрешности изготовления.

Незначительные повреждения, например, слегка погнутые трубы рамы или элементы обшивки, допускаются при условии, если они не влияют на ориентацию мест креплений подвески. Естественно, в интересах создания совершенного шасси лучше вообще не допускать никаких повреждений. При необходимости можно изменить положение мест крепления подвески.

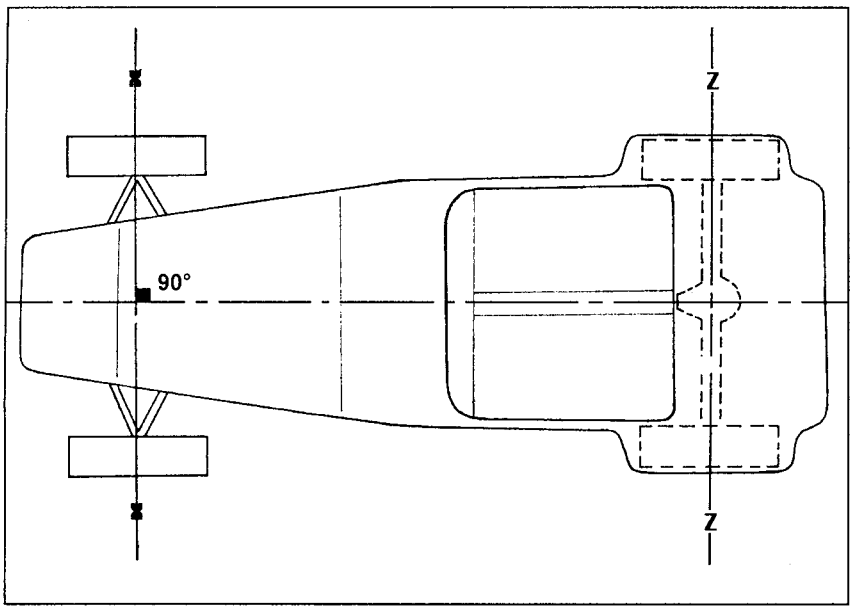
Шасси устанавливают на плоском полу и проводят измерения расстояний от пола до центров отверстий крепления рычагов подвески. Если шасси из-за выступающих за нижний лонжерон элементов не может быть установлена на полу непосредственно, его можно приподнять с помощью плоских деревянных брусков размером 50 × 50 мм.

Безотносительно к тому, каким способом шасси установлено на полу, измерения покажут возможные погрешности шасси.

В некоторых случаях передняя подвеска крепится на отдельном подрамнике. В этом случае подрамник должен быть жестко закреплен на шасси, образовав тем самым единый узел. Если подрамник крепится к шасси через резиновые втулки, то рекомендуется их заменить на алюминиевые проставки, чтобы образовалось жесткое соединение. Такая замена также обеспечивает возможность некоторой регулировки: в случае небольшого не совмещения креплений передней и задней подвески можно провести коррекцию подбором толщины проставок. Любое уменьшение взаимных перемещений в шасси обычно ведет к улучшению управляемости. Что же касается некоторого увеличения шума, который ранее подавлялся резиновыми втулками, это маловажная деталь.

Несущий кузов (монокок) и кузов на раме

Проверка геометрии возможна как для автомобиля (кит-кара) с несущим кузовом (монокок), так и для автомобиля (кит-кара) с рамой, или пространственной рамой. Автомобиль устанавливается по уровню на опоры, установленные под подходящие места подвес-

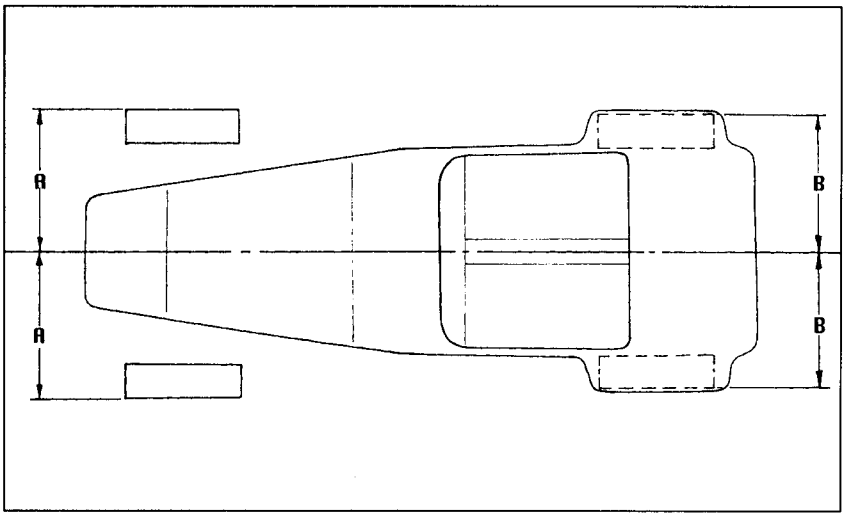


Проверка параллельности осей "X-X" и "Z-Z".

Если оси переднего и заднего мостов не параллельны, автомобиль будет двигаться как бы боком. Чем больше непараллельность осей, тем сильнее будет проявляться этот эффект. Автомобиль получает тенденцию улучшения прохождение поворота в одну сторону и ухудшению в другую, поскольку фактически колесная база с разных сторон автомобиля разная.

В дополнение к параллельности осей нужно принимать во внимание и положение колес относительно продольной осевой линии автомобиля. Ширина колеи передних и задних колес может быть разная, но колеса одного моста должны быть расположены на одном расстоянии от продольной осевой линии. Шасси может быть погнуто или скручено так, что оси мостов будут оставаться параллельными, но относительное расположение передних и задних колес слева и справа будут разными.

Измерить параллельность осей можно двумя способами. Автомобиль устанавливается на ровный горизонтальный пол. С помощью мерительного угольника на пол проецируются соответствующие точки крепления нижних рычагов расположились на одной высоте над полом. Как правило, для измерений высоты хорошо подходит металлическая линейка. Затем приподнимается задний мост за центр картера главной передачи. Это надо делать аккуратно и следить за тем, чтобы точка установки домкрата была расположена точно по середине колеи задних колес. Центр колеи определяется измерениями, проводимыми с помощью рулетки. Для облегчения ориентации на картер наносится метка центра. На накладку домкрата укладывается круглый пруток диаметром 12 - 16 мм для обеспечения точеного контакта с картером.



Колеса каждой оси должны находиться на одинаковом расстоянии от продольной осевой линии автомобиля.

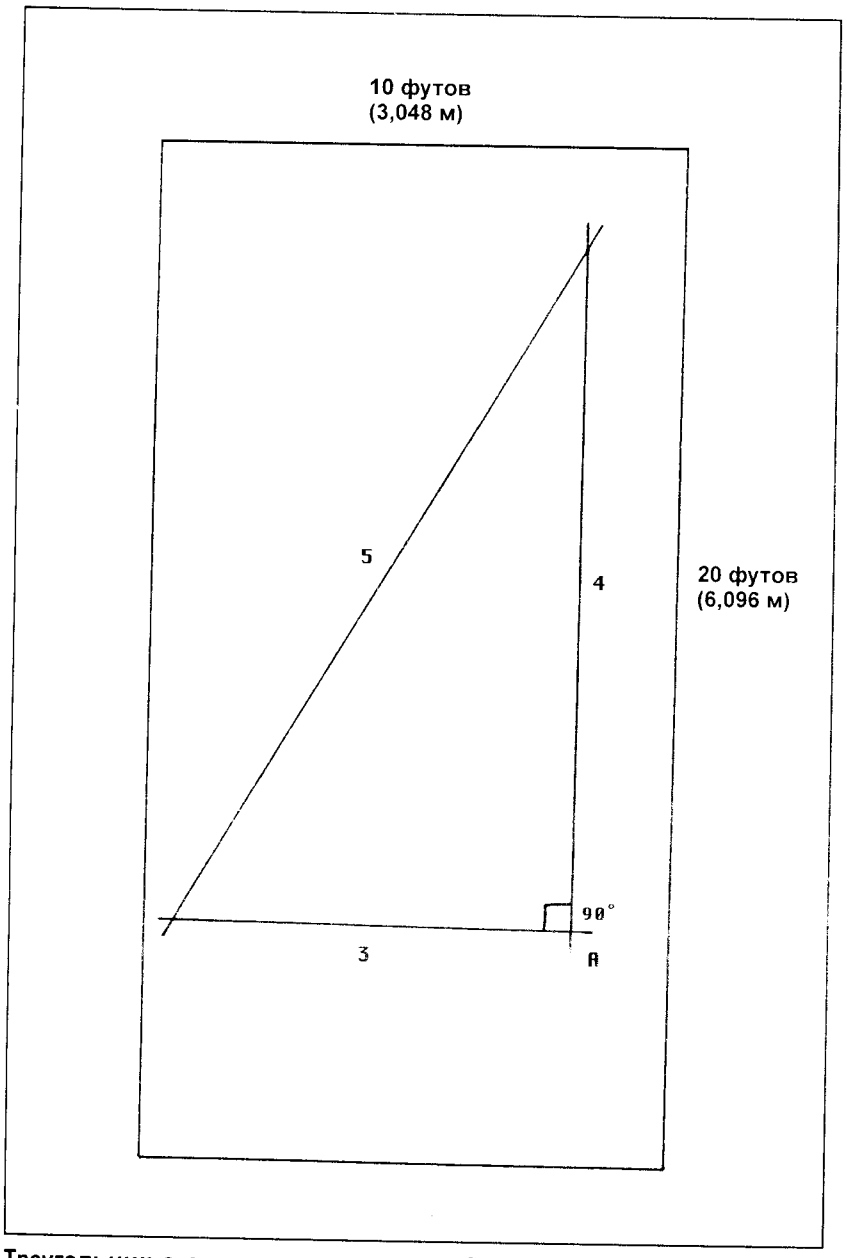
ВНИМАНИЕ: всегда перед началом работ под днищем автомобиля устанавливайте стойки безопасности, никогда не оставляйте автомобиль, вывешенным на домкрате.

Измерьте расстояния от пола до точек крепления задней подвески. Расстояния каждой пары точек крепления с обеих сторон должны быть одинаковы.

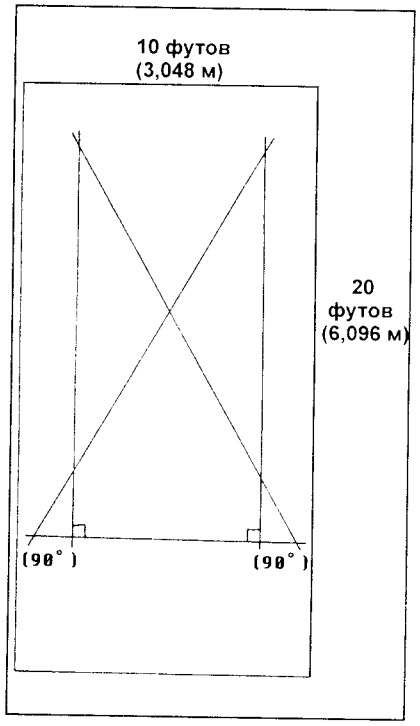
ПРОВЕРКА ГЕОМЕТРИИ ШАССИ

Параллельность осей

Оси автомобиля могут быть действительными (при жесткой балке подвески) или мнимыми (при независимой подвеске). Если автомобиль имеет зависимую заднюю подвеску, измерения параллельности осей проводятся относительно балки заднего моста.



Треугольник с отношением сторон 3 - 4 - 5, вписанный в площадь 6×3 м.



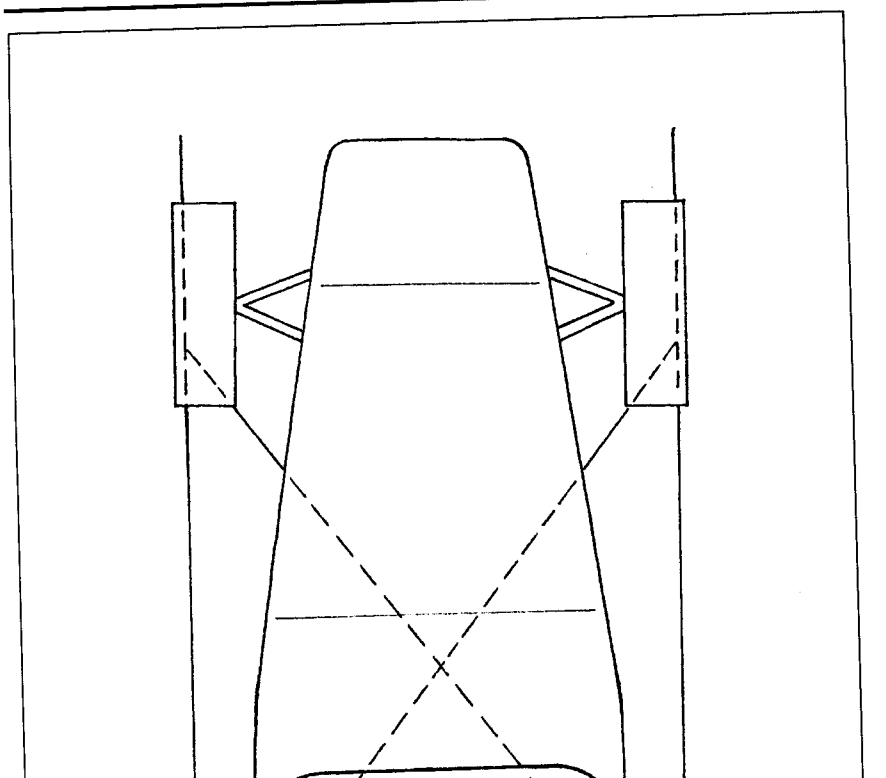
Два измерительных треугольника, построенных на общем малом катете.

ления рычагов подвески к шасси. Затем автомобиль откатывается и появляется возможность соединить нанесенные точки линиями для проведения дальнейших измерений. Другой способ: на пол наносятся линии соединяющие точки предполагаемого расположения креплений рычагов подвески, на которые затем аккуратно накатывают автомобиль. Затем на пол проецируются центры креплений рычагов подвески, как в первом случае и проводится сравнение расчетных и полученных размеров. Способ выбирается исходя из конкретных условий и конструктивных особенностей автомобиля.

Сначала шасси проверяется с точки зрения относительного положения друг к другу мест крепления передней и задней подвесок. Поскольку колесная база в среднем равна 2300 - 2500 мм, обеспечить нужную точность измерений затруднительно. Одним из решений этой проблемы является применение метода треугольника (использования равенства квадрата гипотенузы сумме квадратов катетов).

Классический треугольник имеет стороны три-четыре-пять (см. рисунок). Для увеличения точности размеры треугольника увеличивают так, чтобы больший катет был примерно равен колесной базе. Например, применим треугольник размерами 1800×2400×3000 мм (или другой, но со сторонами, соответствующими пропорции 3×4×5).

Итак, если измеренное расстояние от нижней точки крепления рычага передней подвески до задней кромки балки заднего моста (или другой характерной точки) равно 2515 мм, оно берется за основу построения измерительного треугольника. Сначала разделим полученную величину на четыре. В результате получается общий определитель для всех сторон треугольника, в нашем случае 628,75 мм. Второй катет треугольника определится умножением оп-



Положение автомобиля относительно измерительных треугольников при настройке параллельности мостов и перенос точек измерения на поверхность.

ределителя на три, а гипотенуза на пять. В нашем примере это будет, соответственно, 1886,25 мм и 3143,75 мм. Теперь построим два прямоугольных треугольника, чтобы получить прямоугольник.

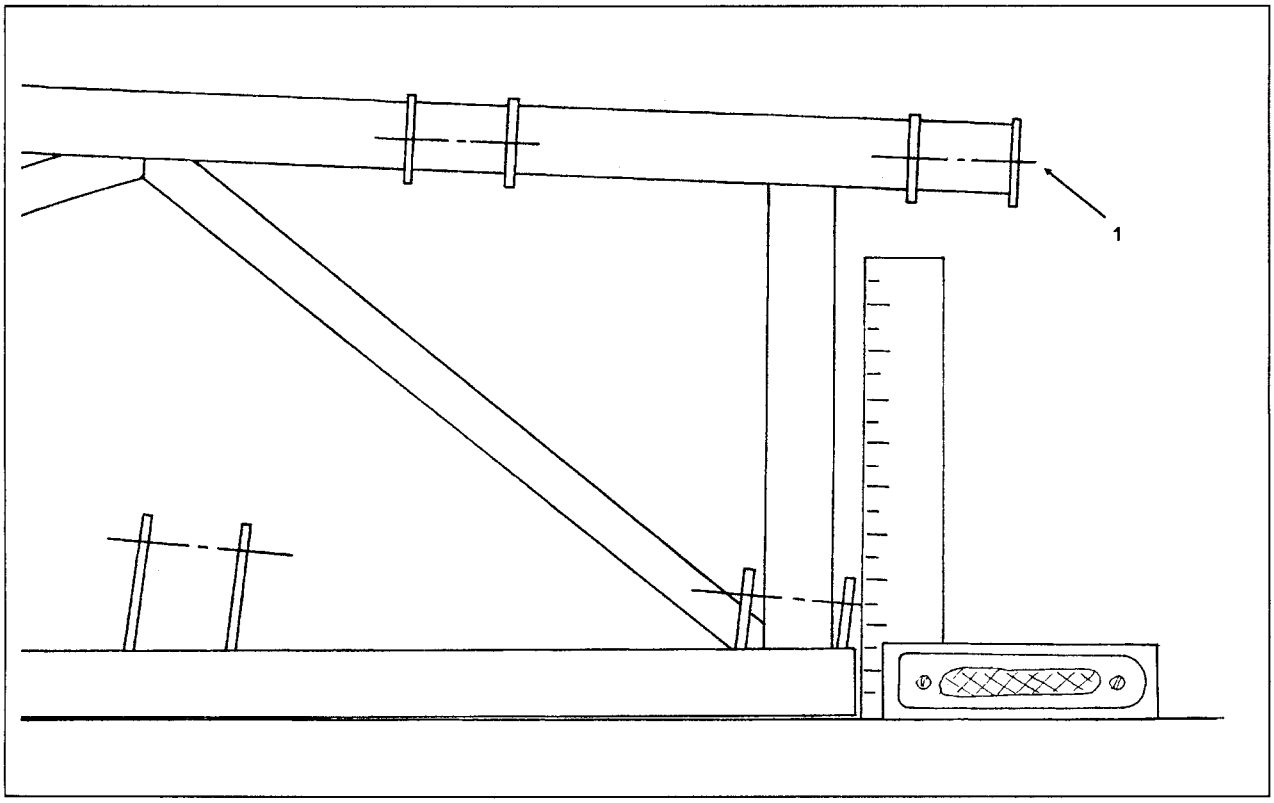
Сравнивая проецируемые точки с полученным прямоугольником, можно точно провести измерения колесной базы и положение колес относительно друг друга (по сторонам и мостам).

Измерительный треугольник должен иметь катет, как можно более точно соответствующем колесной базе. В то же время, было бы неплохо, чтобы проекции центров крепления рычагов подвески находились внутри треугольников, поэтому их несколько сдвигают или раздвигают по малому катету. Для измерения параллельности осей применяется набор мерительных угольников подходящего размера. При этом измеряются расстояния между катетами треугольников и проекциями центров крепления подвесок. Любое отклонение от параллельности ясно видно и легко измеряется.

Примечание переводчика: в описанном способе повышения точности измерений используется принцип перехода от измерений больших величин к измерению малых. Собственно точность измерений повышается за счет применения более точных мерительных инструментов (вместо рулетки (± 1 мм) применяется штангенциркуль (± 0,05 мм)). Опираясь на этот принцип и знания элементарной геометрии, можно разработать другие методы измерений, может быть более понятные и точные.

В случае применения зависимой задней подвески с помощью изменения длины направляющих рычагов и тяги Панара можно отрегулировать положение заднего моста относительно зафиксированных точек крепления передней подвески. В этом случае задняя ось совмещается с нерегулируемыми местами крепления передней подвески.

Направляющие рычаги могут быть изменены с одной или обеих сторон до получения параллельности осей и заданной величины колесной базы. Изменением длины тяги Панара можно передвинуть мост в боковом направлении.



1 - центр отверстия под болт крепления рычага подвески.
Непосредственные измерения высоты центра отверстия под болт в трубчатой раме с помощью мерительного угольника.

ВНИМАНИЕ: при регулировке шарниров всегда проверяйте рабочую длину резьбы, несущей силовую нагрузку. Малое количество несущих витков крепежа может привести к повреждению подвески. Длина рабочей резьбовой части должна быть больше полутора диаметра резьбы.

Начнем с передней части шасси. Измерим расстояние от пола до точек крепления нижних рычагов подвески (центров отверстий под болты крепления). Обе высоты точек крепления над полом **должны быть одинаковы**. Для измерений лучше всего воспользоваться мерительным угольником. При проведении прямых измерений расстояний от пола до точек крепления нужно помнить о том, что инструмент должен стоять вертикально и повернут на 90° к базовой линии. Для этого воспользуемся вторым мерительным угольником. Если нижние рычаги подвески "параллельного" типа, все четыре точки измерений (две передних и две задних) должны дать одну и ту же высоту. Если подвеска имеет геометрию поглощения клевка, две задние точки крепления должны располагаться выше передних. При этом соответственные расстояния до пола должны быть попарно равны. Если высоты расположения точек крепления не равны, есть большая вероятность наличия погнутости шасси.

Рамное шасси

Если мы имеем дело с трубчатым рамным шасси, установим его на плоский пол и измерим зазор между нижним лонжероном и полом (подойдет плоский щуп толщиной 0,65 мм). Если нет деформации рамы, то щуп между лонжероном и полом не удастся вставить ни в каком месте. Даже если шасси не погнуто, остается вероятность того, что с одной стороны погнут или неправильно установлен кронштейн крепления.

Выход из создавшегося положения в замене подозрительного кронштейна. Новый кронштейн устанавливается так, чтобы обеспечить идентичность высоты центра отверстия под болт крепления над полом.

Почти всегда удается идентифицировать кронштейн, подвергнувшийся ремонту, по качеству сварного шва: как правило, оно всегда хуже оригинального. Кроме того, из-за ремонта возникают местные повреждения окружающей конструкции. Постарайтесь определить оригинальный кронштейн и правильность его установки. Затем установите кронштейн с другой стороны.

Если шасси погнуто, постарайтесь найти точное место начала деформации и определите величину деформации. Если шасси установить на плоский пол, обычно изгиб проявляет себя в виде приподнятой над полом части. Искривление обычно бывает прогрессивным и начинается от усилительного элемента шасси. Если 80% соприкасается полом и нет ударов от покачивания, изгиб шасси легко определяется с помощью плоского щупа, устанавливаемого между полом и лонжероном.

Если автомобиль побывал в нескольких авариях, изгиб шасси может стать таким, что с помощью покачиваний трудно определить неизогнутые части. В некоторых случаях дешевле выбросить оригинальное шасси и приобрести новое, поскольку затраты на ремонт и стоимость новой рамы могут стать сопоставимы.

Если изгиб очень большой (более 1,5 мм) шасси нужно разрезать в точке начала изгиба и установить новую секцию рамы или переставить вырезанную часть так, чтобы восстановить нужное совмещение. Это практически основная ремонтная операция, требующая достаточных временных затрат. Однако ее необходимо выполнять для обеспечения правильной работы подвески.

При незначительном изгибе шасси (менее 1,5 мм) можно переставить кронштейны крепления подвески (до совмещения центров отверстий под болты по осям и высоте над полом). Шасси останется погнутым, но ориентация мест подсоединения подвески будет восстановлено. Это не совсем хорошее решение, но все же лучше, чем отсутствие совмещения осей креплений подвески. Автомобиль не должен показывать какого-либо ухудшения управляемости, если перестановка кронштейнов подвески проведена правильно.

Несущий кузов

Если роль шасси играет несущий кузов или Вы хотите проверить шасси на собранном автомобиле, процедура проверки целостности шасси несколько усложняется.

Здесь снова понадобится ровный горизонтальный пол. Если автомобиль имеет проблемы с управляемостью (например, правый поворот проходится лучше, чем левый), потребуется тщательная проверка шасси.

ВНИМАНИЕ: всегда перед началом работ под днищем автомобиля устанавливайте стойки безопасности, никогда не оставляйте автомобиль, вывешенным на домкрате.

После установки автомобиля на измерительный участок, нужно проверить точки крепления передней подвески. В этом часто помогает установка подрамника или лонжеронов на жесткие деревянные блоки **одинаковой** высоты. Автомобиль приподнимается так, чтобы эти блоки можно было надежно установить. После проверки идентичности мест установки блоков автомобиль опускается на них. Затем домкрат подводится под центр задней оси и автомобиль приподнимают примерно на 50 мм для снятия основной статической нагрузки с задней подвески.

При вывешенном на деревянных блоках автомобиле аккуратно измеряется высота точек крепления передней подвески над полом. Если измерения с обеих сторон совпадают, точки крепления расположены на одной высоте и положение передней подвески можно принять корректным. Если высота расположения точек крепления с разных сторон разная, то на деревянные блоки добавляют тонкие металлические проставки (лучше из алюминия). Подкладка проставок проводится до выравнивания высот точек крепления. Допустимая погрешность измерений составляет 1 мм.

На собранном автомобиле все болты крепления подвески установлены, определить же центр головки болта довольно трудно (нужно проводить очень точную оценку), по этому измерения лучше проводить по нижней горизонтальной плоскости болта или гайки крепления. Точность измерений от этого не пострадает, естественно, если размеры головок болтов одинаковы. При необходимости головку болта или гайку легко довернуть так, чтобы нижняя грань стала параллельной полу. Измерения высоты точек крепления подвески не обязательно приводить к центру отверстий под болты, но обязательно к одному и тому же месту, жестко связанному с центром отверстия, с обеих сторон автомобиля.

Как только точки крепления передней подвески на стоящем на деревянных блоках автомобиле будут выровнены по высоте, сконцентрируем внимание на задней подвеске автомобиля. Следующим шагом является определение расстояний точек крепления задней подвески от поверхности пола. В идеальном случае разность высоты точек крепления над полом менее 1 мм (реально допускается отличие до 2 мм). Ели разница высот больше допустимой величины, то либо опора подрамника передней подвески, либо опоры подрамника задней подвески,

либо обе вместе должны быть отрегулированы для обеспечения заданного допуска на разницу высот. Процесс регулировки начинается ослабления крепежа подрамника. Затем в нужном месте устанавливаются регулировочные пластины между подрамником и несущим кузовом. Некоторые автомобили имеют только передний подрамник, поэтому придется работать только с ним. Эти автомобили имеют точно просверленные отверстия крепления подвески в кузове.

Безотносительно к типу шасси и расположению точек крепления подвески, последние в плане должны совпадать с точностью до одного миллиметра (в идеале, реально до двух миллиметров).

Если подрамник крепится к кузову через резиновые втулки, их нужно заменить жесткими проставками (что приведет, конечно, к возрастанию уровня шума и вибраций). Если по каким-либо соображениям резиновые втулки оставляют, обязательно нужно проверять их качество: любое лишнее перемещение приводит к динамическому нарушению установки подвески и затруднениям при прохождении поворотов.

Точки крепления верхних рычагов

Процедура проверки расположения точек крепления верхних рычагов подвески та же самая, что и для нижних рычагов. Центры двух передних отверстий под болты крепления с каждой стороны шасси должны располагаться на одной высоте над полом. То же относится к центрам задних отверстий.

В противном случае нужно найти причину изменения положений точек крепления, устранить ее и провести необходимые регулировки. Это может означать смену положения кронштейнов крепления или ремонт шасси, направленные на восстановление заданного совмещения.

С этого момента известны все расстояния точек крепления подвески от пола. Все ошибки нужно записывать, чтобы после проведения остальных измерений они принимались во внимание в связи с другими ошибками, которые могут быть обнаружены. Точность установки верхних и нижних рычагов подвески должна быть одинаковой.

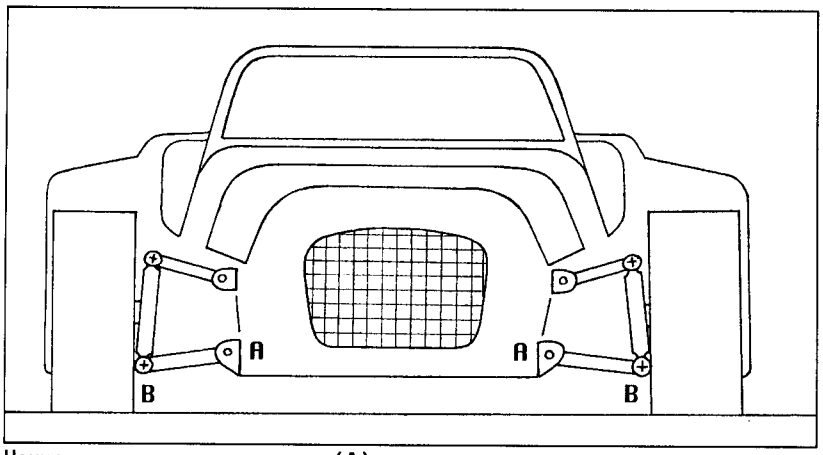
Глава 2
Высота подвески

Примечание переводчика: под высотой подвески понимается расстояние от центров точек крепления верхних рычагов подвески до пола у автомобиля, стоящего на колесах.

Каждый автомобиль имеет свою высоту подвески, определяемую геометрией подвески. Если автомобиль очень низкий и принято решение увеличить высоту подвески для увеличения дорожного просвета (или проделать обратную операцию для уменьшения просвета), это не всегда может быть выполнено из-за недостаточного диапазона регулировок (особенно передней подвески, поскольку она связана с рулевым управлением). К сожалению, довольно часто опускают или поднимают автомобиль без учета изменений в работе подвески, в результате ожидаемого прироста скорости не наблюдается из-за ухудшения управляемости.

При высоких скоростях прохождения поворотов с большими

Центры точек крепления (B) нижних рычагов и центры шаровых шарниров (A) нижних рычагов находятся на одном расстоянии от поверхности. Точки крепления (C) верхних рычагов ниже центров (D) шаровых шарниров на 25 - 38 мм. Колеса имеют 1 градус отрицательного развала. Пример для обсуждений.



Центры точек крепления (А) нижних рычагов выше центров шаровых шарниров (В) нижних рычагов на 6 - 16 мм. Точки крепления верхних рычагов ниже центров шаровых шарниров на 25 - 38 мм. Колеса имеют отрицательный развал 1 градус. Пример для обсуждений.

боковыми силами очень вероятно, что искажение геометрии подвески проявит себя.

ПЕРЕДНЯЯ ПОДВЕСКА

На первых двух рисунках этой главы даны рекомендации по установке независимой передней подвески с рычагами неравной длины, обеспечивающие удовлетворительную управляемость автомобиля.

В идеальном случае предполагается возможность проведения небольших изменений. Если точка крепления нижнего рычага располагается выше центра шарового шарнира, рычаг не будет расположен параллельно земле. Такая установка рычага приводит в повороте к выталкиванию колеса наружу (добавочный отрицательный развал), но, в то же время, может противодействовать ухудшению управляемости в других ситуациях, например, при тяжелом торможении.

Конечно, поднятие или опускания автомобиля может привести к улучшению геометрии подвески (все зависит от реальной конструкции автомобиля). В отдельных случаях автомобиль может быть поднят для улучшения положения нижнего рычага подвески с перестановкой места крепления верхнего рычага, что ведет к общему улучшению геометрии подвески.

На других автомобилях для улучшения геометрии подвески место крепления верхнего рычага опускают вниз (к шасси приваривается новый кронштейн, просверливаются новые отверстия). Иногда улучшение геометрии достигается простой регулировкой положения опорного кронштейна вверх-вниз (при этом опускается точка крепления рычага).

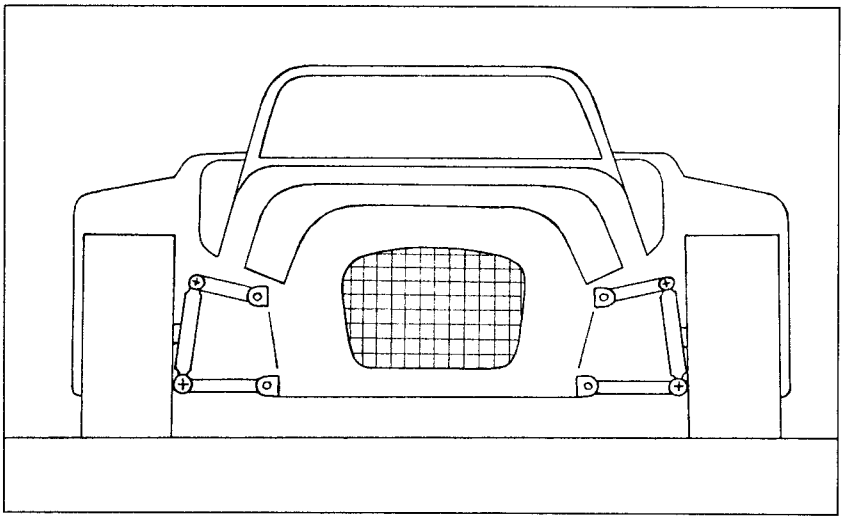
К необходимости изменения геометрии подвески приводят несколько факторов. Например, если на автомобиль устанавливаются колеса большего диаметра, автомобиль может приподниматься до 12,5 мм и больше. Когда автомобиль приподнимается, первой естественной реакцией является желание опустить его до первоначальной высоты. Это достигается либо изменением положения седел пружин подвески, либо установкой пружин другой длины. Ниже на трех сопроводительных рисунках показан один и тот же автомобиль, но с разной высотой установки подвески. Во всех случаях развал колеса отрицательный и равен одному градусу.

В среднем опускание автомобиля на 12,5 мм изменяет угол наклона верхнего рычага до 3...3,5 градусов (обычно в сторону укорочения), в то время как угол наклона нижнего рычага изменяется на 2...2,5 градуса (обычно в сторону удлинения). Такие изменения углов на трубчатом шасси на глаз обычно незаметны, особенно для нижних рычагов. Оси качания рычагов подвески на кронштейнах шасси почти всегда располагаются по центральной линии рычага (при виде спереди), то же можно сказать и о шаровом шарнире верхних рычагов. Что же касается шаровых шарниров нижних рычагов, то они, как правило, установлены со смещением относительно центральной линии рычага. Это означает, что действительный угол наклона нижнего рычага (измеряемый по линии соединения центров оси качания и шарового шарнира) часто нелегко определить по видимому положению рычага. Надо всегда помнить, что когда делаются ссылки на углы установки рычагов подвески, имеются в виду **действительные** углы, а не видимые глазом.

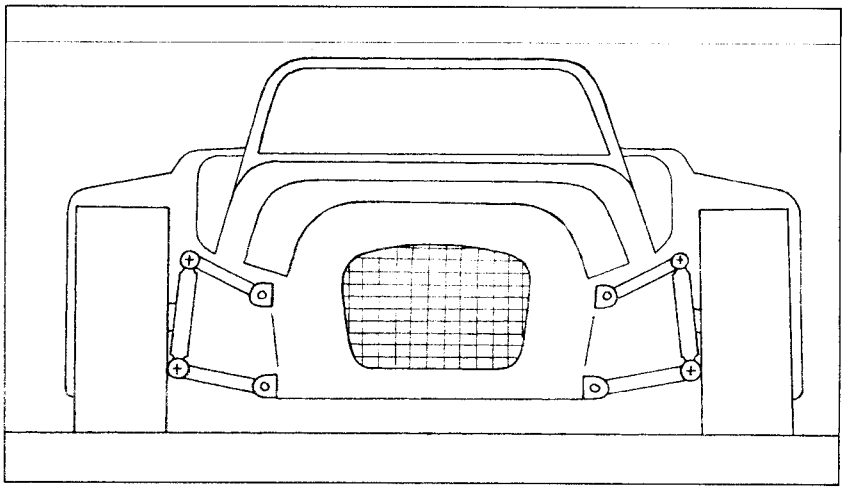
Поднятие автомобиля примерно на 25 мм ведет к увеличению дорожного просвета или, что более точно, высоты поддона относительно дороги. При этом угол установки верхнего рычага изменяется до семи градусов (в сторону укорочения), а нижнего рычага до пяти градусов (в сторону удлинения). Такое значительное изменение геометрии почти всегда недопустимо.

Было бы полезно, чтобы изготовители спортивных автомобилей указывали стандартное расстояние от поверхности дороги до центра колес и нижнего лонжерона. При известных корректных величинах не имеет значения, какие колеса и шины установлены на автомобиль, поскольку всегда можно провести относительные измерения.

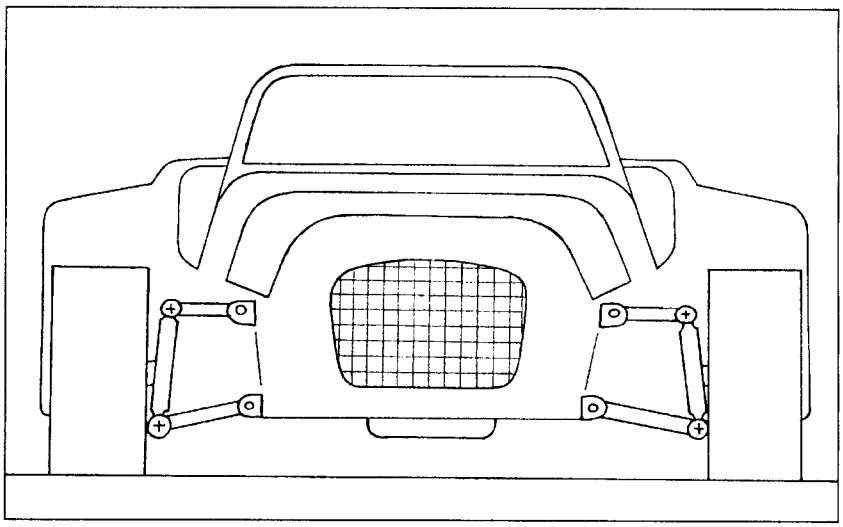
Высота подвески корректна по отношению к ее геометрии.

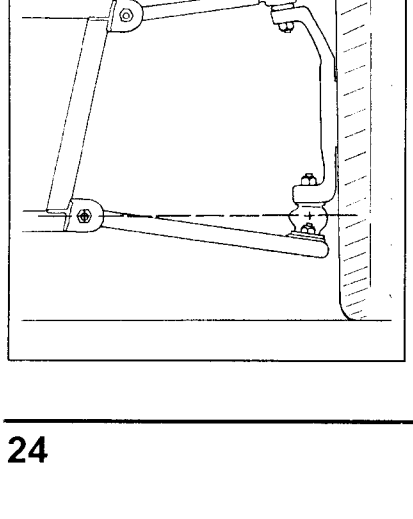


Та же подвеска после опускания автомобиля, для сохранения стандартного дорожного просвета, при установке колес большего диаметра. Случай не идеальный.



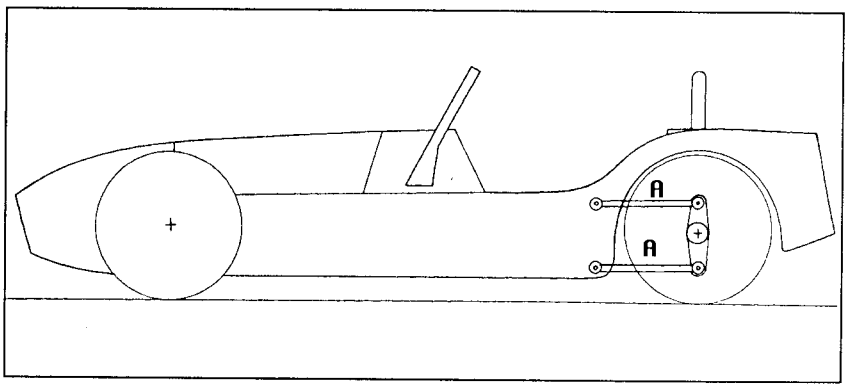
Та же подвеска после поднятия автомобиля для увеличения дорожного просвета. Случай не идеальный.





Этот рычаг подвески имеет съемный шаровой шарнир. Центр шарнира расположен выше центральной линии рычага. Пунктирная линия показывает действительную геометрию подвески.

Есть общее правило, устанавливающее ограничение в 6,3 мм регулировки стандартной высоты подвески в обе стороны. В указанных пределах регулировок проводить какие-либо модификации подвески не требуется.



Направляющие рычаги (А-А) и тяга Панара в норме должны быть параллельны поверхности дороги. Тяга Панара выполняется по возможности максимальной длины, допускаемой конструкцией шасси.

ЗАДНЯЯ ПОДВЕСКА

Зависимая подвеска заднего моста

В большинстве случаев подвеска заднего моста имеет четыре направляющих рычага с поперечной фиксацией моста тягой Панара или заменяющих ее конструкций. (Тяга Панара - простое и эффективное средство поперечной фиксации заднего моста, не вызывающее проблем с управляемостью). Как представляется, сделать заднюю подвеску проще, чем описано выше, невозможно. В некоторых автомобилях приняты альтернативные решения по установке заднего моста, но в большинстве случаев улучшения относительно четырехрычажной системы с тягой Панара весьма незначительны.

В задней подвеске применяются разные типы направляющих рычагов, однако везде придерживаются правила поддерживать равенство высот точек крепления рычагов на шасси и мосту относительно поверхности дороги. Направляющий рычаг (обычно штампованный) имеет криволинейную форму, что может привести к ошибочным выводам, поэтому рычаг всегда надо мысленно заменять линией, соединяющей центры точек крепления рычага. Измерения, как обычно, проводятся от пола до центра отверстия под установку болта крепления.

В идеальном случае направляющие рычаги устанавливаются параллельно земле, таким же образом устанавливается и тяга Панара. Такая установка обеспечивает минимальное изменение эффективной длины рычагов при подъеме или опускании кузова. При вертикальных перемещениях кузова направляющие рычаги движутся по дуге окружности, однако, можно с уверенностью сказать, что если рычаги в статике параллельны земле, то ход подвески будет, в большинстве случаев, компенсирован за счёт изменения высоты подвески. Это, в свою очередь, означает, что задняя ось будет оставаться в неизменном положении относительно шасси в пределах ограниченных конструкцией шасси.

Более длинные направляющие рычаги обеспечивают лучшую стабилизацию заднего моста. Вот почему на многих спортивных автомобилях направляющие рычаги начинаются почти от середины колесной базы. Такое решение выгодно во многих приложениях, но это не означает что оно пригодно для всех автомобилей. В некоторых случаях по весомым причинам устанавливают и короткие направляющие рычаги. Короткие рычаги, установленные относительно горизонтали под углом 5° вверх по направлению к заднему мосту, будут при повороте слегка удлинять колёсную базу внешних колёс и укорачивать колёсную базу внутренних колёс. Такое поведение подвески в некоторых случаях предотвращает или снижает эффект избыточной поворачиваемости.

Как правило, длинные направляющие рычаги (более 300 мм) устанавливают в подвеске заднего моста с большими ходами сжатия и отбоя (некоторые спортивные автомобили). Короткие рычаги (200...300 мм) обычно хорошо подходят к подвеске с общим ходом до 100 мм.

Итак, в идеальном случае, линия, соединяющая центры мест крепления направляющих рычагов, должна быть параллельна земле. Это критерий оценки установки высоты задней подвески, хотя и не является истиной в последней инстанции.

Независимая подвеска заднего моста

В более сложных типах подвесок спортивных автомобилей применяется закрепленная в раме главная передача. Привод на колеса осуществляется через валы с шарнирами. Колеса поддерживаются верхними и нижними поперечными рычагами. Геометрия независимой задней подвески в основном строится на тех же принципах, что и геометрия пе-

редней независимой подвески. Обычно нижние поперечные рычаги устанавливают параллельно земле или немного (на 6...9,5 мм) приподнимают крепление рычага на раме.

Верхний рычаг обычно имеет обратный наклон. Точка крепления рычага на колесе приподнята над точкой крепления на раме на 25...38 мм.

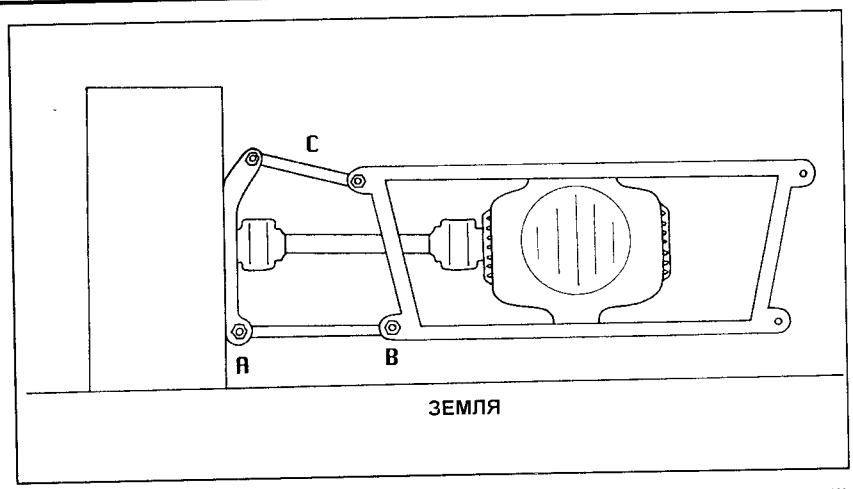
Преимущество задней подвески, в которой точка крепления нижнего рычага к шасси выше точки крепления на колесе в небольшом уменьшении отрицательного развала колеса при ходе сжатия подвески при прохождении поворота (правого колеса в левом повороте или левого колеса в правом повороте). Когда рычаг становится параллелен дороге, нижняя часть колеса выталкивается наружу (немного, но достаточно для того, чтобы заметить разницу). При торможении такая геометрия подвески имеет тенденцию к втягиванию низа колеса внутрь, но опять же немного и редко приводит к снижению курсовой устойчивости (уменьшение отрицательного развала).

Подвеска с качающейся осью

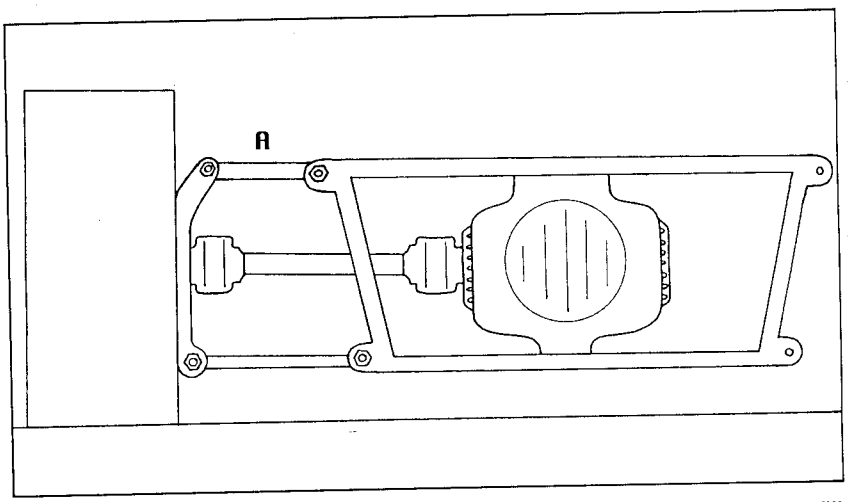
Качающаяся ось редко применяется на современных автомобилях. При этом типе подвески приводные валы используются в качестве качающихся рычагов. Каждый приводной вал имеет карданный шарнир, крепящийся со стороны дифференциала, обеспечивающий привод колес при работе подвески.

