

В этой статье речь пойдет о рессорах и пружинах как наиболее распространенных видах упругих элементов подвески. Есть ещё пневмобалоны и гидропневматические подвески, но о них позже отдельно. Торсионы рассматривать не буду как мало подходящий для технического творчества материал.

Для начала общие понятия.

Вертикальная жесткость.

Жесткость упругого элемента (пружины или рессоры) означает какое нужно приложить усилие к пружине/рессоре для того чтобы продавить её на единицу длины (м, см, мм). Например жесткость 4кг/мм означает что на пружину/рессору нужно надавить с усилием 4кг чтобы её высота уменьшилась на 1мм. Жесткость так же часто измеряют в кг/см и в Н/м.

Для того чтобы примерно измерить жесткость пружины или рессоры в гаражных условиях, можно например на неё встать и разделить свой вес на величину, на которую пружина/рессора продавилась под весом. Рессору удобнее класть ушками на пол и вставать на середину. Важно чтобы хотя бы одно ушко могло свободно скользить по полу. На рессоре лучше немного попрыгать прежде чем снимать высоту прогиба чтобы минимизировать влияние трения между листами.

Плавность хода.

Плавность хода это то насколько автомобиль тряский. Главным фактором, влияющим на «тряскость» автомобиля является частота собственных колебаний подрессоренных масс автомобиля на подвеске. Частота эта зависит от соотношения этих самых масс и вертикальной жесткости подвески. Т.е. Если масса больше то и жесткость может быть больше. Если меньше масса, вертикальная жесткость должна быть меньше. Проблема

для автомобилей меньшей массы в том, что при благоприятной для них жесткости высота посадки автомобиля на подвеске сильно зависит от количества груза. А груз — это у нас переменная составляющая подрессоренной массы. Кстати чем больше груза в автомобиле, тем он комфортнее (мене тряский) до тех пор пока подвеска не сработала полностью на сжатие. Для человеческого тела наиболее благоприятная частота собственных колебаний — это такая, которую мы испытываем при натуральной для нас ходьбе т.е. 0.8-1.2 Гц или (грубо) 50-70 колебаний в минуту. Реально в автомобилестроении в погоне за грузонезависимостью считается допустимым до 2 Гц (120 колебаний в минуту). Условно автомобили у которых баланс масса-жесткость сдвинут в сторону большей жесткости и более высоких частот колебаний, называют жесткими а автомобили с оптимальной характеристикой жесткости для их массы — мягкими.

Количество колебаний в минуту для вашей подвески можно посчитать по формуле:

$$n = 300 * \sqrt{C/F}$$

Где:

n — количество колебаний в минуту (желательно добиться чтобы было 50-70)

C — жесткость упругого элемента подвески в кг/см (Внимание! В этой формуле кг/см а не кг/мм)

