

Точное демпфирование

Быстрый автомобиль немыслим без хороших амортизаторов — с этим утверждением, думается, не станет спорить никто. А в автоспорте, где борьба идет за сотые доли секунды, оно верно вдвойне. Недаром настоящие гоночные амортизаторы во всем мире выпускают всего несколько компаний. Одна из самых известных — шведская Ohlins. На

примере ее продукции мы и попробуем разобраться, что же это такое — гоночный амортизатор, ТЕКСТ ВАЛЕРИЙ АРУТИН ИЛЛЮСТРАЦИИ OHLINS



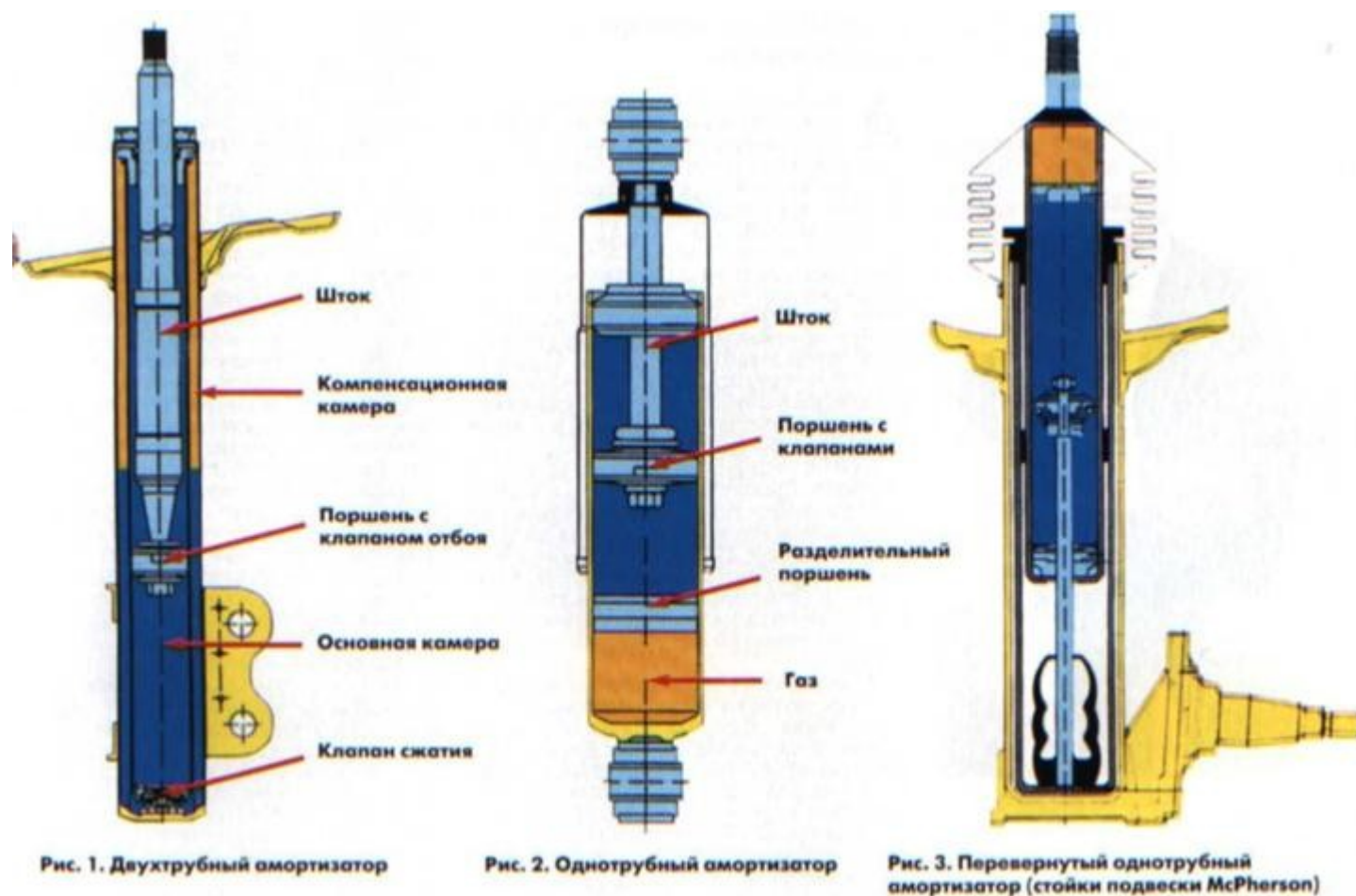
Но начнем с простого. Для чего нужен амортизатор и каковы принципы его работы: В гоночном мире есть только один автомобиль, вообще не имеющий амортизаторов — это кат, у которого роль подвески выполняет гибкая рама. Как только у машины появляется подвеска, обязательным ее элементом становится амортизатор. Ею задача на первый взгляд проста — не допускать раскачек кузова и отрыва колес от дороги. Ведь как только колесо наезжает на неровность, оно перемещается относительно кузова, деформируя упругий элемент подвески — пружину, рессору или торсион. Ключевое слово здесь «упругий» Пружина, сжимаясь, накапливает энергию, которую получила подвеска при наезде на неровность, чтобы затем «выплеснуть» ее при растяжении. Так возникают колебания, избежать которых можно только одним способом — поглотив энергию, накопленную в упругом элементе Для этого необходимо создать пружине дополнительное сопротивление, сдмпфировать, сжатие и растяжение. Эту задачу и выполняет амортизатор.