Теоретически такая конструкция подвески вполне приличная, но на практике возникает несколько проблем, связанных с конструкцией подвески.

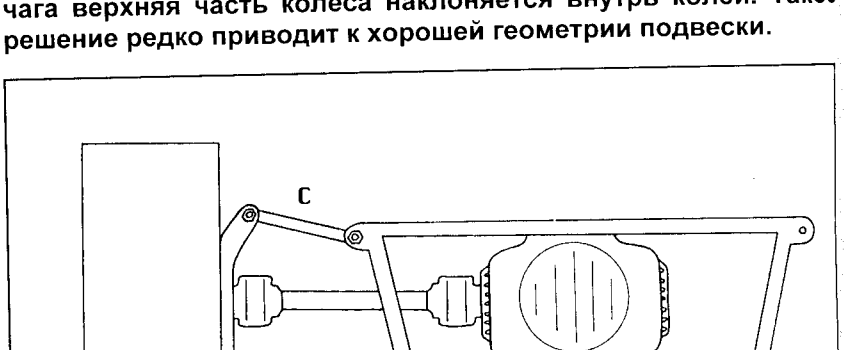
При крене кузова колеса приобретают или теряют угол развала в слишком большом диапазоне. Тяжело нагружен-



Задняя подвеска с параллельными земле поперечными нижними рычагами (A-B) и наклонными верхними рычагами (C).



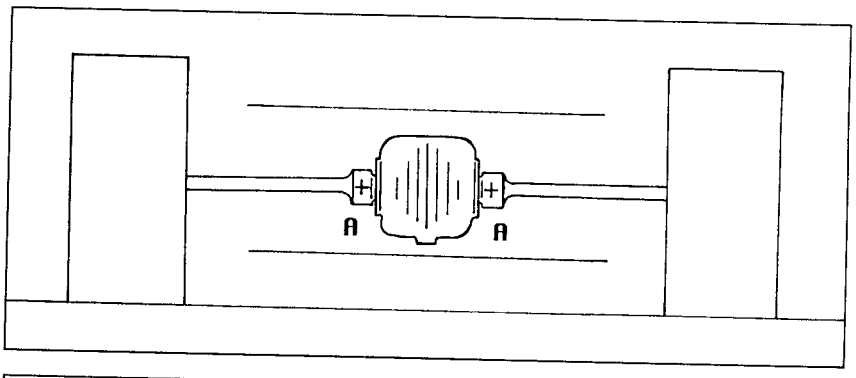
Задняя подвеска с параллельными земле поперечными нижними рычагами и верхними рычагами (A). Развал колеса зависит от эффективной длины рычага (A): при укорочении рычага верхняя часть колеса наклоняется внутрь колеи. Такое решение редко приводит к хорошей геометрии подвески.



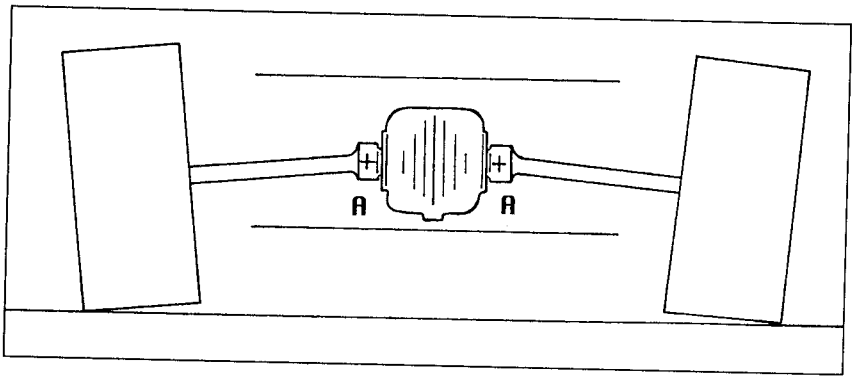
Задняя подвеска с наклонными поперечными нижними рычагами (A-B) и наклонными верхними рычагами (C). Точка "B" располагается выше точки "A".

ный автомобиль или автомобиль с опущенным кузовом могут проявить большой отрицательный развал, при ходе же отбоя может появиться чрезмерный положительный развал.

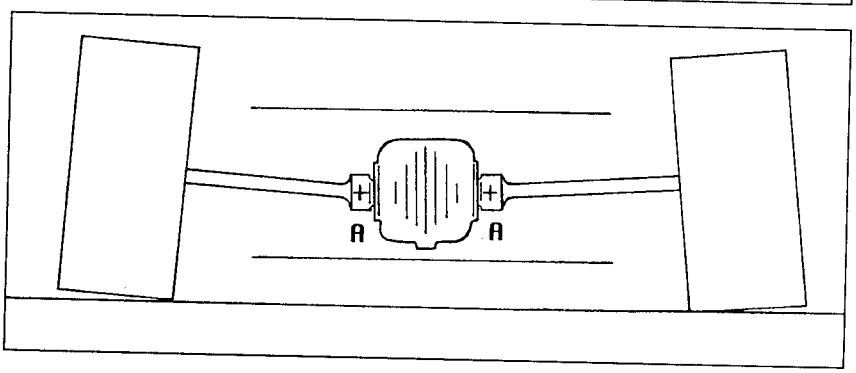
Решение проблемы чрезмерного изменения развала колес лежит в установке ограничителей хода подвески, которые значительно улучшат управляемость ценой плавности работы подвески. Ограничители устанавливают так, чтобы изменение развала лежало в пределах 2,5 градусов в обе стороны. Ход подвески обычно ограничивают жесткой пружиной или установкой стабилизатора поперечной устойчивости (если это возможно). Установка же жестких амортизаторов не самый хороший метод решения проблемы.



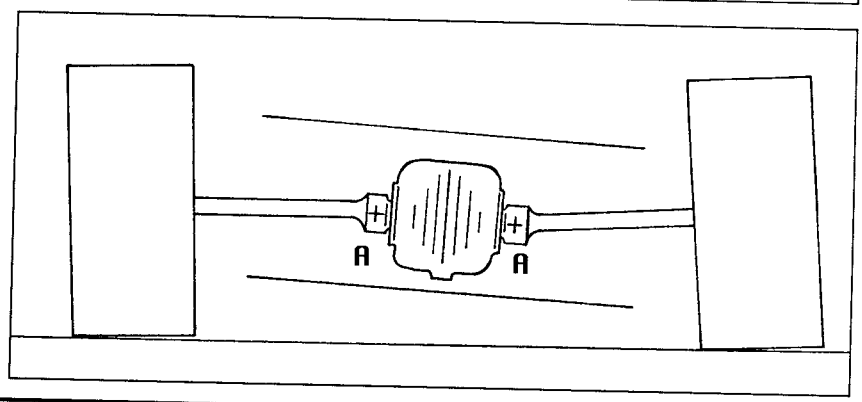
Задняя качающаяся ось с карданными шарнирами (А) с каждой стороны дифференциала. Оси колес совпадают с осью моста. На рисунке показана правильная установка колес с отрицательным развалом в 0,25...0,5 градуса.



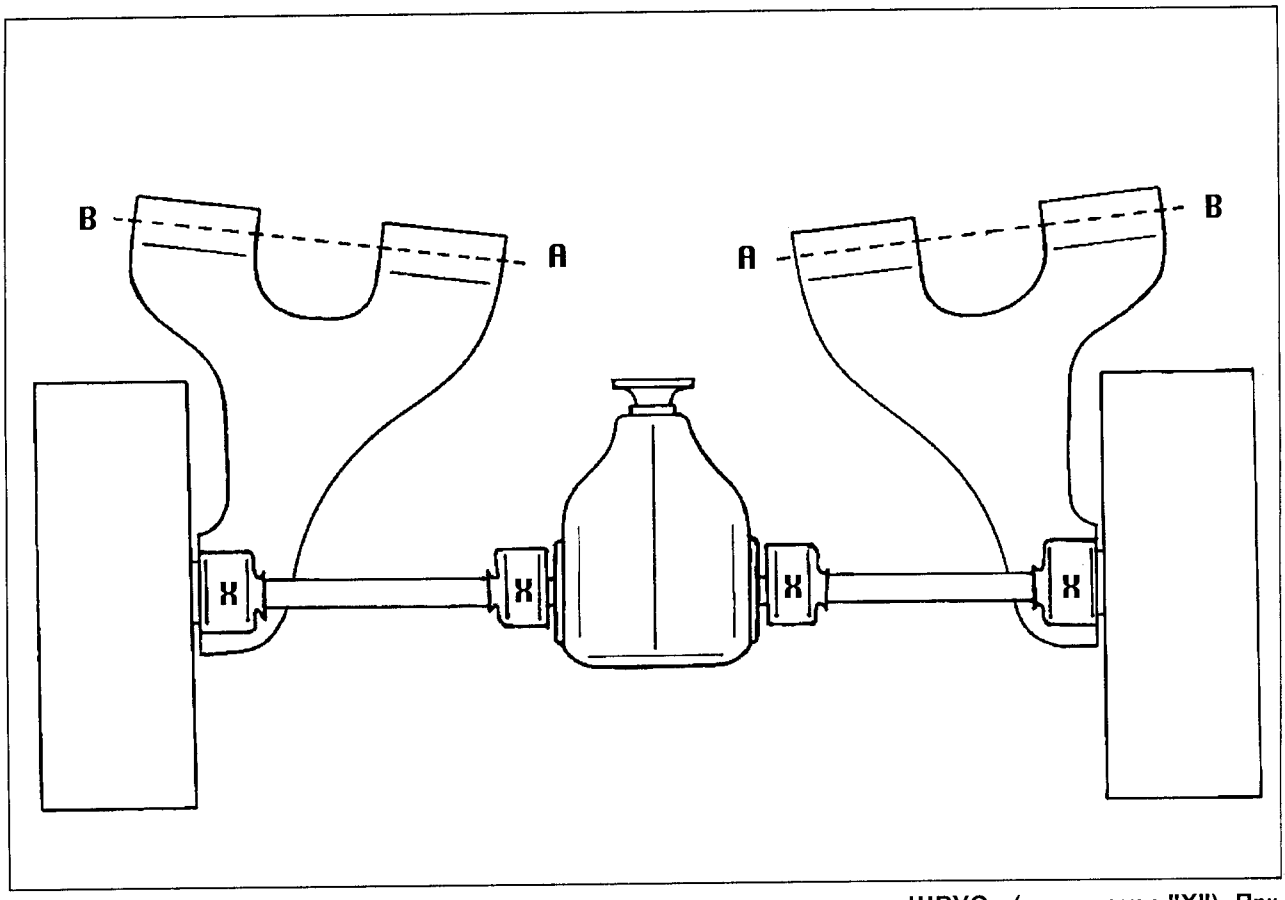
Задняя качающаяся ось на ходе отбоя. Ход подвески должен быть ограничен так, чтобы колеса изменяли развал не более чем на 2,5 градуса в обе стороны (в плюс и минус). Изменение развала при прохождении поворота идет в правильном направлении, однако, больше, чем нужно.



Задняя качающаяся ось на ходе сжатия. Шины имеют плохой контакт с дорогой. Чем больше ход подвески, тем больше ее отрицательное действие. Ограничение хода подвески проводят установкой жесткой пружины или стабилизатора поперечной устойчивости.



Автомобиль проходит левый поворот с углом крена кузова в три градуса (показан вид сзади). Правое колесо имеет избыточный отрицательный развал, левое колесо – избыточный положительный развал. Ось моста наклоняется по линии "А-А" центров шарниров.



Приводные валы имеют три или четыре карданных шарнира или ШРУСа (помечены "X"). Приводные валы имеют компенсаторы длины. Оси качания рычагов помечены как "A-B". Замыкание углов поворота (перемещение точек "A" к главной передаче) главный метод изменения геометрии подвески при заданном ее ходе.

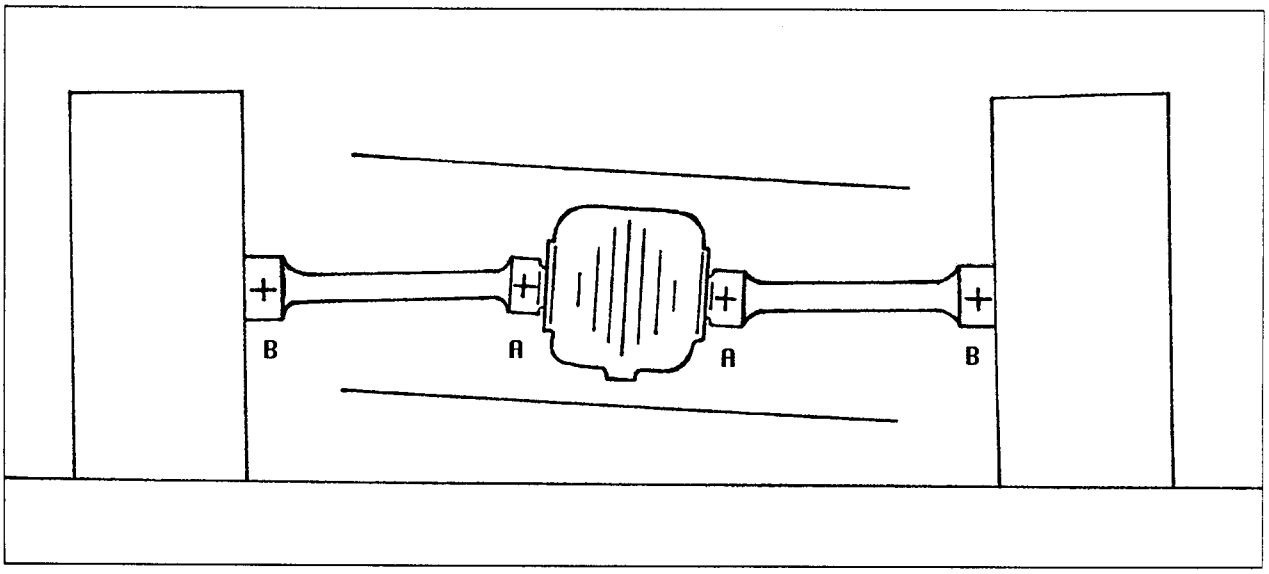
Подвеска на качающихся рычагах

В большинстве современных независимых задних подвесках на качающихся рычагах устанавливается по одному рычагу с каждой стороны автомобиля. Рычаг в статике почти параллелен земле. Небольшой наклон рычага (до 0,5 градуса) приводит к небольшому отрицательному развалу. При опускании кузова отрицательный развал увеличивается. При поднятии кузова отрицательный развал может быть уменьшен до момента приобретения положительного развала. При этом типе подвески отрицательный развал колес является хорошим индикатором действительной высоты установки подвески. Например, если 0,5 градуса отрицательного развала является стандартной величиной, он может быть увеличен максимум до одного градуса, но это может повлечь за собой структурные изменения рычага или мест крепления рычага.

Независимая подвеска - общие соображения

При независимой задней подвеске при прохождении поворотов может возникнуть отрицательное схождение колес, которое приводит к возникновению избыточной поворачиваемости, тем большей, чем больше отрицательное схождение. Причиной отрицательного схождения становится нагружение заднего колеса при прохождении поворота. Это колесо начинает активно подруливать автомобиль внутрь поворота.

Некоторые автомобили имеют такую геометрию подвески, которая обеспечивает прекрасное движение по прямой с нулевым схождением колес. Проблемы возникают при наличии крена кузова и в поворотах (самое подходящее время для корректировки подвески!). Когда высота подвески установлена правильно, должно иметь место положительное схождение колес. Однако при ходе сжатия подвески, сопровождаемое креном автомобиля, изменение схождения принимает неприемлемые величины: вместо положительного схождения в 1 мм появляется отрицательное в один и более миллиметров.



Кузов имеет крен в три градуса. Правое колесо имеет отрицательный развал в 1 градус, в то время, как левое - положительный развал в 0,5 градуса (вид сзади при левом повороте).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методы установки геометрии подвески очень разнообразны. В случае постройки автомобиля рамной конструкции определитесь с типом подвески до приобретения рамы. Узнайте у изготовителя автомобиля стандартную высоту подвески и критерии ее оценки. Если изготовитель не пойдет Вам навстречу, не огорчайтесь: лучшие настройки могут быть получены в результате тестов, но уже за Ваш счет. Рекомендации изготовителя могут быть ограничены советами, как установить рычаги передней и задней подвески параллельно земле. Однако проверить параллельность рычагов Вы сможете и самостоятельно.

Выше были описаны основные установки независимых передней и задней подвески и рекомендации, реализация которых приведет к хорошим характеристикам управляемости автомобиля. Что касается передней подвески, рассказано уже довольно много, но далее в книге приводится дополнительный объем информации. Что касается задней подвески, далее так же указываются отдельные взаимосвязи функций подвески и ее отдельных элементов.

Никогда без острой необходимости не изменяйте стандартную высоту автомобиля - ценой этому будет ухудшение геометрии подвески.

Безотносительно к тому, какой компанией или частным лицом построен автомобиль, всегда можно определить стратегические точки подвески, корректировка которых позволит оптимизировать работу подвески. Зная конструкцию и взаимосвязи компонентов подвески и если следовать основным базовым установкам, любой автомобиль может быть настроен оптимально (или почти оптимально). Встречаются автомобили, построенные с такой плохой геометрией подвески, что уже до углубленного исследования можно провести пусть небольшие, но целенаправленные изменения с целью улучшения управляемости.

Глава 3
Геометрия подвески

Под хорошей геометрией подвески понимается конструкция, в которой все точки относительного перемещения отдельных компонентов расположены в оптимальных позициях. Геометрические параметры подвески, определяющие эффективность системы в целом, выбираются на стадии конструирования автомобиля.

В большинстве конструкций передней подвески применяются поперечные и продольные рычаги того или иного типа, которые могут производиться крупными сериями методом штамповки или изготовленные индивидуально из труб. Что касается массового производства зависимой задней подвески, желательно увидеть конструкцию с четырьмя направляющими рычагами и двумя верхними рычагами, установленными по центру картера главной передачи для поперечной фиксации моста. Альтернативно для поперечной фиксации может быть применена тяга Панара или рычаги Уатта. На более сложных независимых задних подвесках применяются поперечные или качающиеся рычаги в сочетании с направляющими рычагами. На некоторых спортивных автомобилях можно обнаружить два одиночных независимых направляющих рычага, одну верхнюю тягу и обратный поперечный рычаг, устанавливаемый в верхней задней точке.

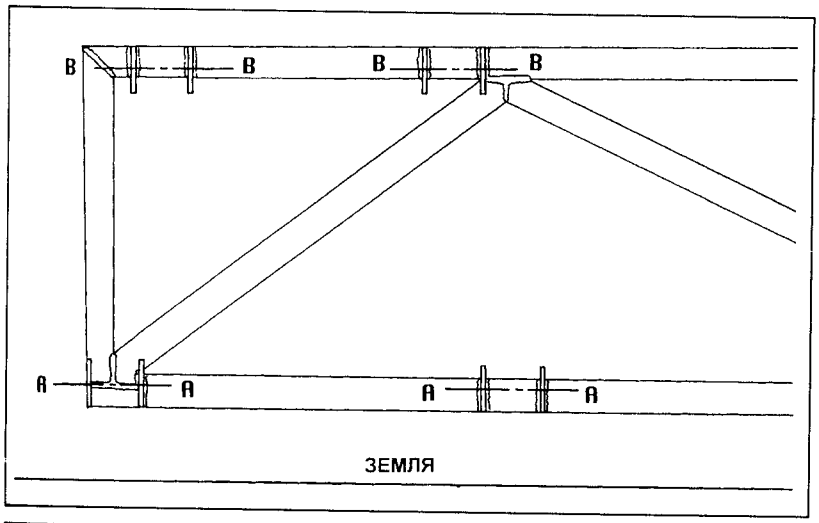
Безотносительно к типу применяемой подвески, будут приводиться некоторые оценки геометрии подвески. Положение каждой точки установки элементов подвески может быть измерено. После анализа результатов измерений можно сделать предварительный вывод о степени совершенства подвески.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ ПЕРЕДНЕЙ И ЗАДНЕЙ ПОДВЕСКИ

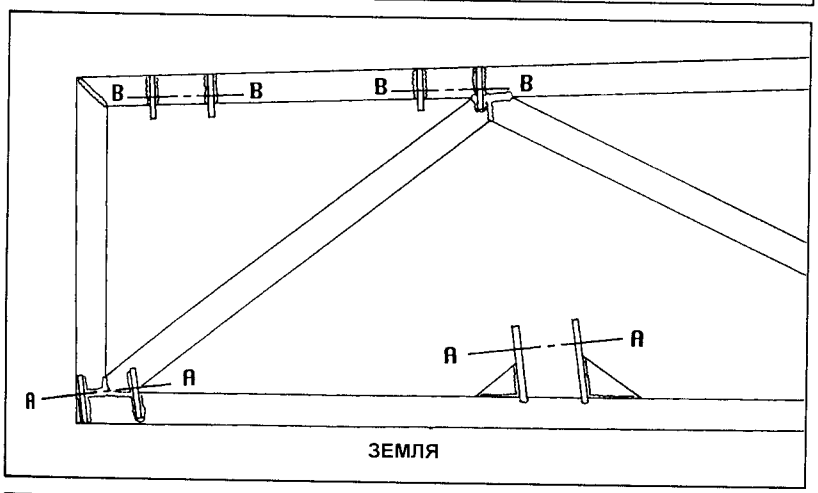
Несмотря на многочисленность форм конструкции подвески, наиболее употребительной является независимая подвеска с двумя поперечными рычагами неравной длины (верхний рычаг короче нижнего). Поперечные рычаги могут устанавливаться параллельно или под углом к дороге. Предпочтительнее параллельная установка рычагов, поскольку это несколько упрощает конструкцию автомобиля.

Задняя подвеска относительно проще передней, поскольку не имеет управляемых колес. Тем не менее, требования к изменению развала колеса при прохождении поворотов практически одинаковы для передней и задней подвесок.

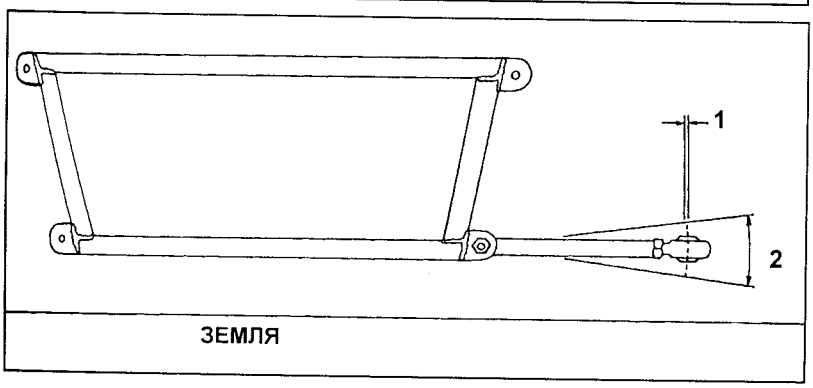
Заметим, что рычаги подвески серийно выпускаемых автомобилей почти всегда выполняются штамповкой, соответственно, они всегда более громоздкие по сравнению со специально изготовленными трубчатыми рычагами. Тем не менее, оба типа рычагов могут обеспечить идентичную геометрию подвески: внешний вид бывает обманчив. Координаты мест крепления к шасси попе-



Оси "А-А" и "В-В" кронштейнов крепления нижнего и верхнего поперечных рычагов передней подвески параллельны земле и нижнему лонжерону рамы (вид сбоку).



Оси "А-А" и "В-В" кронштейнов крепления нижнего и верхнего поперечных рычагов передней подвески не параллельны земле и нижнему лонжерону рамы (вид сбоку). Этот тип подвески используется для ликвидации клевков автомобиля (противоклевковая подвеска).



При параллельности оси, проходящей через центры точек крепления поперечного рычага, поверхности земли, при качании рычага его эффективная длина изменяется минимально.
1 - изменение эффективной длины рычага,
2 - угол качания рычага.

висимая
речными
длины
нижне-
ги могут
ллельно
е. Пред-
лельная
оскольку
ет конст-

относи-
ней, по-
вляемых
требова-
ла коле-
воротов
для пе-
ок.
аги под-
скаемых
егда вы-
й, соот-
а более
ению со
ленными
Тем не
ов могут
ую гео-
шний вид
рдинаты
си попе-

речных или качающихся рычагов всех типов передних подвесок определяются по центрам отверстий под болты крепления. Координаты мест подсоединения рычагов к поворотному кулаку (колесной ступице) определяются по центрам шаровых опор рычагов. То же самое относится к направляющим рычагам задней подвески. Все измерения проводятся от уровня плоского горизонтального пола.

Точные координаты центров шаровых шарниров могут быть оценены довольно точно. В случае проведения экспресс оценки с точностью до 1,5 мм центр шарнира определяется после снятия резинового пыльника.

НИЖНИЙ ПОПЕРЕЧНЫЙ РЫЧАГ ПЕРЕДНЕЙ ПОДВЕСКИ

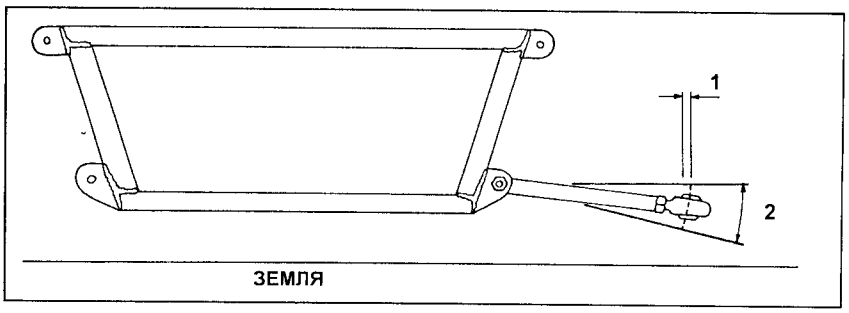
Пусть центр шарового шарнира и точки крепления нижнего поперечного рычага подвески расположены на одной высоте над плоским горизонтальным полом (идеальное начальное состояние для изу-

чения подвески). В среднем ход подвески спортивных автомобилей лежит в диапазоне 60...100 мм, но, поскольку центры точек крепления рычагов лежат на линии, параллельной земле, эффективное плечо поперечного рычага остается почти постоянным при всех условиях движения. Такой тип конструкции подвески не имеет реальных недостатков.

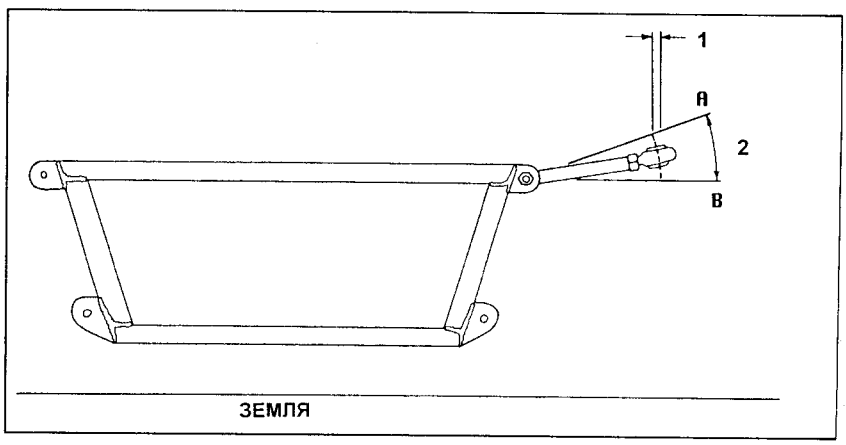
Некоторые типы передней подвески конструируются так, чтобы линия центров опор рычага была не параллельна земле. Обычно точка крепления рычага на шасси выше центра шарового шарнира на 6...17 мм. Преимущество такой конструкции в том, что при прохождении поворота (при наличии крена кузова) плечо нижнего рычага с одной стороны автомобиля удлиняется, а с другой стороны укорачивается. Это означает, что с одной стороны автомобиля низ шины выталкивается наружу, а с другой стороны втягивается внутрь, что приводит к изменению контакта колеса относительно дороги. К недостатку такой конструкции можно отнести то, что при движении по прямой дороге с волнообразным покрытием во время хода сжатия подвески колеса приобретают дополнительный отрицательный развал. При ходе отбоя отрицательный развал колес уменьшается, но в положительный переходит редко. Нужно избегать разновысокости мест крепления нижнего поперечного рычага более 19 мм.

ВЕРХНИЙ ПОПЕРЕЧНЫЙ РЫЧАГ ПОДВЕСКИ

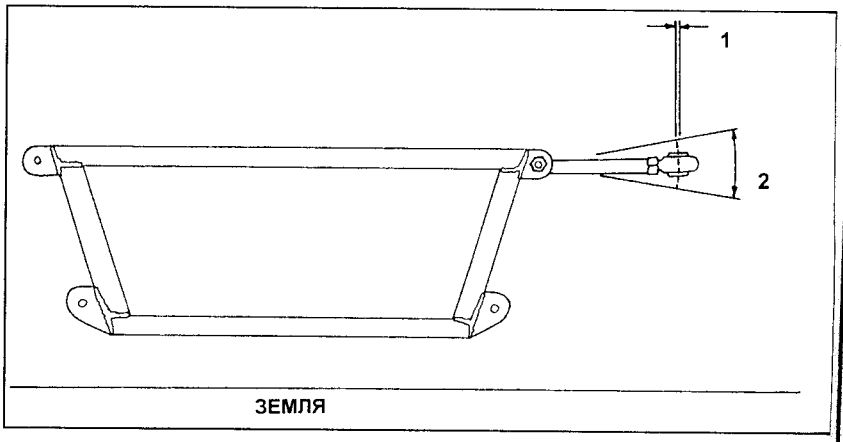
По возможности центры точек крепления верхних рычагов к шасси должны располагаться выше центров шаровых опор на ступице колеса.



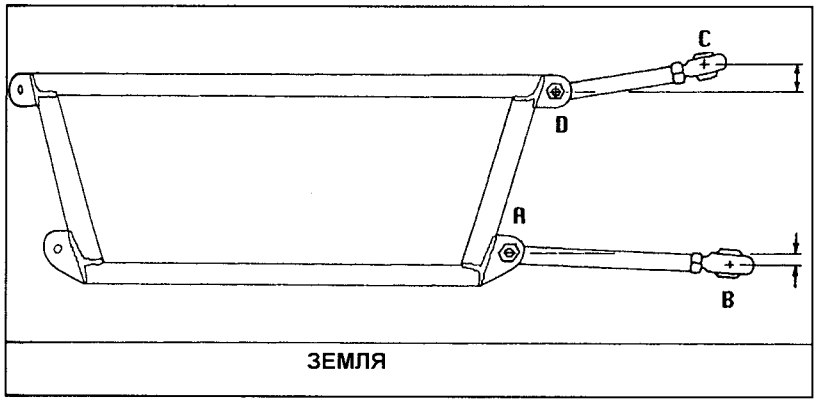
При сжатии подвески эффективное плечо нижнего рычага увеличивается, при отбое - уменьшается. Причина в том, что точка крепления рычага к шасси выше центра шарового шарнира на ступице.
1 - изменение эффективной длины рычага,
2 - угол качания рычага.



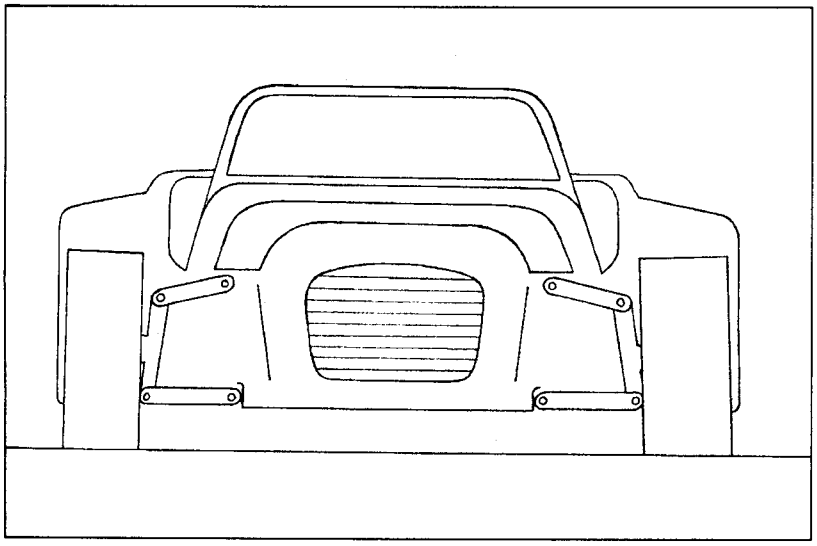
Верхний рычаг подвески наклонен относительно линии центров шасси крепления верхних рычагов (высота подвески). При этом имеет место максимальное изменение эффективного плеча верхнего рычага при полном ходе подвески (A-B).
1 - изменение эффективного плеча рычага,
2 - угол качания рычага.



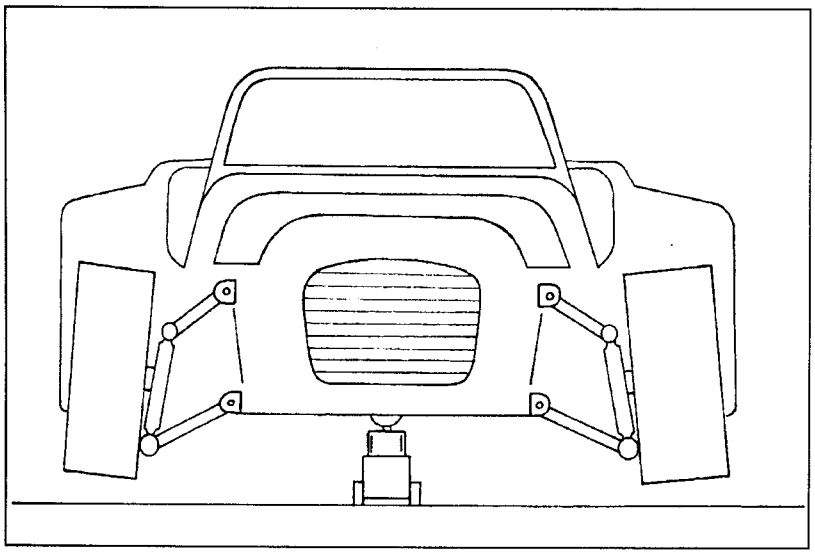
Верхний рычаг подвески параллелен линии центров шасси крепления верхних рычагов (высота подвески). При этом имеет место минимальное изменение эффективного плеча верхнего рычага при полном ходе подвески.
1 - изменение эффективного плеча рычага,
2 - угол качания рычага.



Точка "A" крепления нижнего рычага к корпусу (раме) выше центра "B" шарнира поворотного кулака. Точка "D" крепления верхнего рычага к корпусу (раме) ниже центра "C" шарнира поворотного кулака.



Нижние рычаги подвески параллельны поверхности пола, верхние рычаги наклонены вниз. Не идеальный способ установки подвески.



Причина этого в том, что при сжатии подвески из-за крена автомобиля в повороте рычаг заметно "укорачивается" и тянет верх колеса внутрь (увеличение отрицательного развала).

С другой стороны автомобиля подвеска опускается и рычаг (в идеальном случае) становится параллельным земле. Это означает максимальное "удлинение" рычага, который начинает выталкивать верх колеса наружу (уменьшение отрицательного развала).

В подвеске с расположением верхнего рычага, как это описано выше, и при параллельном поверхности пола расположении нижнего рычага, колёса приобретают отрицательный развал при ходе сжатия подвески и теряют отрицательный развал при ходе отбоя. Это означает, что в левом повороте, например, правое переднее колесо имеет тенденцию к увеличению отрицательного развала, в то время как левое колесо хочет установиться почти вертикально или приобрести небольшой положительный развал.

Разница в высоте точек крепления верхнего поперечного рычага подвески на раме и поворотном кулаке может быть разной, но обычно минимальная разница составляет 12,5 мм (примерно три градуса наклона вниз по направлению к ступице), а максимальная разница высот равна 38 мм (10 градусов наклона верхнего рычага).

При установке колес в положении прямолинейного движения поднимите автомобиль до отрыва передних колес от земли. При этом подвеска полностью опуститься. Если колеса будут иметь отрицательный развал, как показано на рисунке, нельзя ожидать хорошей управляемости (как правило, недостаточная поворачиваемость).

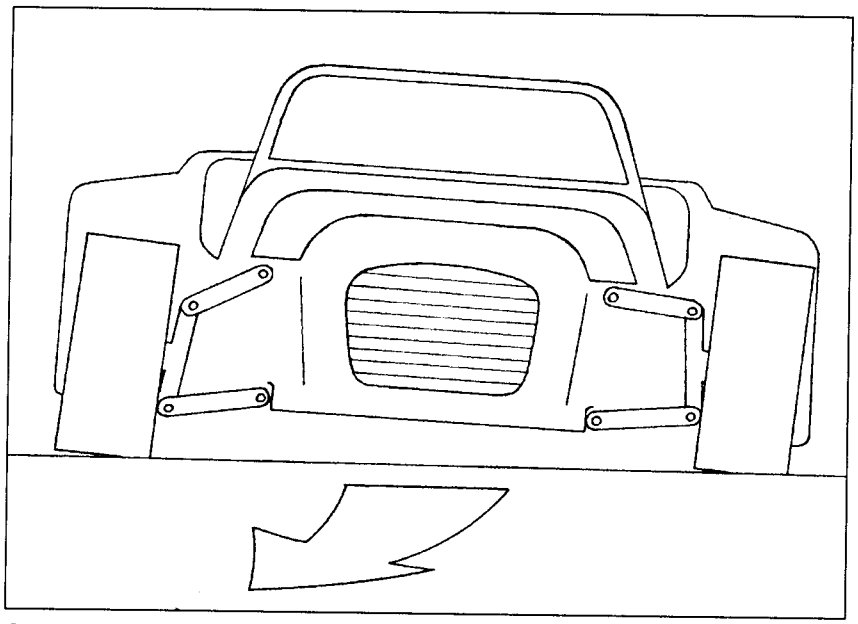
В начале исследования поведения подвески рекомендуется установка разницы высот в 25 мм.

Некоторые автомобили имеют разницу высот точек крепления верхнего рычага около 50 мм. такая конструкция приводит к приобретению автомобилем недостаточной поворачиваемости и редко применяется в спортивных автомобилях: угол развала колес изменяется в точно противоположном направлении, которое требуется при прохождении поворотов!

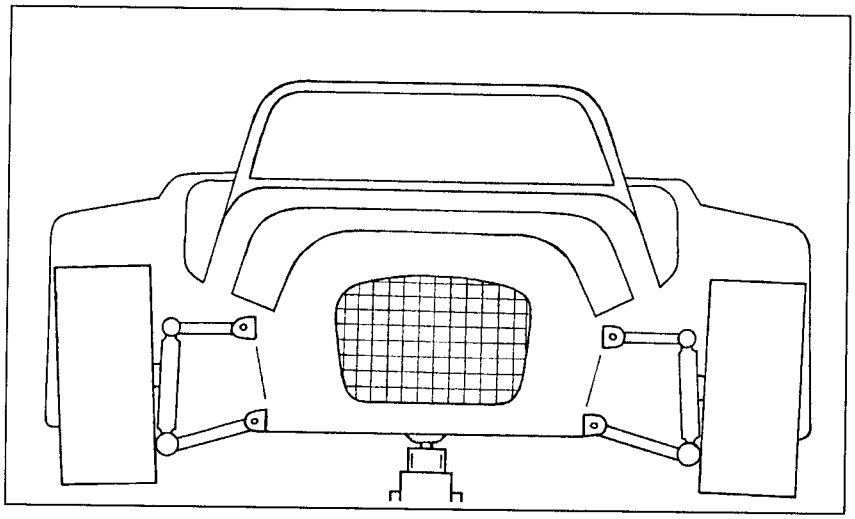
Без проведения каких-либо измерений относительно легко определить, какая модификация подвески установлена на автомобиле. Для этого нужно подвести домкрат под середину шасси и вывесить оба передних колеса автомобиля. Если колеса (при полностью опущенной подвеске) покажут отрицательный развал более пяти градусов, нельзя требовать от автомобиля хорошей управляемости. С другой стороны, если в этом положении колеса приобретают положительный развал в два-три градуса, то подвеска имеет хорошую геометрию.

Разница в изменении положения колес в этих двух примерах при прохождении автомобилем поворотов примерная такая же, как между днем и ночью. Автомобиль, у которого вывешенные колеса имеют отрицательный развал, в правом повороте, например, показывают положительный развал на левом колесе и очень большой отрицательный развал на правом колесе. Это приводит к проявлению недостаточной поворачиваемости и обычно плохим характеристикам управляемости.

Автомобили же с положительным развалом вывешенных колес в том же примере показывают от 0,5 до 1 градуса отрицательного развала (угол развала тем больше, чем больше повернуто колесо) на левом колесе и от нуля до двух градусов отрицательного развала на правом колесе. Такой автомобиль имеет хорошую управляемость.



Автомобиль проходит поворот с креном кузова в три градуса. Левое переднее колесо имеет положительный развал, правое - отрицательный. Автомобиль проявляет недостаточную поворачиваемость и плохую управляемость (курсовую устойчивость на высоких скоростях).



При установке колес в положении прямолинейного движения поднимите автомобиль до отрыва передних колес от земли. При этом подвеска полностью опуститься. Если колеса будут иметь положительный развал, как показано на рисунке, можно ожидать хорошую управляемость автомобиля.

НЕЗАВИСИМАЯ ЗАДНЯЯ ПОДВЕСКА

Здесь мы рассмотрим вариации конструкции независимой задней подвески, устанавливаемой главным образом на автомобилях с рамным шасси. На одни типы автомобилей устанавливается комплектный узел задней подвески автомобиля-донора

на другие - детали разных автомобилей. Автомобиль может иметь либо переднее расположение двигателя и обычную коробку передач с приводными валами и главной передачей, жестко закрепленной на раме, либо заднее расположение двигателя с ведущим мостом со встроенной коробкой передач. В любом случае, основная конструкция и настройки задней подвески будут примерно одинаковы.

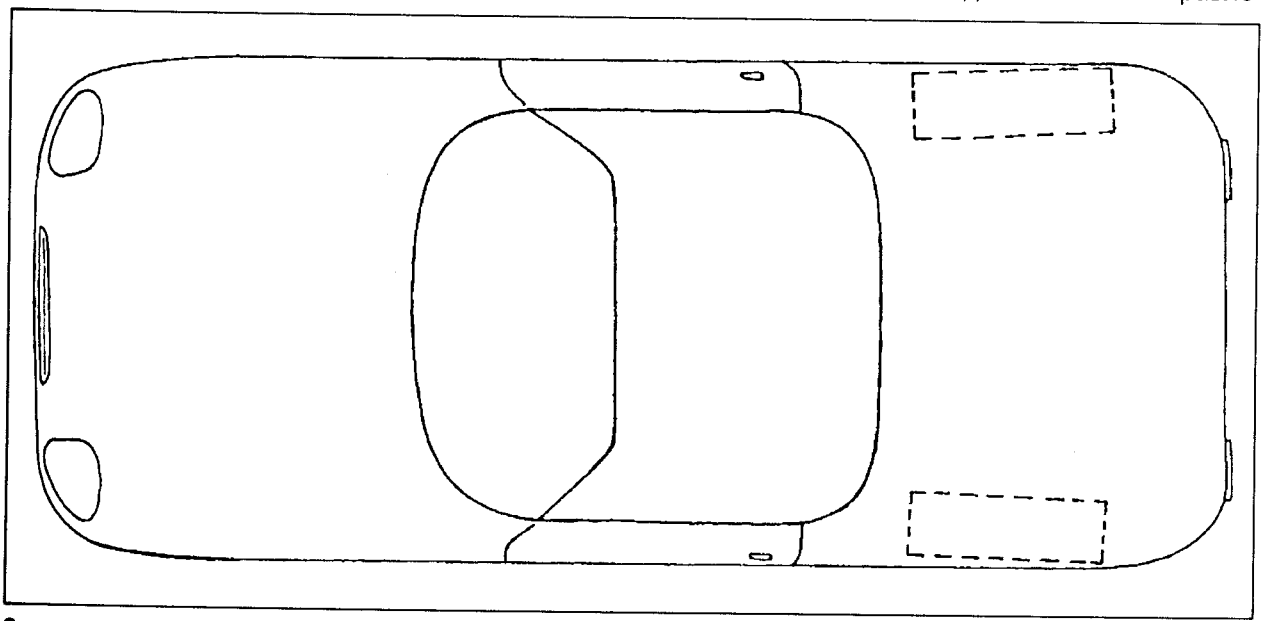
Все независимые задние подвески должны проверяться на отсутствие появления отрицательного схождения колес на всем ходе подвески: отрицательное схождение задних колес ведет с ухудшению управляемости. Напротив, при работе подвески задние колеса должны получать положительное схождение, причем схождение обоих колес должно быть одинаково относительно центральной оси автомобиля.

Отрицательное схождение задних колес приводит к нестабильному поведению заднего моста: автомобиль имеет тенденцию к виляниию на волнообразной поверхности дороги и заносу. Когда заднее колесо получает отрицательное схождение, оно начинает активно подруливать автомобиль внутрь поворота, что всегда очень легко отмечается. Доказано, что суммарное отрицательное схождение колес (по обеим сторонам автомобиля) не должно превышать 2...3 мм.

На многих автомобилях устанавливается положительное схождение по линии высоты подвески (линия центров верхних рычагов) и при этом автомобиль показывает хорошую управляемость на ровной дороге. Проблемы возникают на неровной дороге и при движении с большими скоростями. При ходе сжатия или отбоя подвески задние колеса начинают менять направление схождения: при появлении отрицательного схождения как раз и возникают проблемы с управляемостью. Недостатки управляемости почти всегда заметны для водителя (иногда и для пассажиров), поскольку автомобиль заметно уводит в ту или иную сторону в зависимости от направления хода подвески. Такое поведение автомобиля обусловлено односторонним получением отрицательного схождения колеса. С другой стороны автомобиля схождение может оставаться в норме. Колесо может иметь схождение, измеренное по линии высоты подвески, но оно изменяется вдоль центральной оси автомобиля, что и вызывает проблемы. Одно колесо всегда имеет эффективный отрицательный развал, в то время, как другой колесо достаточно большое положительное схождение. Должно быть точно установлено, имеет ли колесо положительное схождение и равномерно ли оно распределено вдоль центральной оси автомобиля. Метод указанного определения основан на измерении параллельности установки задних колес относительно передних.