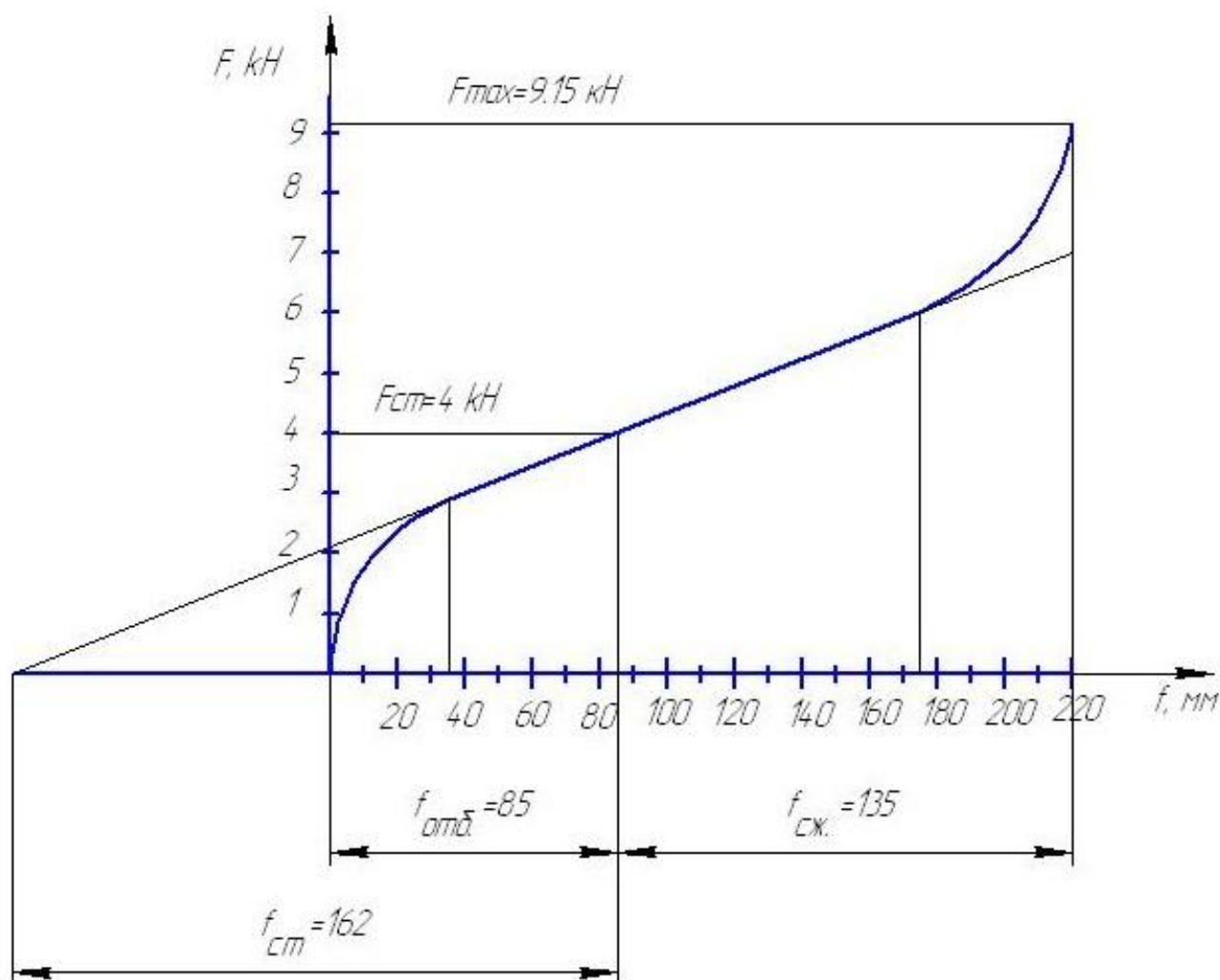
F – масса подрессоренных частей, действующих на данный упругий элемент, в кг.

Характеристика вертикальной жесткости подвески

Характеристика жесткости подвески это зависимость прогиба упругого элемента (изменения его высоты относительно свободной) f от собственно нагрузки на него

F

. Пример характеристики:



Прямой участок это диапазон когда работает только основной упругий элемент (пружина или рессора) Характеристика обычной рессоры или пружины линейна. Точка $f_{ст}$ (что соответствует $F_{ст}$) — это положение подвески когда автомобиль стоит на ровной площадке в снаряженном состоянии с водителем, пассажиром и запасом топлива. Соответственно всё что до этой точки — ход отбоя. Всё что после — ход сжатия. Обратим внимание на то что прямая характеристики пружины уходит далеко за пределы характеристики подвески в минус. Да, Пружине не дают полностью разжаться ограничитель хода отбоя и амортизатор. Кстати про ограничитель хода отбоя. Именно он и обеспечивает нелинейное снижение жесткости на начальном участке работая враспор пружине. В свою очередь ограничитель хода сжатия вступает в работу в конце хода сжатия и, работая параллельно пружине, обеспечивает увеличение жесткости и лучшую энергоёмкость подвески (усилие, которое способна поглотить подвеска своими упругими элементами)

Цилиндрические (спиральные) пружины.



Преимущество пружины против рессоры в том что во-первых в ней полностью отсутствует трение, а во-вторых она несет только чисто функцию упругого элемента в то время как рессора так же выполняет функцию направляющего устройства (рычагов) подвески. В связи с этим пружина нагружается только одним способом и служит долго.

Единственные недостатки пружинной подвески по сравнению с рессорной — сложность и высокая цена.

Цилиндрическая пружина фактически представляет из себя скрученный в спираль торсион. Чем длиннее пруток (а его длина увеличивается с увеличением диаметра пружины и количества витков), тем мягче пружина при неизменной толщине витка. Удаляя витки с пружины, мы делаем пружину жестче. Установив 2 пружины последовательно, мы получаем более мягкую пружину. Суммарная жесткость последовательно соединенных пружин: $C = (1/C_1 + 1/C_2)$. Суммарная жесткость работающих параллельно пружин $C = C_1 + C_2$.