В современном амортизаторе демпфирование осуществляется за счет гидравлического сопротивления масла, прокачиваемого через узкие каналы. Простейший гидравлический телескопический амортизатор состоит из цилиндра, заполненного маслом, и поршня, плотно входящего в него. Поршень перемещается внутри цилиндра под воздействием штока, другой конец которого закреплен на кузове, в то время как цилиндр прикреплен к подвижной части подвески — рычагу или опоре подшипника колеса. В поршне есть клапаны, через которые может проходить масло. При сжатии подвески шток перемещает поршень, и часть жидкости из камеры под ним перетекает через канал, расположенный в поршне, в область над поршнем. При растяжении тот же объем жидкости перекачивается обратно. За счет гидравлического сопротивления в каналах поршня, энергия колебаний переводится в тепловую энергию, говоря проще — уходит в нагрев самую амортизатора.

Однако все так просто только на первый взгляд. Во-первых, рассмотренный нами простейший вариант на практике неработоспособен. Дело в том, что при сжатии внутренний объем цилиндра уменьшается за счет входящего в него штока. А поскольку масло не поддается сжатию, то его излишки необходимо куда-то девать. Для них вокруг рабочего цилиндра делают еще один, который

образует компенсационную полость, заполненную маслом только наполовину. Такие амортизаторы называются двухтрубными, и ими комплектуется большинство «гражданских» автомобилей.

Двухтрубный амортизатор работает следующим (рис. 1) образом. При сжатии часть масла прокачивается через клапаны поршня в надпоршневую область. Другая часть, соответствующая объему входящего в амортизатор штока, вытесняется из рабочей в компенсационную полость через клапан, расположенный на дне цилиндра. Обычно именно он оказывает основное сопротивление сжатию. При растяжении (инженеры говорят — отбое) масло, наоборот, вытесняется из надпоршневой области через клапан с высоким сопротивлением в поршне, а дополнительный объем жидкости подсасывается из компенсационной полости через донный клапан с пренебрежимо малым сопротивлением.



Второй способ компенсации изменения объема рабочей полости амортизатора — организация компенсационной камеры, заполненной газом под давлением. По такому принципу устроен однотрубный газонаполненный амортизатор высокого давления (рис. 2). Вопреки бытовому названию «газовый», рабочим телом в таком амортизаторе является все тоже масло, а вовсе не газ. Последний закачан под большим давлением (до 30 бар) в камеру, отделенную от рабочей области разделительным поршнем. За счет сжатия газа осуществляется компенсация объема, вытесняемого штоком амортизатора. При этом и при сжатии, и при отбое амортизатора работают клапаны, размещенные в основном поршне.