Поскольку на управляемость автомобиля с независимой задней подвеской влияют слишком много факторов, параллельность установки задних колес относительно друг друга и шасси и передних колес очень часто оставляют без внимания.

В тяжелом повороте колесо автомобиля, имеющего отрицательное схождение колес и выраженный крен кузова, начинает двигаться в направле-



Задние колеса (пунктир) с положительным схождением, равномерно распределенным относительно центральной оси автомобиля.

нии отрицательного схождения, т.е. автомобиль приобретает избыточную поворачиваемость и, в некоторых случаях, даже может начать вращаться вокруг вертикальной оси. Однако не только отрицательное схождение может привести к такого рода поведению автомобиля. Тому может быть несколько причин: не совмещение осей автомобиля и заднего подрамника подвески, некорректная регулировка или деформация поперечных рычагов подвески или все вместе.

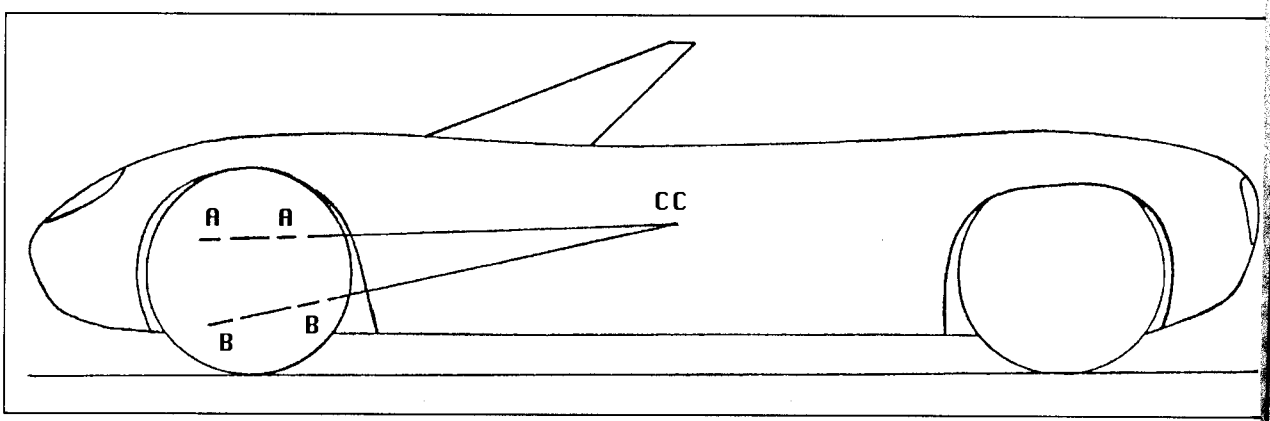
Отсутствие привычки частой проверки регулировок и правильности установки задней независимой подвески запутывает и так непростую ситуацию с управляемостью. Причем, чем выше скорость автомобиля, тем более критично влияние настроек и установок подвески. Когда независимая задняя подвеска сконструирована и настроена правильно, она обеспечивает отличную управляемость, если же это не так, она становится хуже, чем настроенная зависимая подвеска. Известно, что достаточно много автомобилей с независимой задней подвеской управляются хуже, чем автомобили с зависимой подвеской. В этом не последнюю роль играют относительная простота установки и настроек зависимой подвески. Кроме того, независимая подвеска несколько тяжелее, чем зависимая.

Резиновые и другие эластичные втулки, применяемые в независимой задней подвеске, должны быть очень высокого качества, чтобы предотвратить какие-либо относительные перемещения, приводящие к возникновению отрицательного схождения колес. Если соединения выполнены на ШС или ШМ (шарнир Роза), нужно достаточно часто проверять их на износ: шаровые шарниры не имеют достаточный срок службы в дорожных машинах. Их преимущество заключается в точности перемещения рычагов относительно центра шарнира и в обеспечении возможности поворота. Срок службы шарового шарнира повышается, если его заключить в резиновый пыльник, однако нужно помнить, что он все равно изнашивается довольно быстро и стоит не так уж дешево.

ПРОТИВОКЛЕВКОВАЯ ГЕОМЕТРИЯ

Для улучшения независимых подвесок (как передней, так и задней) можно ввести противоклевковую геометрию, однако это в некоторой степени усложняет изготовление автомобиля.

Основой применения такой подвески является установка амортизатора подвески на шаровых шарнирах на обоих концах. Это позволяет установить рычаги подвески относительно центра тяжести автомобиля так, что предотвращается клевок кузова при торможении. Фактически, если углы установки рычагов корректны (т.е. силы, ими передаваемые проходят через центр тяжести автомобиля, но не рядом с ним), автомобиль не имеет продольного крена даже при тяжелом торможении. Преимущество такой системы в том, что не требуется введения дополнительного усилия пружин подвески для снижения перемещения передней части кузова, вызывающего изменение геометрии подвески (главным образом развала и схождения колес) и приводящее к потери курсовой устойчивости при торможении. Нет необходимости говорить, что противоклевковая геометрия имеет большое достоинство, несмотря на сложность изготовления, особенно на автомобилях с передним расположением достаточно тяжелого (более 135 кг) двигателя.

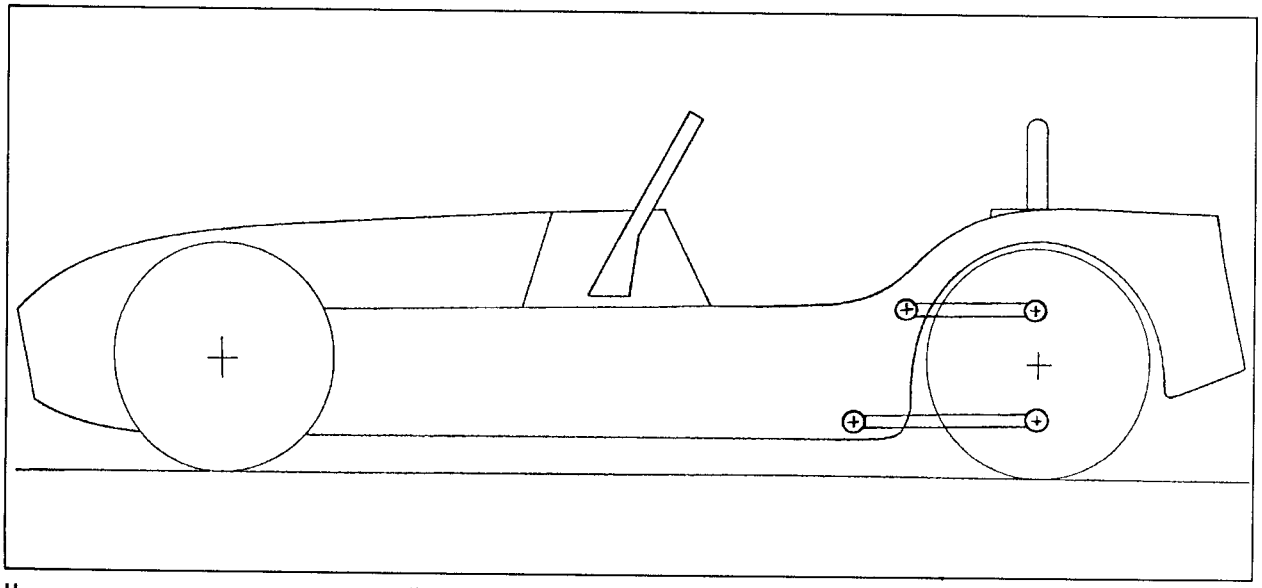


На автомобиле с противоклевковой геометрией можно устанавливать более мягкие пружины, что приводит к лучшему отслеживанию колесами профиля дороги. Линия "А-А" соединяет центры мест крепления верхних, а линия "В-В" нижних поперечных рычагов подвески. "СС" - положение центра тяжести автомобиля.

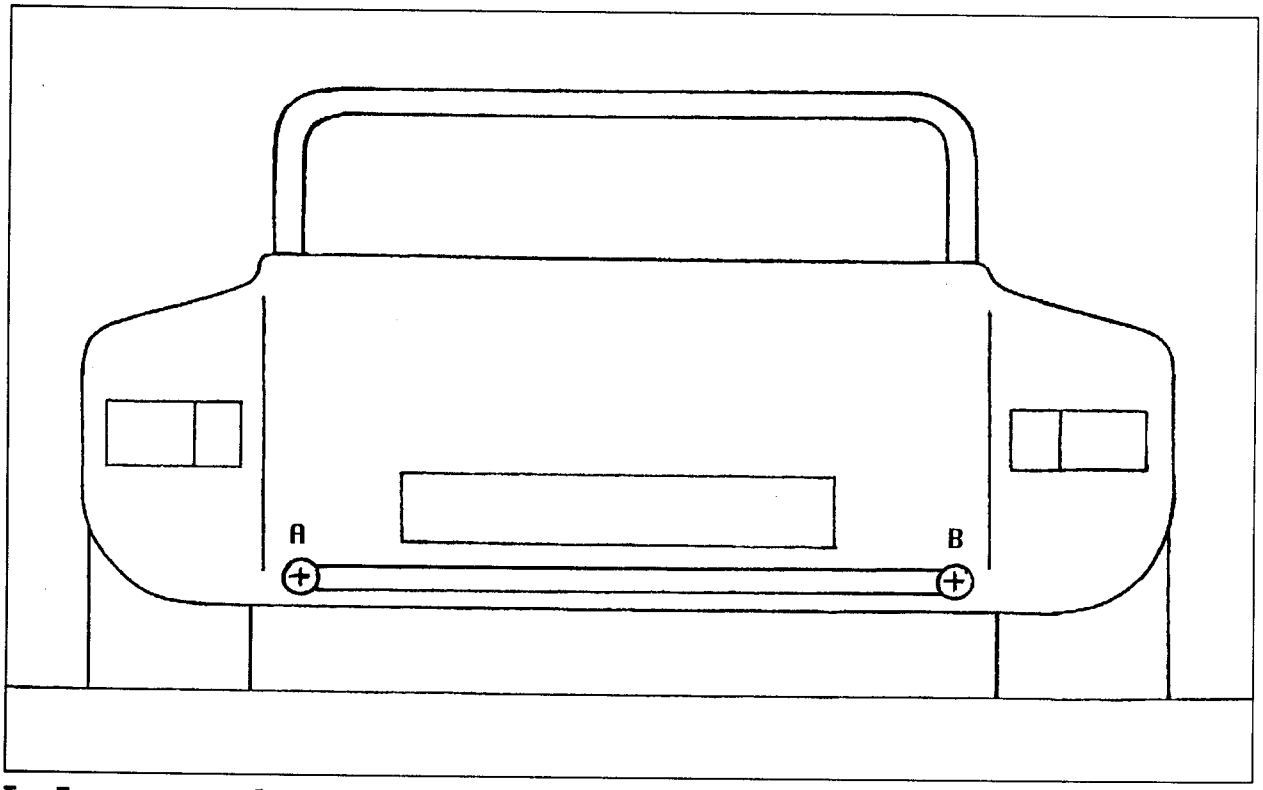
НАПРАВЛЯЮЩИЙ РЫЧАГ ЗАДНЕЙ ЗАВИСИМОЙ ПОДВЕСКИ

Наиболее общим способом продольной ориентации балки заднего моста при зависимой задней подвеске является применение направляющих рычагов. Поперечная ориентация моста осуществляется тягой Панара (пяти рычажная схема). Направляющие рычаги могут быть равной и неравной длины. Направляющие рычаги по возможности устанавливают параллельно земле. Допускается их наклон вниз относительно точек крепления на мосту примерно до пяти миллиметров.

Не следует наклонять направляющие рычаги в обратном направлении (т.е. точка



Направляющие рычаги неравной длины с параллельной установкой относительно поверхности пола.



Тяга Панара должна быть максимально длинной и устанавливаться параллельно поверхности пола. Тяга соединяет мост (точка А) и кузов (точка В).

крепления рычага на кузове должна располагаться ниже точки крепления на мосту). Если рычаг наклонить назад, при крене кузова колесная база будет изменяться так, что появится избыточная поворачиваемость.

Установка рычагов параллельно поверхности пола проводится потому, что качание рычага в обе стороны приводит к укорочению эффективной длины рычага, что, в свою очередь, слегка уменьшает колесную базу. Если обеспечить параллельность рычагов поверхности пола на уровне высоты установки подвески, качание рычагов будет приводить к изменению эффективной длины на равную величину в обоих направлениях.

В целом идея состоит в поддержании постоянства колесной базы. Перемещение моста вперед и назад конечно имеет место, но ход подвески не так велик, чтобы заметно изменять нормальную высоту установки подвески в продольном направлении.

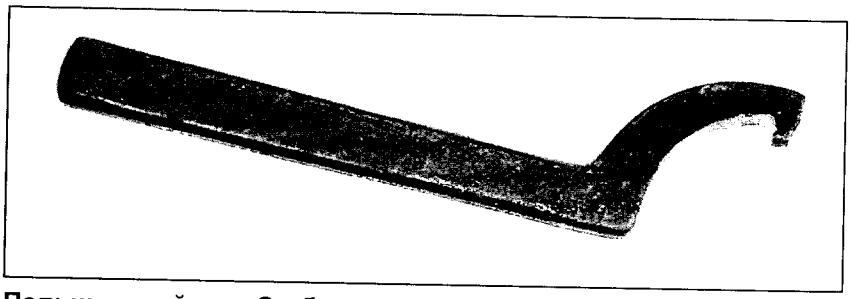
состоит в
рянства ко-
еремещение
зад конечно
од подвески
бы заметно
ную высоту
в продоль-

Глава 4 Пружины подвески и амортизаторы

СТОЙКА ПОДВЕСКИ (COIL-OVER SHOCK ABSORBERS)

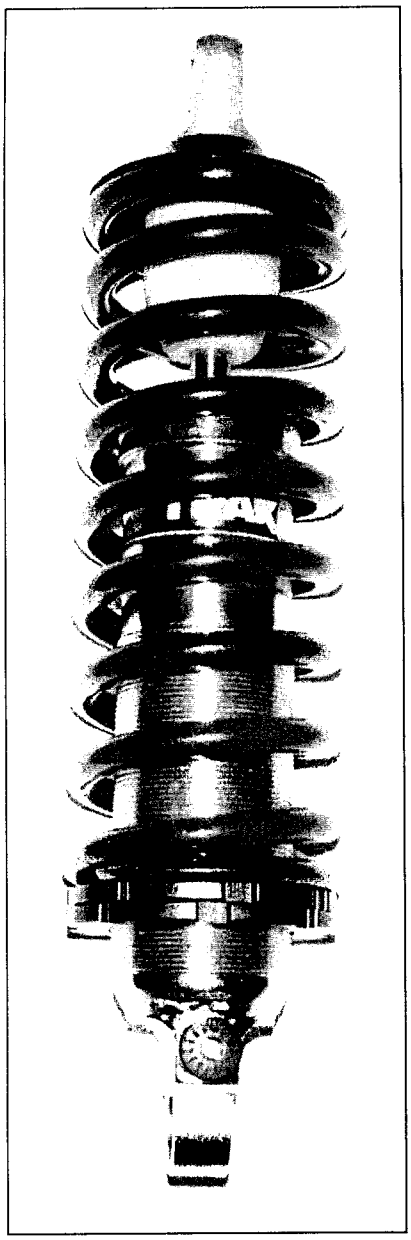
Стойка подвески (coil-over shock) включает в себя амортизатор с установленной на нем пружиной подвески. Такое сочетание амортизатора и пружины получило широкое распространение на спортивных автомобилях: стойка компактна, легко монтируется и имеется возможность смены пружин, регулировки высоты подвески и характеристик амортизатора.

Регулировка высоты подвески проводится изменением положения седла пружины (обычно накручиванием по резьбе корпуса амортизатора). Для проведение регулировок высоты подвески обычно нужно иметь два пальчиковых ключа для фиксации контргайки седла пружины и поворота седла. При регулировке высоты подвески автомобиль поднимают на домкрате для снятия нагрузки пружин с седел, что значительно снижает усилие на ключе.



Пальчиковый или С-образный ключ для регулировки высоты подвески.

Часто выступы контргайки или седла повреждают при отворачивании их с помощью отвертки или зубила и имея полную нагрузку на пружине или при неослабленной контргайке. Все, что требуется для регулировки высоты подвески, это поднять машину, ослабить контргайку и крутить седла в нужном направлении.

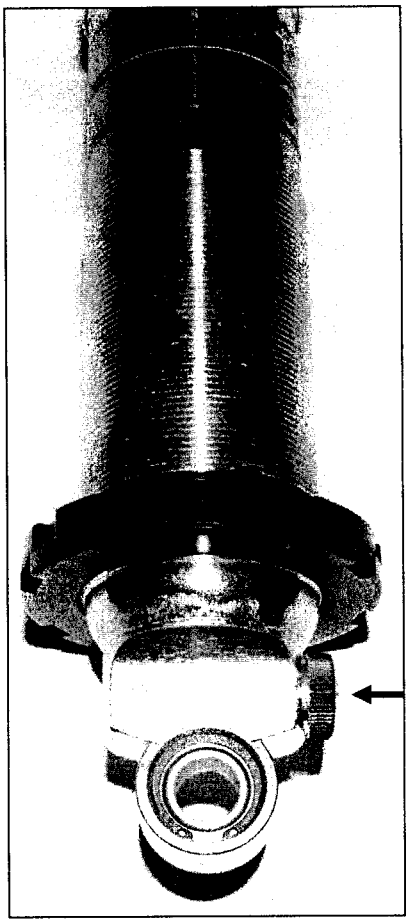


Типичный coil-over амортизатор.

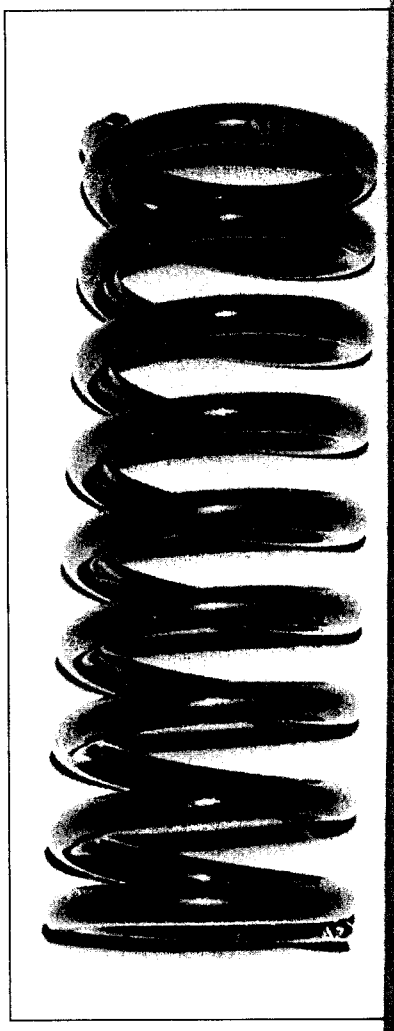
ПРУЖИНЫ

Для современных спортивных автомобилей промышленность выпускает много типов амортизаторов. В некоторых случаях амортизатор устанавливается внутри пружины подвески, отдельно.

При таком способе установки если стандартные сёдла пружин не регулируются по высоте возникают проблемы с регулировками, однако можно отрегулировать и высоту подвески и скорость демпфирования, хотя это будет не так просто как в случае с coil-over стойками. Однако принцип работы подпружинивания и демпфирования остается одинаковым в обоих случаях. С точки зрения удобства и простоты регулировок предпочтителен единый узел амортизатор-пружина с регулируемым седлом пружины. Конечно можно изменить элементы подвески или даже тип подвески, подобрав соответствующий комплект coil-over амортизаторов, однако, прежде чем решиться на кардинальные изменения, нужно сначала рассмотреть возможность модернизации подвески в рамках уже имеющейся конструкции. Пружина есть пружина, вне зависимости от того, как она выглядит: витая цилиндрическая, торсионный вал, листовая и т.д. В этой книге мы будем говорить только о витых цилиндрических пружинах подвески, остальные типы рассмотрены кратко, поскольку принцип работы всех пружин одинаков.



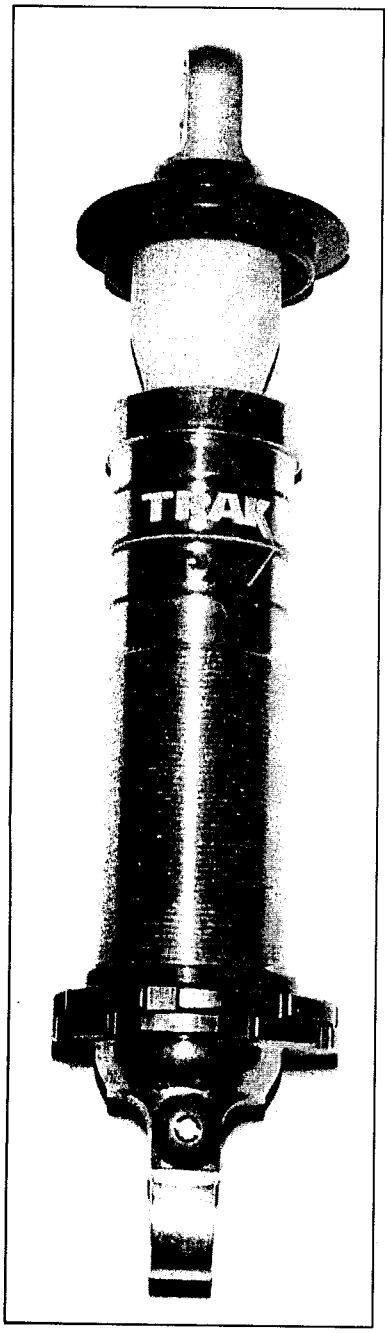
Регулировочный винт амортизатора.



Витая цилиндрическая пружина.

С одной стороны пружина не должна быть столь жесткой, что колесо может терять контакт с дорогой, с другой стороны она не должна быть столь мягкой, что кузов автомобиля будет иметь повышенный крен.

Если пружины подвески будут слишком жесткими, автомобиль будет плохо управляться на дороге с неровным покрытием и покажет худший результат в сравнении с таким же автомобилем, по



При такой конструкции амортизатора обеспечивается регулировка и демпфирующего действия и высоты подвески. Регулировочный винт применяется для установки нужной степени демпфирования. С обоих концов амортизатора установлены шарнирные крепления.

веска которого соответствовала типу покрытия. Крен кузова в поворотах будет незначительным (до двух градусов). На мягких же пружинах крен может достигать 3...4 градусов, но при этом колеса не будут терять контакт с дорогой и поглощать неровности. Не следует ставить или слишком жесткие или слишком мягкие пружины.

При езде на жестких пружинах тряска такая сильная, что приходят мысли о полном отсутствии подвески, кроме того, на слегка неровных покрытиях кажется, что автомобиль "всплывает". В этом случае колеса не способны отслеживать неровности дороги, на некоторое время теряют с ней контакт полностью или частично. Машина все еще поддается управлению, но не в такой степени, как хотелось бы. При отрыве от дороги переднего колеса автомобиль управляется одним колесом, что не очень хорошо. Хотя и нет решений, при которых всегда все колеса одинаково прижимаются к земле, нужно подобрать параметры подвески так, чтобы через каждое колесо на дорогу передавалась достаточная прижимная сила.

Пружина считается слишком мягкой, если возникают "пробои" подвески, сопровождаемые ударами подвески о шасси, или при слишком значительных кренах кузова. Когда происходит пробой подвески до ограничителей, автомобиль ничто не поддерживает, кроме шин. В этой ситуации большинство автомобилей становятся совершенно нестабильными в управлении. Усилие пружины в идеале должно быть точно равно величине, при которой предотвращается излишний крен кузова (более 3...4 градусов). Если Вы, как водитель, предполагаете, что подвеска слишком жесткая для скоростей, на которых идет автомобиль (раскачивание автомобиля, восприятие каждого бугорка и ямки на дороге), то снижение жесткости пружин улучшит положение и почти всегда ведет к улучшению управляемости. Для каждого автомобиля в результате тестов почти всегда удается подобрать оптимальную жесткость пружин подвески для определенных условий движения. Дорожные автомобили обычно не требуют более жестких пружин, чем автомобили, подготовленные для гонок. Использование одного и того же автомобиля в разных типах гонок, как можно предположить, потребует установки пружин с разной жесткостью. Конечно, при установке относительно мягких пружин увеличивается крен кузова, однако его можно держать в допустимых пределах.

На самом деле крен кузова не составляет реальной проблемы до тех пор, пока угол крена не достигнет 5...7 градусов, что говорит об установке слишком мягких пружин. Если крен кузова при прохождении любых поворотов в любых ситуациях не больше 2...3 градусов, то пружины подобраны правильно.

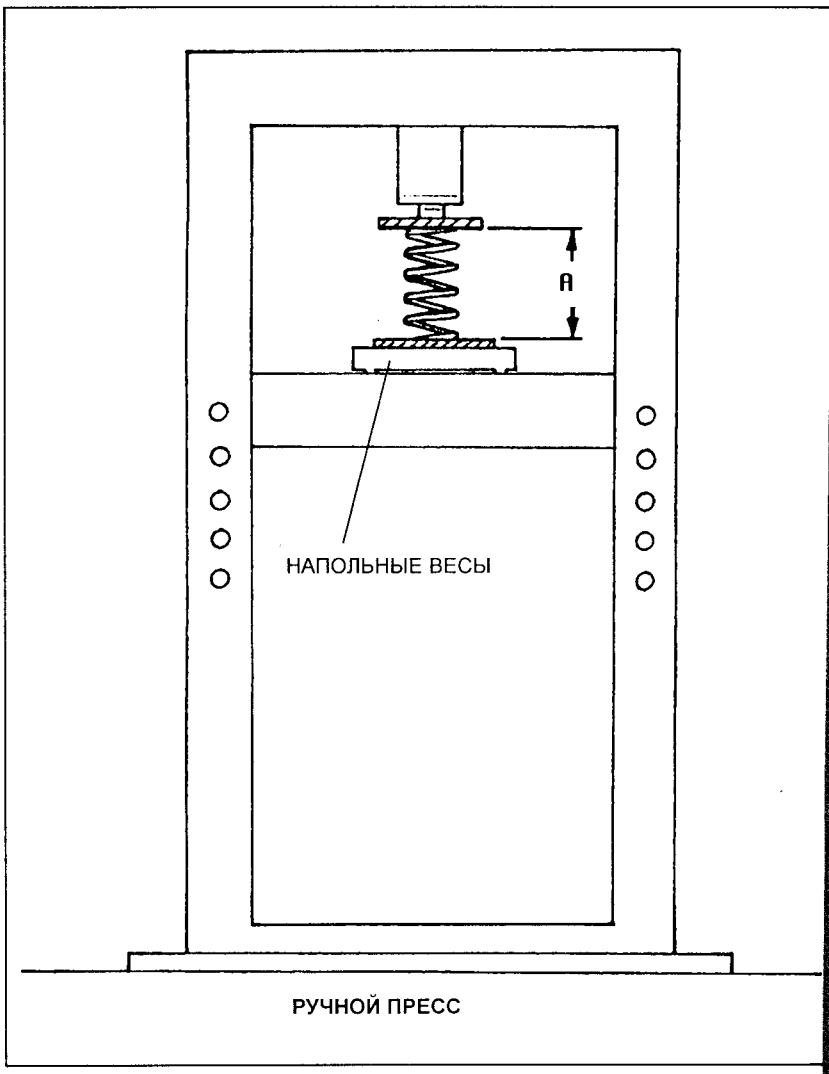
Пружины желательно подбирать парами по жесткости для передней и задней подвески. Такое пожелание составляет 95% всех требований к пружинам. Нет гарантий того, что при установке пружины сразу получится желаемая высота подвески. Проблема состоит в том, что пружина усаживается и в некоторый момент при прохождении поворота автомобиль "теряет" подвеску, что совсем нехорошо. Такая ситуация возникает при установке пружины с недостатком несущей способности даже при почти полном сжатии, но с жесткостью, обеспечивающей желаемую высоту подвески. Это всегда легко установить: пружина сжата до половины ее свободной длины и между витками пружины имеется зазор менее 4 мм, что приведет к потере зазора в движении.

Установка слишком мягких пружин приводит к клевкам и повышенным кренам кузова (особенно к клевкам). Водитель обычно знает когда автомобиль идет вниз и когда как бы неожиданно ныряет. Это означает, что будет лучше установить более жесткие пружины только на передней подвеске. Так же более жесткие пружины нужно устанавливать при установке на один и тот же автомобиль более тяжелого двигателя.

Пружины выбирают так, чтобы при полностью заправленном автомобиле **минимальный** зазор между витками пружин был больше 6,5 мм. Всегда предпочтительнее устанавливать самые мягкие пружины, которые, однако, будут давать крен автомобиля в допустимых пределах. Установка жестких пружин под тем предлогом, что они снижают крен автомобиля и тем самым улучшают управляемость, почти всегда некорректна.

Проверка жесткости пружины обычно проводится по коду изделия или по нанесенным меткам (краской или штамповкой). После проверки кода или меток на соответствие выбранной жесткости, **все** пружины нужно обязательно проверить на действительную жесткость. Проблема такой проверки заключается только в отсутствии подходящего оборудования. Тем не менее вполне удовлетворительные результаты определения жесткости пружин можно получить с помощью ручного пресса, мерительной линейки и напольных весов (с небольшой погрешностью измерения). Жесткость пружины измеряется в килограммах на сантиметр. Усилие нажатия на пружину определяется по показаниям весов.

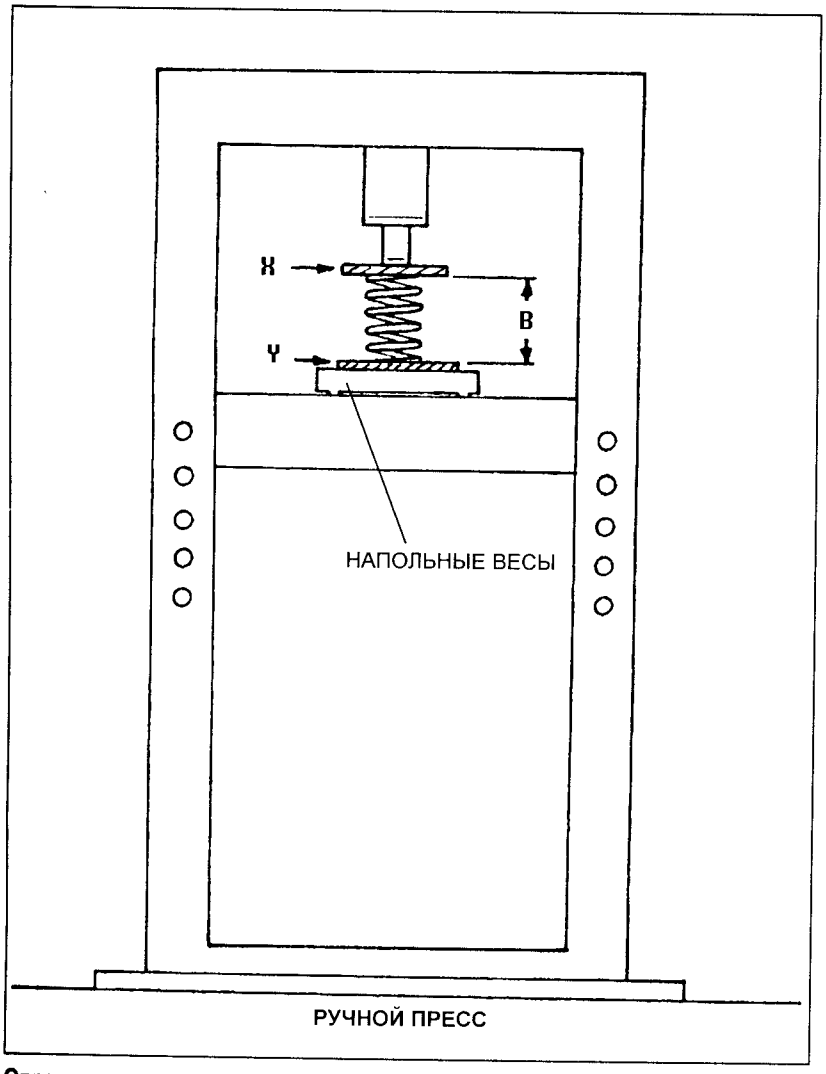
ВНИМАНИЕ: такой способ измерения жесткости пружин потенциально опасный - пружина может отлететь на достаточно большое расстояние при внезапном сбросе нагрузки или перекосе оси пружины относительно линии приложения нагрузки, то же относится к деревянным проставочным брускам.



Определение жесткости пружины с помощью пресса и ли нейки. Пружина установлена без сжатия, выбраны тольк все зазоры.

На платформу пресса устанавливаются бытовые напольные весы, на них укладывается брусок дерева толщиной не менее 12 мм с площадью, большей площади торца пружины. На него устанавливается пружина. На верхний торец пружины укладывается второй брусок дерева. Сначала измеряется длина пружин в свободном состоянии. Посл этого с помощью пресса пр жина сжимается на опред ленную величину, наприме 30 мм. Снимите показания в сов и вычислите жёсткост например - если показани весов 80 кг, то 80 кг/3 см 26,7 кг/см. Если ваш пре оборудован манометром, результаты измерений в это случае будут точнее и нет н жды в использовании весов.

ВНИМАНИЕ: при сжат пружины следите за нагру кой. Не превышайте нагруз выше той величины, на кот рую рассчитаны весы.



Определение жесткости пружины с помощью пресса, линейки и весов. Пружина сжата на 30 мм, по весам определяется нагрузка. "X" и "Y" - деревянные проставки.

Если до сжатия пружины на 30 мм шкалы весов не хватает, сжимайте пружину до 15 мм. Конечно, описанный метод измерения жесткости далек от идеала, но все же точность определения жесткости пружины вполне приемлема. Если позволяет шкала весов, можно определить жесткость при нескольких состояниях сжатия пружины (определить линейность или наоборот, нелинейность характеристики пружины).

Так в Англии принята маркировка жесткости пружин, определяемая при сжатии на 1 дюйм. Например, если на пружине указано число 180, это значит что для сжатия пружины на 1 дюйм (25,4 мм) потребуется приложить усилие в 180 фунтов (около 80 кг).

Примечание переводчика: в России принята метрическая система мер. Если Вы пользуетесь запасными частями, изготовленными по имперской системе мер (дюймы и фунты), придется заниматься арифметикой для перевода одних мер в другие. Всегда обращайте внимание на единицы измерений.

Дюймы × 25,4 = миллиметры

Миллиметры × 0,0394 = дюймы

Фунты × 0,454 = килограммы

Килограммы × 2,205 = фунты

ПОДРЕССОРЕННЫЕ И НЕПОДРЕССОРЕННЫЕ МАССЫ

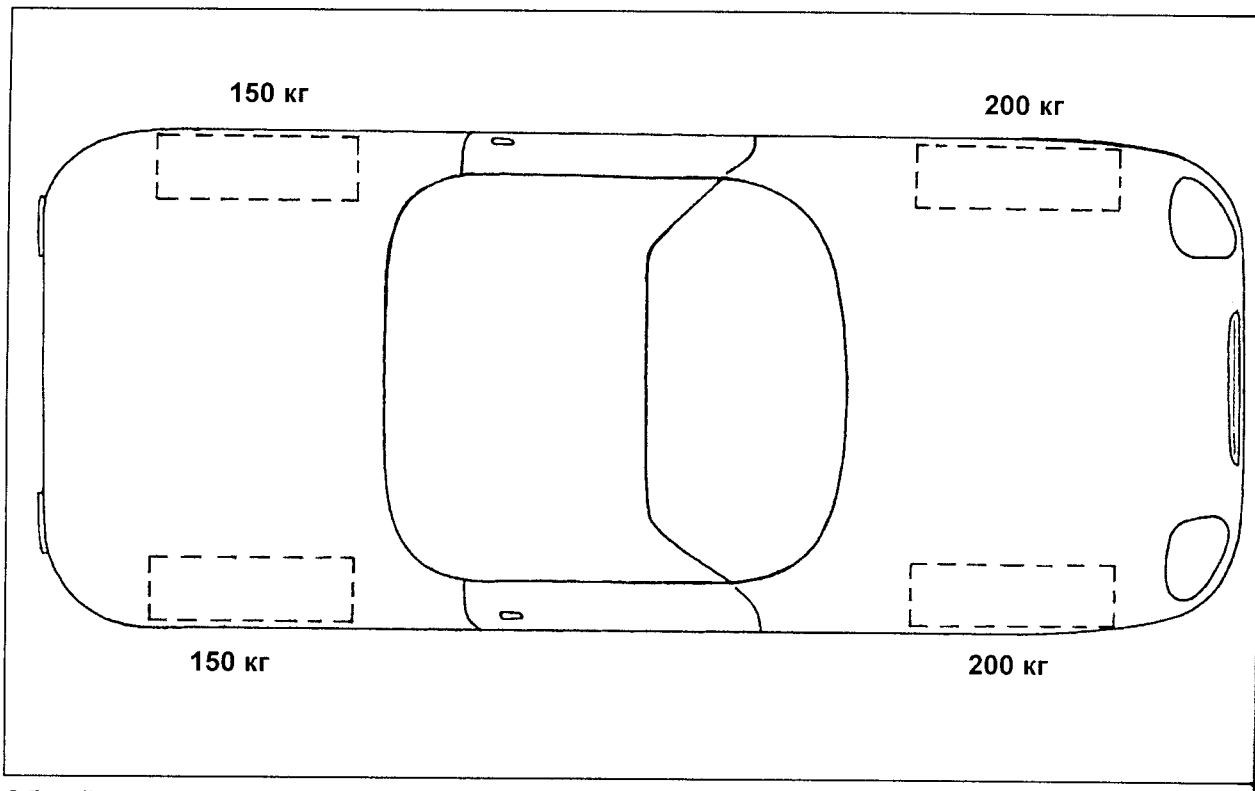
Каждый автомобиль имеет общую подрессоренную массу, которая распределяется по отдельным колесам автомобиля. На колеса одного моста вес должен быть распределен поровну. Вес, приходящийся на передний и задний мосты, конечно, может быть разным. В статике распределение веса на колеса пропорционально общей массе автомобиля. В данной книге описываются базовые методы распределения веса по отдельным колесам.

Для прояснения ситуации общий вес автомобиля разбивается на подрессоренную и неподрессоренную массу. К неподрессоренным массам относятся колеса, тормозные суппорты, колесные ступицы, оси ступиц, часть поперечных рычагов подвески, пружины и амортизаторы подвески, балка заднего моста зависимой подвески, часть приводных валов.

Заметим, что нет необходимости знать абсолютное значение подрессоренной и неподрессоренной массы. Точные регулировки распределения веса могут быть проведены в относительных единицах, хотя часто используют и абсолютные шкалы. Методы регулировок, описанные в данной книге, не требуют знания абсолютного веса автомобиля, при желании каждый может ввести абсолютные величины в своих собственных целях.

АМОРТИЗАТОРЫ

Амортизаторы предназначены для гашения колебаний кузова и колёс автомобиля, путём перевода механической



Общий вес автомобиля 880 кг. 400 кг неподрессоренной массы действует на передний мост 300 кг на задний. Далее вес распределяется поровну между колесами одного моста, т.е. на к ждое переднее колесо приходится 200 кг, на каждое заднее 150 кг. Компоненты неподресс ренных масс в сумме составляют 180 кг. Подрессоренная масса никогда не равна полной ма се автомобиля.

энергии колебаний в тепловую (в настоящее время за счёт жидкостного трения). Ход амортизатора всегда должен слегка превышать полный ход подвески.

При выбранной высоте подвески амортизатор в статике должен находится в середине полного хода. Это делается по понятным причинам: амортизатор должен иметь равные хода отбоя и сжатия в соответствии с ходами подвески. При покупке амортизаторов всегда проверяйте соответствие его хода Вашим требованиям. Если имеющийся амортизатор в статике находится не на середине хода (при правильной геометрии подвески), нужно соответствующим образом переместить верхнюю или нижнюю опоры амортизатора, как это сделать, решается отдельно в каждом конкретном случае.

Все примеры, приводимые в данной книге, относятся к телескопическим амортизаторам, но, как уже отмечалось, назначение любого типа амортизатора одно и то же, поэтому все рассуждения будут верны и для других типов амортизаторов.

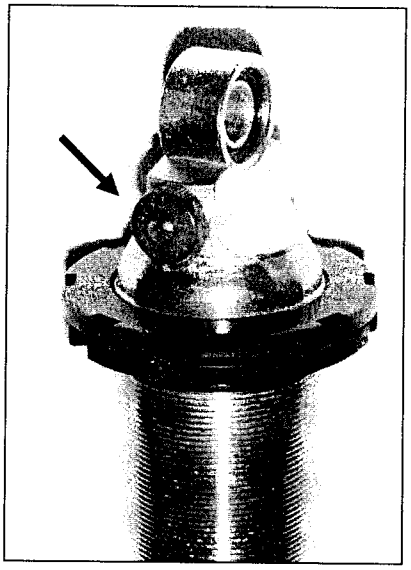
При жестких амортизаторах машина не будет управляться так хорошо, как она может, поскольку колеса не будут отслеживать профиль дороги, а вы будете чувствовать каждую кочку. Между слишком большой и слишком малой степенью демпфирования лежит очень узкая зона золотой середины. Амортизаторы управляют скоростью изменения положения кузова (например, креном), но полностью это перемещение не устраняют, чаще встречаются случаи отсутствия управления. Многие типы амортизаторов не имеют регулировок и часто слишком мягкие для у тановки на спортивный авт мобиль.

Амортизаторы устанавл ваемые на большинство спо тивных автомобилей, име простой узел регулировки х рактеристики, например ре лировочный винт. В кажд случае изготовитель аморти тора приводит инструкцию проведению регулировок х рактеристик демпфирования.

Если амортизатор име регулировки, сначала устан вите минимальное сопроти ление перемещению што для обеспечения наибол плавного движения автомоб ля с наилучшими характер стиками управляемости. Уст новите все четыре аморти тора с минимальным сопр тивлением. Проверьте со ветствие хода амортизато ходу подвески и проведи тестовые заезды. Затем уст

новите у всех амортизаторов средние регулировки жесткости: подвеска должна стать заметно жестче, но еще не переходить за точку отсутствия комфортности. Крен кузова также становится заметно слабее. Наконец, установите максимальную жесткость всех амортизаторов: подвеска станет очень жесткой с очень незначительными перемещениями, езда становится некомфортной. После проведения всех трех тестов, Вы определите влияние каждой регулировки амортизаторов. Затем, в зависимости от назначения автомобиля и стиля вождения, понемногу уменьшают сопротивление амортизатора до нужной величины.

Если установить слишком мягкие амортизаторы, автомобиль будет иметь тенденцию к увеличению крена (видимые наклоны кузова) в поворотах и повышенные хода подвески при движении по дороге со средним уровнем неровностей. В этом случае амортизаторы не управляют работой пружин подвески, для возвращения контроля над подвеской нужно увеличить сопротивление амортизаторов. Регулировки амортизаторов должны обеспечить минимальное, но достаточное



Регулировочный винт амортизатора.

для управления подвеской во всех ситуациях, сопротивление перемещению штока. Настройки амортизаторов по осям автомобиля могут быть разными, но регулировки на одной оси **всегда должны быть одинаковыми**. Итак, на спортивный автомобиль должны быть установлены амортизаторы с минимально достаточной величиной сопротивления для демпфирования действия пружин подвески. Слишком маленькое сопротивление амортизаторов приводит к нестабильному поведению автомобиля и слишком большим ходам подвески. Никогда не устанавливайте амортизаторы с такой жесткостью, при которой колеса перестают отслеживать профиль дороги: на колеса действует меньшая прижимная сила и, что еще хуже, может возникнуть полная потеря контакта колеса с дорогой. В этом случае совершенно необходимо уменьшить жесткость регулировок.

Для обеспечения наилучшей управляемости все колеса автомобиля должны иметь постоянный контакт с дорогой (что не всегда достижимо) и колеса должны занимать правильное положение относительно дороги во всех ситуациях.

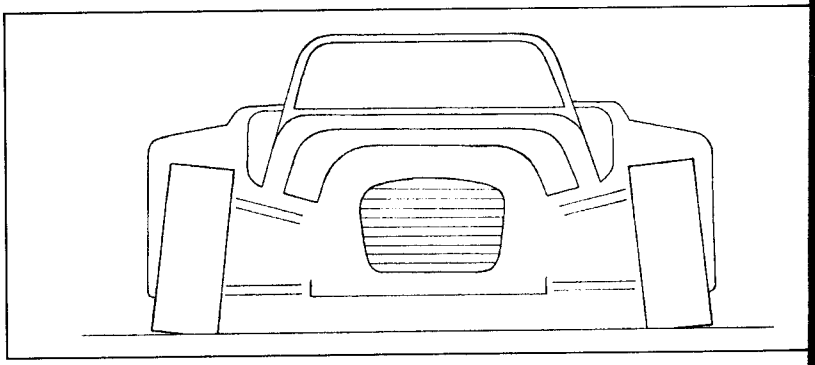
Если на автомобиле установлены слишком мягкие пружины подвески, иногда делаются попытки компенсации недостатка жесткости пружин установкой жестких амортизаторов. Это может привести к плохому прохождению затяжных поворотов большого радиуса с нарастанием крена из-за медленного сжатия амортизаторов. В таких ситуациях основным параметром регулировки является жесткость пружины, но не характеристика амортизатора.

Глава 5
Развал, продольный и поперечный угол наклона оси поворота

ОТРИЦАТЕЛЬНЫЙ РАЗВАЛ (CAMBER)

Почти на всех спортивных автомобилях передние колеса устанавливаются с отрицательным развалом, вопрос только в том, какой величины установить этот развал. Часто скоростные машины выполняются с большим отрицательным развалом, потому что предполагается, что это помогает улучшить управляемость, особенно при прохождении поворотов. Отрицательный развал, обеспечиваемый передней подвеской, улучшает положение одного колеса относительно дороги. Это может быть левое переднее колесо в правом повороте или правое колесо в левом повороте. На это колесо приходится большая динамическая нагрузка, поэтому важно правильно установить развал для обеспечения правильно положение колеса относитель но дороги.