Обычная пружина как правило имеет диаметр, гораздо больший чем ширина рессоры и это ограничивает возможность использования пружины вместо рессоры на изначально рессорном автомобиле т.к. не помещается между колесом и рамой. Установить пружину под раму тоже не просто т.к. у неё есть минимальная высота, равная её высоте со всеми сомкнутыми витками плюс при установке пружины под рамой мы теряем возможность выставить подвеску по высоте т.к. не можем двигать вверх/вниз верхнюю чашку пружины. Установив пружины внутри рамы мы теряем угловую жесткость подвески (отвечающую за крен кузова на подвеске). На Паджеро так и сделали но дополнили подвеску стабилизатором поперечной устойчивости для увеличения угловой жесткости. Стабилизатор — это вредная вынужденная мера, грамотно не иметь его вообще на задней оси, а на передней стараться либо его тоже не иметь, либо иметь но чтобы он был как можно мягче.

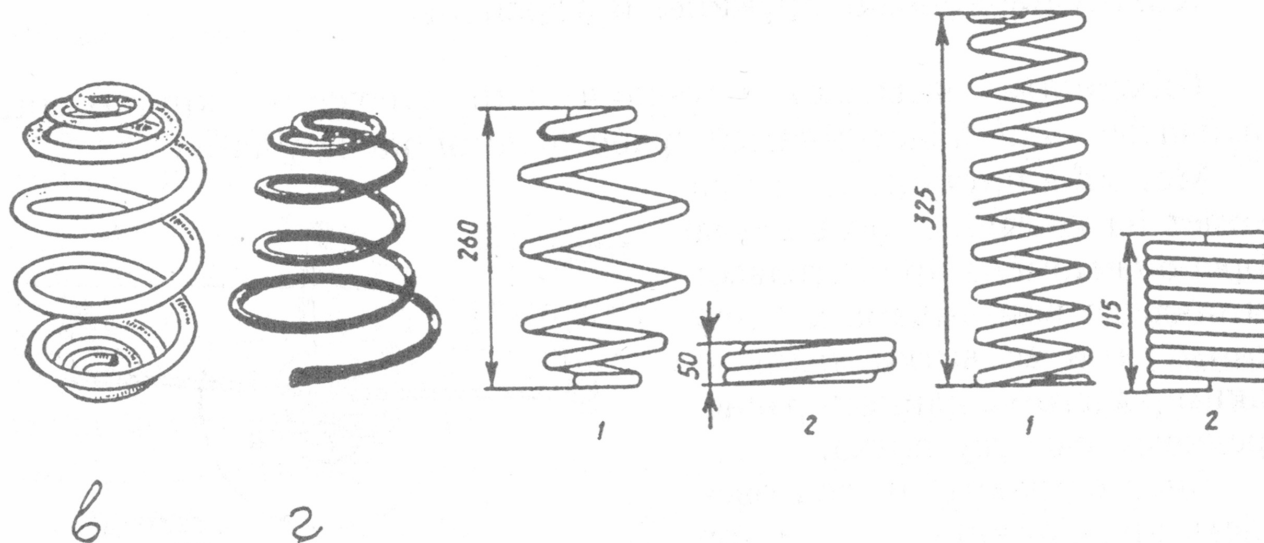
Можно изготовить пружину маленького диаметра для того чтобы она поместилась между колесом и рамой, но при этом для того

чтобы она не выкручивалась, необходимо заключить её в амортизаторную стойку, которая обеспечит (в отличие от свободного положения пружины) строго параллельное относительное положение верхней и нижней чашек пружины. Однако при таком решении пружина сама становится гораздо длиннее плюс дополнительная габаритная длина необходима для верхнего и нижнего шарнира амортизаторной стойки. В результате рама автомобиля нагружается не самым благоприятным образом в связи с тем что верхняя точка опоры оказывается гораздо выше лонжерона рамы.