Свои достоинства и недостатки есть у обеих конструкций. Главная беда двухтрубных амортизаторов — вспенивание масла, которое происходит при высокой интенсивности работы. Кроме того, «двухтрубник» не может быть установлен под углом более 45 градусов к вертикали, иначе воздух из компенсационной камеры может попасть в основную. Наконец, при том же диаметре амортизатора эффективная площадь поршня у него меньше, чем у однотрубного, и это ухудшает характеристики демпфирования при малых ходах штока. Газонаполненный амортизатор лишен этих недостатков, его можно устанавливать хоть горизонтально, хоть «вверх ногами» (так, кстати, часто и делают, чтобы уменьшить неподрессоренные массы автомобиля). Давление газового подпора позволяет избежать вспенивания масла, а значит и резкого ухудшения характеристик амортизатора. Наконец, в однотрубном амортизаторе масло лучше охлаждается, что способствует сохранению стабильных характеристик демпфирования вне зависимости от погодных условий и нагрузки.

Однако есть недостатки и у «однотрубника». Во-первых, при равном рабочем ходе длина газонаполненного амортизатора больше, чем двухтрубного. Во-вторых, при больших ходах и толстом штоке (например, в случае со стойками McPherson, где он служит направляющим элементом) газовый подпор, который и в статике заметно приподнимает автомобиль, начинает играть роль дополнительной пружины, причем с нелинейными характеристиками, что может негативно сказываться на характере управляемости автомобиля. Поэтому однотрубные стойки McPherson часто до лают перевернутыми (рис. 3). В них роль направляющего элемента выполняет корпус амортизатора. Наконец, главным препятствием для массового применения однотрубных амортизаторов является их более высокая цена. Хотя в конструкции меньше деталей, но точность их изготовления выше на порядок. Главная проблема — уплотнение штока, которое должно сдерживать масло, находящееся под высоким давлением (у «двухтрубников» даже при ходе отбоя сальник штока не испытывает давления масла). Для этого необходимо изготовить шток, шероховатость поверхности которого должна быть не более 0,1 микрона!

В гонках газонаполненные амортизаторы уже давно и полностью вытеснили двухтрубные. Ведь на качестве в автоспорте экономить не принято, а вот нагрузки на амортизаторы, особенно в ралли и внедорожных гонках, могут быть поистине гигантскими. Всего один пример: если температура масла даже в спортивном двигателе редко превышает 150 градусов, то температура рабочей жидкости в гоночном амортизаторе часто оказывается на добрых сто градусов выше! Спортивный амортизатор может быть сложной конструкции, дорогим и металлоемким в производстве. Главное, чтобы он был прочным, легким, обеспечивал, несмотря на нагрев, высокую стабильность характеристик и имел широкие диапазоны регулировок. Единственное послабление, которое дается гоночному амортизатору по сравнению с «гражданским», — отсутствие универсальности. Сколь бы широкими не были диапазоны регулировок, никто не требует, чтобы одни и те же амортизаторы хорошо работали и на гравийном «допе», и на ровном асфальте.

Для наилучшего соответствия этим жестким требованиям, на многих гоночных амортизаторах применяют выносные резервуары (рис. 4). Такая конструкция — дальнейшее развитие обычного газонаполненного амортизатора. Выносная камера, в которой размещается разделительный поршень, позволяет существенно увеличить объем масла и газа, что положительно сказывается на охлаждении амортизатора и стабильности его характеристик. Кроме того, в магистрали, соединяющей рабочую полость с выносной камерой, располагается система клапанов, выполняющая ту же роль, что и клапаны в цилиндре двухтрубного амортизатора. Это позволяет проще, чем на обычном газонаполненном амортизаторе, сделать не зависящими друг от друга регулировки усилий отбоя и сжатия.