Итак, правильная устано ка высоконагруженного пере него колеса очень важная з дача. В качестве основной иде

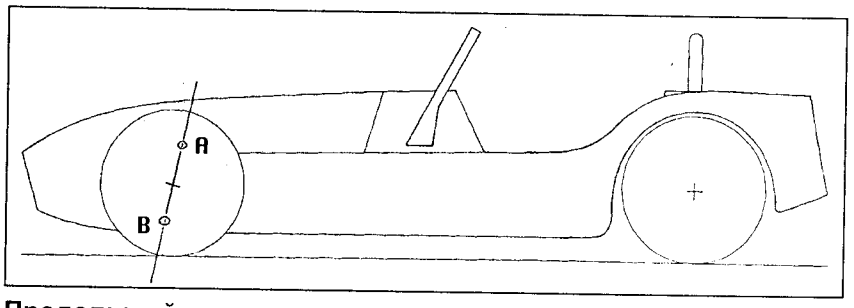


Автомобиль с излишним отрицательным развалом при то можении.

установки колеса возьмем экстремальный случай (к несчастью, встречающийся на некоторых автомобилях ранних поколений). Будем рассматривать поведение правого переднего колеса в левом повороте. Геометрия подвески обеспечивает положительный развал передних колес до 5...7 градусов. При скоростном прохождении поворота шины выглядят так, как будто они хотят сойти с диска и автомобиль явно плохо управляется. Достаточно сказать, что некоторые изменения в геометрии подвески (увеличение продольного наклона оси поворота для обеспечения динамического отрицательного развала, увеличение статического отрицательного развала, установка более жестких пружин подвески для снижения крена кузова, уменьшение высоты подвески, изменение положения рычагов подвески и т.д. и т.п.) приведут к совершенно другому поведению того же автомобиля движущемся с той же скоростью в том же повороте. Автомобиль можно сделать полностью управляемым, особенно в сравнении с первоначальной версией.

Многие спортивные автомобили с большим отрицательным развалом (до 2,5...3,5 градусов) не всегда имеют хорошие характеристики управляемости и имеют очень быстрый износ внутреннего края шины. Часто такие машины проявляют недостаточную поворачиваемость. Причина лежит в том, что при слишком большом угле развала передних колес пятно контакта шины с дорогой нагруженного колеса уменьшается тем больше, чем сильнее повернуто колесо. Этот эффект более выражен на легких автомобилях с очень широкими шинами.

Рассмотрим поведение автомобиля при тяжелом торможении. Передняя часть автомобиля "ныряет" и в подвеске



Продольный наклон оси поворота переднего колеса. "A" и "B" - центры шаровых шарниров поворотного кулака. Точка "B" всегда располагается спереди центра колеса, точка "A" позади центра колеса.

практически всегда возникает добавочный отрицательный развал. Итак, при торможении Вам нужно иметь максимальное пятно контакта шины с дорогой. Для обеспечения максимальной эффективности торможения колеса должны быть расположены как можно ближе к вертикали, без какого-либо развала и схождения (на практике это реализовать никогда не удается).

Считается, что наиболее приемлемый статический отрицательный развал колеса должен лежать в пределах 0,5...1,5 градуса. Следует избегать установки отрицательного развала более 1,5 градусов.

ПРОДОЛЬНЫЙ НАКЛОН ОСИ ПОВОРОТА (CASTOR)

Продольный наклон оси поворота колеса определяется как угол между вертикалью, восстановленной из точки контакта колеса с дорогой, и линией, соединяющей центры шаровых шарниров поворотного кулака (колесной ступицы). Продольный наклон оси поворота приводит к изменению развала колес при повороте колеса влево и вправо от положения прямолинейного движения.

Например, при повороте влево правое переднее колесо приобретает дополнительный отрицательный развал в то время, как левое колесо теряет отрицательный развал (движение в сторону положительного развала). Оба передних колеса должны иметь одинаковый статический наклон оси поворота. Чем больше продольный наклон оси поворота, тем в большей степени будет изменяться развал колес при повороте.

Для улучшения положения колес относительно дороги при прохождении поворотов угол продольного наклона оси поворота может быть изменен. Если автомобиль имеет большой статический отрицательный развал (больше 2...3 градусов), нельзя изменить продольный наклон оси поворота так, чтобы еще больше увеличить отрицательный развал в повороте (речь, как Вы помните, идет только о правом переднем колесе в левом повороте). Противоположное колесо в любом случае будет терять отрицательный развал, но очень редко получается нулевой и практически никогда положительный развал. В основном внутреннее (по отношению к повороту) колесо изменяет развал не так, как бы хотелось. Большой статический отрицательный развал обычно устанавливают там, где трудно увеличить продольный наклон оси поворота, обеспечивающий достаточный динамический развал при прохождении тяжелых поворотов.

Когда на автомобиле для прохождения поворотов устанавливают слишком большой отрицательный угол развала, внешний край шины редко подвергается заметному износу, в то время как внутренний край изнашивается значительно. Шина изнашивается очень быстро и почти всегда по внутреннему краю обоих колес износ неравномерный.

Регулировки подвески, ведущие к увеличению динамического отрицательного развала, могут привести к недостаточной поворачиваемости в резких поворотах (недостаточная поворачиваемость слабее проявляется в длинных пологих поворотах). Нужно проделать настроечные работы (конечно, на каждом автомобиле по разному) в области регулировки характеристик подвески, которые обеспечат наилучшую управляемость автомобиля.

Считается, что наиболее выгодный диапазон продольного наклона оси поворота составляет 3...8 градусов. Начальный установочный угол продольного наклона должен быть равен 3...4 градуса, но должна быть обеспечена возможность его регулировок с шагом в 1 градус до максимальной (8 градусов) величины. Угол продольного наклона увеличивают, если при прохождении тяжелых поворотов возникает положительный развал внешнего (по отношению к повороту) колеса. Для низкоскоростных автомобилей угол продольного наклона должен укладываться в диапазон 2...7 градусов.

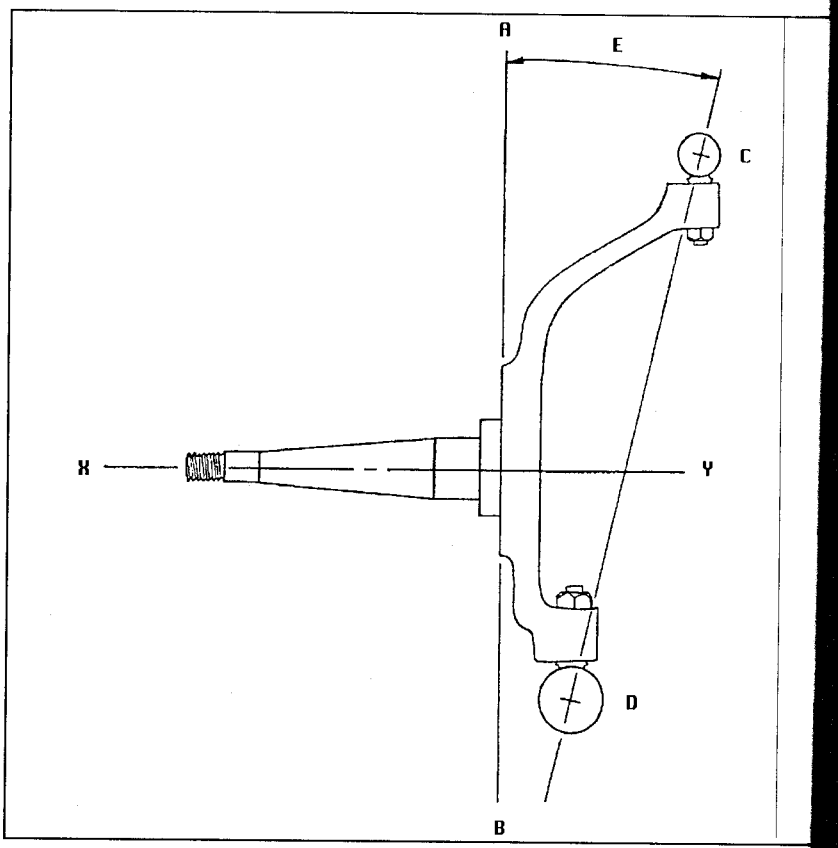
ПОПЕРЕЧНЫЙ НАКЛОН ОСИ ПОВОРОТА (KPI)

Современные автомобили не имеют реального шкворня, вокруг которого поворачивается управляемое колесо. Однако принцип шкворня в подвеске все равно остается. Поперечный наклон оси поворота (шкворня) представляется линией, соединяющей центры шаровых шарниров. Угол поперечного наклона определяется между этой линией и осью, перпендикулярной оси вращения колеса.

Линия, проходящая через центры шарниров ступицы, пересекается с поверхностью дороги в некоторой точке, более или менее отстоящей от центра пятна контакта. Это расстояние (плечо обкатки) довольно важный показатель.

Обычно точка пересечения лежит внутри пятна контакта и колесные диски имеют большой положительный вылет. При изменении колеи колес с помощью проставок или применения диска специальной конструкции, ситуация меняется в сторону ухудшения положения.

Примечание редакции: вылетом колесного диска называется расстояние между плоскостью симметрии колеса и плоскостью его крепления. Различают положительный и отрицательный вылет. Вылет считается положительным если плоскость крепления находится между внешней стороной колеса и плоскостью его симметрии. При отрицательном вылете плоскость крепления расположена между плоскостью симметрии колеса и его внутренней стороной. Термин "offset" означает наличие отрицательного вылета, а "in-set" означает наличие положительного вылета, у нас же принято называть и положительный и отрицательный вылет термином "оффсет"

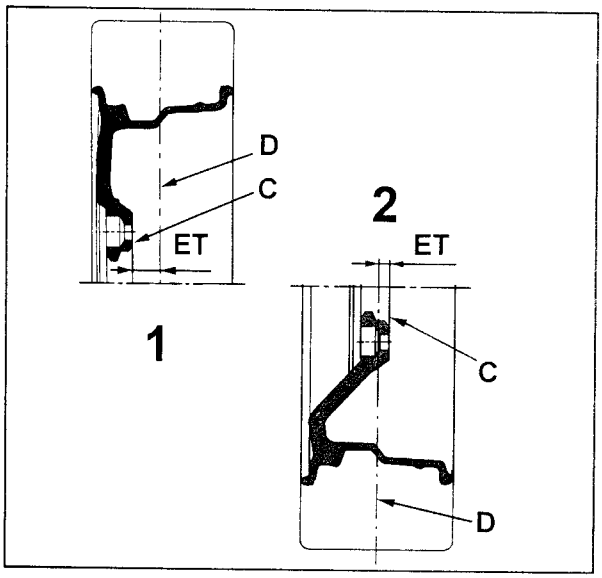


Ось вращения колеса "X-Y" и плоскость крепления коле "A-B", перпендикулярная оси вращения. Линия "C-D" соедин ет центры шаровых опор ступицы. "E" обозначен угол поп речного наклона оси поворота колеса (KPI).

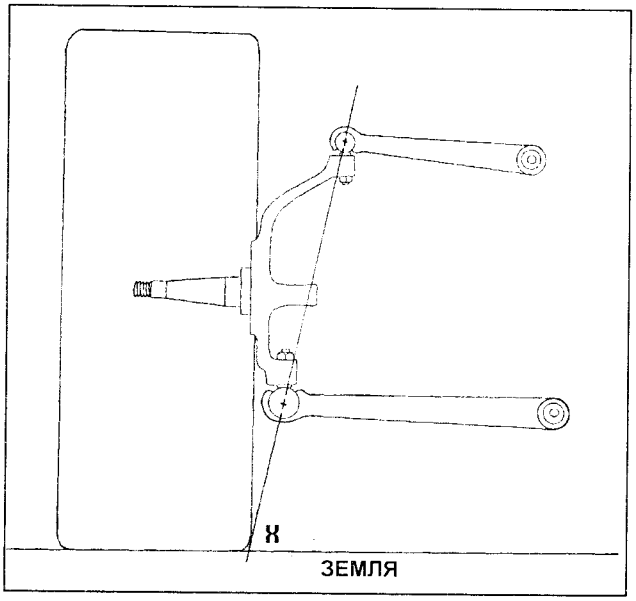
что вносит путаницу в терминологию. Далее по тексту мы будем указывать какой именно - положительный или отрицательный вылет имеется ввиду.

Оптимальный угол поперечного наклона оси поворота лежит в диапазоне 9...12 градусов, предпочтительнее устанавливать его равным 10 градусам. Обычно изменить угол поперечного наклона бывает невозможно, хотя его эффективная величина может быть изменена (в определенных пределах) установкой соответствующего отрицательного развала.

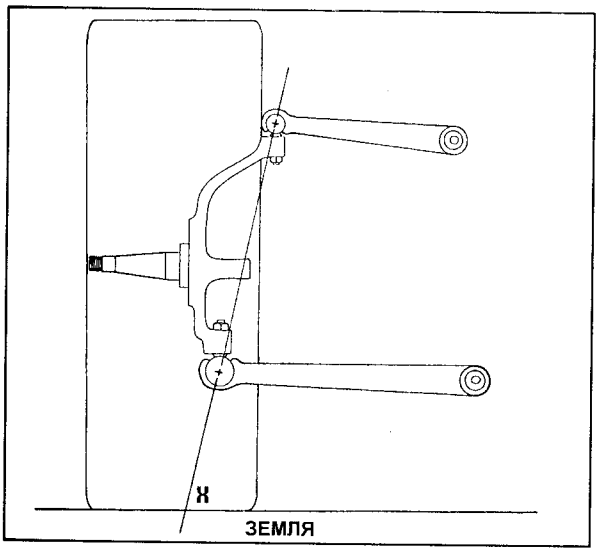
В массовом производстве автомобилей колеса устанавливают с погружением внутрь кузова (положительный вылет). При этом руководствуются главным принципом создания плеча обкатки: точка пересечения оси поворота колеса должна быть внутри пятна контакта колеса с дорогой и внутри колесной колеи. При создании спортивных автомобилей ино-



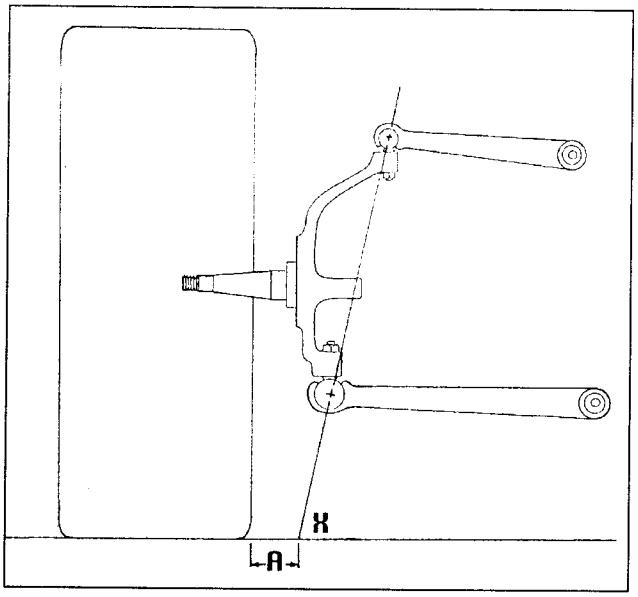
Вылет колёсного диска (ET) - расстояние между плоскостью симметрии колеса (D) и плоскостью его крепления (C). 1 - положительный вылет (плоскость крепления (C) находится между внешней стороной колеса и плоскостью его симметрии (D)), 2 - отрицательный вылет (плоскость крепления (C) расположена между плоскостью симметрии колеса (D) и его внутренней стороной.)



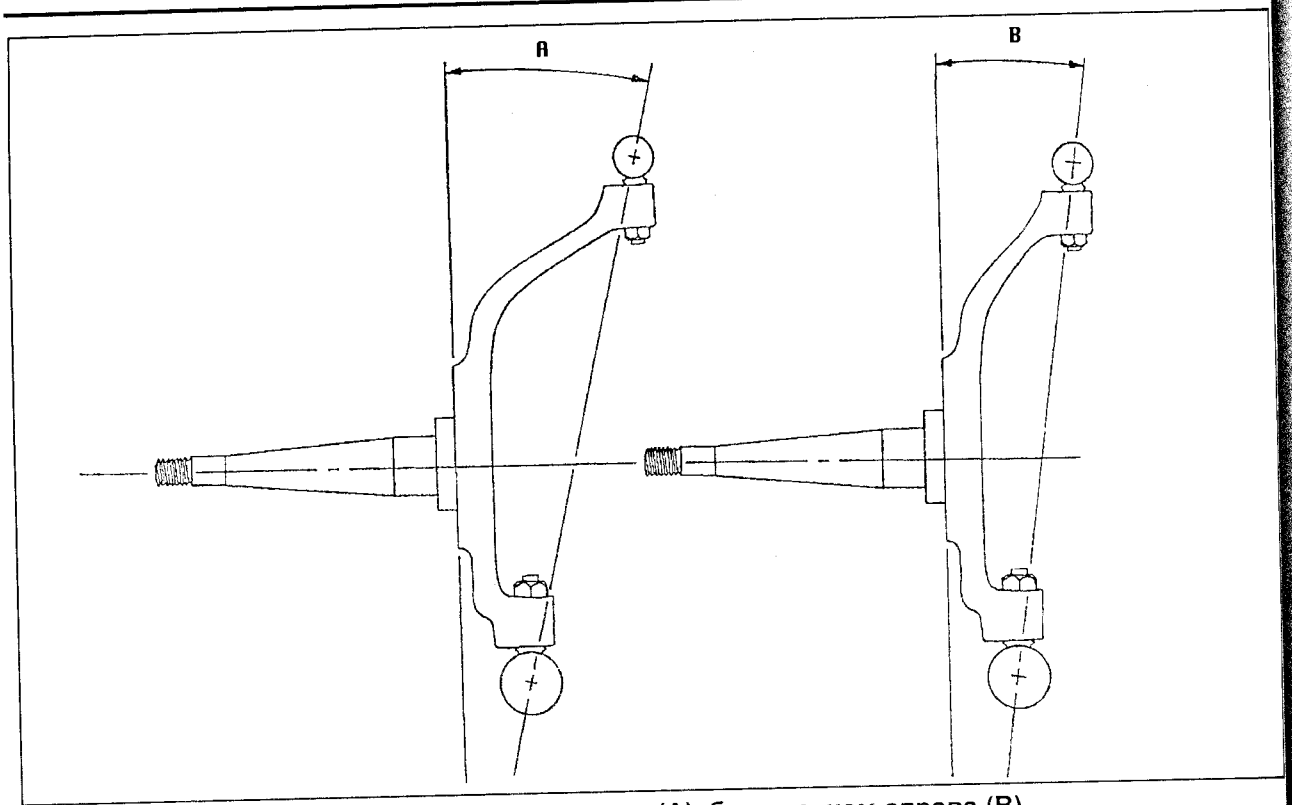
Точка "X" пересечения оси поворота колеса расположена по краю пятна контакта (допустимый случай).



Точка "X" пересечения оси поворота колеса с дорогой (нормальный случай).



Точка "X" пересечения оси поворота колеса расположена далеко от пятна контакта. Автомобиль в некоторых ситуациях становиться нестабильным в управлении. Расстояние "A" не должно превышать 25 мм.



Угол поперечного наклона оси поворота слева (А), больше, чем справа (В).

гда устанавливают колеса с большим отрицательным вылетом только на том основании, что "это лучше выглядит", часто не задумываясь о вреде, нанесенном управляемости.

Иметь широкую колею колес хорошо до определенных пределов и уж, конечно, не в ущерб геометрии подвески.

Установим диски с таким отрицательным вылетом (или проставки соответствующей толщины), чтобы колесо отодвинулось от ступицы на 75 мм, а правое - вправо). Это приводит к возникновению опрокидывающего момента относительного положения колес и их оси поворота.

Чем ближе точка пересечения поперечной оси поворота располагается относительно центра пятна контакта (уменьшение плеча обкатки), тем меньше действие вредного опрокидывающего момента и наоборот.

Рассмотрим другой случай. Пусть колесо с большим отри-

опускается. Так, если автомобиль поворачивает влево, левое переднее колесо стремится приподнять левую сторону кузова, правое колесо стремиться опустить эту сторону автомобиля. Чем больше отрицательным вылет, тем более выражена указанная тенденция (принудительное изменение геометрии кузова).

На многие автомобили устанавливаются колёса с большим отрицательным вылетом, но следует рассматривать только те случаи, в которых это при-

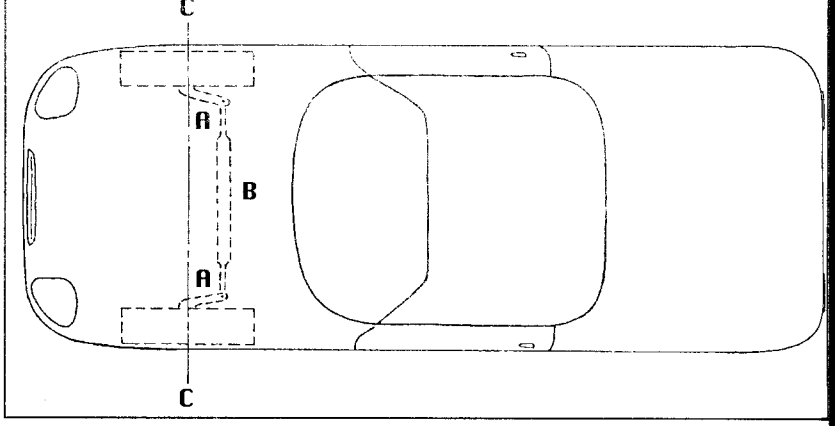
Глава 6

Углы Аккермана, схождение колес, "ударное управление" и стабилизаторы поперечной устойчивости

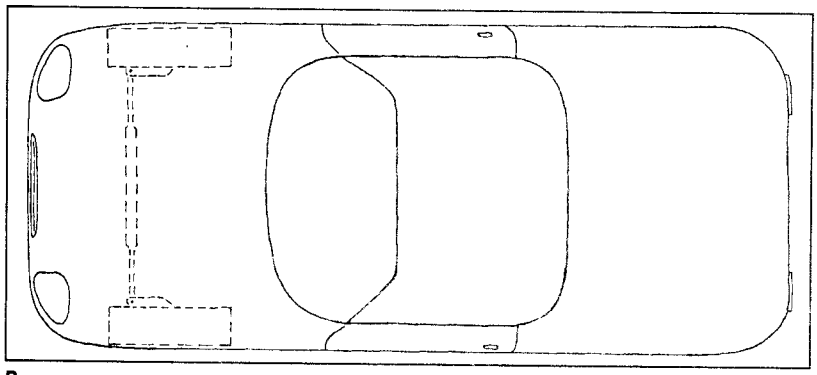
УГЛЫ АККЕРМАНА (РУЛЕВОЙ ТРАПЕЦИИ)

В повороте внутреннее колесо катится по траектории с меньшим радиусом, чем внешнее. Для компенсации этого эффекта применяются два основных способа, обеспечивающих больший поворот внутреннего колеса, чем внешнего.

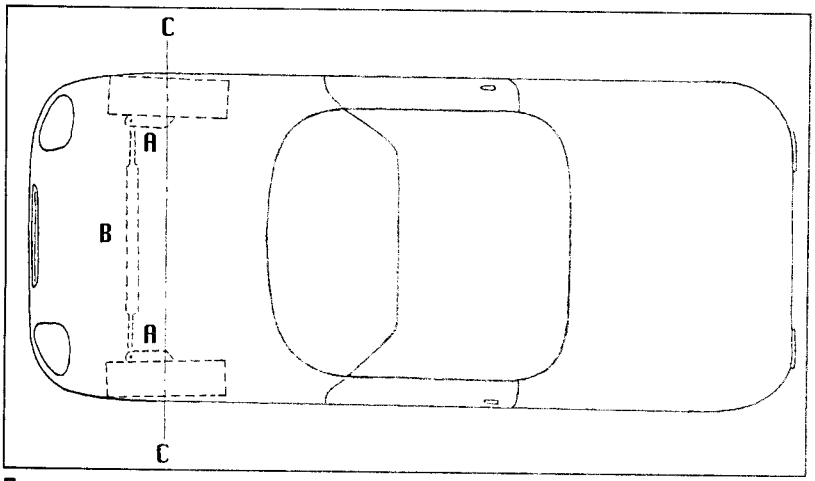
В первом случае в систему подвески/рулевого управления вводится геометрия Аккермана (рулевая трапеция). Почти всегда это означает, что рулевые тяги устанавливаются за осью, соединяющей центры колес. Основным преимуществом установки рулевой трапеции является то, что при рычагах трапеции, наклоненных внутрь колеи, при повороте колес осуществляется автоматическое увеличение угла поворота внутреннего колеса по отношению к внешнему, поскольку рулевой рычаг внутреннего колеса уже прошел положение мак



Рычаги "A" рулевой трапеции наклонены внутрь колеи. Рулевая рейка "B" располагается за центрами колес "C-C".



Рулевая трапеция расположена перед центрами колес. Рычаги рулевой трапеции наклонены из колеи. Геометрически разницы в конструкциях, приведенных здесь и на предыдущем рисунке, нет.



Переднерасположенная рулевая рейка с отрицательным развалом передних колес.

симального эффективного удлинения, в то время как рычаг внешнего колеса еще нет.

Разница в эффективной длине рычагов рулевой трапеции и обеспечивает разность углов поворота колес. Если рулевая трапеция устанавливается спереди центров колес, то ее рычаги должны быть направлены из колеи автомобиля.

Практически геометрия рулевой трапеции в обоих случаях одинакова. Ограничением применимости второго типа трапеции (с передними рычагами) является контакт с колесным диском.

Поворотный кулак в основном изготавливается совместно с рулевым рычагом. На машинах старых типов рулевой рычаг был съемным, сейчас такой вариант конструкции практически не применяется. Если рычаг съемный, для изменения углов рулевой трапеции можно установить другой рычаг. Рулевые рычаги должны изготавливаться из высокопрочной стали и пройти проверку на соответствие местным законодательным требованиям.

ВНИМАНИЕ: рулевые рычаги можно отрезать от ступицы и приварить новые или нагреть и согнуть имеющиеся. Однако это потенциально опасно, мы не рекомендуем проводить такие операции, кроме того, это может быть незаконно с точки зрения местного законодательства (правил дорожного движения).

Второй путь изменения углов поворота в установке отрицательного схождения колес, но не более чем на 2,5 мм. В этом случае внутреннее колесо будет фактически повернуто на больший угол, чем внешнее.

Внешнее (по отношению к повороту) колесо всегда более нагружено и является в этой ситуации управляющим колесом. Вне зависимости от угла поворота внешнего колеса внутреннее колесо, благодаря отрицательному схождению, всегда имеет больший угол поворота. Метод коррекции с помощью отрицательного схождения главным образом применяется при установке рулевых рычагов перед центрами управляемых колес.

Если какое-либо колесо поворачивается на угол, меньший, чем требуется в идеальной ситуации, колеса начнут "тащить" друг друга, что приводит к недостаточной поворачиваемости. При наличии недостаточной поворачиваемости автомобиль вместо того, чтобы начать поворот, продолжает двигаться по прямой и водитель чувствует, что автомобиль неадекватно отвечает на движение рулем. Это вынуждает поворачивать руль больше, чем требуется или, для компенсации возникшего эффекта, снизить скорость похождения поворота (если, конечно, не вмешаться в подвеску с точки зрения улучшения управляемости).

Как правило, спортивные автомобили оборудуются рулевой трапецией для предотвращения эффекта недостаточной поворачиваемости и быстрого отклика автомобиля на движение рулевого колеса. При нормальных траекториях движения управляемые колеса поворачиваются относительно положения прямолинейного движения на небольшой угол (обычно не более 20 градусов).

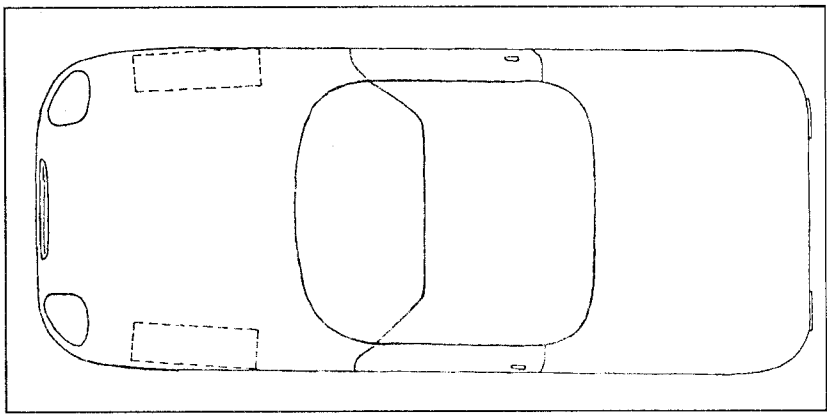
ПОЛОЖИТЕЛЬНОЕ СХОЖДЕНИЕ (TOE-IN)

Под положительным схождением понимают установку колес одной оси под углом к центральной оси автомобиля. Вершина угла установки колес при положительном схождении направлена вперед. При независимой задней подвеске колеса задней оси всегда устанавливают с положительным схождением. На передней оси колеса могут быть установлены как с положительным, так и с отрицательным схождением (обычно на переднеприводных автомобилях). Величина положительного схождения ведомых колес устанавливается в диапазоне 1,5...3,2 мм.

При установке рулевой рейки перед осью центров колес о положительном схождении речи быть не может, в этом случает колеса получают отрицательное схождение в диапазоне 0...2 мм.

Если рулевые рычаги устанавливаются за центрами колес (и с применением реальной рулевой трапеции) устанавливают положительное схождение в диапазоне 0...1 мм или, при недостаточной поворачиваемости, устанавливается отрицательное схождение до 2 мм максимум.

Одной из причин применения положительного схождения на заднеприводных автомобилях является способность автомобиля поддерживать заданную траекторию движения (курсовая устойчивость). Если на автомобиле установлено положительное схождение колес, то он имеет этот стабилизирующий эффект, и при применении рулевой трапеции в повороте внутреннее (по отношению к повороту) колесо будет повернуто слегка больше, чем внешнее. Данное обстоятельство показывает преимущество установки рулевой трапеции за центрами колес. Однако, применить такое техническое решение не всегда просто на спортивном автомобиле.

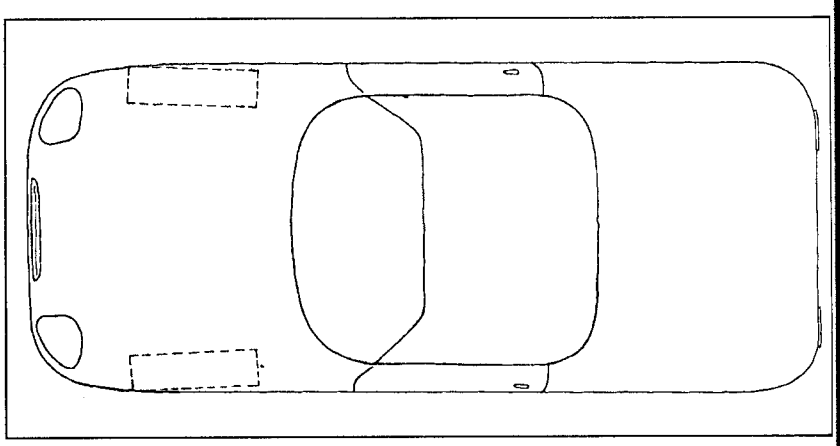


Положительное схождение передних колес.

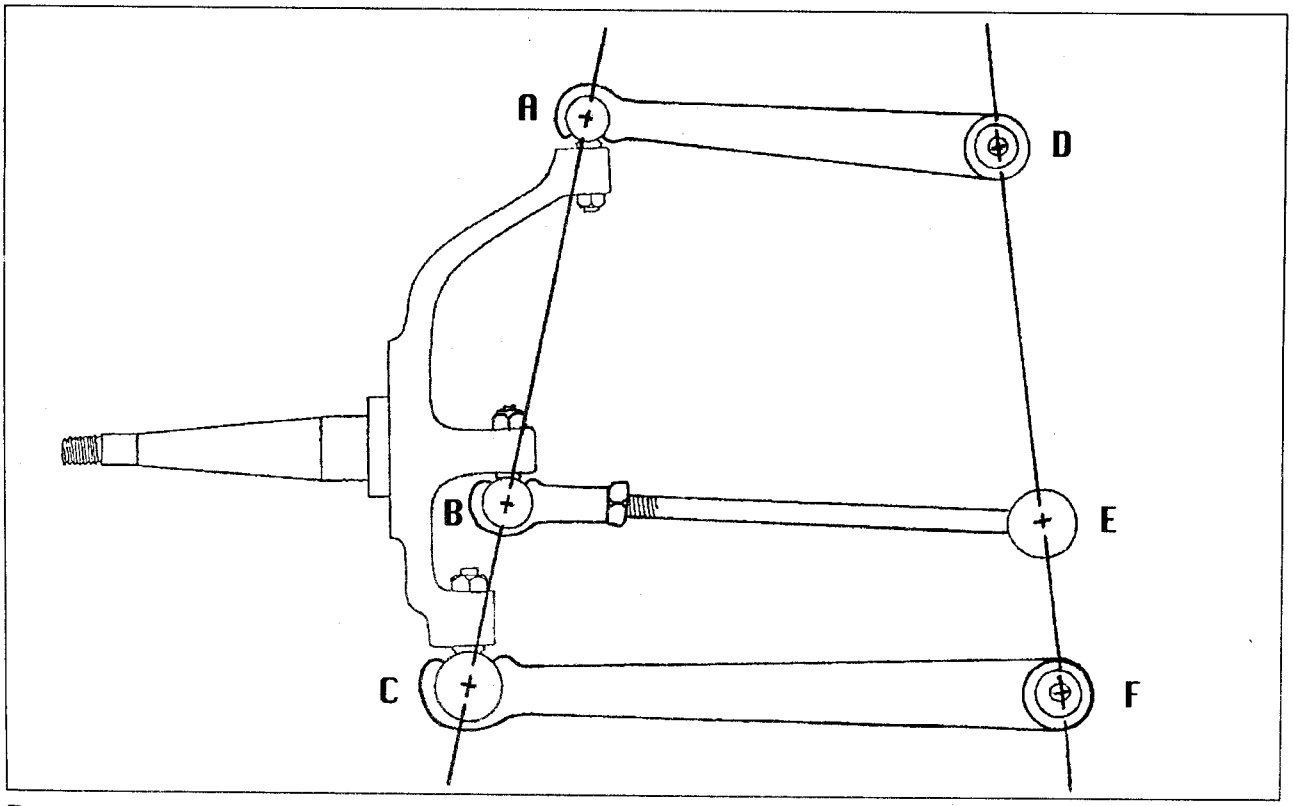
Положительное схождение колес может стать причиной недостаточной поворачиваемости автомобиля из-за эффекта "борьбы" колес при неудовлетворительном изменении углов поворота внешнего и внутреннего колес. Причем на низких скоростях такое положение вещей может быть не заметно, но эффект будет нарастать с увеличением скорости. Положительное схождение передних колес является стандартом для серийных заднеприводных автомобилей. Настройка заднеприводного автомобиля на отрицательное схождение является общим способом увеличения эффективности прохождения поворотов, но она может дать и обратный эффект: автомобиль может повести себя нестабильно, особенно при тяжелом торможении.

ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ СХОЖДЕНИЕ

Установка отрицательного схождения передних колес является часто применяемым способом, чтобы добиться изменения углов поворота колёс. Если внутреннее (по отношению к повороту) колесо повернуто меньше или по крайней мере так же, как внешнее, автомобиль может приобрести недостаточную поворачиваемость. Предельная величина отрицательного схождения ограничена примерно 3,5 мм.



Отрицательное схождение передних колес.



Положение центра "B" шарнира рулевой тяги определяется положением рулевой рейки на шасси. Расположение центров шарниров рычагов подвески и рулевой тяги на поворотном кулаке (A-B-C) должно быть таким, как показано на рисунке. То же относится к положению центров шарниров (D-E-F) на шасси. Кроме того, оси "A-D", "B-E" и "C-F" должны быть параллельны (в плане).

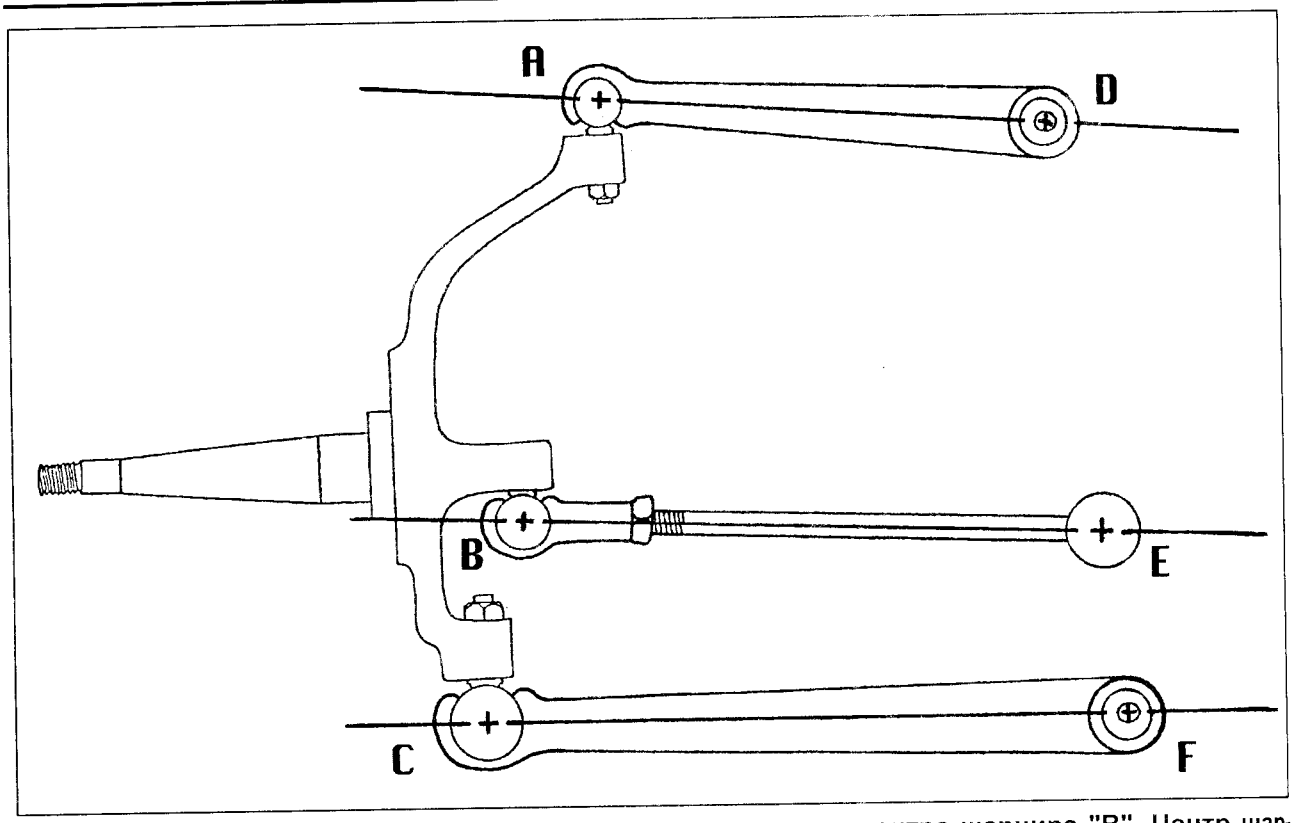
Проблемой при установке отрицательного схождения является устойчивость автомобиля при тяжелом торможении: в этом случае передние колеса имеют тенденцию к увеличению отрицательного схождения из-за податливости шарниров рулевого управления, автомобиль (даже при торможении на прямой) имеет нестабильность курса и, в худших случаях, начинает рыскать. К такому поведению автомобиля приводит установка отрицательного схождения передних колес более чем 3,5 мм (до этой величины схождение обычно не сказывается на курсовой устойчивости при торможении).

Если при тяжелом торможении автомобиль имеет плохую курсовую устойчивость, установите положительное схождение колес (примерно в 1,5 мм) и проверьте поведение автомобиля при тяжелом торможении при этой настройке. Если нестабильность курса исчезла, то причиной потери курсовой устойчивости был избыток отрицательного схождения колес. Затем установите нулевое схождение и снова проведите проверку курсовой устойчивости. Если автомобиль стал нестабильным при торможении, установите отрицательное схождение в 1,5 мм и проведите следующую проверку.

В результате тестов должна быть определена такая величина отрицательного схождения, которая обеспечивает надежность прохождения поворотов, но не приводит к потере курсовой устойчивости при тяжелом торможении.

Для обеспечения прохождения поворотов без проявления недостаточной поворачиваемости лучше избрать путь изменения геометрии рулевого привода, чем применять большие величины отрицательного схождения колес (более 3,5 мм). Изменение отрицательного развала только один из путей улучшения отклика автомобиля на поворот рулевого колеса. В идеальном случает схождение должно быть нулевым. Однако, на практике лучшие характеристики управляемости в поворотах показывает автомобиль с хорошо подобранным отрицательным схождением колес.

ВНИМАНИЕ: автомобили со слишком большим отрицательным схождением очень легко теряют курсовую устойчивость, особенно если водитель не будет внимателен на 100%.



Высота установки рулевой рейки определяется положением центра шарнира "B". Центр шарнира "E" не должен быть выше или ниже центра шарнира "B" более, чем на 1,5 мм. В противном случае "ударное управление" обеспечено.

"УДАРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ" (BUMP STEER)

Под "ударным управлением" понимается наличие ударов на рулевом колесе из-за изменении схождения колес относительно дороги при наезде колеса на неровности (бугры или впадины) покрытия. В идеальном случае "ударное управление" должно отсутствовать.

Причина "ударного управления" лежит в геометрических соотношениях положения рулевой рейки, длины рулевых тяг, точек крепления и центров шаровых шарниров рычагов подвески, длины рычагов подвески.

При рассмотрении "ударного управления" во внимание должно приниматься два соображения. Во-первых, это положение центра шарнира рулевой тяги на поворотном кулаке (определяет высоту установки рулевой рейки на шасси). Во вторых, положение рейки относительно точек крепления рычагов подвески.

Положение поворотного рычага на ступице определяет вариант установки рулевой рейки. Обычно рейка располагается позади оси колёс. Желательно, чтобы точки крепления рейки имели возможность регулировки по высоте (пусть и небольшие) для приспосабливания к изменению длины рулевых тяг при регулировке схождения колес. Например, для смены положительного схождения в 1,5 мм на отрицательное схождение в 2 мм рулевые тяги нужно немного укоротить и затем соответственно сменить положение рулевой рейки.

Рулевая рейка имеет с обоих концов шаровые шарниры. Расстояние между центрами шарниров является критическим фактором при проектировании и изготовлении подвески (определение точек крепления рычагов). Тип рулевой рейки должен быть выбран до принятия основных конструктивных решений по подвеске, если Вы не хотите неожиданно получить "ударное управление".

Потенциальную возможность наличия "ударного управления" очень легко проверить. Проверка проводится с каждой стороны подвески по отдельности. Перед автомобиля приподнимают на домкрате, передние колеса устанавливают в положение прямолинейного движения и затем их снимают. Для облегчения перемещений рычагов подвески нужно снять стойку (пружину и амортизатор) или только пружину подвески. По-

сле этого рычаги подвески можно перемещать на полный ход подвески относительно легко. Изменение схождения колес при изменении хода рычагов можно наблюдать визуально или измерять. Особенно удобно определять изменение схождения колес при установленных тормозных дисках. Если при смене хода подвески меняется схождение колес, то имеет место и "ударное управление".

"Ударное управление" можно устранить или снизить его влияние небольшими перемещениями рулевой рейки вверх или вниз в точках крепления (обычно для этих целей в кронштейнах крепления рейки выполняются овальные отверстия). Если рулевая рейка изначально установлена правильно и длины тяг рулевого управления выбраны корректно, то величина изменения положения рейки относительно шасси очень небольшая.

Если полностью устранить эффект "ударного управления" не удается, по крайней мере постарайтесь сделать так, чтобы при ходе сжатия подвески схождение шло в сторону положительной величины, а при ходе отбоя – в сторону отрицательной величины. При этом будет достигаться компромисс между "ударным управлением" и креном кузова при прохождении поворотов. Например, при прохождении левого поворота левое переднее колесо при ходе отбоя подвески приобретает отрицательное схождение, правое же колесо не имеет нежелательной тенденции к положительному схождению, поскольку пружины не успевают полностью отслеживать ход подвески. Таким образом, "ударное управление" (естественно, незначительное) может на Вас поработать.

СТАБИЛИЗАТОР ПОПЕРЕЧНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Современные спортивные автомобили имеют довольно низкую высоту подвески и низкое расположение центра тяжести. Соответственно, крен кузова у них обычно еле заметен. Однако, даже у автомобилей с низкой посадкой, крен кузова остается проблемой, поскольку водителям нравиться проходить повороты без кренов, на высокой скорости и с полной управляемостью автомобиля. В первом приближении для уменьшения крена кузова устанавливают пружины подвески большей жесткости. Для применения дополнительных стабилизаторов реально нет оснований, поскольку автомобиль обычно довольно легкий и с креном можно справиться только правильным выбором пружин. Главным аргументом против установки стабилизаторов является частичная потеря свойств независимой подвески колес, причем потеря тем больше, чем жестче стабилизатор.

Если автомобиль конструктивно имеет стабилизатор поперечной устойчивости (часто из-за того, что автомобиль-донор имеет такую конструкцию подвески), добавлять жесткости стабилизатору не надо, подберите жесткость пружин подвески. На автомобилях с высоким положением центра тяжести часто нет альтернативы стабилизатору или другим устройствам, снижающих крен кузова.

При установке стабилизатора можно применять относительно мягкие пружины подвески. Однако, нужно оставаться в границах хорошей управляемости креном при скоростном движении на извилистых дорогах. Стабилизатор изготавливается из пружинной стали и работает как пружина скручивания: чем больше крен автомобиля, тем сильнее сопротивление стабилизатора (естественно, в пределах прочности материала). Обычно стабилизатор задействуется при кренах кузова больше 3...4 градусов и предотвращает дальнейший рост крена, при этом стабилизатор работает только при движении в поворотах и по неровной дороге. Другими словами, при отсутствии стабилизатора из-за установки пружин средней или малой жесткости крен кузова может достигать величины 7 градусов и выше.

На автомобили с низким положением центра тяжести можно установить относительно мягкие пружины подвески и легкий стабилизатор, однако при торможении передняя часть автомобиля будет "нырять", если не применить специальную противоклевковую конструкцию подвески. Запомните, пружины передней подвески **всегда** должны быть достаточно жесткими для предотвращения излишних клевков кузова при торможении.

При установке стабилизатора нужно обеспечить его жесткость так, чтобы она была минимально необходима для предотвращения крена кузова или, по крайней мере, крен был в допустимых пределах (чем жестче стабилизатор, тем в большей степени теряется независимость подвески колес).

Нежесткие или изношенные опоры стабилизатора уменьшают эффективность работы стабилизатора, хотя в некоторых случаях это бывает и хорошо.