Амортизаторные стойки с пружинами бывают так же 2-ступенчатыми с двумя последовательно установленными пружинами разной жесткости. Между ними ползун, являющийся нижней чашкой верхней пружины и верхней чашкой нижней пружины. Он свободно перемещается (скользит) по корпусу амортизатора. При обычной езде работают обе пружины и обеспечивают низкую жесткость. При сильном пробое хода сжатия подвески одна из пружин смыкается и дальше работает только вторая пружина. Жесткость у одной пружины больше чем у двух работающих последовательно.

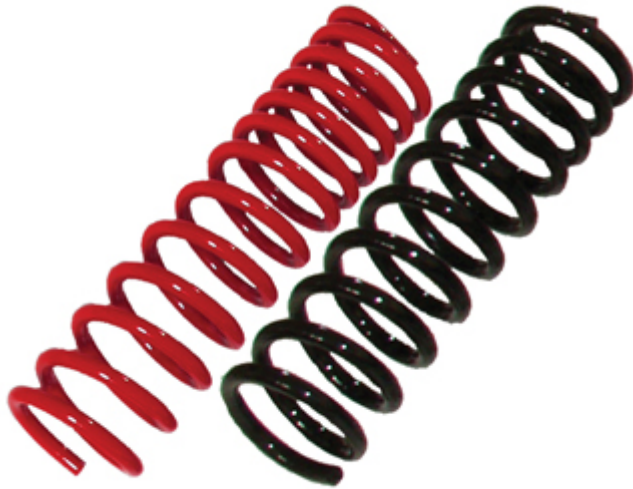


Существуют так же бочкообразные пружины. Их витки имеют разный диаметр и это позволяет увеличить ход сжатия пружины. Смыкание витков происходит при гораздо меньшей высоте пружины. Этого может оказаться достаточно для установки пружины под рамой.



Цилиндрические спиральные пружины бывают с переменным шагом витка. По мере сжатия, более короткие витки смыкаются раньше и перестают работать а чем меньше витков работает тем больше жесткость. Таким образом достигается увеличение жесткости при ходах сжатия подвески, близких к максимальным, при чем увеличение жесткости получается плавным т.к. виток смыкается постепенно.





Однако специальные виды пружин малодоступны а пружина — это по сути дела расходник. Иметь нестандартный, сложнодоступный и дорогой расходник не совсем удобно.

n — количество витков

C — жесткость пружины

H_0 — высота в свободном состоянии

$H_{ст}$ — высота при статической нагрузке

H

$s_{ж}$ — высота при полном сжатии

$f_{ст}$ — статический прогиб

$f_{сж}$ — ход сжатия

Листовые рессоры

Основное преимущество рессор в том что они одновременно выполняют и функцию упругого элемента и функцию направляющего устройства а отсюда вытекает низкая цена конструкции. В этом правда есть и недостаток - несколько видов нагружения сразу: толкающее усилие, вертикальная реакция и реактивный момент моста. Рессоры менее надежны и менее

долговечны чем пружинная подвеска. Тема о рессорах как о направляющем устройстве будет рассматриваться отдельно в разделе «направляющие устройства подвески».

Основная проблема рессор в том, что их очень сложно сделать достаточно мягкими. Чем они мягче, тем длиннее их нужно делать а при этом они начинают вылезать за свесы и становятся склонными к S-образному изгибу. S-образный изгиб это когда под действием реактивного момента моста (обратного крутящему моменту на мосту) рессоры наматываются собственно вокруг моста.

Так же рессоры имеют трение между листами, при чем не предсказуемое. Его величина зависит от состояния поверхности листов. При чем все неровности микропрофиля дороги, по величине возмущения не превосходящие величину трения между листами, передаются телу человека как будто подвески нет вообще.

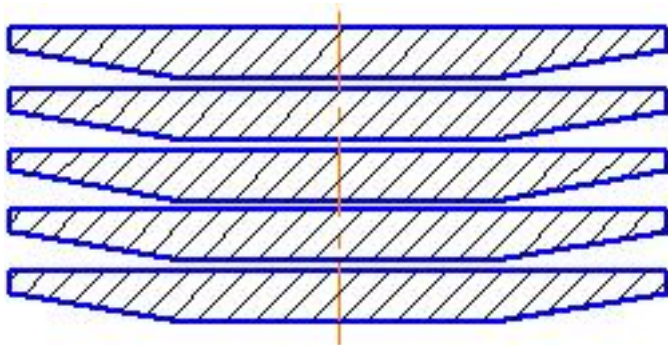
Рессоры бывают многолистовые и малолистовые. Малолистовые лучше тем что раз в них меньше листов, то и трения между ними меньше. Недостаток — сложность изготовления и соответственно цена. Лист малолистовой рессоры имеет переменную толщину и с этим связаны дополнительные технологические

сложности производства.