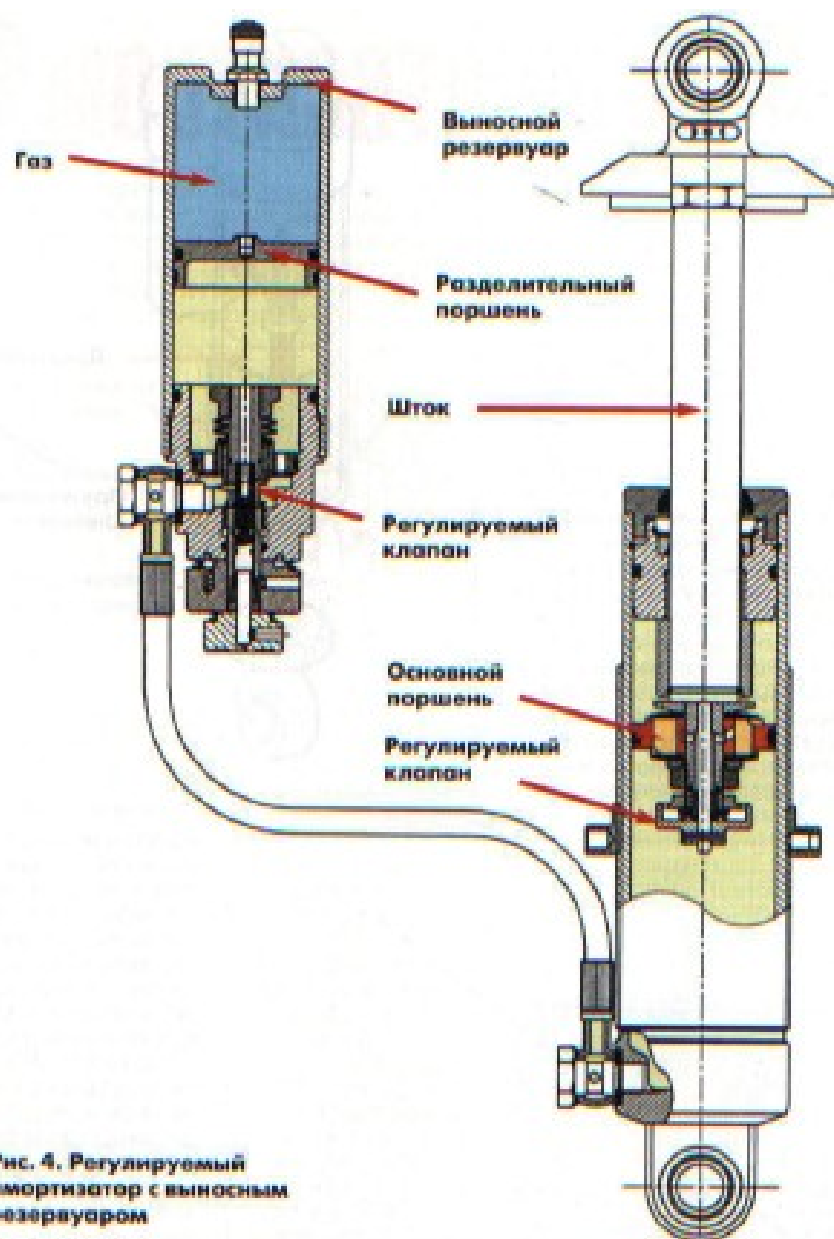


Рис. 4. Регулируемый амортизатор с выносным резервуаром

Впрочем, для настройки куда важнее не конструкция самого амортизатора, а устройство и параметры клапанов. Даже геометрические размеры амортизатора определяют, по большому счету, только общую нагрузку, которую он может выдержать, и его рабочий ход. Недаром, вся гамма амортизаторов, выпускаемых фирмой Ohlins для автомобилей, мотоциклов и снегоходов, имеет всего четыре стандартных диаметра поршня - 28, 36,44 и 46 мм. Причем на автомобилях, как правило, используют самый большой, неважно «формула» это или машина для ралли-рейдов.

Чтобы понять, как влияют параметры клапанов на характеристики амортизатора, давайте подробнее рассмотрим принципы их работы. В целом все клапаны можно разделить на два типа — дроссели и клапаны, нагруженные пружинами (рис. 5). Первые представляют собой каналы определенной формы и сечения, протекание масла через которые ограничивается только их гидравлическим сопротивлением. Чтобы при сжатии и отбое жидкость проходила по разным каналам, их перекрывают перепускными клапанами, пропускающими жидкость только в одном направлении, но не оказывающими при этом существенного собственного сопротивления.