Глава 7
Задняя подвеска

ЗАВИСИМАЯ ПОДВЕСКА

Зависимая подвеска обычно рассматривается как простейший и самый дешёвый вариант. Хотя ничто не может отменить проблемы перемещения моста относительно кузова (что приводит к потере контакта колес при движении по неровной дороге), связываемые с зависимой подвеской, такой тип подвески в ряде случаев вполне приемлем. Причина широкого распространения зависимой задней подвески в ее простоте и хорошей адаптивности. Установка задней зависимой подвески на лёгких спортивных автомобилях или кит-карах даёт хорошие результаты при условии правильного монтажа, что может перевесить такие недостатки, как увеличение неподрессоренной массы и наличие зависимости движения задних колес. Со всеми известными ограничениями зависимая подвеска может работать весьма эффективно.

Установка балки моста

Наиболее употребительным способом установки балки заднего моста является применение четырех направляющих рычагов (равной или неравной длины) и тяги Панара для поперечной ориентации моста. Поперечная ориентация моста может быть обеспечена тягой Уатта или А-образным рычагом, однако тяга Панара проще и эффективнее, поскольку вертикальное перемещение заднего моста спортивных автомобилей относительно маленькие.

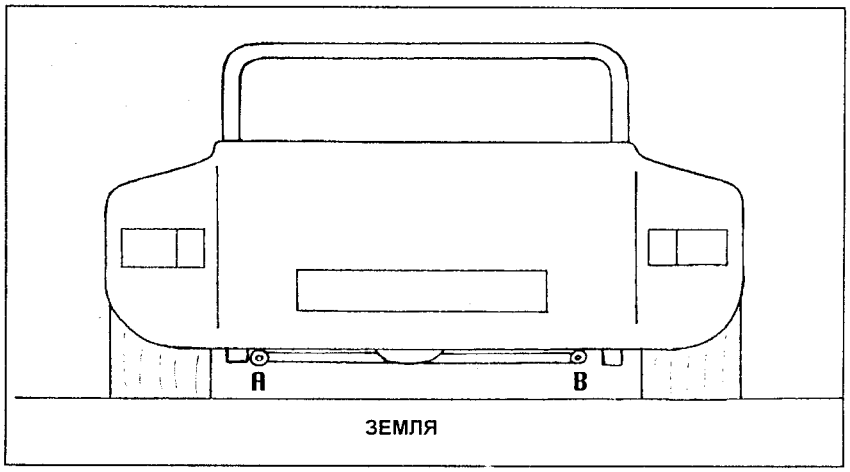
Направляющие рычаги подвески могут быть неравной длины, причем нижние рычаги выполняются длиннее верхних. Опять-таки из-за малых ходов подвески переделки конструкции рычагов не вызывают каких-либо проблем. Необходимость установки рычагов неравной длины диктуется требованиями конструкции шасси. Фактически длина рычагов мало влияет на перемещение моста при разгоне и торможении. Длина рычагов так же не имеет решающего значения (обычно 200...300 мм) и, если только они не абсурдно малы (75...100 мм), они не создают каких-либо проблем в обычной гоночной практике. Если автомобилю нужны большие хода подвески (свыше 150 мм), направляющие рычаги выполняются длиннее, в практике же кольцевых гонок хода подвески не превышают 100 мм.

Минимальная длина верхнего направляющего рычага составляет 200 мм, максимальная длина нижнего рычага

около 305 мм. Считается, что такое соотношение длин рычагов наиболее подходящее (допускается отклонение длины ± 25 мм).

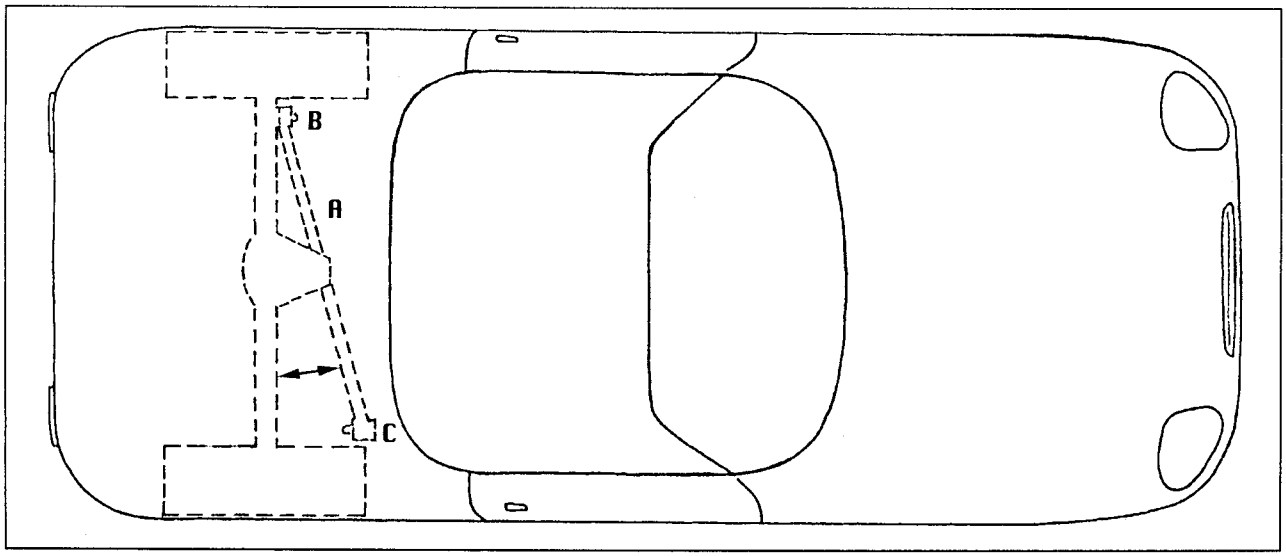
Когда направляющие рычаги задней подвески устанавливаются параллельно земле (при нормальной высоте подвески), изменение их эффективной длины при качании рычагов в обе стороны одинаково, тем более, что при малых ходах подвески (менее 100 мм) изменение эффективной длины рычагов незначительное.

В целом, для предотвращения излишнего перемещения моста вперед и назад, стараются иметь относительно длинные направляющие рычаги, устанавливаемые параллельно земле. Следует избегать одностороннего уменьшения колесной базы, возникающего при крене кузова или при движении автомобиля по неровной дороге: например, когда колесо идет по неровностям, очень короткие направляющие рычаги становятся причиной уменьшения колесной базы с одной стороны автомобиля (немного, но достаточно для потери курсовой устойчивости). При крене кузова колесная база изменяется с обеих сторон автомобиля в разных направлениях, что приводит к эффекту подруливания задних колес. В некоторых случаях, например при кольцевых гонках на грунтовом покрытии, этот эффект рассматривается как преимущество.



В идеальном случае тяга Панара должна устанавливаться параллельно земле. "A" - точка крепления тяги к мосту, "B" - к кузову.

Другим аспектом установки направляющих рычагов является способ их подвеса: на жестких шаровых шарнирах или упругих втулках. Нет ничего предосудительного в установке упругих втулок (из жесткой резины или другого подобного материала): они долговечны, легко заменяются и недороги. Шаровые шарниры, с другой стороны, позволяют точно отрегулировать длину рычагов и поддерживать их постоянную длину, но только до тех пор, пока шарнир не изношен. К недостаткам шаровых шарниров следует отнести быстрое их изнашивание и способность передавать шум и вибрацию. Наконец, шаровые соединения достаточно дорогие, а менять их приходится часто, особенно на дорожных автомобилях, имеющих большие величины пробегов, чем трековые. Собственно, применимость того или иного типа подвеса рычагов определяется назначением



Тяга Панара "A" подсоединяется к мосту (точка B) и кузову (точка C). Угол наклона тяги относительно оси балки моста может достигать 15 градусов.

автомобиля: на дорожных машинах устанавливают упругие втулки, на кольцевых и трековых – жесткие шаровые шарниры.

Тяга Панара, используемая для поперечной ориентации моста, должна быть по возможности более длинной, так, чтобы радиус ее качания при движении моста вверх и вниз был максимальным (меньшее боковое перемещение). В идеальном случае тяга Панара должна быть установлена параллельно земле при нормальной регулировки высоты подвески и иметь с балкой моста по возможности меньший угол.

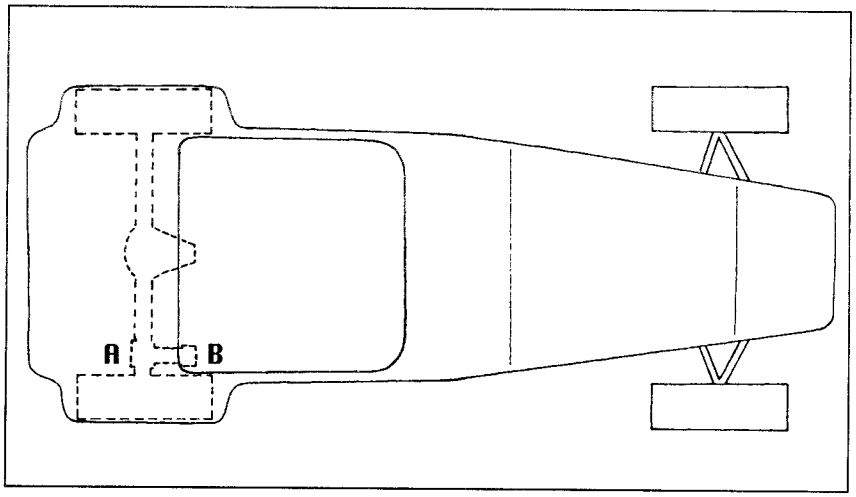
Дифференциал повышенного трения (LSD - limited slip differential)

В большинстве случаев в установке дифференциала повышенного трения нет необходимости. При правильно подобранном типе шин, обеспечивающим хорошее сцепление колес с дорогой, в сочетании одинаковой нагрузкой на колёса, пробуксовывание колес практически исключается.

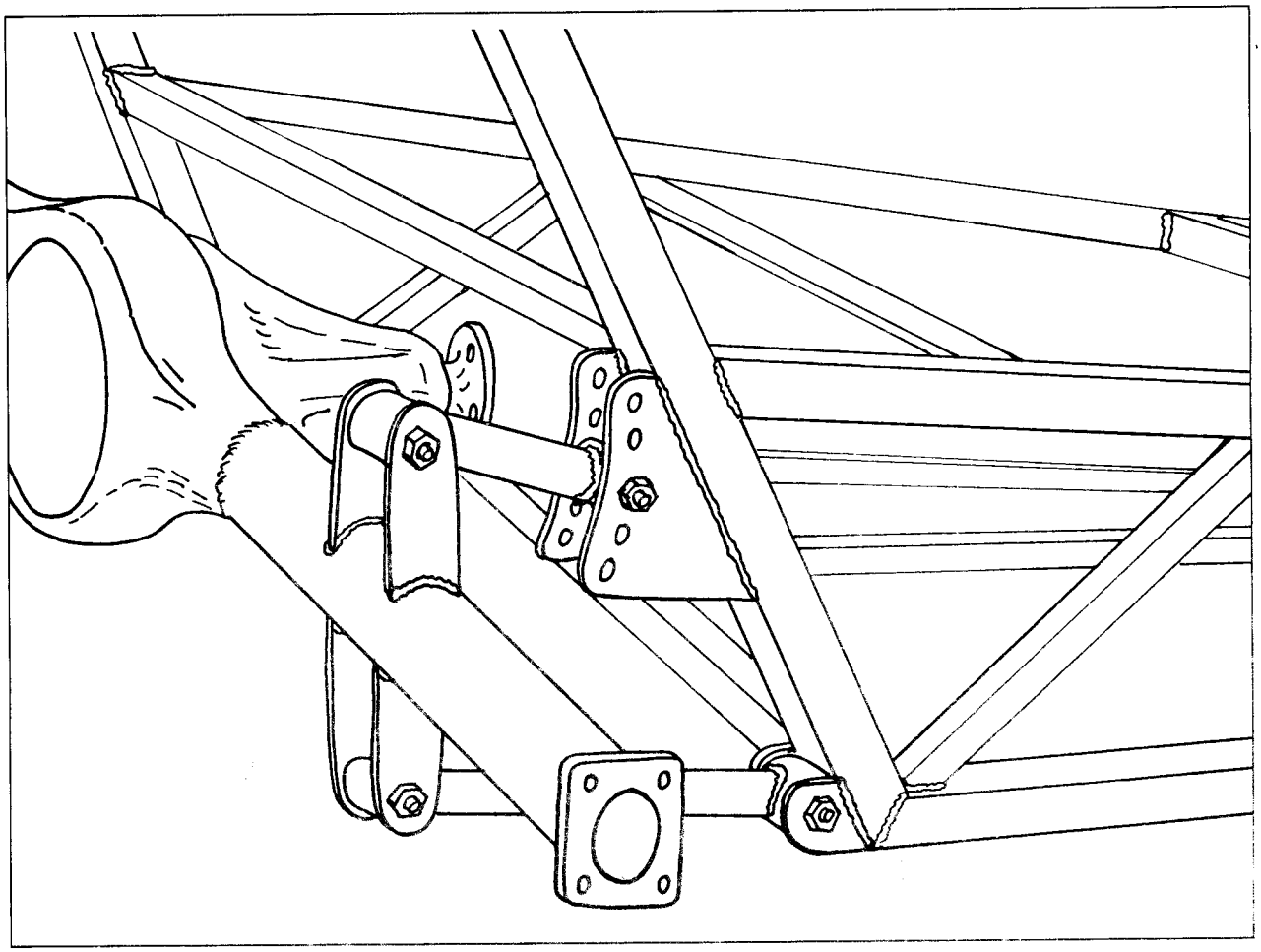
При наличии пробуксовки колес снижается уровень ускорений при разгоне, поэтому буксование колес должно быть исключено. В первом приближении, вне зависимости от типа автомобиля, установите более подходящий тип шин. Чем более качественное исполнение шин, тем они дороже, компания-изготовитель шин продаст Вам то, за что Вы заплатите. Последние конструкции шин действительно имеют выдающиеся качества и могут буквально преобразить автомобиль. Приведем некоторые марки низкопрофильных шин, предназначенных для движения по твердому покрытию: это Michelin Pilot SX-GT, Yokohama A510, Bridgestone 71 и многие другие. Например, Michelin Pilot имеет очень жесткие боковины. Если эти шины установить на автомобиль с хорошей геометрией подвески, машина будет ехать "как по рельсам" (информация на момент издания книги - 1999 год, в настоящее время, безусловно, на рынке есть шины с более выдающимися качествами).

Если автомобиль при старте с места имеет пробуксовку колес, обычно принимают решение об установке дифференциала повышенного трения и, как будто это в порядке вещей, большинство людей это удовлетворяет. Однако, геометрия зависимой задней подвески может сыграть значительную роль в предотвращении разности частоты вращения колес при старте с места на полной мощности. Во многих случаях полная мощность двигателя не может быть применена, поскольку одно из задних колес просто начнет буксовать, второе же будет неподвижно. В этом случае лучшим методом трогания с места будет дозирование оборотов двигателя и аккуратная работа сцеплением. Автомобиль удовлетворительно трогается, но не так, как на полной мощности двигателя с полностью включенным сцеплением при нормальном "захвате" обоими колесами дороги. Может показаться невероятным, что при установленном неблокируемом дифференциале можно выровнять тягу на задних колесах, но это так.

Если проверить автомобиль без блокировки дифференциала и на полном дросселе, можно видеть, как правое заднее колесо будет вращаться в неуправляемом режиме, оставляя за собой черный след на асфальте на всем промежутке движения на первой передаче. Ускорение автомобиля будет меньше, чем могло бы быть. Это происходит потому, что почти весь поток мощности направлен на правое заднее колесо и реактивный момент в дифференциале приподнимает правое колесо. С уменьшением веса, приходящегося на колесо, шина раньше теряет сцепление с дорогой, а как только началась пробуксовка колеса, остановить ее довольно трудно. Тут принимается решение о покупке и установке дифференциа-



Верхний рычаг "A-B" подсоединен к мосту в точке "A" и к шасси в точке "B". Рычаг устанавливается возможно ближе к правому заднему колесу и обычно имеет достаточно малую длину (150...200 мм). Верхний рычаг слева не устанавливается.



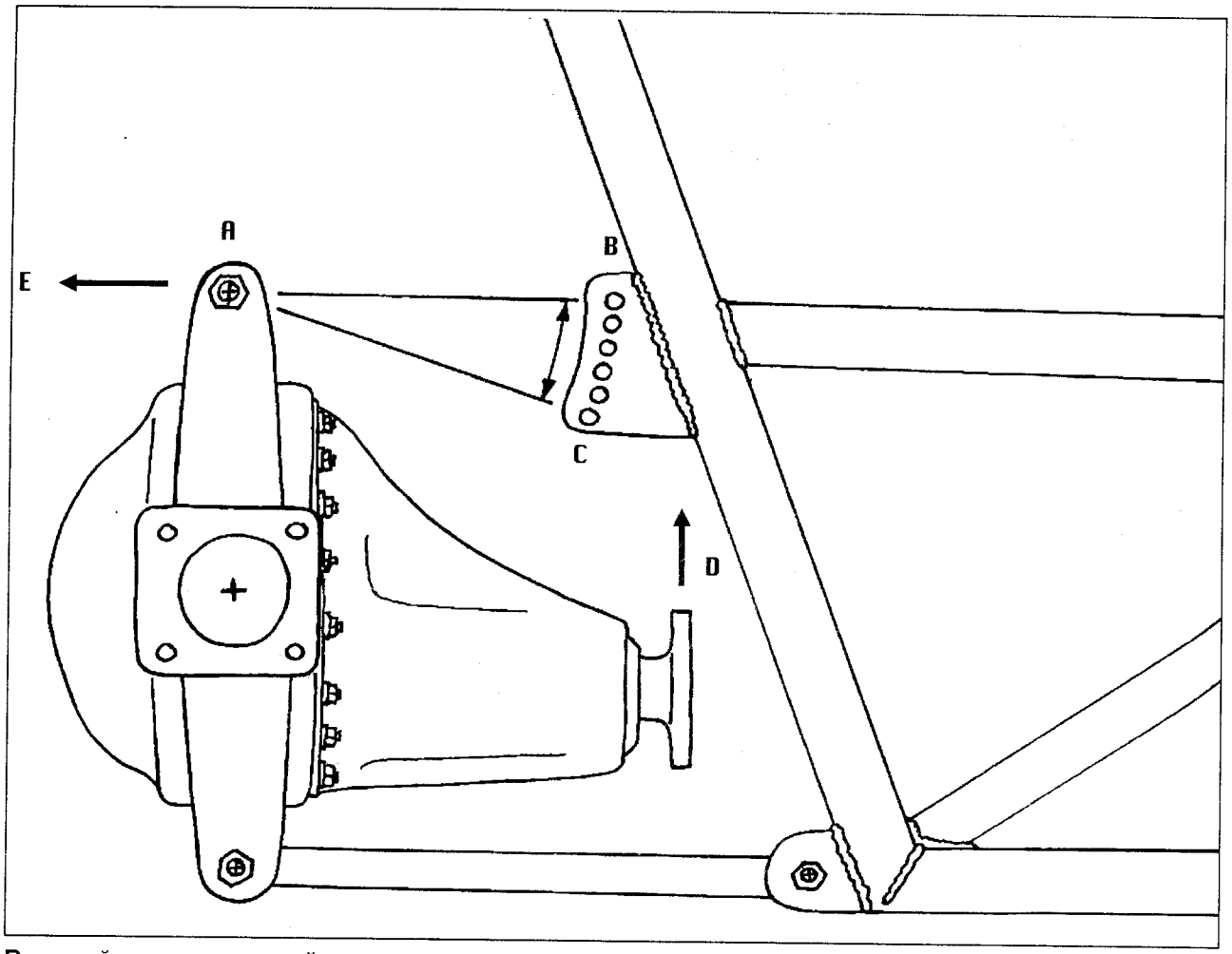
На раме крепится кронштейн верхнего направляющего рычага с возможностью регулировки высоты подсоединения. Увеличение угла наклона рычага приводит к увеличению веса, приходящегося на правое заднее колесо (и наоборот).

ла повышенного трения. В этом случае левое колесо получает часть мощности и тяга на обоих колесах более или менее выравнивается и, естественно, все думают, что проблема решена. Однако можно сделать несколько больше, чем сделано и добиться большего эффекта. При установке дифференциала повышенного трения на асфальте остается уже два черных следа колес, но если внимательно к ним присмотреться, цвет следов будет разным. Это происходит из-за того, что дифференциал ничего не делает для выравнивания нагрузки на колеса, чего можно достичь изменением геометрии подвески. Другими словами, дифференциал повышенного трения увеличивает тягу по сцеплению не буксующего колеса, но это все что он может сделать.

В гонках по прямой (дрегресинг) можно встретить небольшое количество машин с не блокируемым дифференциалом, которые оставляют за собой два следа равной длины и интенсивности окраски. Это обстоятельство говорит о равном распределении неподрессоренной массы автомобиля по колесам. Оба колеса могут пробуксовывать, но пробуксовка будет одинакова и распределение потока мощности по колесам также будет равномерна (50/50) – это лучшее, что можно сделать. При установке качественных шин можно добиться максимального использования мощности.

Рассмотрим автомобиль с четырьмя направляющими рычагами и тягой Панара в задней подвеске. Удалим два верхних направляющих рычага и установим справа рычаг с возможностью регулировки наклона относительно шасси. Регулировку наклона можно проводить, например, перестановкой места крепления рычага на шасси.

Когда сцепление отпущено и момент от двигателя передаётся на главную передачу, передняя часть дифференциала приподнимается вверх, или другими словами корпус главной передачи стремиться повернуться в направлении, противоположном направлению вращения колёс. Соответственно, этот момент воспри-

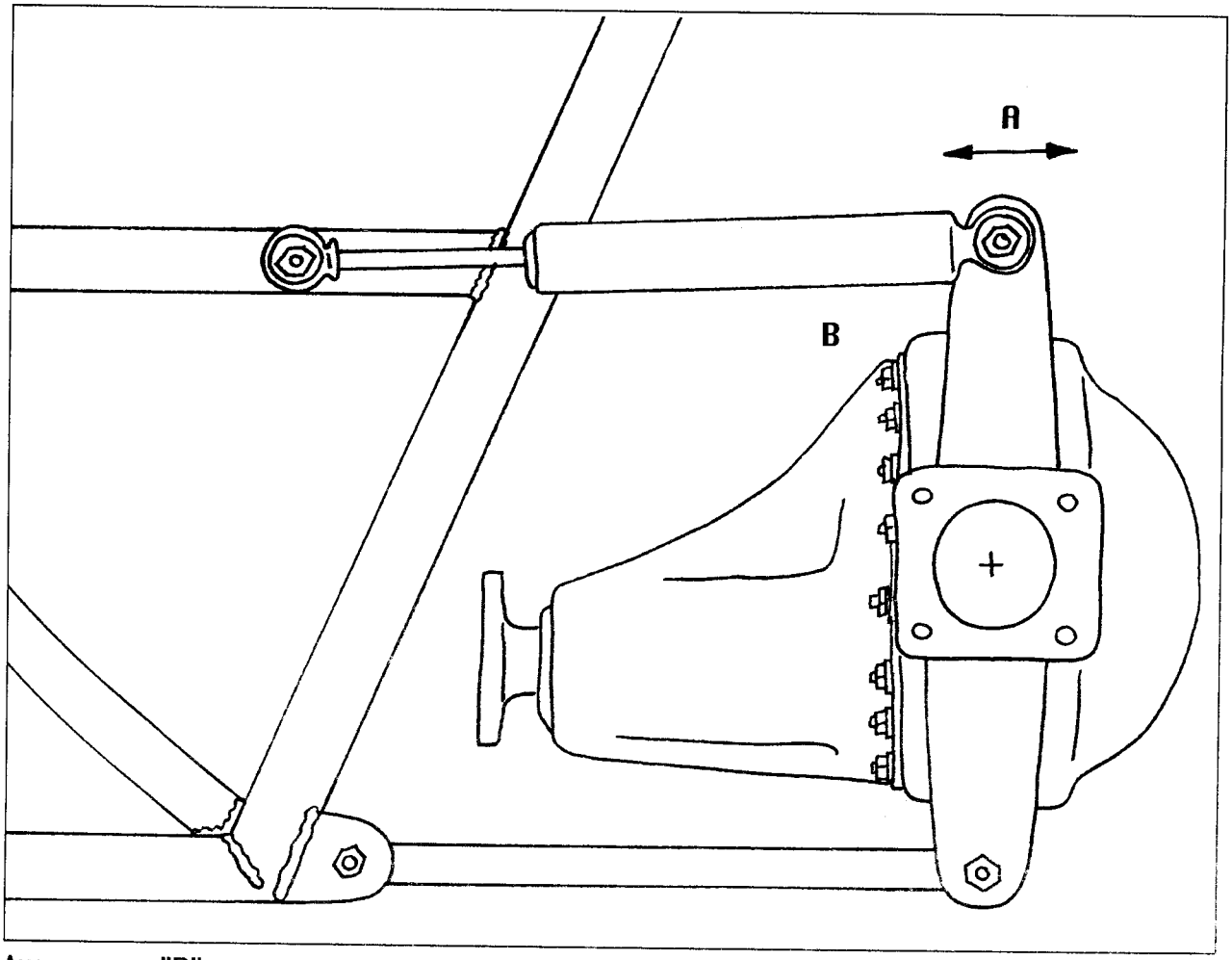


Верхний направляющий рычаг имеет постоянную точку крепления "A" и регулируемую точку крепления "B-C". Отверстия "B-C" должны располагаться по дуге окружности с радиусом, равным длине рычага. Рычаг имеет постоянную длину, но изменяется угол наклона относительно рамы. В точке "B" рычаг устанавливается параллельно полу, в точке "C" угол наклона рычага составляет примерно 15 градусов. Реактивный момент на главной передаче поднимает картер в направлении "D". Направляющий рычаг нагружает раму в направлении "E".

нимается колесами. Величина реактивного момента довольно значительная. Поскольку в задней подвеске установлен только один правый верхний рычаг, поворачивающая сила от картера главной передачи начинает подтягивать шасси к точке подвеса рычага, нагружая тем самым правое заднее колесо. Степень нагружения колеса будет зависеть от угла наклона рычага по отношению к шасси. При достаточно малом шаге изменения угла наклона рычага можно обеспечить равное распределение нагрузки на оба задних колеса при интенсивном разгоне. Такая подвеска была использована на "Jaguar C-type" в пятидесятых годах.

Равенство нагрузки на колеса будет означать равенство степени скольжения колес и равенство количества дыма из-под колес при разгоне (водитель, в отличие от зрителей этого не видит). Два черных следа на дороге будут иметь одну и ту же длину и интенсивность окраски.

К сожалению, такой тип подвески не совсем хорош для кольцевых гонок, особенно при тяжелых торможениях (возникает "гуляние" моста), но для дрегрейсинга он идеален. Несколько снизить указанный отрицательный эффект подвески при торможении можно установкой с противоположной стороны слабого амортизатора, ось которого параллельна земле. Естественно, картер главной передачи должен иметь возможность поворота относительно нижних направляющих рычагов для обеспечения поднятия передней части картера вверх. Если слева от главной передачи нет верхнего направляющего рычага, а вместо него установлен слабый амортизатор, то последний демпфирует быстрое перемещение моста и по мере



Амортизатор "B" отслеживает перемещение точки "A" и ограничивает скорость этого перемещения.

возможности устраняет отрицательный эффект отсутствия жесткого рычага.

Другим способом ограничения этого эффекта на задних колесах является установка клапана перераспределения тормозных сил. При этом тормозные усилия на задних колесах снижаются, что приводит к ухудшению торможения.

НЕЗАВИСИМАЯ ЗАДНЯЯ ПОДВЕСКА

Независимые подвески, используемые наиболее часто при постройке автомобилей, как правило бывают двух типов. В первом случае используется подвеска на треугольных рычагах, с использованием узлов от серийного автомобиля установленных на подрамнике, который затем устанавливается на кит-кар. Зачастую используется готовый узел от производителей компонентов для спортивных автомобилей. Как правило эти автомобили с передним расположением двигателя и полностью собранная подвеска не предусматривает наличия регулировок. Обычно картер главной передачи жестко закреплен на подрамнике, привод на колёса через приводные валы с двумя ШРУСами (шарнирами равных угловых скоростей). Такая конструкция хотя и удобна для установки, но весьма тяжелая.

Другой вид независимой задней подвески применяется в случае использования узла коробки передач в блоке с главной передачей. Независимая подвеска в этом случае базируется на двойных поперечных рычагах, которые могут быть регулируемыми или нерегулируемыми. Такой вид подвески встречается на автомобилях при среднемоторной или заднемоторной компоновке.

Точность выполнения всех компонентов независимой подвески, включая шасси, имеет критическое влияние на управляемость автомобиля: здесь не должно быть компромиссов (возможны проблемы с отрицательным схождением одного или обоих колес, ведущие к нестабильному поведению автомобиля).

Заметим, что на многих спортивных автомобилях часто устанавливаются подвески со множеством возможных регулировок. Такие системы, именно из-за множественности регулировок, могут либо привести к превосходной управляемости, либо к созданию абсолютно неуправляемого автомобиля. Неважно, сколько регулировок имеет подвеска: нет причин к тому, чтобы правильное решение не было найдено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Задняя подвеска **никогда** не должна создавать отрицательно схождения колес на всем рабочем ходе и при любом крене кузова. Оба задних колеса должны иметь одинаковое положительное схождение, равномерно распределенное вдоль центральной оси автомобиля. Считается, что величина положительного схождения должна быть равна 1...3 мм. Ясно, что нельзя устанавливать общее положительное схождение скажем, в 3 мм так, что одно колесо имеет нулевое схождение, а второе все три миллиметра. Схождение колес должно быть равным.

Изредка на автомобилях встречаются колёса установленные с большим развалом, и хотя многие думают что такая установка передних колёс помимо эффектного "спортивного" вида даёт и преимущество в управляемости, на самом деле результат может быть никакой.

Для практических целей отрицательного развала в 0,5...1 градус всегда достаточно. Крен кузова должен быть компенсирован установкой более жестких пружин в кооперации с демпфирующими свойствами амортизаторов.

Не следует понижать высоту подвески автомобиля заменой пружин, без внесения соответствующих конструктивных изменений в её элементы. Для автомобиля с независимой задней подвеской на двойных поперечных рычагах, точки крепления нижних треугольных рычагов к шасси и ступице должны быть на одной высоте относительно поверхности (рычаги параллельны земле). В некоторых случаях управляемость будет лучше если точки крепления рычагов к шасси будут несколько выше чем точки крепления рычагов к ступице где-то на 12 мм. Пусть лучше автомобиль будет несколько выше, чем хотелось бы, но с хорошей геометрией подвески, чем иметь низкий автомобиль с неправильной геометрией подвески.

Некоторые массовые спортивные автомобили имеют полностью регулируемые подвески. В действительности регулировка подвески возможна только в определенных пределах и часто только для целей компенсации неточностей изготовления и коррекции нормального процесса износа. Внутри возможного диапазона регулировок могут быть сделаны и некоторые улучшения. Конечно, для улучшения управляемости всегда имеется возможность заменить пружины и амортизаторы. О стоимости запасных частей говорить не будем.

Глава 8

Тормоза

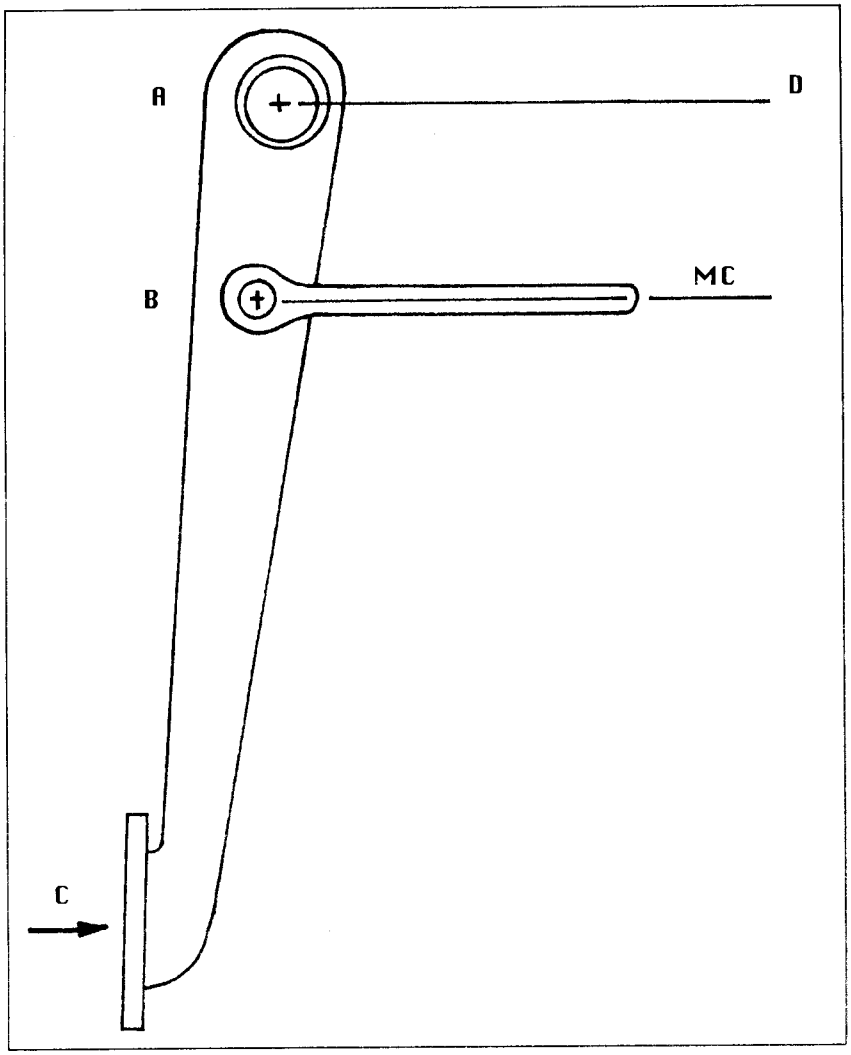
Тормозов практически никогда не бывает много. Наоборот, имеют место жалобы на плохое торможение. Чтобы выправить ситуацию обычно устанавливают тормозные диски большего диаметра и соответствующие тормозные суппорты. Такое решение не всегда обосновано, установка больших тормозных дисков и суппортов с большей поверхностью тормозных колодок могут дать совершенно разочаровывающий результат. Часто проблема заключается просто в недостаточном давлении в тормозной магистрали. Это легко проверить и, по возможности, устранить. Нет сомнений, что установка больших тормозных дисков и суппортов (легких, но с большой поверхностью контакта колодок) на передние тормоза идея хорошая. Однако, для обеспечения достаточно эффективного торможения, все компоненты тормозной системы должны быть проверены. Водитель управляет автомобилем уверенно, если он уверен в надёжности тормозов, которые остановят автомобиль в любых условиях. И нет уверенности в управлении автомобилем, если известно, что его тормоза недостаточно эффективны. Между тем, разница между великолепной и недостаточной тормозными системами может быть только в неправильном выборе передаточного числа педали тормоза.

ПЕРЕДАТОЧНОЕ ЧИСЛО ПЕДАЛИ ТОРМОЗА

Общая структура спортивного автомобиля обычно достаточно компактна и часто зона установки педали тормоза недостаточно велика, чтобы установить педаль с большим плечом. Это может означать, что передаточное число педали не может быть сделано достаточно большим, иногда только 3:1. Можно говорить о том, что минимальное передаточное число педали тормоза равно 5:1, желательно иметь 7:1, хотя иногда можно сделать и 10:1.

На автомобилях с малым передаточным числом педали тормоза (3:1) водитель нажимает на педаль тормоза, но с большим усилием, что бывает недостаточно для обеспечения желаемого замедления. Невозможно управлять автомобилем уверенно и на протяжении какого-то времени когда требуется приложение столь значительных усилий на педали тормоза. Если все компоненты тормозной системы исправны, а эффективность торможения недостаточна, то все дело в передаточном числе педали тормоза.

Передаточное число должно быть таким, чтобы без чрезмерного увеличения хода педали обеспечить возможно быструю активацию тормозов (время задержки начала эффективного торможения). Время задержки эффективного торможения меньше при малом передаточном числе педали тормоза (3:1), но при этом возрастает усилие на педали. Соответственно при больших передаточных числах (5-7:1) время задержки начала торможения возрастает, но требуемое усилие на педали для повышения тормозного давления и желаемой степени замедления значительно снижается. Во всех вышеприведенных примерах подразумевалось, что диаметр главного тормозного цилиндра не изменяется. Итак, рекомендуем устанавливать передаточное число педали тормоза в диапазоне от 5:1 до 7:1, "абсолютный максимум" передаточного числа 10:1.



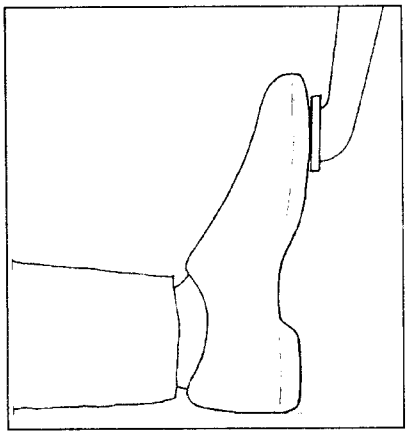
Передаточное число педали тормоза определяется отношением плеча "A-C" к плечу "A-B". "MC" - главный тормозной цилиндр (master cylinder).

Определение плеча и положения педали проводится в следующем прядке. Сначала нужно усадить водителя на его место. Водитель устанавливает ногу относительно педали тормоза. Пятка ступни (точка опоры и ось качания ступни) должна расположиться на упоре, основание пальцев ступни должны встать по центру накладки педали тормоза.

Если педаль установлена выше желаемого уровня, есть два пути исправления ситуации. Во-первых, педаль можно опустить, во-вторых, заменить ее на другую с большим передаточным числом, как это будет удобнее водителю. Если педаль установлена правильно, водитель будет прикладывать на нее минимальное усилие и меньше уставать.

ВНИМАНИЕ: к тормозной педали прикладывается значительное усилие, поэтому она должна быть прочной, не деформироваться и, тем более, не ломаться.

После проверки на соответствие местному законодательству и техническим условиям на автомобиль, измените положение педали или установите новую. Обратитесь к специалистам, которые оценят прочность конструкции и качество сварных швов: опытный инженер знает, как это сделать.



Идеальное положение ступни относительно педали тормоза.

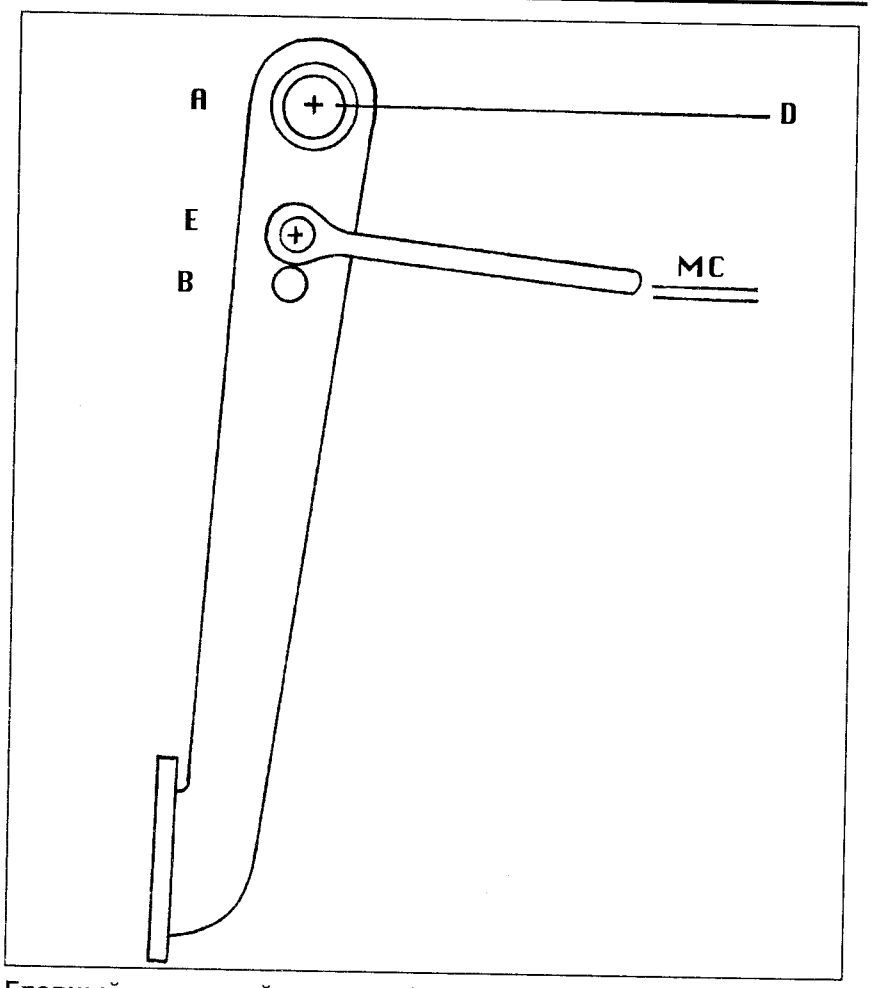
Если педаль сломается, это приведет к непредсказуемым последствиям.

Антропологические параметры у разных людей разные, поэтому автомобиль должен быть подготовлен под конкретного водителя с максимальной эффективностью. Педаль тормоза, таким образом, не может быть одинаково удобной для всех, поэтому некоторая потеря преимуществ подобранных параметров педали будет минимальной ценой при замене водителя.

Измерьте расстояние от центра накладки педали до оси качания, запишите результат. Затем измерьте расстояние от оси качания педали до оси пальца крепления серьги толкателя главного тормозного цилиндра. Уменьшение расстояния от оси качания до оси пальца серьги увеличивает передаточное число педали.

Есть физический предел увеличению передаточного числа, но сделать нужно все для этого возможное. Нужно провести все возможные регулировки, направленные на увеличение передаточного числа. Конкретные решения будут приниматься, исходя из реальной конструкции узла педали, но принцип увеличения передаточного числа остается неизменным.

Довольно часто имеется возможность передвинуть главный тормозной цилиндр к оси качания педали (обычно на 3...5 мм). После перемещения тормозного цилиндра в педали просверливается новое отверстие под установку пальца серьги толкателя так, чтобы толкатель имел угол скрещивания оси с осью тормозного цилиндра в пределах 5 градусов. Разница в передаточных числах 3:1 и 5:1 педали тормоза означает снижение усилия на педали для получения одной и той же величины давления в тормозной системе (другими словами, при одной и той же силе на педали тормоза тормозные колодки сильнее прижимаются к тормозному диску). при передаточном числе педали тормоза, равном 5:1, редко случается так, что педаль тормоза имеет увеличенный полный ход.



Главный тормозной цилиндр (MC) передвинут ближе к оси качания педали тормоза (A). В педали выполнено новое отверстие "E", старое отверстие "B" не используется.

ДИАМЕТР ГЛАВНОГО ТОРМОЗНОГО ЦИЛИНДРА

Сначала нужно определиться с размером главного тормозного цилиндра (хотя бы в первом приближении). Не надо выбирать главный тормозной цилиндр с точки зрения его внешнего вида. Нужно принимать во внимание передаточное число педали тормоза. Тормозной цилиндр с маленьким диаметром поршня в сочетании с большим передаточным числом тормозной педали создает большое тормозное давление, посредством которого тормозные колодки прижимаются к дискам или барабанам. Недостатком такого сочетания является достаточное большое количество тормозной жидкости, которое нужно перемещать для активации тормоза (большое время задержки). По этой причине рекомендуется заменить указанные детали тормозной системы.

Если главный тормозной цилиндр имеет недостаточно большую емкость, при несогласованном ходе педали тормоза поршень цилиндра может почти достигнуть упора еще до начала эффективного торможения. В этом случае, даже если "вдавить педаль в пол", давление в тормозной системе подниматься не будет. Чем выше передаточное число педали, тем больший ее ход приходится на время задержки эффективного торможения, то же самое происходит при износе деталей привода и главного тормозного цилиндра. Если все детали соответствуют техническим нормам, тем меньший ход педали тормоза требуется для начала подъема давления в тормозной системе.

Отметим также, что емкость бачка главного тормозного цилиндра должна быть достаточной для пополнения системы при рабочем ходе главного тормозного цилиндра и компенсации износа фрикционного слоя тормозных колодок. Тормозная жидкость при износе колодок аккумулируется в емкостях над поршнями тормозных суппортов. Если емкость бачка маленькая, в тормозную систему попадет воздух со всеми вытекающими последствиями.

Итак, желательно устанавливать главный тормозной цилиндр с диаметром, минималь-

но достаточным для обеспечения торможения при ходе педали тормоза в 30...35 мм. Компоненты тормозной системы (например, суппорты и тормозные шланги) должны быть высокого качества и иметь возможно малые емкости. Начинать подбор диаметра главного тормозного цилиндра рекомендуем с 19 мм (наиболее употребительный размер), хотя цилиндр с диаметром 16 мм более предпочтителен, если только ход педали тормоза не будет слишком большим. При диаметре цилиндра в 19 мм почти всегда можно подобрать тем или иным способом нужное передаточное число педали тормоза.

Заметим, что диаметр главного тормозного цилиндра в 16 мм является минимальным для использования в тормозной системе с одним цилиндром, однако цилиндры в 19 мм более широко распространены и доступны во многих вариантах. Тормозной цилиндр с диаметром 16 мм обеспечивает большее давление по сравнению с остальными цилиндрами, но только за счет увеличения хода педали тормоза.

Если тормоза после согласования диаметра главного тормозного цилиндра и передаточного числа педали тормоза все еще остаются мало эффективными, можно увеличить диаметр тормозного диска и размер тормозных колодок для увеличения эффективной зоны трения.

УСИЛИТЕЛИ ТОРМОЗОВ

Усилители тормозов (главным образом вакуумные) уменьшают требуемое для эффективного торможения усилия, прикладываемого к педали тормоза. На большинство рамных трековых автомобилей усилитель тормозов не устанавливается, в остальной практике усилитель имеет место быть. Тормоза без усилителя более "чувствительны" к величине прикладываемой силы, поэтому они все еще применяются в некоторых случаях. Конечно, усилие, прикладываемое к педали выше у систем без усилителя, но это обычно не вызывает проблем при правильно выбранном передаточном числе педали.

Легкие спортивные автомобили подготавливаются к гонкам без усилителя. Если размеры тормозов достаточно большие, скажем, диаметр диска передних тормозов равен 300 мм с четырех поршневым суппортом и длинными колодками, диаметр диска задних тормозов равен 260 мм, то проблем с торможением со скорости 210 км/час не возникает.