Так же рессора может быть 1-листовая. В ней трение отсутствует в принципе. Однако эти рессоры более склонны к S-образному изгибу и как правило применяются в подвесках, в которых реактивный момент на них не действует. Например в подвесках не ведущих осей или там где редуктор ведущего моста соединен с шасси а не с балкой моста, как пример — задняя подвеска «Де-дион» на заднеприводных автомобилях Вольво 300-ой серии.

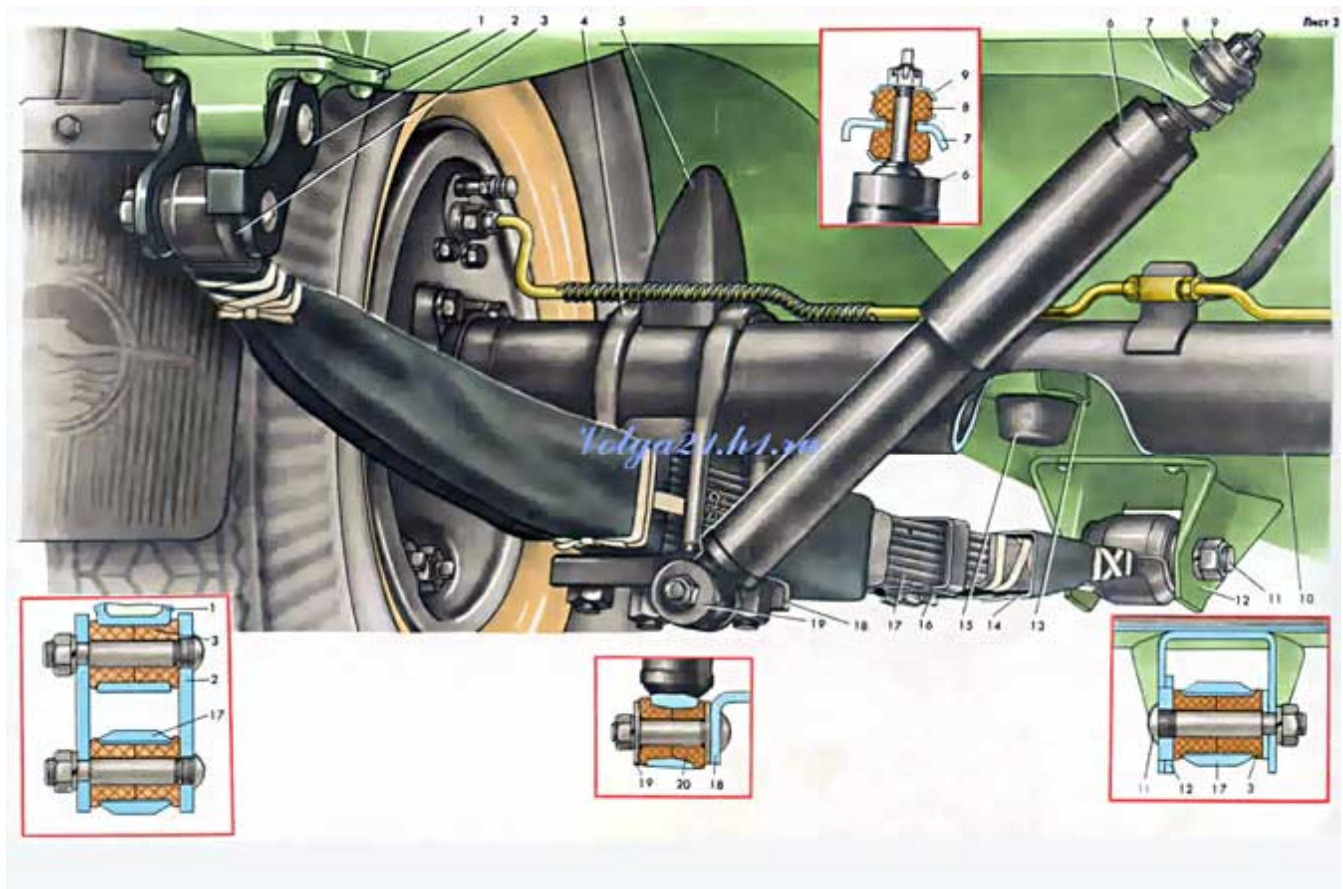
С усталостным износом листов борются изготовлением листов трапециевидного

сечения. Нижняя поверхность уже
верхней. Таким образом большая часть
толщины листа работает на сжатие а не
на растяжение, лист служит дольше.