Подпружиненный клапан имеет заведомо большее сечение канала, и основное сопротивление потоку создается за счет усилия пружин, перекрывающих канал. В современных амортизаторах их роль выполняет пакет пружинных шайб, надетых на шток вместе с поршнем. Задавая диаметр, толщину и число шайб в пакете, можно варьировать характеристику работы клапана.

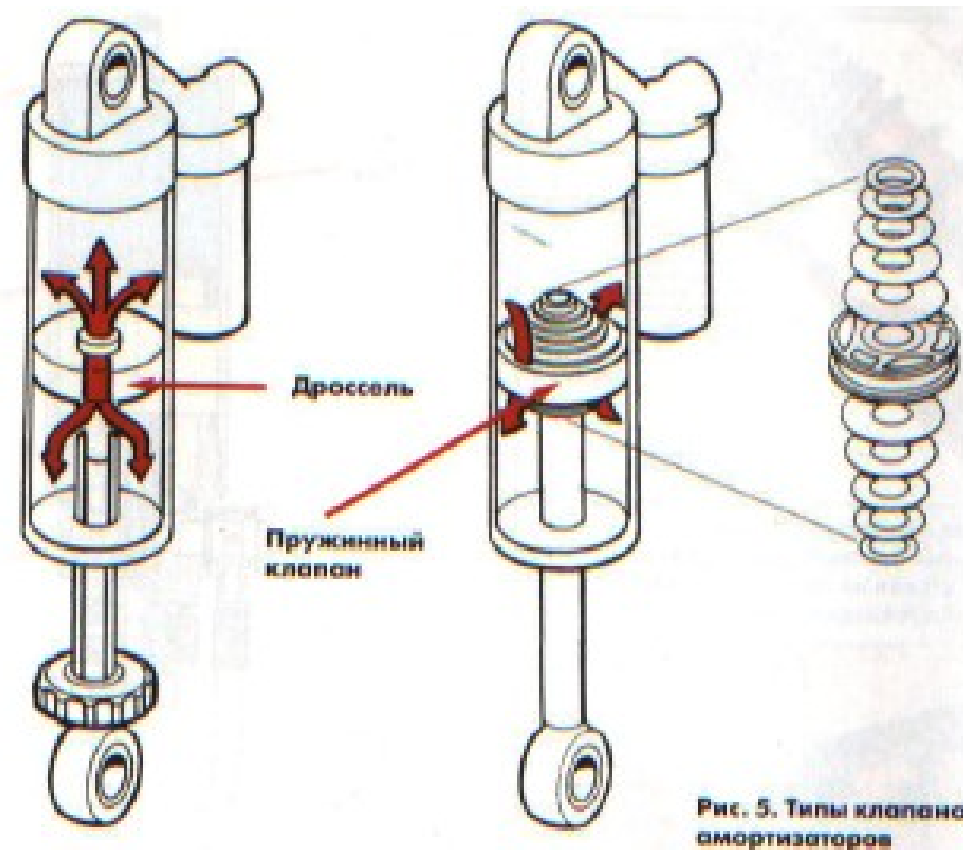
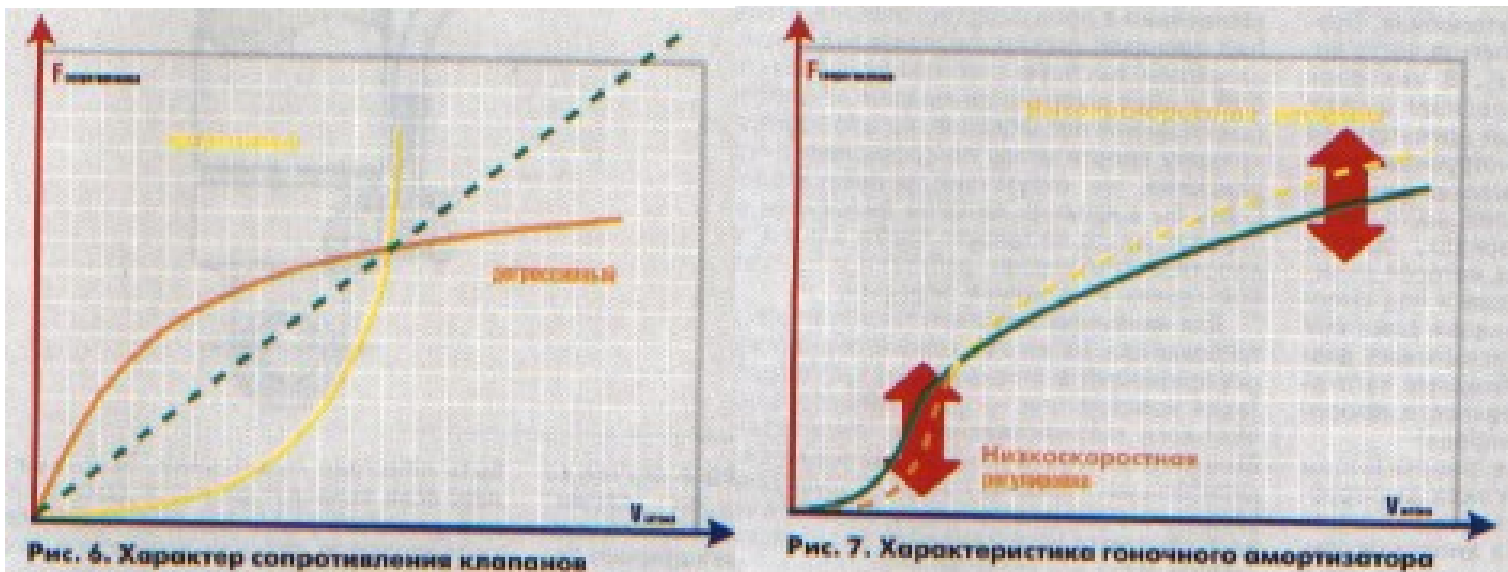