Для такого диапазона скоростей диаметр главного тормозного цилиндра может быть где-то от 16,8 до 19 мм с передаточным числом педали тормоза от 5:1 до 7:1. При этом комбинация "16,8 мм + 7:1" обеспечивает большее давление в тормозной системе, чем комбинация "19 мм + 5:1" при равном усилии на педали тормоза. При любой комбинации диаметра тормозного цилиндра и передаточного числа педали тормоза можно эффективно затормаживать автомобиль, все зависит от "мощности" водителя.

Передаточное число 7:1 приводит к увеличению хода педали тормоза по сравнению с передаточным числом 5:1, но с меньшим усилием на педали. Тем не менее нет твердых рекомендаций, что нужно устанавливать на автомобиль. Вообще, для низкорослых людей предпочтительнее выбирать большое передаточное число педали и минимально достаточный диаметр тормозного цилиндра. При этом емкость цилиндра должна быть достаточной для обеспечения эффективного торможения. Ценой высокого давления в тормозной системе является увеличение хода педали тормоза. Сочетание главного тормозного цилиндра диаметром 19 мм с передаточным числом педали тормоза 2,5:1 допускает к управлению автомобилем только очень сильного водителя. Другими словами, всегда есть индивидуальные ограничения по величине хода педали, передаточному числу педали и диаметру тормозного цилиндра. В идеальном случае нужно стремиться получить возможно малый ход педали, возможно большее передаточное число и минимальный диаметр главного тормозного цилиндра.

Все компоненты тормозной системы должны быть в хорошем состоянии. Ценой износа любого компонента обычно является увеличение хода педали тормоза (т.е. увеличением времени задержки эффективного торможения). Тормозные шланги при нажатии на педаль тормоза не должны иметь видимой деформации, также приводящих в увеличению времени реакции на управляющее воздействие. Предпочтительнее применять тормозные шланги в металлической оплетке для уменьшения деформаций шланга при росте тормозного давления. Конечно, такие шланги более дорогие.

ВНИМАНИЕ: чтобы хорошо тормозить, нужно иметь только работоспособные компоненты тормозной системы.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ

Тормозная система должна обеспечивать остановку автомобиля с любой скорости за минимальный промежуток времени. При торможении автомобиль должен оставаться

управляемым и не терять траекторию движения. Эффективность торможения должна оставаться постоянной при частых повторных торможениях.

В автомобилях, используемых исключительно для спортивных целей, несколько отличные критерии оценки тормозной системы. Спортивный автомобиль редко останавливается полностью, хотя время от времени это и приходится делать. Автомобили для кольцевых гонок должны замедляться с любой скорости до скорости, максимально допустимой для прохождения поворота той или иной сложности для обеспечения минимального времени, затрачиваемого на поворот (обычно нужно учитывать также минимизацию траектории движения в повороте). Ужесточается требование к сохранению эффективности торможения при частых повторных торможениях.

Итак, тормоза признаются удовлетворительными, если автомобиль **немедленно** после нажатия на педаль тормоза начинается замедляться и ощущаться действие ускорения замедления. Не должно быть никакой задержки в ощущении замедления.

ВНИМАНИЕ: если имеет место заметная задержка начала эффективного торможения, это означает только одно: тормозная система автомобиля недостаточно эффективна, другими словами автомобиль становится небезопасным.

Если автомобиль имеет адекватное исполнение тормозной системы, нужно быть готовым к уменьшению тормозного давления в нужный момент для предотвращения блокировки колес, особенно на легких автомобилях с большим диаметром тормозного диска и многопоршневым суппортом (если не установлена антиблокировочная система). Опытный же водитель редко допускает блокировку колес даже без установленной ABS.

ВНИМАНИЕ: исполнение тормозной системы должно ставиться на первое место, безотносительно к ее стоимости. Тормоза всегда должны соответствовать автомобилю.

ПЕРЕДНИЕ ДИСКОВЫЕ ТОРМОЗА

На долю передних тормозов приходится основная часть работы по замедлению автомобиля, поэтому они действительно должны быть надёжными. Как правило, устанавливается тормозной диск и суппорт с максимальными размерами, которые можно вписать в колесный диск. Чем больше диаметр колесного диска и чем дальше установлен тормозной суппорт от оси колеса, тем большие механические преимущества получает тормозная система. Как уже отмечалось, ограничением диаметра тормозного диска является размер и конфигурация колесного диска. Между колесным диском и тормозным суппортом устанавливается зазор минимум в 4,5 мм. Уменьшение зазора опасно, поскольку попадание мелких камней между тормозом и колесным диском может привести к проблемам с управляемостью.

Как правило, для увеличения диаметра тормозного диска устанавливают больший размер колесного диска (от 15 дюймов и больше). Соответственно устанавливается низкопрофильная шина, обеспечивающая лучшую управляемость в сравнении с обычной шиной.

Тормозные диски малого диаметра в сочетании с маленькими колесами всегда обеспечивают более низкую эффективность торможения, чем диски большого диаметра, но это не означает, что такой вариант тормозной систем неприемлем. Очень много нужно обдумать, прежде чем принять решение об увеличении диаметра тормозного диска: часто пренебрегают жизненно важными положениями. Прежде всего убедитесь в том, что все компоненты тормозной системы работают с максимальной эффективностью. Проверьте передаточное число педали тормоза, правильность установки суппорта относительно тормозного диска, качество прокачки тормозной системы (по возможности воздуха в системе быть не должно совсем), какого диаметра установлен главный тормозной цилиндр и состояние тормозного цилиндра, состояние тормозных трубок и шлангов и т.д.

Перечень проверок передних дисковых тормозов

Контакт тормозной колодки с диском

Тормозные колодки должны полностью прилегать к поверхности диска. Часто при замене конструкции тормозного суппорта или неправильной его установки колодки контактируют с диском только частью своей поверхности. Обычно это происходит из-за несовпадения монтажных поверхностей старого и нового суппорта или из-за ошибки проектировщика. Устранение дефекта потребует проведения дополнительного объема работ, но контакт колодки и диска должен быть обеспечен на 100% в любом случае.

Прокачка тормозной системы

ВНИМАНИЕ: воздуха в тормозной системе не должно быть совсем.

В целом принцип работы тормозной системы с гидрав-

лическим управлением подразумевает несжимаемость тормозной жидкости. При отсутствии воздуха (газ, как известно, вещество сжимаемое) при нажатии на педаль тормоза *вся* тормозная жидкость начинает перемещаться. При наличии воздуха в системе часть хода педали затрачивается на его сжатие и растворении воздуха в жидкости.

При наличии небольшого количества воздуха тормозная система до определенного момента работает достаточно эффективно, но никогда не показывает максимальной эффективности. Проблемы с недостатком тормозной мощности обычно появляются именно в тот момент, когда она особенно нужна, например, при слишком быстром приближении к повороту. Большое усилие, прилагаемое к педали тормоза, не приводит адекватному росту давления в тормозной системе, в то время как при отсутствии воздуха на тормозные колодки действует максимальное тормозное давление.

С другой стороны, имеет место ограничение давления, прикладываемого к тормозам. Это происходит тогда, когда увеличение тормозного давления в системе уже не приводит к росту тормозного усилия на колесах. В этом случае единственным решением для устранения возникшего противоречия является увеличение диаметра тормозного диска и/или поверхности контакта колодок и диска, даже если потенциал такого решения не будет использован полностью.

Очень важно в конструкции тормозной системы предусмотреть возможность полного удаления из неё воздуха. Дренажные штуцеры тормозных суппортов не всегда устанавливают в правильном положении. Это обычно происходит при установке не оригинального суппорта с другими присоединительными размерами. В этом случае возникает воздушный мешок, из которого воздух выгнать очень сложно, каким бы способом не осуществлялась прокачка системы. Выход из создавшегося положения все-таки есть. Нужно снять суппорт, закрепить его в стороне дренажным штуцером вверх, насколько это позволяют тормозные шланги, и зафиксировать поршни суппорта деревянным бруском (иначе при прокачке они вылетят). После прокачки системы суппорт устанавливается на автомобиль. Вам придется проделывать данные операции каждый раз, когда будет необходима прокачка тормозной системы.

Методов прокачки тормозной системы достаточно много, но предпочтительнее применять метод прокачки под давлением. Для проведения данной операции имеются несколько недорогих систем. Некоторое приспособления облегчают прокачку системы и дают уверенность в правильности проведения операций.

Тормозные трубки и шланги

ВНИМАНИЕ: трубки, шланги или штуцеры, имеющие повреждения или признаки течей должны быть заменены.

Для обеспечения надежности тормозной системы при любом подозрении на недостаточное качество трубки или шланга они должны заменяться, благо эти детали достаточно дешевы. Тормозные шланги низкого качества снижают величину давления в тормозной системе из-за деформации вздутия. Качество шланга легко проверить визуально: при нажатии на педаль тормоза шланг начинает деформироваться. Все подобные соединения должны быть заменены. Желательно заменять трубки и шланги регулярно, вне зависимости от их внешнего вида. Тормозные шланги желательно иметь со стальной оплеткой, что повышает надежность шлангов и уменьшает деформации вздутия.

Главный тормозной цилиндр

Сначала главный тормозной цилиндр проверяют визуально на отсутствие течей. Если течь обнаружена, самым простым решением будет замена манжет и уплотнений из ремонтного комплекта, при условии целостности поршня и зеркала цилиндра. Поверхность цилиндра может быть восстановлена (расточка, запрессовка ремонтной втулки и шлифовка в номинальный диаметр). Многие типы главных тормозных цилиндров дешевле и надежнее заменить на новые.

Восстановление зеркала главного тормозного цилиндра должно заканчиваться хонингованием. Если есть сомнения насчет качества восстановления, приобретите новый тормозной цилиндр.

Зеркало чугунного корпуса тормозного цилиндра может иметь коррозионный питтинг, следы задиров или разрушение кромок отверстий. Последний дефект приводит к срезанию уплотнительных кромок манжет поршня и, как следствие, к утечкам тормозной жидкости. Корпуса тормозных цилиндров из алюминия как правило теряют геометрию зеркала (овализация и задиры). Плохая геометрия зеркала цилиндра приводит к внутренним перетечкам жидкости, что сильно сказывается на величине развиваемого давления. Иногда перетечки такие большие, что бывает заметно изменение уровня жидкости в бачке тормозного цилиндра. При недостатке жидкости в бачке ход педали тормоза до ощущения поднятия давления в системе заметно увеличивается. Другой

проблемой является достижение поршнем своего полного хода до значительного поднятия давления в системе. Решение указанных проблем только в ремонте (лучше замене) главного тормозного цилиндра.

Измерения диаметра цилиндра проводится с помощью нутромера. С помощью измерений выявляется износ, не видимый глазом. Визуально оценивается только внешняя поверхность цилиндра (питтинг, сколы, риски и т.п.). На основании визуальных и мерительных оценок принимается решение о пригодности главного тормозного цилиндра к дальнейшей эксплуатации.

Невентилируемые тормозные диски

Невентилируемые тормозные диски обычно подходят к установке на многие типы спортивных автомобилей. Очень давно в качестве основного оборудования устанавливались диски максимально возможного диаметра. Данный тип тормозного диска все еще можно приобрести в качестве запасных частей.

Для увеличения поверхности охлаждения многие диски имеют ряд отверстий. На некоторых дисках с теми же целями выполняются канавки, которые дополнительно играют роль очистителей тормозных колодок и отвода попадающей на диск воды.

Вентилируемые тормозные диски

Современные автомобили оборудуются вентилируемыми тормозными дисками. Такой тип диска очень хорошо охлаждается, что позволяет долго сохранять эффективность торможения даже при частых повторных тяжелых торможениях. Вентилируемые диски (альтернатива невентилируемым) обычно имеют несколько меньший диаметр, что, конечно, не увеличивает эффективности торможения, но только до тех пор, пока невентилируемый диск не нагреется до определенной величины. Теплоотвод от невентилируемого диска настолько плохой, что диски, как правило, всегда окрашены в цвета побежалости, обычно темно синего цвета. Именно при повторных торможениях и проявляются преимущества вентилируемого диска.

Вентилируемые тормозные диски большого диаметра часто можно видеть на автомобилях, не предназначенным к соревнованиям. Причина в том, что такие диски устанавливаются вместо невентилируемых без всяких переделок, а цена диска не так уж велика.

Тормозные суппорты

Тормозные суппорты бывают двух типов. Первый тип это плавающий суппорт простого действия с одним поршнем, действующим на обе тормозные колодки. Суппорт перемещается на направляющих пальцах и прижимает к тормозному диску колодки с равным с двух сторон усилием. Ничего плохого про этот тип суппорта сказать нельзя, но все же он мало пригоден для перестановок с одной модификации ступицы на другую.

Второй тип тормозного суппорта - фиксированный. Это суппорт имеет два или четыре поршня. Суппорт с четырьмя поршнями используется чаще, по той причине, что он просто лучше.

Двухпоршневой суппорт

Корпус суппорта выполняется из чугуна и устанавливается на множество серийных автомобилей в паре с вентилируемым или невентилируемым тормозным диском. Площадь контакта колодок и диска хотя и часто бывает достаточной, но все же не такая большая. Для серийных автомобилей вполне достаточно их эффективности, но замена на четырёх поршневые суппорты даёт лучший результат. В последнее время стали появляться суппорты с шестью поршнями, но они пока не получили широкого распространения.

Четырехпоршневой суппорт

Четырехпоршневой суппорт обычно более эффективен по сравнению с двух поршневым, поскольку в него устанавливаются тормозные колодки с большей поверхностью контакта с диском. Корпус четырех поршневого суппорта достаточно компактный и относительно легкий. Четырех поршневые суппорты, конечно тяжелее одно поршневых, но этот недостаток перекрывается гораздо большей эффективностью торможения, тем более, что есть очень компактные конструкции, в которых повышение веса суппорта не очень заметно. В некоторых случаях в качестве опции к суппорту прилагаются проставки, позволяющие устанавливать вентилируемые и невентилируемые диски. Для автомобиля для кольцевых гонок установка четырех поршневого суппорта с вентилируемым диском является минимальным требованием к передним тормозам. Возможна также установка шести поршневых тормозных суппортов вместе с большими тормозными дисками.

ЗАДНИЕ ТОРМОЗА

Задние тормоза могут быть либо дисковыми, либо барабанными. В принципе, для легких спортивных автомобилей нет разницы в типе задних тормозов, в отличие от передних. Для обеспечения эффективной работы задних тормозов может быть необходима установка клапана перераспре-

деления тормозных сил (предотвращение блокировки задних колес).

Привод регулируемого клапана перераспределения тормозных сил должен устанавливаться в пределах рабочей зоны водителя, чтобы иметь возможность изменять настройки тормозной системы в движении. Регулируемый тормозной клапан идеально подходит для спортивного приложения, поскольку имеет возможность проводить настройки под превалирующие погодные условия (сухая или мокрая дорога). Для серийных автомобилей часто изменять настройки тормозной системы нет необходимости, поэтому клапан распределения тормозных сил применяемый практически на всех серийных автомобилях, является нерегулируемым. Но путём модернизации можно изготовить на его основе регулируемый клапан, чтобы не покупать специальный клапан, предназначенный для спортивных автомобилей.

Барабанные тормоза

Барабанные тормоза обычно устанавливаются на автомобили с задней зависимой подвеской. В настоящее время на спортивных автомобилях барабанные тормоза практически не применяются. Нет нужды менять задние барабанные тормоза на дисковые если автомобиль не используется для гонок. Многие устанавливают дисковые тормоза только потому, что им так нравится. Вторая причина установки дисковых тормозов в том, что стоимость ремонта барабанного тормоза не намного ниже стоимости установки нового комплекта дискового тормоза.

Для эффективной работы барабанного тормоза степень износа основных деталей должна быть минимальной, тем более, что колодки и колесные тормозные цилиндры достаточно дешевы.

Дисковые тормоза

Задние дисковые тормоза, довольно распространенные в настоящее время, очень эффективны. Как правило механизм стояночного тормоза встроен в задний дисковый тормозной механизм. Для китакаров в которых используются тормозные механизмы от серийных автомобилей, установка регулируемого клапана распределения тормозных сил является необходимой и эффективной. Тормозные диски задних тормозов обычно выполняется невентилируемыми и имеют меньшие размеры, чем диски передних тормозов.

ПРОВЕРКА ТОРМОЗОВ

ВНИМАНИЕ: для обеспечения собственной безопасности и безопасности других проведение проверок тормозной системы является обязательной процедурой.

Тормоза проверяются на тестовых участках дороги (или трека) в условиях максимальной нагруженности тормозной системы. Сначала торможение (полное нажатие на педаль тормоза) начинают со скорости примерно 80 км/час. При этом отслеживают поведение автомобиля. Есть ли увод автомобиля с траектории? Есть ли блокировка колес (отдельных, противоположных или всех). Для исправления некоторых недостатков изменяют настройки клапана перераспределения тормозных сил. Нужно измерить (хотя бы приблизительно) длину увода автомобиля с траектории и провести соответствующие изменения настроек. Если на начальной скорости недостатков в торможении не отмечено, ее увеличивают до 100 км/час и проверку повторяют.

Процесс торможения должен проходить достаточно близко от точки начала блокировки колес, но без блокировки. Это означает, что усилие на педали тормоза должно снижаться, как только появляется тенденция к блокировке колес. Если передние или задние колеса блокируются, нужно провести изменение регулировок клапана перераспределения тормозных сил. Проверьте дистанцию увода автомобиля с траектории (от начала торможения до полной остановки автомобиля). Еще раз увеличьте скорость начала торможения. Таким образом, водитель узнает поведение автомобиля во всех условиях торможения, так что никаких сюрпризов в условиях соревнований со стороны автомобиля не будет.

Конечно, спортивный автомобиль в условиях соревнований редко тормозится до полной остановки. Снижение скорости применяется только перед поворотами или в условиях стесненного движения. Поэтому настройки клапана могут проводится только для высоких начальных скоростей торможения, получая компромиссное решение для низких скоростей.

ВНИМАНИЕ: всегда проверяйте тормозную систему перед началом гонки. Последняя проверка проводится на прогревочном круге (при кольцевых гонках).

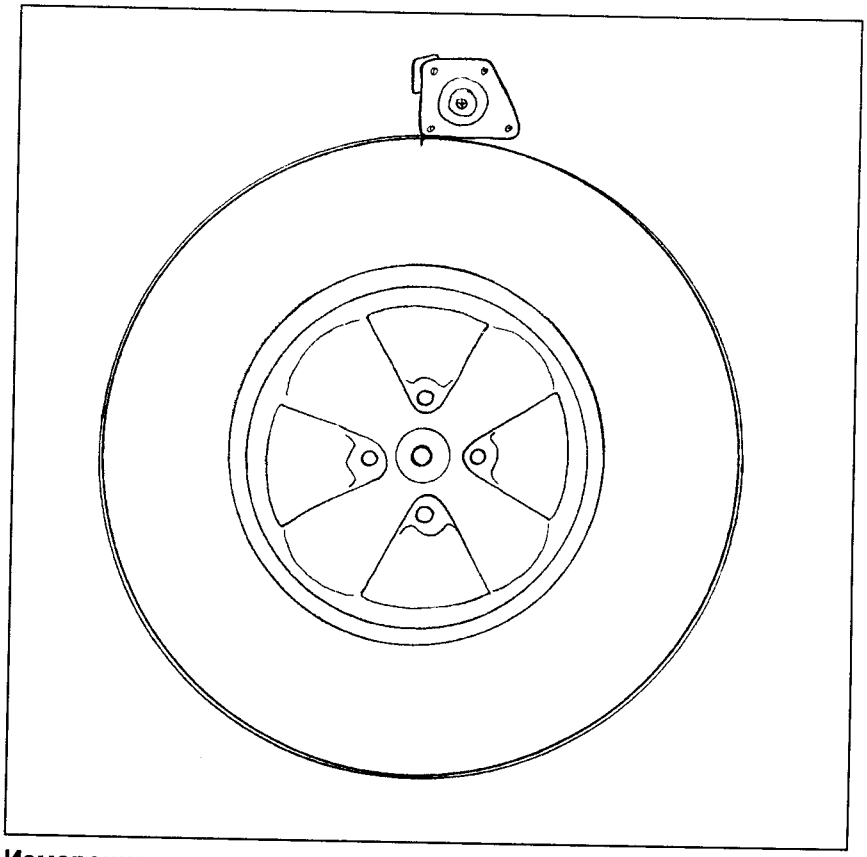
Глава 9
Настройки автомобиля

Настройки автомобиля должны проводиться на ровном горизонтальном полу. Колеса одного моста **должны быть** одного производителя и одного типа, давление в шинах установлено одинаково и согласно техническим условиям, длина окружности колес одной оси одинакова.

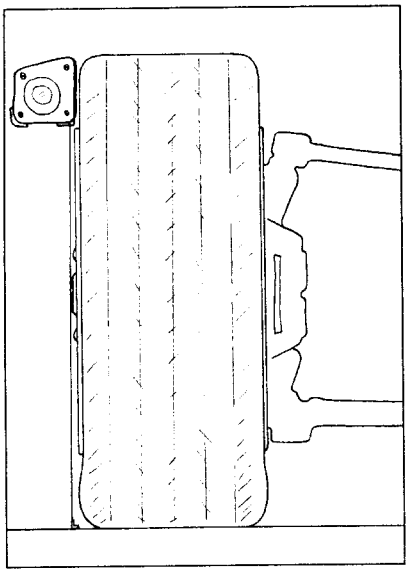
ПРОВЕРКА ШИН

Проверка длины окружности шин должна проводиться при давлении в шинах, установленном согласно спецификации на автомобиль. Колеса передней и задней осей часто имеют разные размеры, но это маловажный фактор при настройке автомобиля. Главное, чтобы колеса одной оси были одинаковыми.

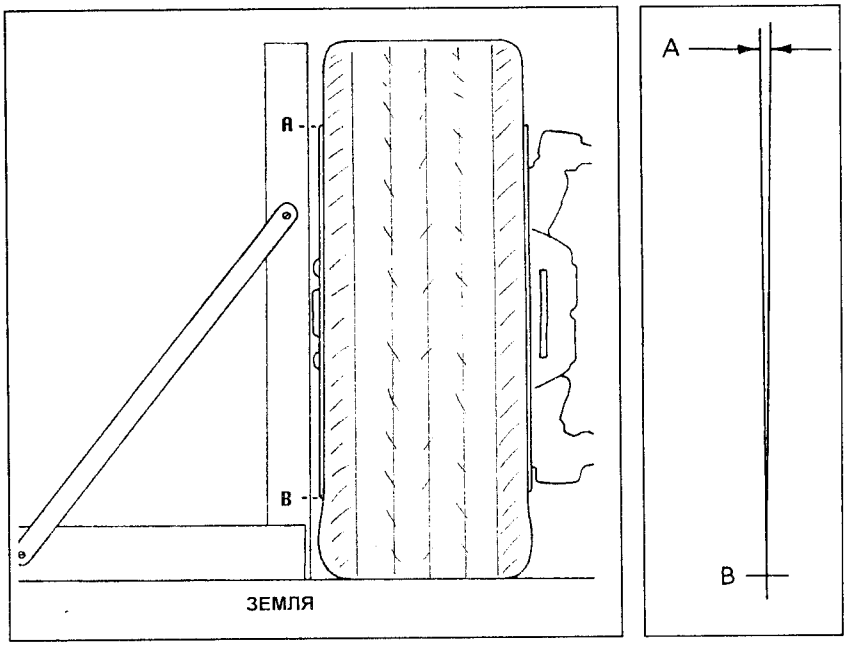
Измерение длины окружности колеса проводится гораздо точнее, чем измерение диаметра. Несмотря на то, что



Измерение длины окружности колеса с помощью рулетки.



Измерение высоты расположения верхней точки колесного диска над полом.



Установите мерительный угольник рядом с колесом. Измерьте расстояние от угольника до верхней (A) и нижней (B) точки колесного диска. Способ вычисления угла показан справа.

шины разных производителей могут иметь абсолютно одинаковые размеры (в том числе и по длине окружности), устанавливать нужно шины одного производителя.

Не рекомендуется также менять местами колеса одной оси, поскольку их приработка все-таки несколько отличается, даже если все измерения показывают их идентичность.

Измерьте диаметры колесных дисков, чтобы убедиться в их идентичности. Несмотря на то, что диски выполняются достаточно точно, всегда есть вероятность того, что диск побывал в ремонте и подвергнут механической обработке. Разность размеров колесных дисков приведет к неточностям измерений.

Примечание переводчика: в некоторых случаях при настройке шасси применяются специально изготовленные жесткие настроечные колеса абсолютно равного размера, все зависит от возможностей и пристрастий команды.

Если колесный диск был восстановлен механической обработкой, разница в размерах двух дисков (поделенная на два) должна приниматься во внимание при проведении измерений.

При способе проверки автомобиля на собственных колесах автоматически учитывается прогиб шин под действием веса автомобиля. Измерения должны проводиться с точностью, лучше 1 мм. При равном давлении в шинах колес одного моста расположение верхней точки колесного диска над полом с обеих сторон автомобиля должно быть равным. При правильной геометрии подвески и рулевого управления и равном давлении в шинах опорные точки шасси должны располагаться над полом на одной высоте при вывешенном противоположном мосте (способ вывешивания моста описан ранее).

ПРОВЕРКА ОТРИЦАТЕЛЬНОГО РАЗВАЛА

Проверка развала колеса проверяется при установке автомобиля на ровном горизонтальном полу при заблокированных в положении прямолинейного движения передних колесах. Для проведения измерений потребуется большой мерительный угольник и металлическая линейка. Размеры угольника должны быть примерно 500 × 500 мм. Этого обычно достаточно для того, чтобы проводить измерения у верхней части колесного диска.

Перед началом измерений нужно вывесить оба колеса и прокрутить их на ступице для проверки отсутствия деформации диска, иначе результаты измерений будут неверными.

Опорные точки крепления нижних рычагов подвески должны быть расположены на одной высоте над полом. Если это не так, нужно приподнять шасси так, чтобы высоты точек крепления были выровнены. Если линия, проходящая через центры точек присоединения рычагов к шасси не параллельна полу, геометрия подвески

неодинакова с двух сторон автомобиля, соответственно, и развал колес будет разный.

После регулировки высоты точек крепления рычагов подвески к шасси можно начать измерения развала. Для этого мерительный угольник устанавливается рядом с колесом по его центру. Поскольку шина в нижней части колеса всегда имеет деформацию, установить угольник вплотную к колесному диску не удается. Поэтому угольник прислоняется к краю шины, с помощью линейки измеряются расстояния от края угольника до верхней и нижней точки центрального диаметра колесного диска. Разница между двумя измерениями даст величину развала в единицах длины. Угол развала колеса определиться как арктангенс отношения разницы измерений к диаметру диска. Ввиду малости углов с достаточной точностью угол развала можно вычислить по следующей формуле:

$$\varphi = 180/\pi \cdot \Delta l/D$$

Пример: пусть разница Δl двух измерений составляет 8 мм, диаметр диска D равен 406 мм, тогда угол развала колеса φ равен 1,12° (1°07'). Строго говоря, такой метод измерений не совсем точный, но из-за простоты измерений и без применения дорогостоящего оборудования он вполне пригоден для практических целей.

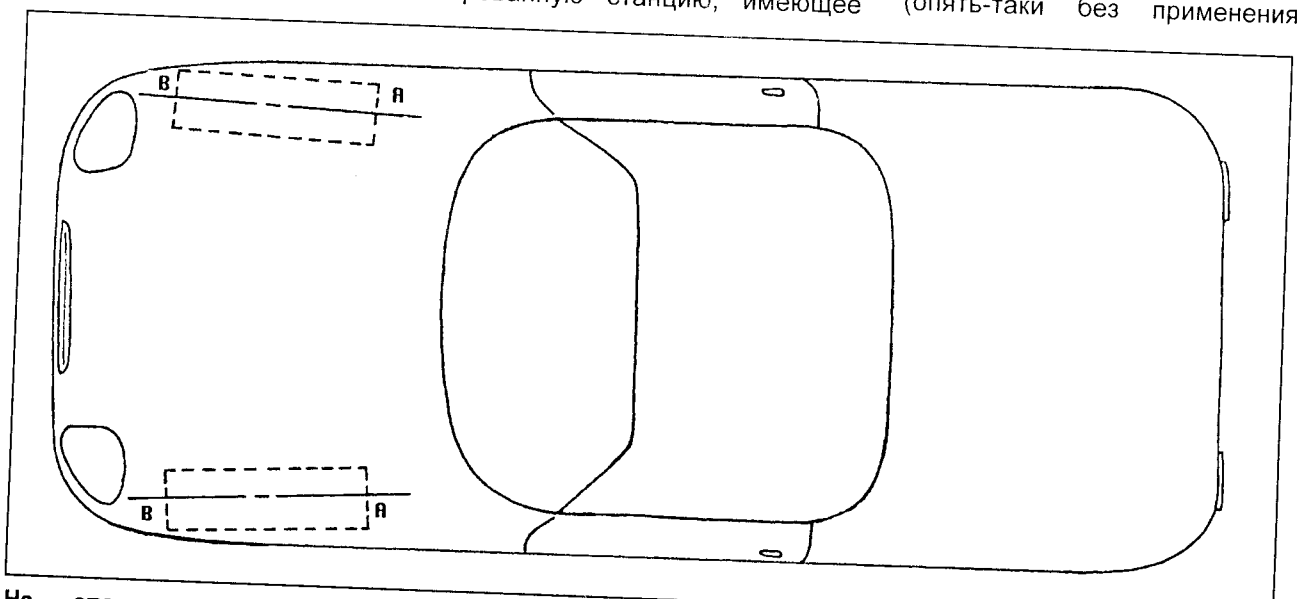
После измерений развала колеса в положении прямолинейного движения колесо поворачивают на 10 и 20 градусов в обе стороны и повторяют процедуру определения развала. Таким образом, Вы с помощью простых измерений получаете "информацию к размышлению" о качестве геометрии подвески. Развал колеса с изменением угла его поворота изменяется. Например, если колеса повернуть в направлении левого поворота, развал левого колеса должен уменьшаться, а развал правого - увеличиваться. Степень потери или приобретения развала при повороте колеса зависит от угла поворота и продольного и поперечного углов наклона оси поворота колеса.

Альтернативой данным измерениям может стать передача автомобиля на специализированную станцию, имеющее оборудование для регулировки углов установки колес, но обязательно нужно предупредить специалистов станции об условиях проведения измерений. Конечно, результаты измерений будут более точные, но качественные закономерности будут одинаковы при обоих способах измерений. Возможным преимуществом измерений развала с помощью специального оборудования будет более точное определение изменения развала по углу поворота колеса.

Первым делом нужно определить, является ли развал колес с обеих сторон одинаковым. Если нет, нужно провести необходимые регулировки. При положении колес для прямолинейного движения отрицательный развал передних колес не должен превышать 1,5 градуса, рекомендуемый диапазон отрицательного развала 0...1,5 градуса.

ИЗМЕРЕНИЕ СХОЖДЕНИЯ КОЛЕС

Все что нужно для проведения измерения схождения (опять-таки без применения



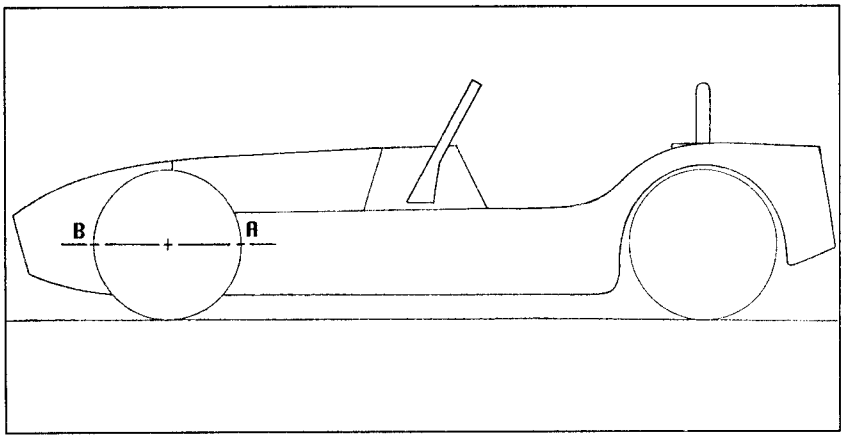
На этом рисунке показан автомобиль с отрицательным схождением колес. Линии "А-В" - представляют собой центральною ось шины. Расстояние "А-А" меньше расстояния "В-В". Метод измерения схождения описан в тексте.

сложного оборудования), это наличие ровного горизонтального пола, маркер с толщиной линии до 1 мм, рулетка и мерительный угольник.

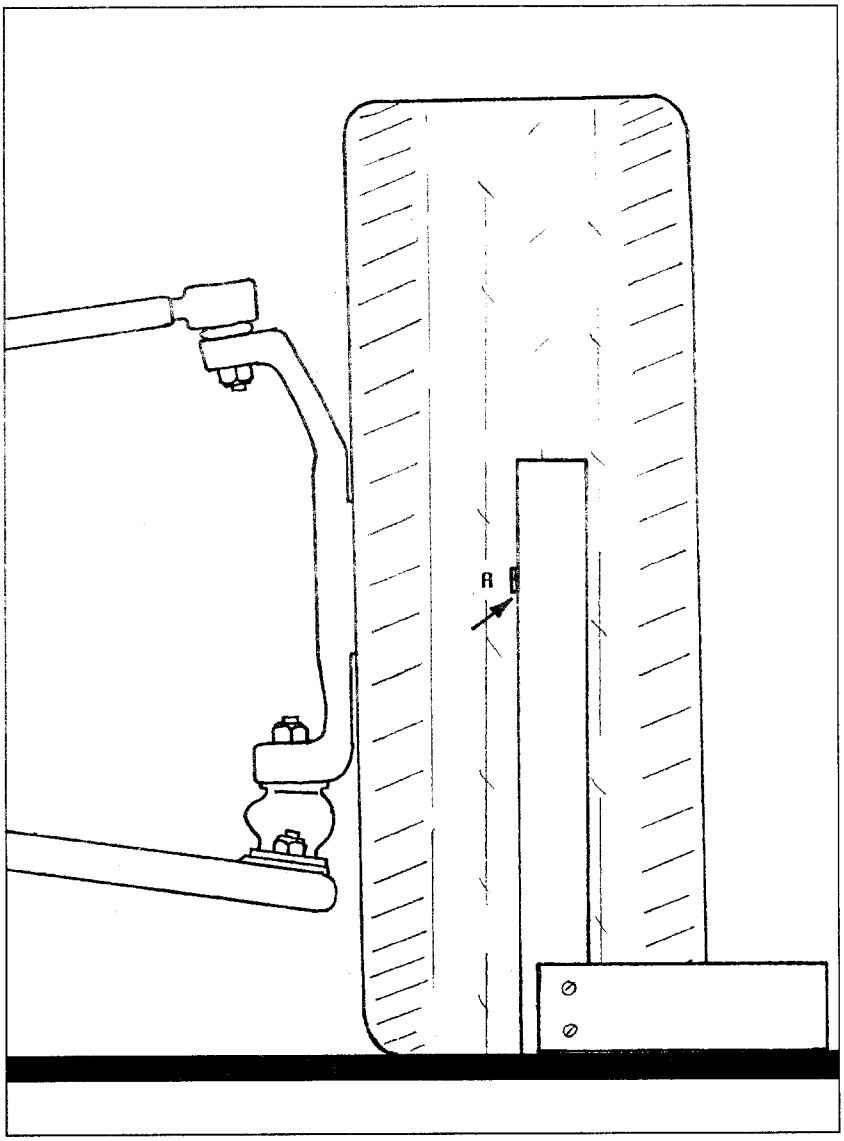
Сначала с помощью рулетки нужно убедиться в одинаковой длине рулевых тяг с обеих сторон автомобиля. Это непременное требование: тяги **всегда должны** быть равной длины. Любое изменение длины тяг не должно превышать четверти оборота регулировочной муфты с одной стороны. Максимально допустимая разность длины рулевых тяг составляет 1 мм. После проверки длины рулевых тяг установите колеса в положение прямолинейного движения и заблокируйте рулевое колесо.

Покатайте автомобиль назад и вперед на 1...1,5 метра для установки подвески и шин. Нанесите на задней стороне протектора шин проверяемой пары колес (передней или задней) точно на середине высоты колеса метки длиной примерно 12 мм. Затем с помощью угольника перенесите эти метки на пол, отметьте проекции меток. Перекатите автомобиль вперед так, чтобы сделанные метки снова встали на середине высоты колеса, но уже спереди (т.е. колесо должно сделать точно половину оборота). Снова спроецируйте метку на пол, как в первом случае.

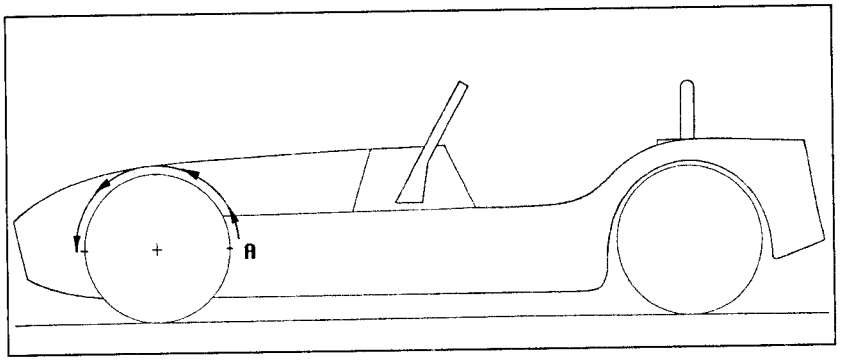
Откатите автомобиль назад и измерьте расстояния между парами передних и задних меток. Если расстояние между передней парой меток больше, чем между парой задних, автомобиль имеет отрицательное схождение, в обратном случае говорят о положительном схождении колес. Абсолютная величина схождения определяется как разница расстояний между парой задних меток и парой передних меток. После проведения регулировок обязательно проведите контрольное изме-



На каждое колесо белым маркером наносится метка "A" примерно по центру колеса и посередине ширины шины (ошибки нанесения метки не критичны). После передвижения автомобиля вперед устанавливается высота "B", равная высоте "A" (точные пол-оборота колеса).



Нанесение метки на протектор шины (точка A).



После нанесения меток "А" на оба колеса автомобиль перекатывается вперед так, чтобы метки оказались спереди. После проецирования меток на пол определяется разность расстояний (схождение) между передними и задними метками.

рение схождения (перед этим удалите с пола и шин ранее нанесенные метки). При неспешной и тщательной работе точность измерения схождения колес указанным способом достаточно высока.

Естественно, существуют много способов измерений схождения колес с помощью специального оборудования. При наличии этого оборудования следуйте инструкциям изготовителя и тщательно выполняйте все условия проведения измерений. Преимущество применения специального оборудования в том, что с его помощью легче определить индивидуальное схождение колес относительно центральной оси автомобиля.

ВНИМАНИЕ: Схождение колес (передних и задних) всегда должно быть распределено поровну между колесами одного моста.

ВЕС НА КОЛЕСЕ

Термин "вес на колесе" означает, какая часть общего веса автомобиля приходится на данное колесо. От правильного распределения веса по колесам зависит качество управляемости автомобиля. Известно много случаев, когда автомобиль никогда не проверялся, в какой пропорции распределен вес автомобиля.

Примечание переводчика: от веса, приходящегося на колесо, зависит величина прижимной силы, которая будет определять фундаментальные характеристики движения автомобиля, например, силу тяги на колесе и степень скольжения колеса (другими словами, характеристики разгона и торможения), см. например, раздел данной книги "Дифференциал повышенного трения" в главе "Задняя подвеска".

Эту процедуру часто считают применимой только к серьезным гоночным автомобилям, но это далеко не так: большой разброс распределения веса по колесам ведет к проблемам с управляемостью.

Если распределение веса по сторонам автомобиля не будет равным, автомобиль будет управляться неудовлетворительно. Тем не менее, в специальных случаях, например при гонках на треке с односторонними поворотами, дисбаланс нагрузки на колеса создается намеренно.

Во многих случаях люди отбрасывают проблему распределения веса автомобиля по колесам из-за невозможности приобрести довольно сложное оборудование для измерения нагрузки на колеса. Здесь мы опишем способ измерений, приводящий к удовлетворительным результатам, при котором нужен только ровный пол, домкрат и линейка.

Выход из создавшейся ситуации лежит во взаимосвязи между геометрией подвески и нагружением колес (вес водителя также принимается во внимание). Подвеска двухместных автомобилей, по крайней мере, сначала настраивается без учета веса пилота и штурмана. При настройке геометрии подвески как компромисс принимается центральное расположение водителя.

При несимметричном положении водителя влияние его веса на геометрию подвески не так велико, как это можно представить, поскольку вес водителя распределяется (хотя и очень непропорционально) по всем колесам автомобиля. Отметим так же, что вес водителя относительно общего веса автомобиля достаточно мал, тем более, что обычно сидение водителя установлено ближе к центру автомобиля, чем к одной из сторон. Другими словами учитывать или нет вес водителя, нужно решать самостоятельно, в зависимости от складывающейся ситуации. Приведем пример распределения веса водителя. Пусть за руль автомобиля с правосторонним управление усаживается водитель весом 68 кг. На правое заднее колесо придется 32 кг, на левое заднее колесо 18 кг, на левое переднее 13 кг и 5 кг на правое переднее колесо (при левостороннем управлении распределение веса будет симметрично относительно центральной оси автомобиля). Конечно, это только приблизительное распределение веса, много зависит от конкретных величин, таких как собственно вес водителя, места установки сидения, жесткости пружин подвески (чем жестче пружины, тем меньше сказывается влияние веса водителя в общей нагрузке на индивидуальное колесо). Вес водителя обычно

имеет тенденцию к диагональному распределению по колесам. Так, если водитель расположен слева, его вес главным образом, воспринимают левое заднее и правое переднее колеса. При наличии штурмана ситуация несколько усложняется, но не очень серьезно.

Итак, в первом приближении, при определении веса, приходящегося на каждое колесо, весом водителя можно пренебречь. Мерой правильности развесовки автомобиля будут хорошая управляемость или время прохождения круга или как легко автомобиль меняет траекторию, т.е. как реально будет хорош автомобиль для водителя.

Нужно иметь ввиду, что для изменения баланса веса на колесах можно изменить место расположение некоторых компонентов. Установка батареи внизу с противоположной стороны водителя почти всегда является хорошим решением.

После проведения всех работ нужно проверить поведение автомобиля в поворотах. Центробежные силы часто имеют довольно значительную величину: внутренние (по отношению к повороту) колеса автомобиля могут потерять контакт с дорогой при прохождении быстрых поворотов, поскольку эти два колеса практически полностью разгружены и почти весь вес автомобиля приходится на внешние колеса. Хотите верьте, хотите нет, но такая ситуация редко приводит к серьезным проблемам, если геометрия подвески в полном порядке. Если внешние колеса правильно установлены относительно дороги и шины не скручиваются относительно колесного диска, автомобиль все равно остается стабильным и становится как бы двухколесным.

Естественно, стационарное распределение веса по колесам будет отличаться от распределения веса в движении. Однако, статические настройки автомобиля могут быть использованы как базовые установки при регулировке развесовки автомобиля в динамике. Если в ходе тестов делается заключение об ухудшении характеристик автомобиля, всегда можно вернуться к начальному состоянию.

Как уже отмечалось, отрегулировать распределение веса по колесам, можно без применения весовых устройств. Хотя абсолютная величина веса, приходящееся на конкретное колесо, может быть и неизвестно, но следствие действия веса на колесо должно быть одинаковым. Для использования метода распределения веса по колесам, описанного ниже, жизненно **необходимо иметь** абсолютно ровный и **горизонтальный пол**. Вес водителя и штурмана в первом приближении во внимание можно не принимать.

Если регламент соревнований подразумевает отсутствие в автомобиле кого-либо, кроме водителя, его вес может быть заменен балластом, уложенным на сидение водителя. Если регулировка проводится без учета веса водителя, всегда нужно проверять правильность регулировок уже в движении, поскольку вес водителя, хотя и немного, но влияет на действительное распределение веса по колесам.

Перед продолжением работ нужно проверить равенство длин окружностей колес и давления в шинах (по переднему и заднему мостам).

Автомобиль с независимой передней подвеской и зависимой задней подвеской

ВНИМАНИЕ: перед началом работ под днищем автомобиля убедитесь в том, что страховочные стойки "поймают" автомобиль при его сходе с домкрата. Никогда не оставляйте автомобиль только на домкрате.

Сначала определяется положение центра картера дифференциала заднего моста. Центр картера помечается маркером или краской. Лучше всего нанести метку центра с помощью сварки, поскольку она будет постоянной величиной и будет использоваться каждый раз при проверке распределения веса по колесам. Под картер дифференциала подводится гаражный домкрат и мост приподнимается. Поскольку накладка домкрата достаточно велика (до 75 мм в диаметре), то для уменьшения ошибки позиционирования между картером и накладкой домкрата укладывают металлический пруток диаметром 12...16 мм. Пруток ориентируется точно по центру картера дифференциала. Мост поднимается до вывешивания задних колес.

Теперь перейдем к передней части автомобиля. Проведем измерения положения центров точек крепления нижних рычагов передней подвески к шасси относительно пола. Высота центров в обоих случаях должна быть одинаковой. Если высоты точек крепления разные, нужно их выровнять перемещением седел пружин подвески (подразумевается наличие coil-over стоек подвески, описанных выше). Имейте в виду, что при смене положения седла пружины изменяется высота установки кузова относительно пола. Поэтому выравнивание высоты точек крепления должно проводиться изменением седел пружин с двух сторон, что обеспечит неизменность высоты центра передней подвески (другими словами, нужно поднять одну сторону автомобиля и опустить другую). Разность высот точек крепления подвески не должна превышать 1 мм (максимум 2

мм). После проведения указанных регулировок вес автомобиля, приходящийся на передние колеса, будет одинаковым.