С трением борются установкой
пластиковых вставок между листами на
концах листов. При этом во-первых
листы не касаются друг друга по всей
длине, а во-вторых скользят только в
паре металл-пластик, где меньше
коэффициент трения.

Другим способом борьбы с трением является густая смазка рессор с заключением их в защитные рукава. Такой метод применялся на ГАЗ-21 2-ой серии.



С S-образным изгибом борются делая рессору не симметричной. Передний конец рессоры короче заднего и более стоек против изгиба. Между тем суммарная жесткость рессоры не изменяется. Так же для исключения возможности S-образного изгиба устанавливают специальные реактивные тяги.

Упругие элементы подвески

Автор: МОНСТРОХОД

09.09.2008 16:20 - Обновлено 09.09.2008 17:20





В отличие от пружины, рессора не имеет минимального размера по высоте, что существенно упрощает задачу для самодеятельного строителя подвески. Однако, злоупотреблять этим нужно крайне осторожно т.к. Если пружина рассчитывается по максимальному напряжению на полное сжатие до смыкания её же витков, то рессора на

полное сжатие, возможное в подвеске автомобиля для которого конструировалась.

Так же нельзя манипулировать количеством листов. Дело в том, что рессора конструируется как единое целое исходя из условия равного сопротивления изгибу. Любое нарушение ведет к возникновению неравномерности напряжений по длине листа (даже если листы добавлять а не удалять) что неизбежно приводит к преждевременному износу и выходу из строя рессоры.

Всё самое лучшее что придумало

человечество по теме многолистных рессор есть в рессорах от Волги: они имеют трапециевидное сечение, они длинные и широкие, несимметричные и с пластиковыми вставками. Так же они мягче УАЗовских (в среднем) в 2 раза. 5-листные рессоры от седана имеют жесткость 2.5кг/мм а 6-листные рессоры от универсала 2.9кг/мм. Самые мягкие УАЗовские рессоры (задние Хантер-Патриот) имеют жесткость 4кг/мм. Для обеспечения благоприятной характеристики УАЗу нужно 2-3 кг/мм.

Характеристику рессоры можно сделать ступенчатой за счет применения подрессорника или надрессорника. Большую часть времени дополнительный элемент не действует и

не влияет на характеристику подвески. Он включается в работу при большом ходе сжатия либо при наезде на препятствие, либо при загрузке машины. Тогда суммарная жесткость складывается из жесткостей обоих упругих элементов. Как правило если это надрессорник, то он закреплен серединой на основной рессоре и при ходе сжатия концами упирается в специальные упоры, расположенные на раме автомобиля. Если это подрессорник, то при ходе сжатия его концы упираются в концы основной рессоры. Недопустимо чтобы подрессорник упирался в рабочую часть основной рессоры. В этом случае нарушается условие равного сопротивления изгибу основной рессоры и возникает неравномерность распределения нагрузки по длине листа.

Однако, существуют конструкции (как правило на легковых внедорожниках) когда нижний лист рессоры изогнут в обратную сторону и по мере хода сжатия (когда основная рессора принимает форму близкую к его форме) прилегает к ней и таким образом плавно включается в работу обеспечивая плавно прогрессивную характеристику. Как правило такие подрессорники рассчитаны именно на максимальные пробои подвески а не для корректировки жесткости от степени загрузки машины.



Резиновые упругие элементы.

Как правило резиновые упругие элементы используются в качестве дополнительных. Однако, есть конструкции, в которых резина служит основным упругим элементом, например Ровер Мини старого образца.

Нам они однако интересны только в качестве дополнительных, в простонародии известных как «отбойники». Часто на форумах автомобилистов встречаются слова «подвеску пробивает до отбойников» с последующим развитием темы про необходимость увеличения жесткости подвески. На самом же деле для того

там эти резинки и устанавливаются чтобы до них пробивало, и при их сжатии жесткость увеличивалась таким образом обеспечивая необходимую энергоёмкость подвески без увеличения жесткости основного упругого элемента, который подбирается из условия обеспечения необходимой плавности хода.