Рис. 5. Типы клапанов амортизаторов

Характеристики амортизатора, в целом, определяются как зависимость усилий сжатия и отбоя от перемещения поршня и его скорости. И если зависимость усилия от хода может быть постоянной, то вторая зависимость куда более сложная и важная: именно она формирует характер демпфирования и, в конечном итоге, влияет на управляемость автомобиля, скоростная характеристика амортизатора определяется параметрами его клапанов, имеющих принципиально отличающиеся характеры. У дросселя ярко выраженная прогрессивная характеристика сопротивления с увеличением скорости движения поршня усилие на нём растет все сильнее. Клапан, нагруженный пружинами, наоборот, при росте скорости увеличивает сопротивление потоку не медленнее, и имеет так называемую дегрессивную характеристику (рис. 6).

Характеристики амортизатора, в целом, определяются как зависимость усилий сжатия и отбоя от перемещения поршня и его скорости. И если зависимость усилия от хода может быть постоянной, то вторая зависимость куда более сложная и важная: именно она формирует характер демпфирования и, в конечном итоге, влияет на управляемость автомобиля, скоростная характеристика амортизатора определяется параметрами его клапанов, имеющих принципиально отличающиеся характеры. У дросселя ярко выраженная прогрессивная характеристика сопротивления с увеличением скорости движения поршня усилие на нём растет все сильнее. Клапан, нагруженный пружинами, наоборот, при росте скорости увеличивает сопротивление потоку не медленнее, и имеет так называемую дегрессивную характеристику (рис. 6).



Какой же характер нужен автомобильному амортизатору? Это зависит от режима его работы. Рабочий диапазон амортизатора условно можно разделить на две части — с высокой и низкой скоростью движения поршня. Быстрое сжатие и растяжение амортизатора происходит при демпфировании дорожных ям и неровностей. Медленно поршень движется при амортизации колебаний кузова, возникающих вследствие разгона, торможения или крена автомобиля в повороте. Для лучшего гашения высокоскоростных колебаний предпочтительней дегрессивный характер амортизатора, поскольку при том же максимально развиваемом усилии эффективное демпфирование (т.е. общий объем поглощённой энергии) у такого амортизатора выше. Если же сделать характеристику прогрессивной, то при быстром проезде неровностей амортизатор будет «вставать колом», вызывая удары в подвеске и, в конечном итоге, разрушая кузов.