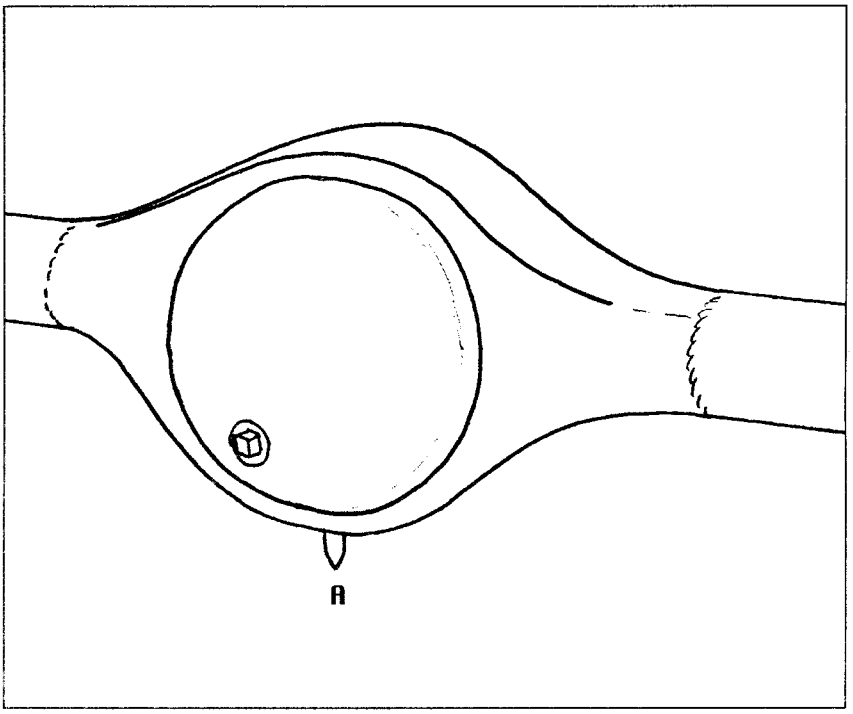
ВНИМАНИЕ: регулировка положения седел пружин подвески должна проводится только при сброшенной с подвески нагрузки (т.е. колесо должно быть вывешено).

Для вращения седла пружины и ослабления/затяжки контргайки пользуйтесь только специальными ключами (покупными или самодельными, но ключами). Повреждения выступов контргайки или седла ударами зубилом не только выглядят неопрятно, но и могут привести к ненадежности фиксации седла.

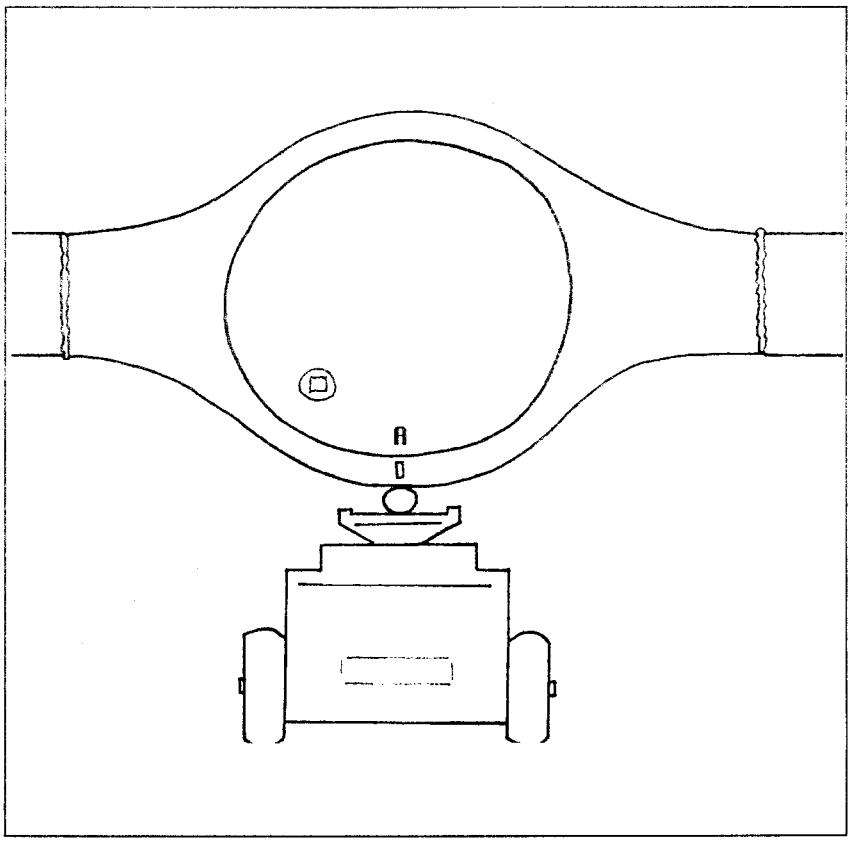
После того, как точки крепления нижних рычагов подвески установлены на одной высоте над полом, опустите автомобиль на колеса и покатайте его (примерно на расстоянии в 7...10 м) для установки подвески и амортизаторов. Снова вывесите задние колеса (способ подъема моста остается прежним) так, чтобы они отошли от пола примерно на 12 мм.

Снова проверим высоту точек крепления нижних рычагов передней подвески. Если высоты точек крепления с обеих сторон одинаковы, задача решена. Теперь перейдем к задней части автомобиля и проверим зазоры между задними колесами и полом. Если они равны, нагрузка на колеса распределена равномерно. Если не равны, нужно приподнять седло пружины со стороны большого зазора и опустить со стороны малого зазора до их выравнивания.

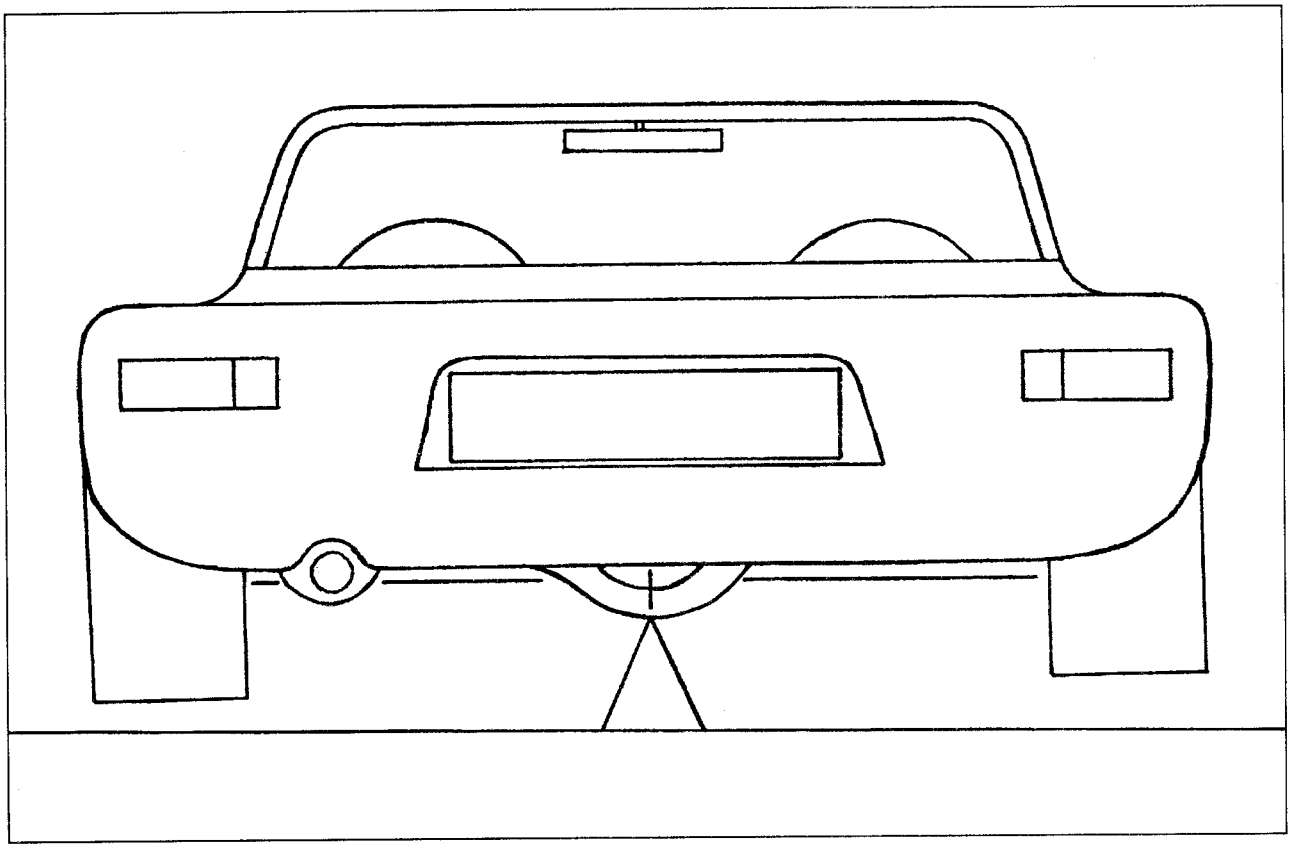
После выравнивания зазоров между задними колесами и полом распределение веса автомобиля по колесам будет равномерным. Опустите автомобиль и проверьте высоту подвески. Этой операцией регулировка распределения веса



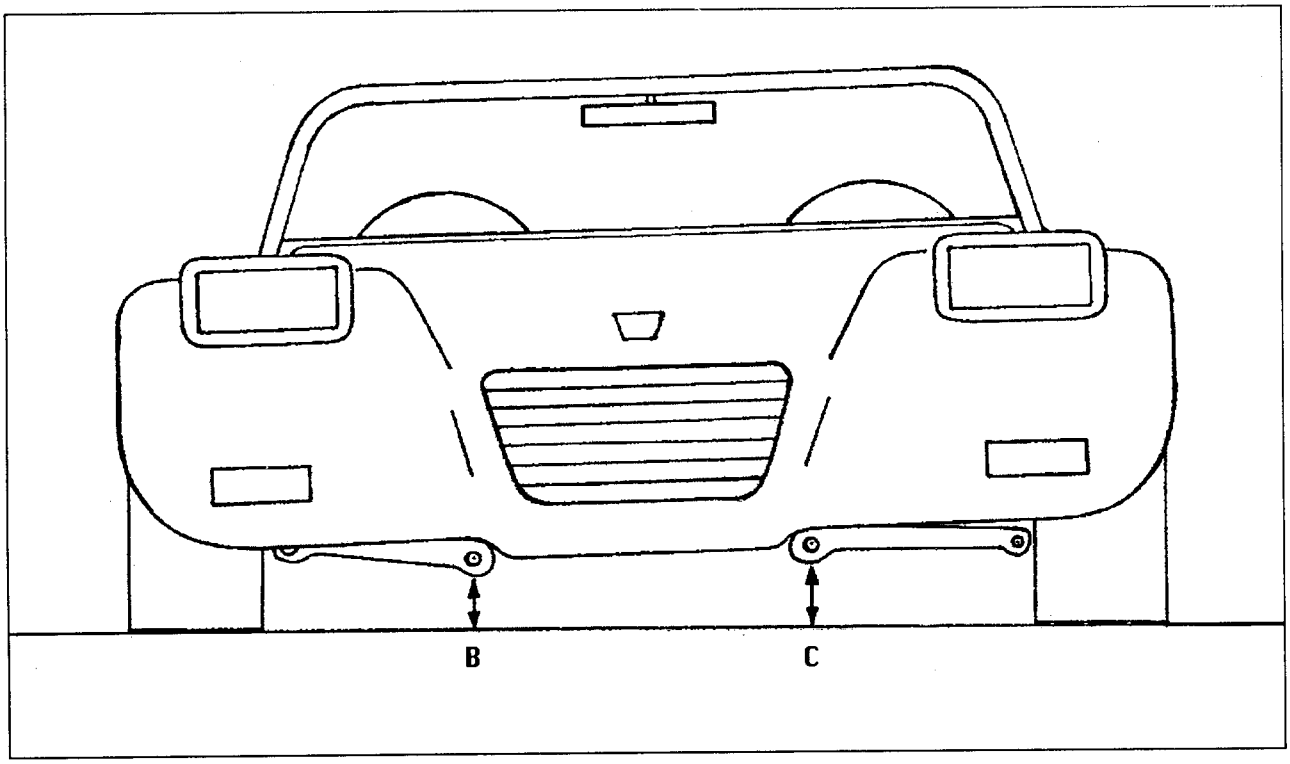
Метка "А" центра картера дифференциала, приваренная к картеру.



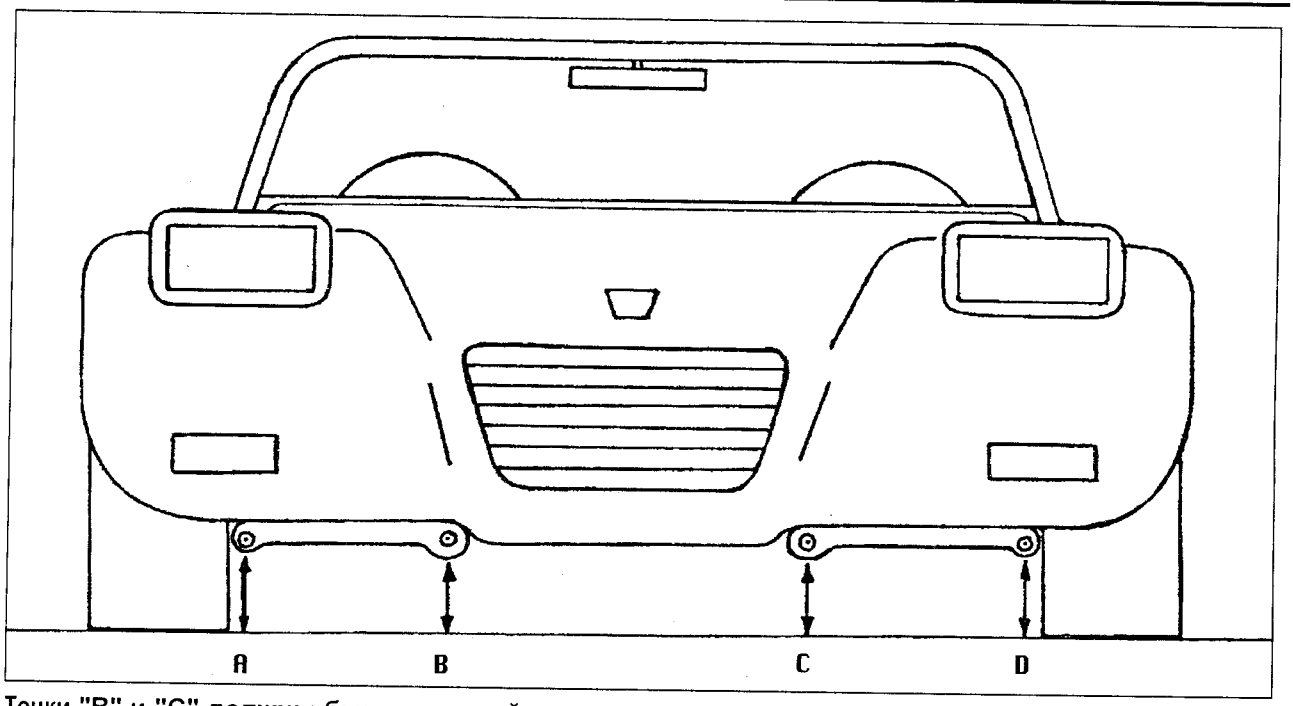
Способ вывешивания заднего моста с помощью домкрата через металлический пруток. Центры прутка и картера дифференциала должны быть совмещены.



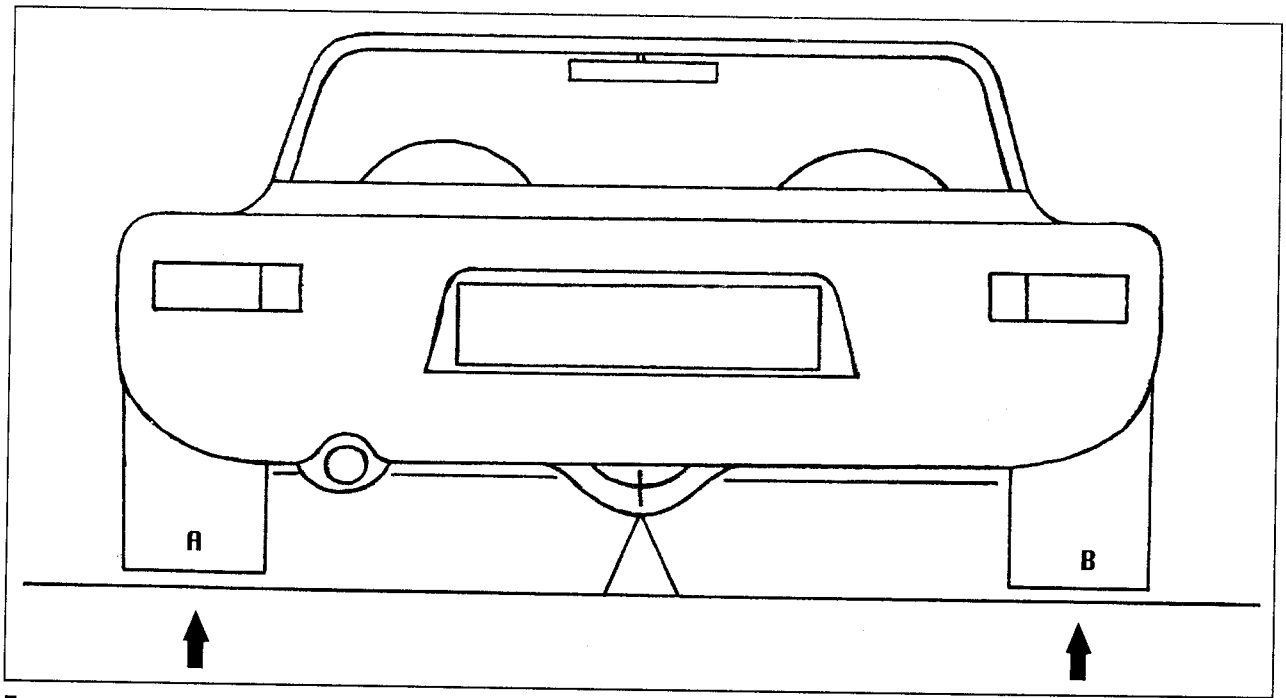
Автомобиль должен быть поднят так, чтобы передние колеса были на земле, задние колеса земли касаться не должны (передние колеса не показаны).



Если с одной стороны точка крепления одного нижнего рычага расположена ниже точки крепления второго рычага (B < C), отрегулируйте положение седел пружин подвески.



Точки "B" и "C" должны быть на одной высоте над полом (разница не более 1 мм). То же относится к положениям точек "A" и "D". Длина окружности колес с обеих сторон так же должна быть одинаковой.

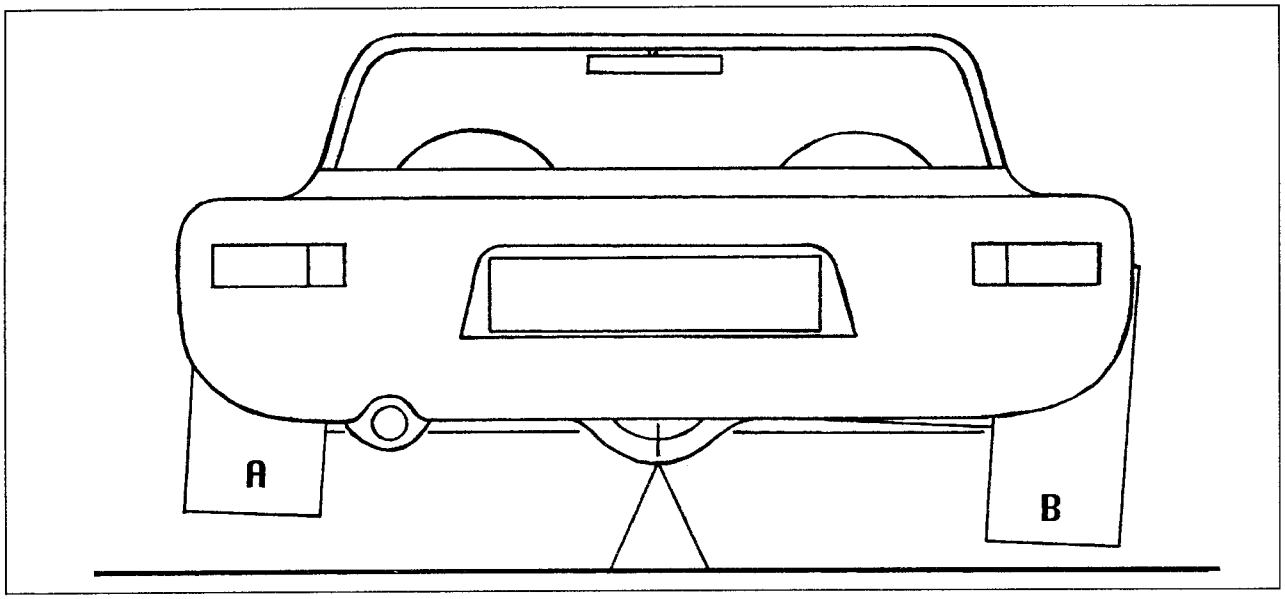


Если известно, что вес, приходящийся на передние колеса одинаков, то при равном весе на задних колесах зазоры "A" и "B" между задними колесами и полом должны быть одинаковыми (передние колеса не показаны).

заканчивается. Критический момент при проведении регулировок - это центральная установка домкрата под задним мостом и правильная установка рычагов передней подвески.

Автомобиль с независимыми передней и задней подвесками

ВНИМАНИЕ: перед началом работ под днищем автомобиля убедитесь в том, что страховочные стойки "поймают" автомобиль при его сходе с домкрата. Никогда не оставляйте автомобиль только на домкрате.



На рисунке показано неравенство зазоров "А" и "В" между задними колесами и полом. Нужно увеличить усилие пружины подвески со стороны "А" и уменьшить со стороны "В".

При такой конфигурации автомобиля проведение регулировки распределения веса по колесам несколько сложнее, чем при наличии зависимой задней подвески. Сначала поднимем заднюю часть автомобиля до вывешивания задних колес. Точка установки домкрата должна располагаться по центральной оси автомобиля как можно ближе к заднему мосту.

ВНИМАНИЕ: место установки домкрата под кузовом должно быть достаточно прочным, чтобы принять вес автомобиля без деформаций.

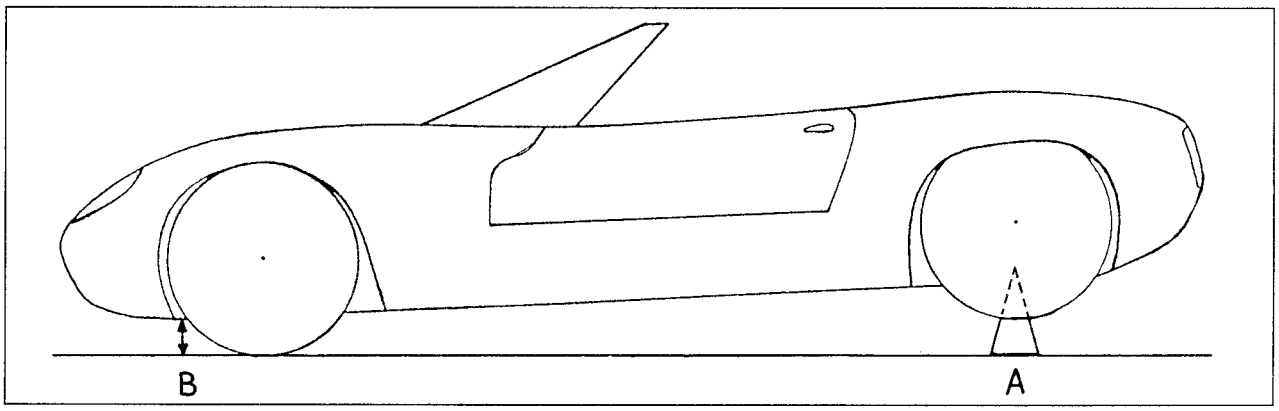
Так же, как и в случае с зависимой подвеской, между кузовом и площадкой домкрата укладывается металлический пруток. Точка установки домкрата помечается каким-либо способом.

Теперь проводим измерения высоты установки передней подвески с каждой стороны автомобиля. Если высоты точек крепления рычагов подвески к кузову одинаковы, никаких регулировок проводить не нужно. Если же они не равны (наиболее вероятная ситуация), нужно отрегулировать положение седел пружин подвески до выравнивания высот точек крепления рычагов. При регулировке положения седел пружин передние колеса должны быть вывешены (вес автомобиля на подвеску действовать не должен). После каждой регулировки автомобиль нужно устанавливать на колеса и прокатывать 7...10 метров. Регулировка проводится до точного равенства высот точек крепления рычагов над полом.

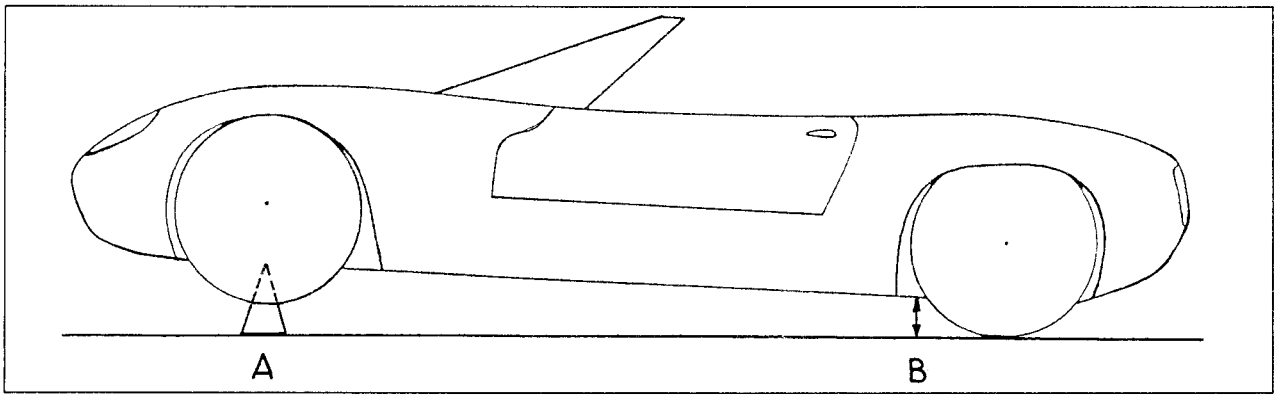
Теперь перейдем к задней части автомобиля и измерим расстояния от задних точек крепления нижних рычагов к кузову до пола с обеих сторон автомобиля. Эти точки используются как опорные в определении относительного положения передней и задней подвески (параллельность осей подвесок). Расстояния от точек крепления рычагов подвесок должны быть попарно одинаковы (конечно, спереди и сзади они не равны). Допустимая разница высот точек крепления 1 мм, в идеальном случае разницы в высоте быть не должно, все зависит от точности исполнения шасси. Если кронштейны крепления подвески приварены к шасси (кузову), нужно их отрезать и приварить на другом месте для обеспечения заданной точности высоты подвески. Не подумайте, что это глупость. Небольшая ошибка в начале размерной цепочки будет нарастать при переходе от детали к детали.

Ошибка в изготовлении шасси может быть разнесена на геометрию передней и задней подвески или, если она достаточно мала (до 0,5 мм) ее можно компенсировать задней подвеской. Только имейте в виду, что точность изготовления передней подвески более важна, поскольку в первую очередь от неё зависит курсовая устойчивость автомобиля, тогда как к неустойчивости задней подвески обычно более легко приспособиться.

Если задняя подвеска крепится к шасси через подрамник, его точки крепления можно использовать для регулировки положения подвески (обычно для установки подрамника применяются регулировочные проставки). Если шасси слегка не отвечает требованиям относительной установки передней и задней подвесок, подрамник задней подвески перемещается в нужном направлении, обеспечивая тем самым совмещение подвесок.



Подъем автомобиля за центр "А" задней оси. Высота "В" от точек крепления нижних рычагов передней подвески к кузову до пола должна быть одинаковой.



Подъем автомобиля за центр "А" передней оси. Высота "В" от точек крепления рычагов задней подвески к кузову должна быть одинаковой.

Итак, расстояние от земли до точек крепления рычагов подвески определяет геометрию подвески. Положение автомобиля может быть изменено так, что без изменения общей высоты подвески, расстояния от земли до точек крепления рычагов будет одинаковым с обеих сторон автомобиля.

Теперь перенесем домкрат с заднего моста на передний. Установим домкрат по центральной оси автомобиля как можно ближе к переднему мосту. Поднимем автомобиль до вывешивания передних колес (зазор над полом примерно 6 мм). Условия установки домкрата такие же, что и заднего моста.

Перейдем к задней части автомобиля. Измерим расстояния от пола до точек крепления нижних рычагов к шасси. Регулировкой пружин подвески выравниваем высоту точек крепления (заметим, что при не параллельности переднего и заднего мостов таким образом можно компенсировать только небольшую ошибку). Если при вывешенных и опущенных задних колесах разница в высотах точек крепления рычагов с обеих сторон не больше 1 мм, такая ошибка допустима. Еще раз заметим, что лучше иметь ошибки (небольшие!) в задней подвеске, чем в передней.

При наличии ошибки в установке рычагов нужно отрегулировать положение седел пружин подвески. Регулировку положения седла нужно проводить при разгруженной подвеске. После каждой регулировки автомобиль нужно прокатывать 7...10 метров для установки подвески. После регулировки задней подвески перейдем к передней и проверим высоту точек крепления ее рычагов. Эти точки сейчас рассматриваются как опорные для связи переднего и заднего мостов и ранее сделанных измерений. Измеренные расстояния с обеих сторон подвески должны быть одинаковыми. После завершения этих двух процедур регулировки еще раз проверяют высоты точек крепления всех рычагов подвесок. В идеале они должны быть равны.

ВНИМАНИЕ: в идеале желательно получить правильную геометрию шасси, одинаковую высоту точек крепления подвески и равномерное распределение веса по колёсам. Но небольшое отклонение в геометрии предпочтительнее, чем большая разница в весе приходящемся на каждое колесо.

Глава 10
Тестирование и регулировки автомобиля

После проведения всех регулировок, которые описаны в предыдущих главах этой книги, нужно провести дорожные испытания автомобиля, поскольку на практике поведение автомобиля может отличаться от теории. Например, если автомобиль имеет колеса с отрицательным схождением, предполагается, что на прямой автомобиль будет требовать определённого влияния со стороны водителя, он будет слегка "рыскать" по трассе. Но это небольшая плата за то, что при прохождении поворотов такой автомобиль будет стабилен "стоять как на рельсах".

УСТАНОВКА КОЛЕС

До того, как приступить к тестированию автомобиля, желательно провести повторные проверки настроек автомобиля. Бессмысленно думать, что без этих проверок, на тестах все

неприятности выявятся сами собой.

Установите автомобиль на ровный горизонтальный пол и установите передние колеса в положение прямолинейного движения (пока только визуально). Проверьте равенство длин рулевых тяг. Проверка такого рода слегка смахивает на шаманство, поскольку оба шаровых соединения рычага закрыты чехлами, однако оценка все же может быть проведена достаточно точно. При необходимости нужно отрегулировать длину тяг так, чтобы их длины были одинаковыми.

Несколько раз прокатите автомобиль вперед и назад примерно на 10 метров для установки подвески. Убедитесь в том, что автомобиль движется по прямой и не имеет тенденции к повороту. Закрепите рулевое колесо так, чтобы оно не могло вращаться. Доступным Вам способом измерьте схождение колес. В наиболее вероятном случае схождение колес с двух сторон будет не одинаковым. Удалите фиксатор рулевого колеса, слегка поверните руль до выравнивания схождения колес. Если правое колесо имеет большее отрицательное схождение (или меньшее положительное схождение) чем левое колесо, руль нужно повернуть влево и наоборот. Снова закрепите рулевое колесо и покатайте автомобиль вперед и назад. Проверьте равенство схождения колес.

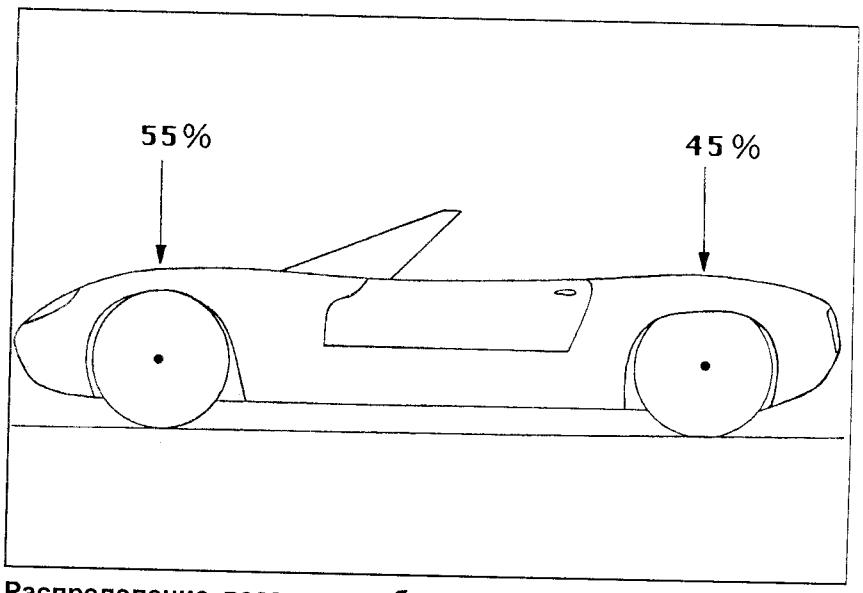
После определения центрального положения рулевого управления при необходимости переставьте рулевое колесо на его шлицах так, чтобы центральное положение всегда легко распознавалось. В большинстве случаев рулевое колесо спортивного автомобиля имеет три спицы, установленные в положениях 2, 10 и 6 часов. Спица положения "6 часов" должна соответствовать центральному положению рулевого управления. Конечно, варианты установки метки центрального положения могут быть и другими, но легко распознаваемыми.

Когда автомобиль движется по прямой и ровной дороге рулевое колесо всегда остается в центральном положении (за исключением наличия заметного поперечного уклона дороги). Таким образом, метка центрального положения становится ориентиром для определения установки колес в положении прямолинейного движения.

Снова проверьте схождение колес, при необходимости отрегулируйте длину рулевых тяг. Проверьте соответствие величины схождения колес техническим требованиям. Поскольку в требованиях величина схождение дается с допуском, старайтесь устанавливать схождение ближе к минимальной границе. Для проверки отклика автомобиля на установленное схождение проведите три теста с нулевым схождением и с положительным (3 мм) и отрицательным (3 мм) схождением. Проведите три дорожных теста.

Итак, мы правильно установили рулевое колесо, схождение передних колес и длины рулевых тяг. Теперь нужно проверить установку колёс на стенде. Если автомобиль с зависимой задней подвеской, то мы должны получить 0 градусов схождения, что говорит о правильной установке заднего моста. Если прибор показывает что одно колесо имеет положительное схождение, а второе отрицательное, то ось установлена не перпендикулярно шасси и требуется регулировка. В противном случае возникает избыточная поворачиваемость автомобиля с одной стороны, когда заднее колесо с отрицательным схождением становится внешним по отношению к повороту и наоборот.

При независимой задней подвеске оба колеса должны иметь одинаковое схождение (настройку схождения задних колес лучше проводить на специальном оборудовании). Отрицательное схождение задних колес в независимой подвеске всегда ведет к плохим результатам: недостаточной поворачиваемости и подруливанию задних колес на неровной дороге. Причем подруливание очень часто бывает непредсказуемым и сбивает водителя с толку. Итак, устанавли-



Распределение веса автомобиля по осям (55% на передний мост и 45% на задний).

вайте положительное схождение колес независимой задней подвески. В среднем хорошие результаты достигаются при схождении в 3 мм (по 1,5 мм на каждое колесо).

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕСА НА КОЛЕСАХ

Правильное распределение веса автомобиля по колесам обеспечивает хорошую управляемость автомобиля. То, что автомобиль имеет четыре колеса, не значит, что на каждое колесо должна приходиться четверть веса автомобиля. Пусть автомобиль весит 726 кг. Пусть распределение веса по осям автомобиля составляет 55/45 (т.е. 55% веса приходится на передние колеса, 45% - на задние). Таким образом, на передние колеса приходится 400 кг, на задние 326 кг.

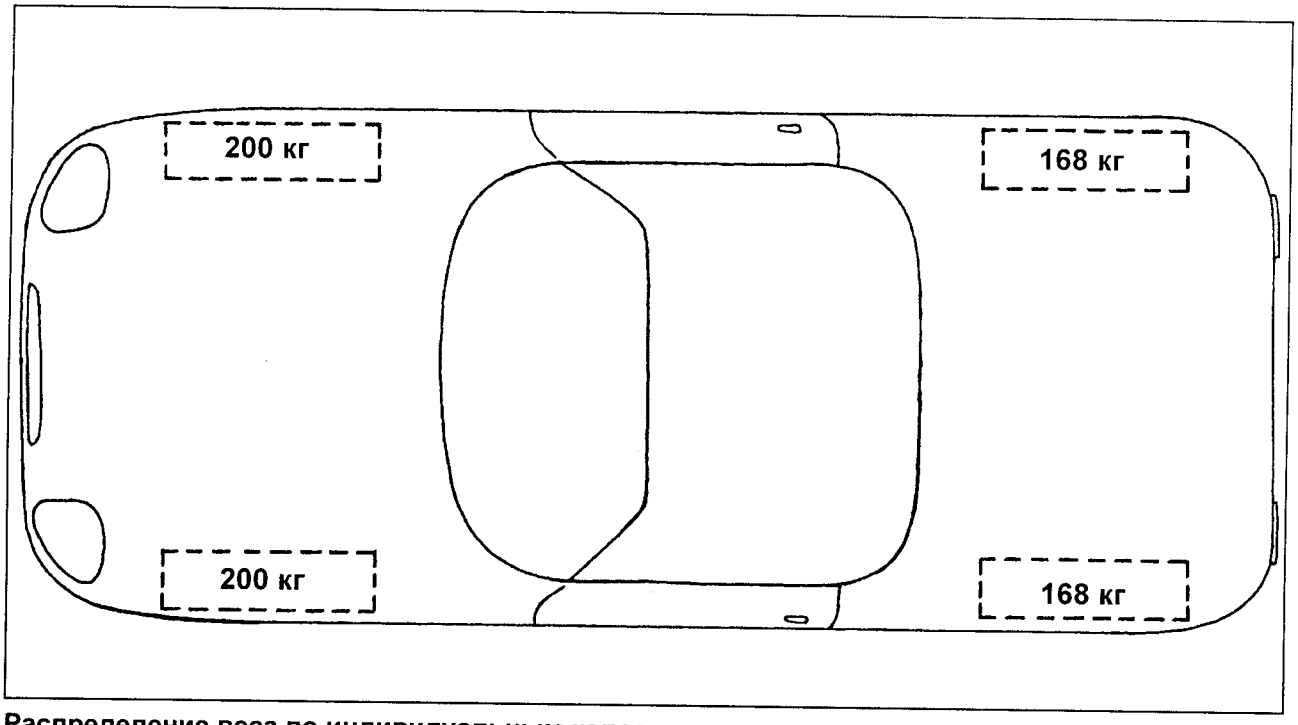
Другим фактором распределения веса является равенство нагрузки на колеса одного моста. Если вес распределен поровну, то на каждое переднее колесо приходится по 200 кг нагрузки, а на каждое заднее – по 168 кг. Чем равномернее распределяется вес по отдельным колесам (одного моста), тем лучше управляемость автомобиля.

Примечание переводчика: собственно, распределение веса по мостам автомобиля (положение центра тяжести) так же играет не малую роль в обеспечении управляемости. Этот вопрос в предлагаемой книге не поднимается.

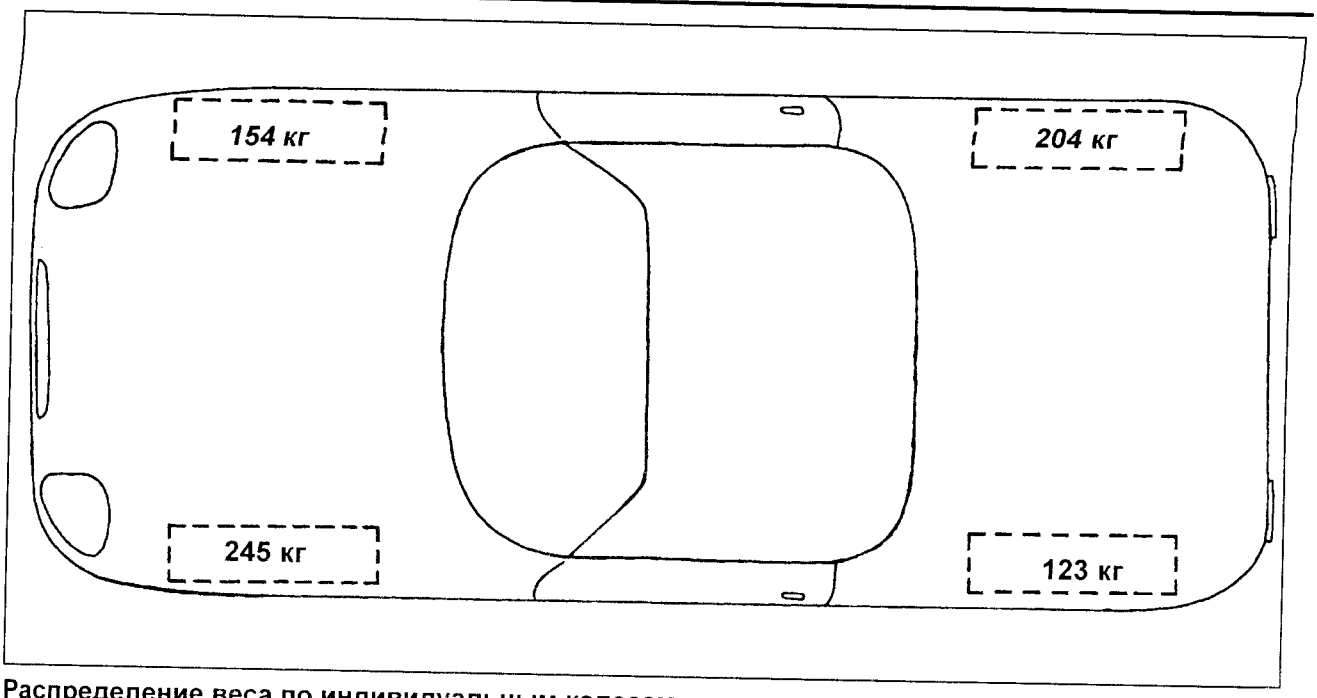
В идеальном случае загрузка колес одного моста должна быть одинакова, что на практике не всегда достижимо. Разница загрузки колес по разным сторонам автомобиля может быть довольно значительной, что приведет к серьезным проблемам с управляемостью автомобиля. Кроме того, часто не рассматривают баланс веса по диагоналям автомобиля. В нашем числовом примере распределения нагрузки по осям (440 кг + 326 кг) не говорится о том, сколько веса автомобиля приходится на индивидуальное колесо.

Если натяжение пружин подвески отрегулировано при значительном отличии нагрузки на индивидуальные колеса, кузов автомобиля может занимать вполне приемлемое положение, но компоненты подвески при этом будут установлены весьма неравномерно. Пример неравномерного распределения веса показан на рисунке (см. следующую страницу). В большинстве случаев такие тяжелые узлы, как двигатель, коробка передач, топливный бак стараются расположить по центральной оси автомобиля с тем, чтобы их вес равномерно распределялся по колесам одной оси.

Важным моментом является тот факт, что нагрузка приходящаяся на переднюю и заднюю ось передаётся на колёса через упругие элементы подвески (пружины или рессоры). Это очень важный момент, поскольку при неверной регулировке предварительного сжатия пружин даже при положении центра тяжести автомобиля точно на



Распределение веса по индивидуальным колесам (равенство нагрузки на колеса с разных сторон, но не по осям).

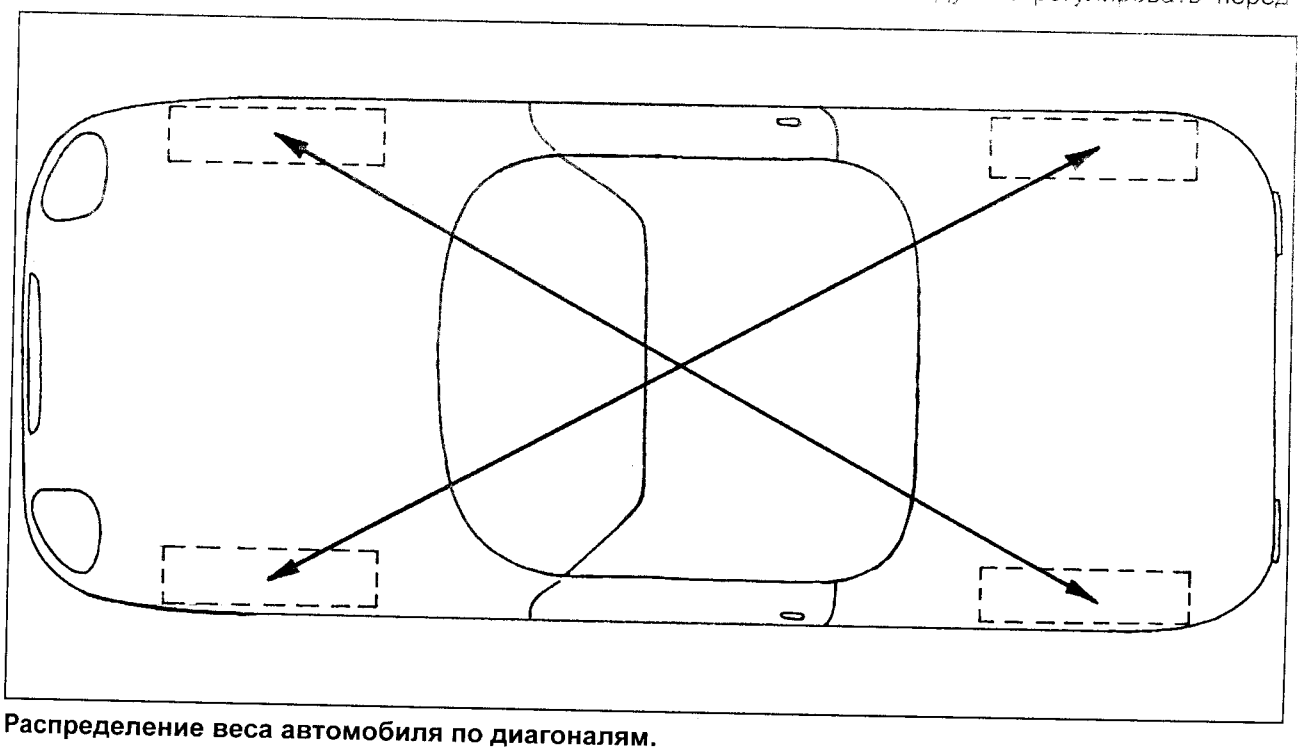


Распределение веса по индивидуальным колесам (большое неравенство распределения нагрузки).

центральной оси, распределение веса по колесам будет разным.

Отсюда возникает безусловное требование предварительного подбора жесткости пружин подвески. Равенство характеристик пружин обеспечит равенство нагрузки на колесах (одной оси). Применение стоек coil - over позволяет легко отрегулировать сжатие пружин.