На более старых моделях отбойники были сплошные и как правило имели форму конуса. Форма конуса позволяет обеспечить плавную прогрессивную характеристику. Тонкие части сжимаются быстрее и чем толще оставшаяся часть, тем жестче резинка



В настоящее время наибольшее распространение получили ступенчатые отбойники, имеющие чередующися тонкие и толстые части. Соответственно в начале хода сжимаются все части одновременно, далее тонкие части смыкаются и продолжают сжиматься уже только толстые части жесткость которых больше. Как правило эти отбойники пустые внутри (с виду шире обычных) и позволяют получить больший чем обычные отбойники ход. Подобные элементы устанавливаются например на автомобилях УАЗ новых моделей (Хантер, Патриот) и Газель.



Отбойники или ограничители хода или дополнительные упругие элементы устанавливаются как на сжатие, так и на отбой. Работающие на отбой часто устанавливаются внутри амортизаторов.

Теперь о наиболее часто встречающихся заблуждениях.

1.

«Пружина просела и стала мягче»: Нет, жесткость пружины не изменяется. Изменяется только её высота. Витки становятся ближе друг к другу и машина опускается ниже.

2.

«Рессоры выпрямились, значит просели»: Нет, если рессоры прямые, это не значит что они просевшие. Например на заводском сборочном чертеже шасси УАЗ 3160, рессоры абсолютно прямые. У Хантера они имеют едва заметный для невооруженного глаза изгиб 8мм, что тоже конечно же воспринимается как «прямые рессоры». Для того чтобы определить просели рессоры или нет, можно замерить какой-нибудь характерный размер.

Например между нижней поверхностью рамы над мостом и поверхностью чулка моста под рамой. Должно быть порядка 140мм. И ещё. Прямыми эти рессоры задуманы не случайно. При расположении моста под рессорой, только таким образом они могут обеспечить благоприятную характеристику упругости: при крене не подруливать мост в сторону избыточной поворачиваемости. Про поворачиваемость можно почитать в разделе «Управляемость автомобиля». Если же каким-то образом (добавив листы, проковав рессоры, добавив пружины итд) добиться того чтобы они стали выгнутыми, то автомобиль будет склонен к рысканью на большой скорости и другим неприятным свойствам.

3.

«Я отпилю от пружины пару витков, она просядет и станет мягче»: Да, пружина действительно станет короче и возможно при установке на машину, машина просядет ниже чем с полной пружиной. Однако, при этом пружина станет не мягче а наоборот жестче пропорционально длине отпиленного прутка.

4.

«Я поставлю дополнительно к рессорам пружины (комбинированную подвеску), рессоры расслабятся и подвеска станет мягче. При обычной езде рессоры работать не будут, будут работать только

пружины, а рессоры только при максимальных пробоях»: Нет, жесткость в этом случае увеличится и будет равна сумме жесткости рессоры и пружины, что отрицательно скажется не только на уровне комфорта но и на проходимости (о влиянии жесткости подвески на комфорт позже). Для того чтобы таким методом добиться переменной характеристики подвески, необходимо изогнуть пружинной рессору до свободного состояния рессоры и через это состояние перегнуть (тогда рессора изменит направление усилия и пружина и рессора начнут работать враспор). А например для малолистовой рессоры УАЗа с жесткостью 4кг/мм и подрессоренной массе 400кг на колесо, это означает лифт подвески более чем на 10см!!! Даже если осуществить этот ужасный лифт пружинной, то помимо

потери устойчивости автомобиля,
кинематика изогнутой рессоры сделает
автомобиль совершенно неуправляемым
(см п. 2)

5.

*«А я (например дополнительно к п. 4)
уменьшу количество листов в рессоре»:*
Уменьшение количества листов в
рессоре действительно однозначно
означает снижение жесткости рессоры.
Однако, во-первых это не обязательно
означает изменение её изгиба в
свободном состоянии, во-вторых она
становится более склонна к
S-
образному изгибу (наматывание вокруг
моста вод действием реактивного
момента на мосту) и в-третьих рессора

конструируется как «балка равного сопротивления изгибу» (кто изучал «СопроМат», тот знает что это такое). Например у 5-листовых рессор от Волги-седана и более жестких 6-листовых рессор от Волги-универсала одинаковый только коренной лист. Казалось бы в производстве дешевле все части унифицировать и сделать только один дополнительный лист. Но так нельзя т.к. при нарушении условия равного сопротивления изгибу нагрузка на листы рессоры становится неравномерной по длине и лист быстро выходит из строя на более нагруженном участке. (Сокращается срок службы). Изменять количество листов в пакете очень не рекомендую и тем более собирать рессоры из листов от разных марок автомобилей.

6.

«Мне нужно увеличить жесткость чтобы не пробивало подвеску до отбойников» или «у внедорожника должна быть жесткая подвеска». Ну во-первых «отбойниками» они называются только в простонародии. На самом деле это дополнительные упругие элементы, т.е. они там специально стоят для того чтобы до них пробивало и чтобы в конце хода сжатия увеличивалась жесткость подвески и обеспечивалась необходимая энергоёмкость при меньшей жесткости основного упругого элемента (пружины/рессоры). При увеличении жесткости основных упругих элементов так же ухудшается проходимость. Казалось бы какая связь? Предел тяги по сцеплению,

который можно развить на колесе, (помимо коэффициента трения) зависит от того, с какой силой это колесо прижато к поверхности по которой едет. Если автомобиль едет по ровной поверхности, то эта сила прижатия зависит только от массы автомобиля. Однако если поверхность не ровная, эта сила начинает зависеть от характеристики жесткости подвески. Например представим 2 автомобиля равной поддрессоренной массы по 400кг на колесо, но с разной жесткостью пружин подвески 4 и 2 кг/мм соответственно, передвигающихся по одной и той же неровной поверхности. Соответственно при проезде неровности высотой 20см одно колесо сработало на сжатие на 10см, другое на отбой на те же 10см. При разжимании пружины жесткостью 4кг/мм на 100мм, усилие

пружины уменьшилось на $4 \cdot 100 = 400$ кг. А у нас всего 400 кг. Значит тяги на этом колесе уже нет, а если у нас на оси открытый дифференциал или дифференциал ограниченного трения (ДОТ) (например винтовой «Квайф»). В случае же если жесткость 2 кг/мм, то усилие пружины уменьшилось только на $2 \cdot 100 = 200$ кг, а значит $400 - 200 = 200$ кг всё ещё давит и мы можем обеспечить по крайней мере половинную тягу на оси. При чем в случае если стоит ДОТ, а у большинства их коэффициент блокировки 3, при наличии какой-то тяги на одном колесе с худшей тягой, на второе колесо передается в 3 раза больший момент. И примерчик: Самая мягкая подвеска УАЗа на малолистовых рессорах (Хантер, Патриот) имеет жесткость 4 кг/мм (и пружина и рессора), в то время как у старого

Рэнджровера примерно такой же массы как Патриот, на передней оси 2.3 кг/мм, а на задней 2.7кг/мм.

7.

«У легковых автомобилей с мягкой независимой подвеской пружины должны быть мягче»: Совсем не обязательно. Например в подвеске типа «МакФерсон», пружины действительно работают напрямую, но в подвесках на двойных поперечных рычагах (передняя ВАЗ-классика, Нива, Волга) через передаточное число равное соотношению расстояния от оси рычага до пружины и от оси рычага до шаровой опоры. При такой схеме жесткость подвески не равна жесткости пружины. Жесткость пружины значительно

больше.

8.

«Лучше ставить жесткие пружины чтобы автомобиль был мене валким и следовательно более устойчивым»: Не совсем так. Да, действительно чем больше вертикальная жесткость, тем больше угловая жесткость (отвечающая за крен кузова при действии центробежных сил в поворотах). Но перенос масс вследствие крена кузова значительно меньшим образом влияет на устойчивость автомобиля чем скажем высота центра тяжести, которым джиперы часто очень расточительно бросаются лифтуя кузов только ради того чтобы не пилить арки. Автомобиль должен крениться, крен это

не зачит плохо. Это важно для информативности при вождении. При конструировании в большинство автомобилей закладывается стандартная величина крена 5 градусов при окружном ускорении 0.4 g

(
зависит от соотношения радиуса поворота и скорости движения).
Отдельные автопроизводители закладывают крен на меньший угол для создания иллюзии устойчивости для водителя.