Рассмотрим ситуацию возникновения неравномерного распределения нагрузки на колёса. Например скажем, пружина правого заднего колеса стала более жесткой (в результате повреждения компонентов подвески, не корректной регулировки седла и пружины). В данном случае требуется восстановить баланс распределения веса по диагонали автомобиля к левому переднему колесу, а не к правому переднему, как кажется. Следует отрегулировать перед-

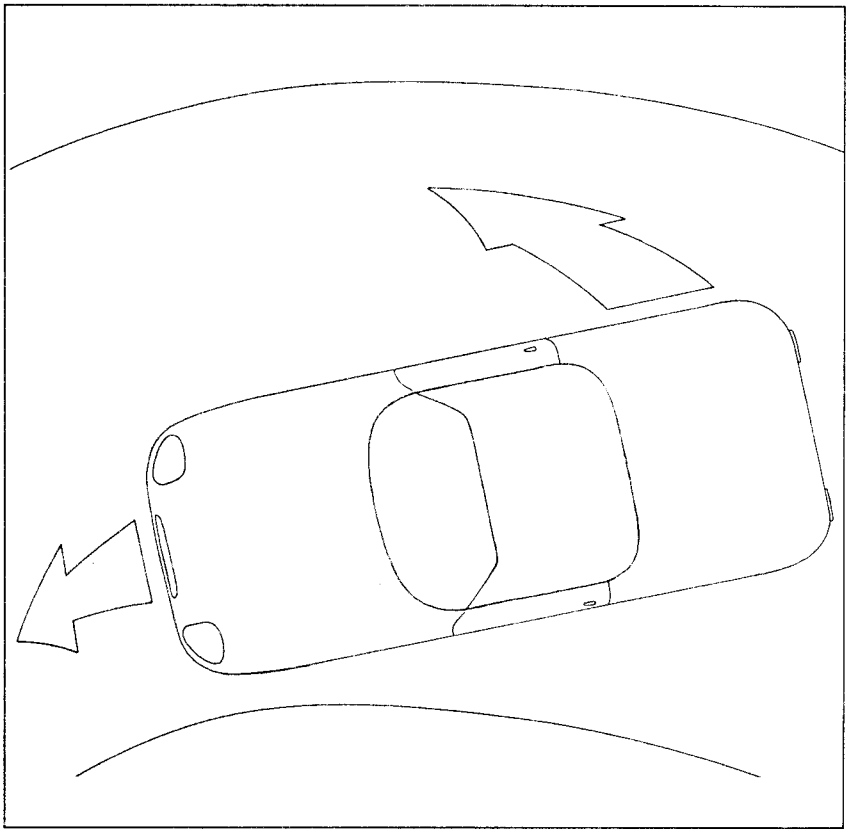


Распределение веса автомобиля по диагоналям.

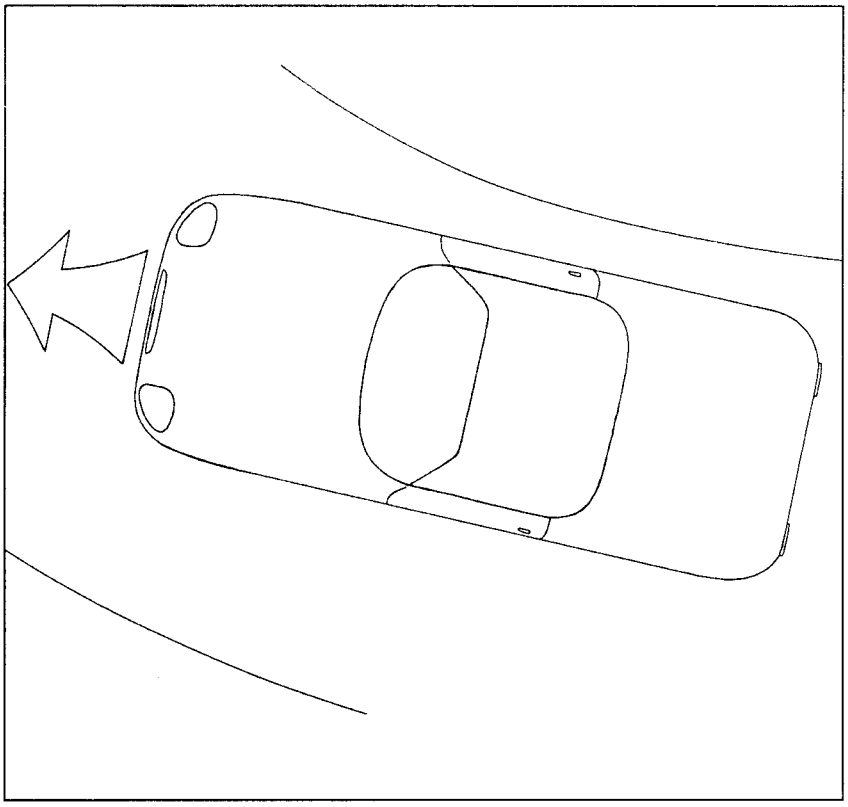
нюю левую пружину так, чтобы автомобиль выровнялся относительно поверхности. Но вес приходящийся на колёса будет распределён неравномерно.

В случае, когда большая нагрузка будет приходиться на левое переднее и правое заднее колёса, правое переднее и левое заднее колеса не будут поддерживать автомобиль, так как они недогружены, что немедленно скажется при движении на высокой скорости: скажем, при быстром прохождении левого поворота автомобиль будет проявлять избыточную поворачиваемость (предполагается, что с геометрией подвески всё в порядке). Автомобиль из-за большей статической нагрузки приходящейся на левое переднее колесо, очень хорошо зайдет в поворот, но затем высокая загрузка правого заднего колеса будет "загонять" автомобиль внутрь поворота. Это поведение автомобиля, особенно спортивного, совершенно недопустимо, управлять им очень тяжело.

Конечно, если автомобиль проходит только односторонние повороты (гонки по овалу), такое распределение веса может дать некоторые преимущества. Проблемы создает большое неравенство распределения веса по колесам. Если к тому же пружины подвески установлены достаточно мягкие, неравенство загрузки колес проявляется сильнее, чем при жестких пружинах. Разберем рекомендации по загрузке колес двухместного спортивного автомобиля весом 680 кг. Общим вопросом будет, сколько человек, два или один, находится в автомобиле. Большинство спортивных автомобилей имеют сидения, расположенные очень близко друг к другу и по возможности близко к центральной оси автомобиля. Это означает, что при посадке только одного водителя, баланс нагрузки на колеса изменяется незначительно и не создает



Автомобиль в левом повороте имеет избыточную поворачиваемость.



Автомобиль в правом повороте имеет недостаточную поворачиваемость.

больших проблем. Конечно, нарушение баланса зависит от того, какого веса водитель, какую жесткость имеют пружины подвески и на каком расстоянии от центра автомобиля установлено сидение. Если лучший баланс был достигнут на конкретном автомобиле при посадке двух человек, пренебрежение установкой балласта (в ситуации только с одним водителем) может привести к проблемам распределения веса, особенно в условиях, при которых требуется оптимальная управляемость.

При посадке двух человек вес автомобиля увеличивается примерно на 130 кг. Поскольку сидения расположены с разных сторон от центральной оси автомобиля, этот дополнительный вес распределяется по колесам более или менее равномерно. Конечно, вес двух человек может быть разным, что приводит к некоторому компромиссу в настройках. Если более тяжелый человек усаживается справа, его вес воспринимается в большей степени правым задним и левым передним колесами, чем левым задним и правым передним колёсами, тем самым слегка нарушая баланс нагрузки на колеса.

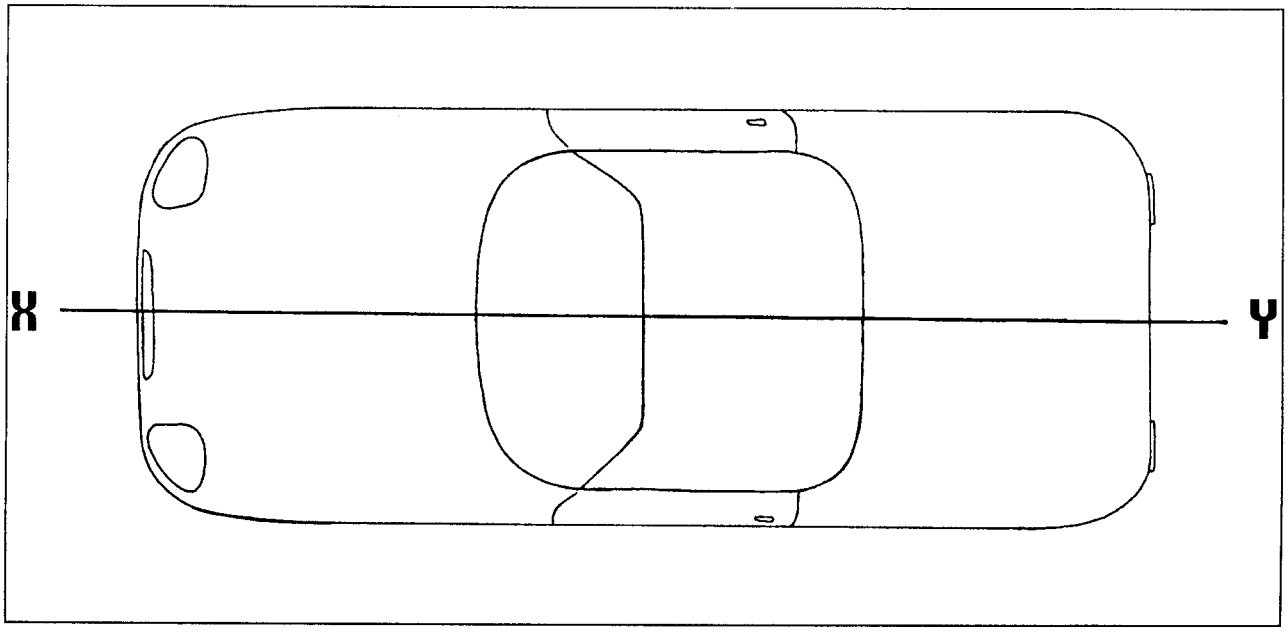
Другой фактор смены баланса – жесткость пружин подвески. При более жестких пружинах изменение нагрузки на колеса при посадке водителя происходит в меньшей степени, чем при мягких пружинах (меньше изменение геометрии). Иногда бывает так, что пружины настолько жесткие, что посадка водителя никак не сказывается на высоте автомобиля. Выбор жесткости пружин подвески важный момент в решении проблемы распределения веса при посадки двух или одного человека. Пружины должны быть достаточно, но не чрезмерно, жесткими. Например, для автомобиля общей массой 680...720 кг с передним расположением двигателя жесткость передних пружин должна быть примерно 45...63 кг/см, а жесткость задних – 23...36 кг/см.

Решение вопроса, принимать или нет во внимание вес водителя и штурмана при установке баланса нагрузки на колеса, зависит от конкретной ситуации. Например, в кольцевых гонках учет веса водителя абсолютно необходим. Если автомобиль имеет жесткую подвеску, то вес водителя не скажется на геометрии подвески, но изменение жесткости подвески может сказаться на управляемости.

Если при посадке водителя подвеска просаживается более, чем на 6 мм, то вероятно пружины слишком мягкие и их нужно заменить, чтобы избежать потери геометрии подвески.

Теперь рассмотрим действие центробежных сил при прохождении поворотов. Крен кузова, возникающий под действием этих сил, обостряет первоначальный дисбаланс распределения веса, иногда очень значительно. Поэтому, если есть возможность установить сидение водителя ближе к центральной оси автомобиля хотя бы на 25 - 50 мм, это надо сделать. Спортивные сидения достаточно узкие, чтобы их передвинуть ближе к центру без создания неудобств в работе педалями.

Если при настройке подвески принимается во внимание вес водителя, он или балласт такого же веса, должен находиться на своем месте. Установите автомобиль на ровный горизонтальной поверхности и приподнимите автомобиль за середину картера главной передачи заднего моста. Отрегулируйте переднюю подвеску



Центральная ось автомобиля (X-Y).

(опустить высокий край и/или поднять низкий край автомобиля) так, чтобы точки крепления рычагов подвески с обеих сторон были на одной высоте над полом. Если автомобиль имеет заднюю зависимую подвеску, нужно отрегулировать зазор межу задними колесами и полом. Если автомобиль имеет заднюю независимую подвеску, задние колеса должны быть опущены на пол, а передние колеса вывешиваются (домкрат устанавливается по центру ближе к переднему мосту). Далее проводится регулировка пружин задней подвески до выравнивания высот точек крепления рычагов над полом.

ШИНЫ

Длина окружности шин ведущих колес на мосте с дифференциалом повышенного трения должна быть одинакова с обеих сторон автомобиля. Если это не так, могут возникнуть непредвиденные проблемы. Что же произойдет, если скажем правое заднее колесо имеет окружность шины на 25 мм больше, чем левое? В этом случае автомобиль получит тенденцию к произвольному повороту влево в правом повороте и приобретет избыточную поворачиваемость в левом повороте. Этот эффект проявляется только при частичной или полной блокировке дифференциала и при достаточно мощном двигателе. При отсутствии пробуксовки эффект не проявляется. Это происходит потому, что колесо с большей длиной окружности (большим диаметром) проходит больший путь при разблокированном дифференциале.

В зависимости от величины разности длин окружностей колес проявляется чувствительность автомобиля к уводу при разгоне на прямой. В нашем примере при разгоне на полной мощности автомобиль будет иметь тенденцию к уводу влево.

Если Ваш автомобиль оборудован дифференциалом повышенного трения, обязательно контролируйте длину окружности ведущих колес. Разница длин окружностей не должна превышать 6 мм. В противном случае автомобиль будет "рыскать". Длина окружности колеса проверяется при давлении в шине, рекомендованном изготовителем.

При тестировании автомобиля сначала в шинах создается давление, рекомендованное изготовителем шин. Однако, приготовьтесь увеличить или уменьшить давление: при низком давлении увеличивается сопротивление качению и автомобиль не может развить максимально возможную скорость. В некоторых случаях можно увеличить давление в шинах примерно на 0,7 бар относительно стандартной величины (при перекачанной шине в повороте она будет издавать повышенный шум). Обычно диапазон давления в шинах равен 1,0...2,1 бар. Проверьте поведение автомобиля во всем указанном диапазоне давления в шинах.

При низком давлении в шинах автомобиль будет иметь тенденцию к боковому уводу (в дополнение Вы получите повышенный шум от шин). При слишком высоком давлении уменьшается сцепление шин с дорогой из-за уменьшения пятна контакта. При низком давлении в шинах больше изнашиваются внешние края шины, при высоком – центральная часть. Нужно выбрать максимальное давление, обеспечивающее максимально хорошую управляемость. Окружность колеса измеряется по центральной части протектора, при рекомендованном производителем давлении в колесе.

ТОРМОЗА

Если автомобиль имеет излишнее отрицательное схождение колес, то при тяжелом торможении машина может начать терять курсовую устойчивость или, что еще хуже, полностью потерять управляемость. Такие симптомы проявляются как при излишнем отрицательном схождении, так и при наличии повышенных зазоров в рычагах подвески (в шарнирах или втулках). При тяжелом торможении повышенные зазоры в соединениях рычагов подвески рулевого управления обычно увеличивают отрицательное схождение колес.

Отрицательное схождение устанавливают из условия максимально хорошего прохождения поворота, для эффективного же торможения отрицательное схождение вредно. Если устранение зазоров в соединениях рычагов подвески и рулевого управления не приводят к решению проблем с торможением, Вы должны знать пределы безопасного торможения и их придерживаться. Достаточно много людей жертвуют хорошим прохождением поворотов в пользу эффективности торможения. Помните, что неуправляемый автомобиль превращается в опасный снаряд. Обычно отрицательное схождение в 3,5 мм достаточно для любого автомобиля.

ВНИМАНИЕ: Все регулировки автомобиля должны быть направлены на максимальное использование потенциала всех систем. Вот почему необходимо проводить тестирование автомобиля. Никогда не проводите тестирование на дорогах общего пользования. Для тестирования должна выбираться закрытая для посторонних трасса с хорошим покрытием и большими обочинами для обеспечения достаточного

пространства для маневрирования в опасных ситуациях.

Тестирование тормозной системы жизненно необходимо. Водитель должен точно знать все возможности тормозной системы. Другими словами, нужно знать сколько времени и пространства понадобиться для изменения скорости до желаемой величины, что приходит с опытом. На многих гоночных трассах устанавливаются указатели расстояния до начала поворота. Ориентируясь по ним, водитель определяет точный момент начала торможения для сброса скорости до безопасной величины при прохождении поворота. Прохождение поворотов будет осуществляться по разному, в зависимости от сложности поворота, поэтому водитель должен точно знать возможности своего автомобиля. Нет ничего хорошего в борьбе с автомобилем, который зашел в поворот слишком быстро: Вы внезапно чувствуете, что машина уже не так устойчива, как обычно и хотите быстро отрастить крылья. Лучше на тестах отработать моменты начала торможения (привести в соответствие возможности машины и условия трассы) так, чтобы не нанести травм себе и не повредить автомобиль.

Наличие в тормозной системе клапана перераспределения тормозных сил может быть очень полезно. Если начать полное торможение с высокой скорости на сухом покрытии, задние колеса могут быть заблокированы. Подбором давления срабатывания клапана давление в контурах задних тормозов уменьшают до предела блокировки (т.е. до точки максимальной эффективности торможения). При движении на влажном покрытии регулировка давления в тормозной системе становится более необходимой. Если установить привод регулятора клапана в зоне работы водителя, он может регулировать давление в системе по ходу соревнований.

Чем выше скорость начала торможения, тем большая эффективность тормозов нужна для замедления автомобиля. Водитель должен точно знать минимальную дистанцию, которую пройдет автомобиль до начала эффективного торможения от момента нажатия на педаль тормоза. Ниже приведем примерный порядок тестирования тормозной системы.

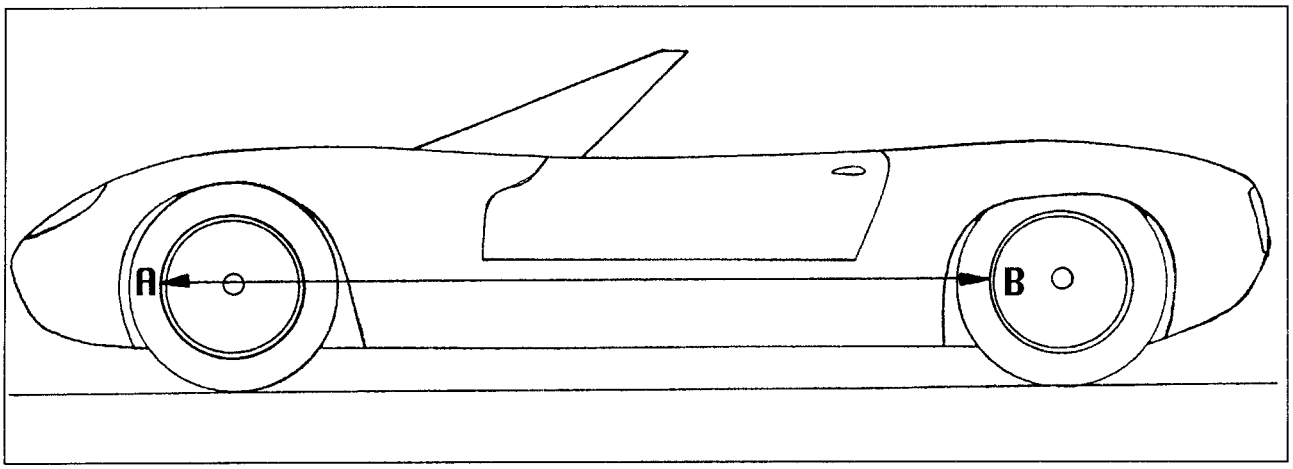
ВНИМАНИЕ: при тестировании автомобиля должны быть приняты все меры к обеспечению безопасности водителя и наблюдателей. Водитель так же должен быть готов к управлению автомобилем при потере сцепления с дорогой.

Сначала установим вдоль трассы указатели дистанции. Указатели располагаются обычно на расстоянии в 100 метров на участке в 500 метров. При подходе на полной скорости к первому указателю начинают торможение до полной остановки. Торможение нужно стараться проводить за минимальное время. После измерения тормозного пути начинаем анализировать качество торможения:

- был ли увод автомобиля с прямолинейной траектории?
- имел ли автомобиль тенденцию к повороту вокруг вертикальной оси?
- блокировались ли колеса, если да, то какие и в какие моменты?
- насколько комфортно ощущал себя водитель?
- доверял ли водитель автомобилю?

Для обсуждения всех вопросов нужно привлекать наблюдателей (**ВНИМАНИЕ: наблюдатели должны располагаться вдоль трассы на безопасном расстоянии, не ближе 20 метров к трассе**). Наблюдатели высказывают свое мнение и помогают полнее обрисовать поведение автомобиля. Например, они могут сообщить, в какой момент наступила блокировка колес и как долго она продолжалась.

Поразительно как много интересного обнаруживается в попытках снизить время торможения и тормозной путь. В начале торможения с полной скорости почти всегда требуется максимальное усилие на педали тормоза. Во многих случаях для предотвращения блокировки колес нужно сбрасывать усилие с педали тормоза, как только скорость автомобиля снизится до определенного уровня. Когда наступит этот момент может понять только достаточно опытный водитель, т.е. водитель должен "чувствовать" эффективность торможения и поддерживать тормозное давление около точки блокировки колес. Заблокированные колеса дают не столько тормозного эффекта, сколько генерируют дым и запах горелой резины. При полной блокировке колес тормозной путь значительно увеличивается, а автомобиль становится неуправляемым. В этой ситуации нужно отпустить педаль тормоза и начать повторное торможение (по принципу работы антиблокировочной системы тормозов). Таким образом, в результате тестов вырабатывается оптимальная стратегия торможения. В реальной гонке автомобиль редко тормозится до полной остановки, но тем не менее стратегия максимальной эффективности торможения должна применяться и в этом случае. При торможении автомобиль не должен сходить с траектории и не иметь тенденции к повороту вокруг вертикальной оси или к блокировке колес. Блокировка задних колес часто приводит к заносу заднего моста. Если это происходит, нужно установить



Измерение колесной базы между передними точками колесных дисков.

клапан перераспределения тормозных сил или, если он уже установлен, отрегулировать его. Автомобиль не должен терять курсовой устойчивости (это случается, когда одно из передних колес затормаживается не совсем эффективно).

БОКОВОЙ УВОД АВТОМОБИЛЯ

Если при движении по прямой автомобиль постоянно уводит в одну сторону, проверьте величину колесной базы с обеих сторон автомобиля. Даже небольшая разница в колесной базе (в 3...6 мм) может привести к боковому уводу автомобиля. Итак, колесная база с обеих сторон автомобиля **всегда** должна быть одинаковой. Для проверки колесной базы нужно установить передние колеса в положение прямолинейного движения и измерить расстояние между передними точками колесных дисков переднего и заднего колеса. Перед этим нужно обязательно убедиться в равенстве диаметров дисков, иначе результаты измерений колесной базы будут неверными.

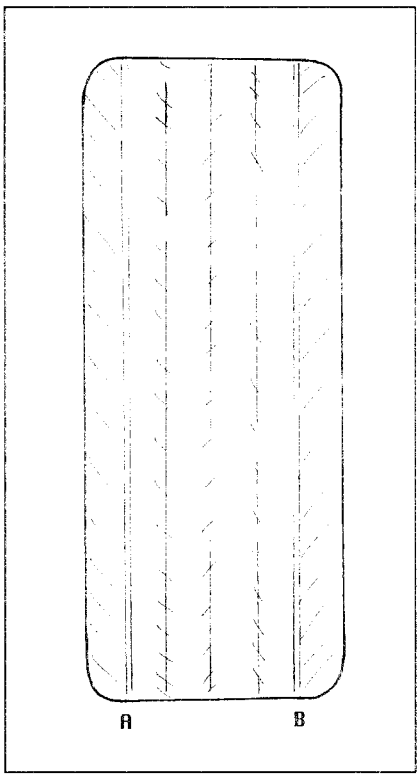
Если колесная база меньше справа, то автомобиль будет уводить вправо и наоборот.

Другой причиной бокового увода является разность длин окружностей колес одного моста. Проверьте одинаковость давления в шинах и измерьте длину окружности колес в трех сечениях (по центру и краям шины). Если шина окажется скошенной к одному краю, то она и была причиной увода. Замените шину и проверьте поведение автомобиля.

ПРОБЛЕМЫ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ПОВОРОТОВ

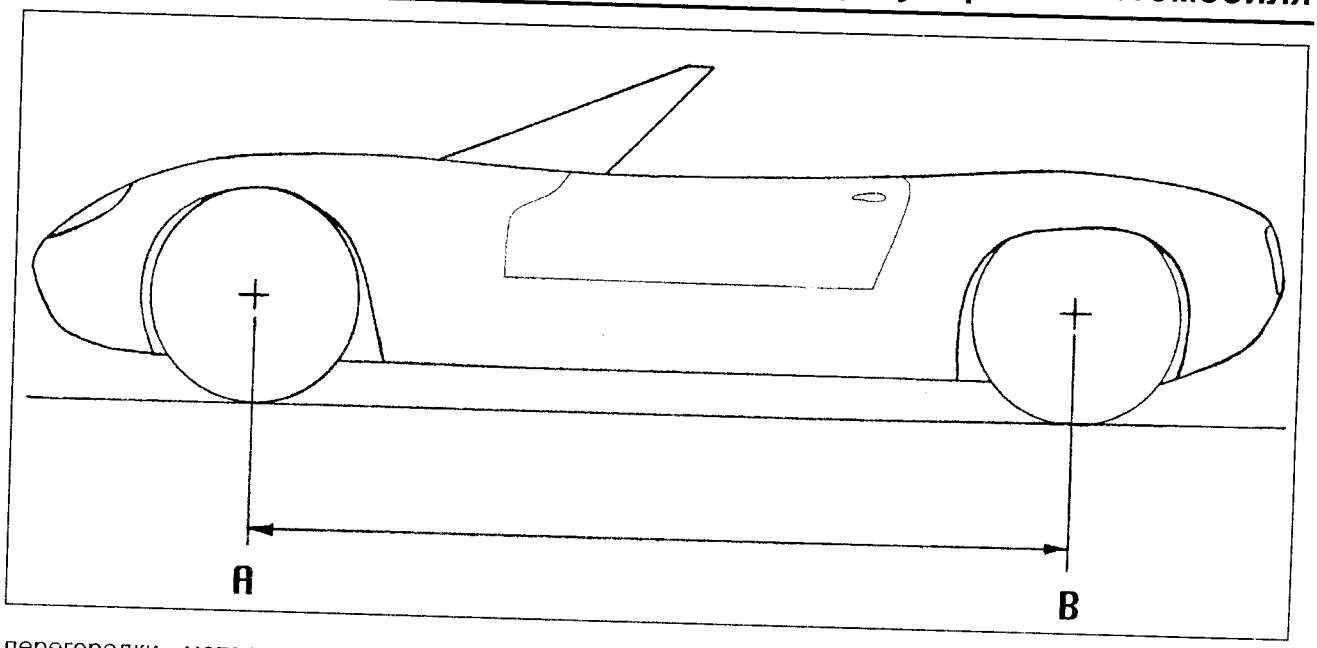
Есть несколько вещей, которые мешают быстро проходить повороты, например, при недостаточной поворачиваемости автомобиль не хочет сходить с прямолинейной траектории. При ярко выраженной недостаточной поворачиваемости автомобиль может стать просто опасным. Тот простой факт, что автомобиль не хочет уходить в поворот, может стать постоянным раздражителем, особенно когда Вы не можете представить себе реальные причины происходящего. Рассмотрим некоторые причины недостаточной поворачиваемости.

Установка спереди автомобиля достаточно тяжелого двигателя может привести к драматической ситуации с управляемостью. Как правило, двигатель должен устанавливаться как



Эта шина имеет разные длины окружностей вдоль ширины протектора.

можно ближе к перегородке моторного отсека: чем глубже за переднюю ось смещён двигатель, тем лучше для управляемости. Для правильной установки двигателя могут быть проделаны многие операции, например, изменена конфигурация



перегородки моторного отсека или конфигурация картера сцепления. И двигатель может быть смещён на 50 - 75 мм назад. Решение проблемы установки двигателя находится в каждом конкретном случае. Перемещение двигателя вглубь колесной базы изменяет распределения веса автомобиля по осям очень значительно.

Допустим, передние колеса имеют положительное схождение в 3 мм, рулевое управление не оборудовано рулевой трапецией. В этом случае в повороте передние колеса будут вступать в противоборство между собой: внутреннее колесо будет повернуто относительно центра поворота не так, как бы хотелось.

Если установить рулевую трапецию, это не будет автоматически означать отсутствие недостаточной поворачиваемости, поскольку изменение углов поворота колес зависит от угла поворота рулевого колеса. Применение рулевой трапеции не оправдано для скоростных автомобилей с малыми (до 10 градусов) поворотами управляемых колес. Геометрическое действие рулевой трапеции в этом диапазоне углов поворота недостаточно для правильной ориентации колес. При возрастании углов поворота колес до 20 градусов геометрическое действие трапеции достаточное, но может быть уже поздно. По этим причинам некоторые автомобили имеют большой отрицательный статический развал (до 5 градусов). Такой развал обеспечивает правильную установку шины безотносительно к углу ее поворота.

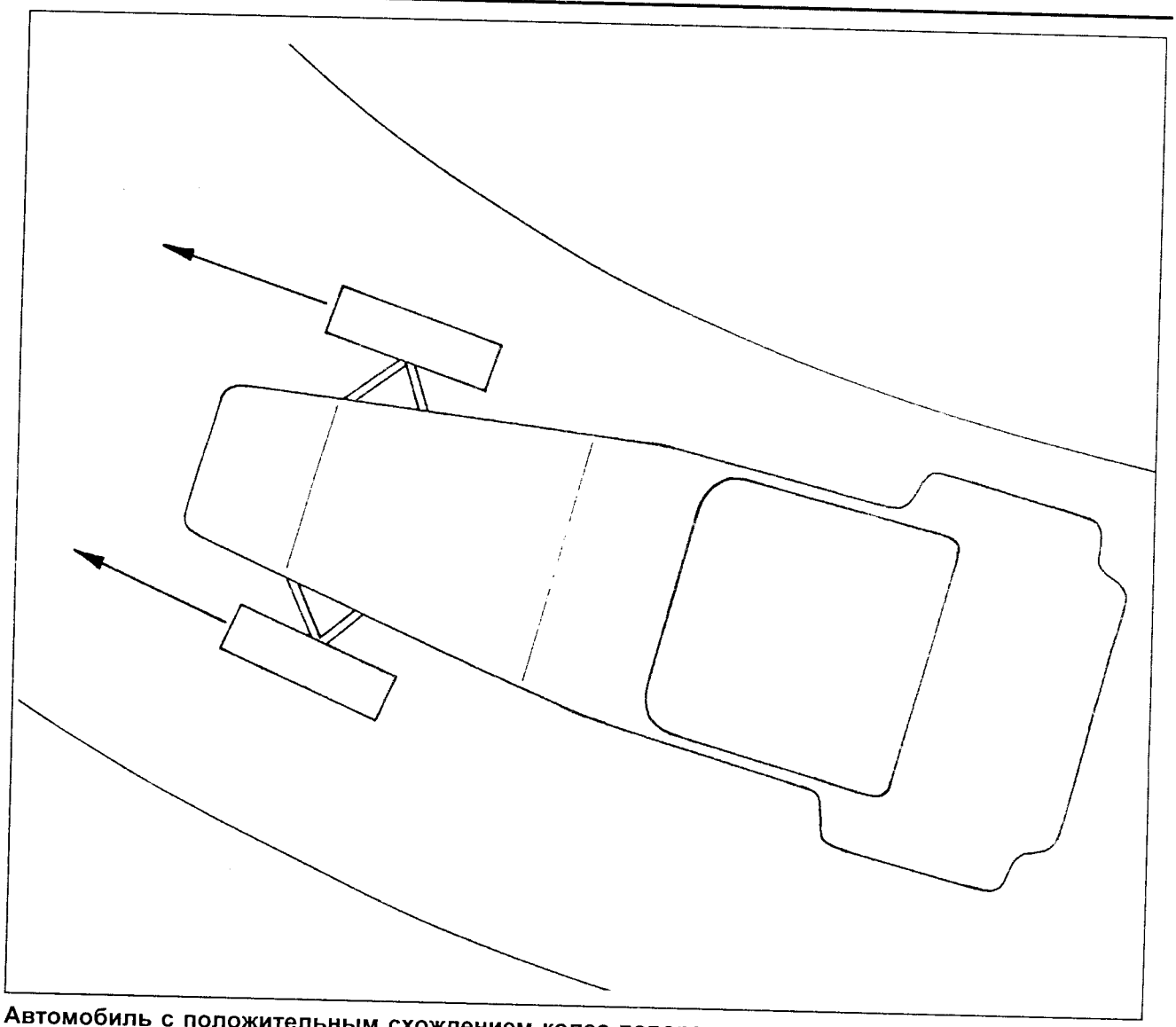
Вне зависимости от типа рулевого управления, установите отрицательное схождение колес и проверьте поведение автомобиля в повороте. Почти всегда отрицательное схождение колес улучшает прохождение поворотов: вне зависимости от угла поворота рулевого колеса внутреннее по отношению к повороту колесо имеет больший угол собственного поворота, чем внешнее.

Если на автомобиле установлена рулевая трапеция и отрицательный развал колес, допустим в 3,2 мм, при углах поворота колес свыше 25 градусов, внутренне колесо повернуто внутрь слишком много. Это приводит к тому, что внутреннее колесо начинает "волочиться" по дороге и быстро снижается скорость движения. Однако, этим эффектом можно пренебречь, поскольку на высоких скоростях такие углы поворота колес практически не встречаются.

ВНИМАНИЕ: при установке отрицательного схождения обязательно проверьте эффективность торможения с разных начальных скоростей: с некоторого момента при тяжелом торможении автомобиль начинает себя вести нестабильно.

Фундаментальную роль в прохождении поворотов играют шины. Шины, имеющие развитый рисунок протектора, обычно для этой работы мало пригодны.

Со временем характеристики шин ухудшаются, особенно если шины хранятся на солнце. Хранить шины лучше в специальных светонепроницаемых чехлах. Не накаченные шины нельзя длительно хранить с опорой на протектор, поскольку в нем возникает необратимая деформация. Если колеса установлены на автомобиле, который поставлен на хранение, колеса нужно вывесить, сбросить в них давление и закрыть чехлами. Технология изготовления шин постоянно совершенствуется. В связи с этим один и тот же тип шины может иметь несколько отличные от первоначальных характеристики. Всегда приоб-



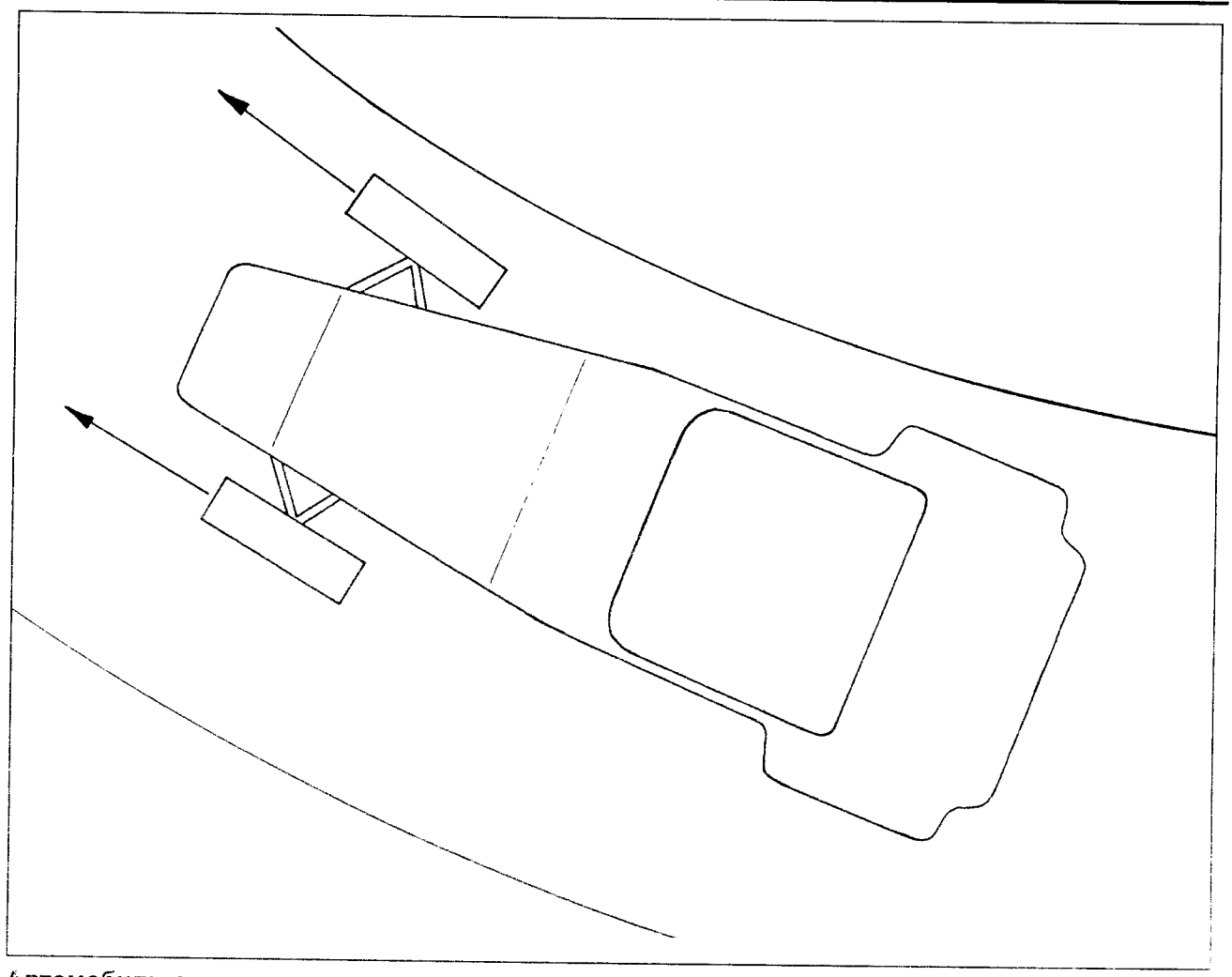
Автомобиль с положительным схождением колес поворачивает вправо. Правое переднее колесо не имеет достаточного поворота. Стрелками показано схождение траекторий движения колес.

ретайте наилучший тип шин, какой только Вы можете себе позволить. Мягкий тип резины имеет лучшие сцепные свойства с дорогой, чем твердый, но мягкая резина менее долговечна.

Низкопрофильные шины (45...55%), установленные на диски большого диаметра (15 или 16 дюймов) часто обеспечивают лучшую управляемость, поскольку подвеска более правильно устанавливает колесо относительно дороги: низкопрофильные шины менее податливы по сравнению с высокопрофильными.

Большинство низкопрофильных радиальных шин имеют достаточно жесткие боковины, что еще больше облегчает задачу установки колеса с помощью подвески. Подвеска регулируется в статике, однако, как только автомобиль начинает движение, на геометрию подвески начинают действовать дополнительные факторы, главным из которых является крен кузова. Чем больше крен кузова, тем сильнее изменяется установка колеса относительно дороги (как правило, в худшую сторону). Спортивные автомобили обычно не показывают ярко выраженный крен кузова, поскольку они имеют низко расположенный центр тяжести. Из-за этого автомобиль даже с посредственной подвеской может иметь достаточно приличную управляемость.

Если протектор шины не имеет полного контакта с дорогой, соответственно снижаются величины сил сцепления. Некоторые спортивные автомобили с большим отрицательным развалом передних колес (до 4...5 градусов в положении прямоли-

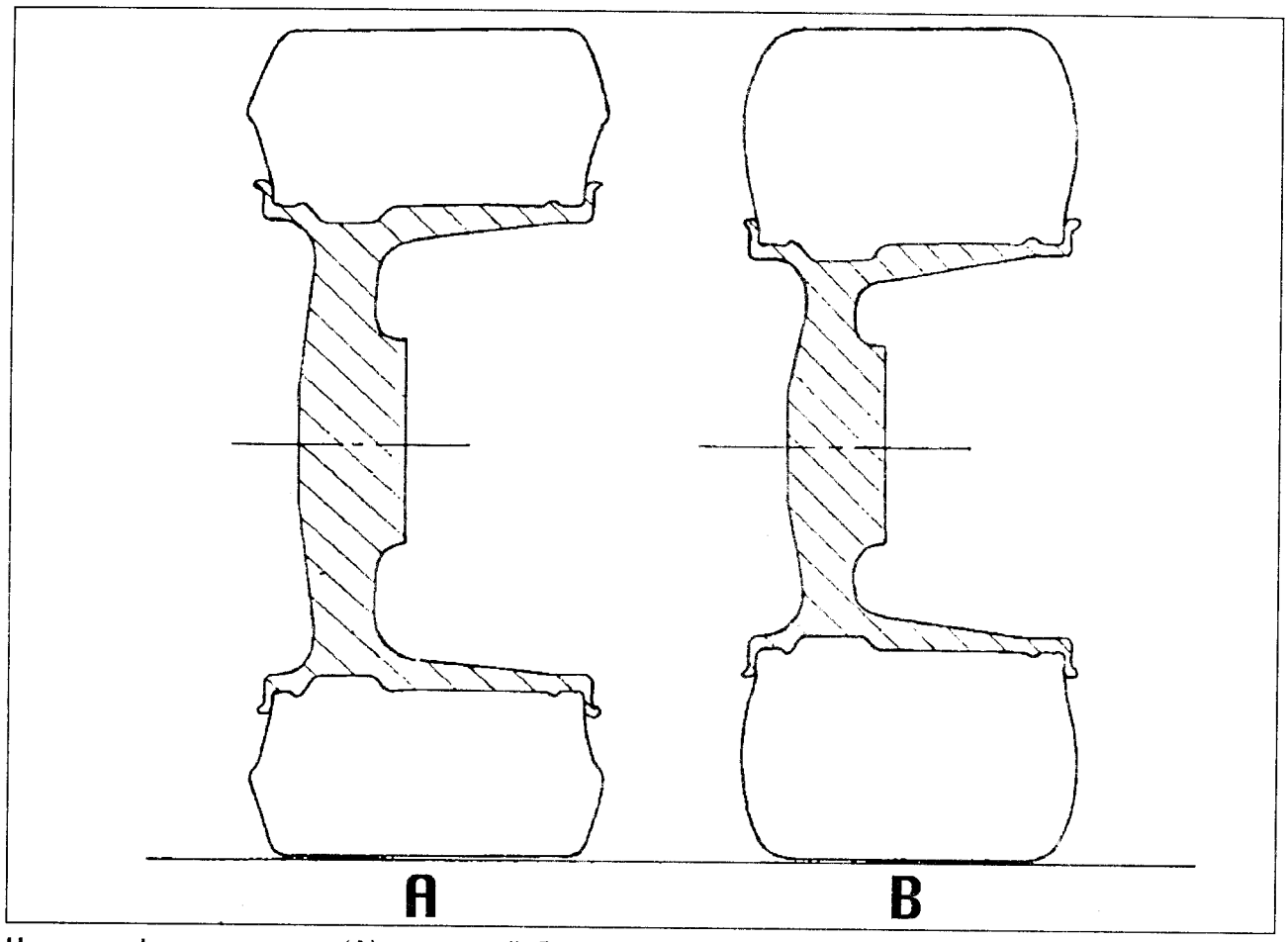


Автомобиль с отрицательным схождением колес поворачивает вправо. Правое переднее колесо поворачивает больше чем левое. Стрелками показано расхождение траекторий движения колес.

нейного движения) имеют выраженную недостаточную поворачиваемость и, соответственно, плохо управляются в поворотах. Дело в том, что шины в действительности не имеют полного контакта с дорогой: больший контакт имеют края шины внутри колеи. Некоторые типы автомобилей не требуют большого угла поворота колес при прохождении поворотов (например, класс кузовных трековых автомобилей), поэтому у них устанавливается большой отрицательный развал колес. На такой класс автомобилей устанавливаются наилучшие гоночные шины, которые немедленно уравновешивают внешнее воздействие и самоустанавливаются. Автомобиль с таким типом подвески в повороте всегда имеет только одно "правильное" колесо. Так, если автомобиль поворачивает вправо, относительно дороги правильно устанавливается левое переднее колесо, в левом повороте - правое. В каждом случае противоположное колесо имеет только частичный контакт с дорогой.

Несмотря на то, что в приведенном примере колеса установлены с большим отрицательным развалом сознательно, это не означает, что данная регулировка приемлема во всех случаях. Пусть автомобиль движется со средними скоростями на радиальных шинах. При прохождении правого поворота левое переднее колесо приобретает отрицательный развал из-за положительных продольного и поперечного углов наклона оси поворота колеса (определяется геометрией подвески) и теряет отрицательный развал из-за крена кузова. Выход из создавшейся ситуации осложняется тем, что при прохождении поворота на полной скорости внешнее колесо (по отношению к повороту) не должно иметь более двух градусов отрицательного развала (и не более двух градусов положительного, чтобы подвеска не уводила колесо слишком далеко): нужно учитывать очень много факторов.

После проведения всех регулировок подвески все равно



Низкопрофильная шина (A) с жесткой боковиной на диске 15 дюймов имеет ту же длину окружности, что и высокопрофильная шина (B) на диске 13 дюймов.

остается вопрос: обеспечивает ли эти настройки оптимальную установку колес на дороге? Качество установки колес можно проверить визуально, если Вы знаете, на что смотреть. Например, если автомобиль на высокой скорости поворачивает вправо, наблюдайте за левым передним колесом. Если верх колеса отклоняется наружу и при этом заметен крен автомобиля в ту же сторону, можно сделать заключение, что колесо в этом повороте приобретает положительный развал. Возникшую ситуацию достаточно легко поправить дальнейшими регулировками. Изменять в настройках подвески нужно только одну величину за один раз и каждый раз проводить тестовые заезды, чтобы точно знать, как и что влияет на поведение автомобиля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нужно проверить довольно много параметров, чтобы убедиться в отсутствии дефектов настройки подвески и рулевого управления.

Очень много примеров тому, что с автомобилем имеются проблемы только из-за пренебрежения к мелочам. Подвески разных автомобилей всегда будут слегка отличаться друг от друга по конструкции и размерам компонентов, однако все автомобили одинаково откликаются на изменение таких величин, как наклон оси поворота колеса, развал и схождение и других определяющих параметров. Установка колёс в различных ситуациях движения и распределение нагрузки по колёсам, являются основными факторами для достижения отличной управляемости автомобиля.