Преимуществом прогрессивной характеристики является то, что при малых скоростях работы амортизатора его усилие невелико, что обеспечивает более мягкое качение и лучший контакт колеса с дорогой, например, при проезде плавной волны. Реальные амортизаторы, как правило, делают такими, чтобы они имели прогрессивную характеристику на малых скоростях работы и дегрессивную — на больших (рис. 7). Достигается это сочетанием дросселей и подпружиненных клапанов — первые начинают работать уже «с нуля», а вторые открываются при достижении в рабочей полости амортизатора определенного давления. Соответственно, для регулируемых амортизаторов обычно указывается, на какую из областей — низко- или высокоскоростную - затрагивает регулировка. Для настройки характеристик дросселя изменяют сечение его канала, а нагруженный клапан обычно регулируется за счет изменения преднатяга пружин.

Разобравшись с принципиальными отличиями в характеристиках клапанов, можно понять разницу между амортизаторами для кольцевых гонок и для грунтового ралли. В первом случае, основная работа амортизатора заключается в демпфировании низкоскоростных колебаний, вызываемых маневрами автомобиля. Важно, как амортизаторы противостоят кренам в поворотах, клевкам машины при разгоне и торможении. Поэтому, у «кольцевых» амортизаторов основное внимание уделяется настройке дросселей отбоя и сжатия. В ралли, наоборот, важен ход амортизатора и хорошее демпфирование резких ударов на неровностях. В результате, раллийные стойки имеют ярко выраженную дегрессивную характеристику, регулируемую в высокоскоростной зоне.

У асфальтовых и грунтовых амортизаторов и еще одно существенное отличие в регулировках. Важный параметр демпфирования — соотношение коэффициентов усилий сжатия и отбоя. В идеальном случае оно должно равняться единице — это сводит к минимуму изменение нагрузки на колесо при работе подвески и, соответственно, улучшает его контакт с дорогой. В реальности усилие сжатия обычно меньше, чем отбоя, но если в кольцевых гонках соотношение между ними близко к единице, то в ралли отбой может быть жестче сжатия раз в ПЯТЬ шесть! На разбитых дорогах используют очень жесткие, но длинноходные пружины, при растяжении которых высвобождается много энергии и ее необходимо эффективно поглощать при ходе отбоя амортизатора. А слишком высокое усилие амортизатора на сжатие в сочетании с мягкими пружинами приведет к тому, что машина будет подпрыгивать на неровностях, теряя контакт с дорогой.

Конечно, мы затронули только верхушку айсберга под названием «Настройка амортизатора». У каждого гоночного инженера есть в этом деле свои хитрости и секреты, которыми он не спешит ни с кем делиться. Ведь перед ним стоит нелегкая задача — подобрать под трассу, погодные условия, манеру вождения пилота оптимальные настройки амортизаторов, при том, что те имеют несколько регулируемых параметров со множеством положений. В частности, на самых сложных формульных амортизаторах Ohlins регулировка усилия сжатия и отбоя имеет 55 положений. Добавьте сюда ещё влияние выбранного дорожного просвета, стабилизаторов поперечной устойчивости, углов подвески, взаимное влияние настроек передней и задней оси и станет ясно, что правильная настройка подвески — один из труднейших и самых важных шагов к наградному подиуму.

Амортизаторный Hi-End

Для настройки **характеристик** дросселя изменяют сечение его канала, а нагруженный клапан обычно регулируется за счет изменения преднатяга пружин.

Разобравшись с принципиальными отличиями в характеристиках клапанов, можно понять разницу между амортизаторами для кольцевых гонок и для грунтового ралли. В первом случае, основная работа амортизатора заключается в демпфировании низкоскоростных колебаний, вызываемых маневрами автомобиля. Важно, как амортизаторы противостоят кренам в поворотах, клевкам машины при разгоне и торможении. Поэтому, у «кольцевых» амортизаторов основное внимание уделяется настройке дросселей отбоя и

сжатия. В ралли, наоборот, важен ход амортизатора и хорошее демпфирование резких ударов на неровностях. В результате, раллийные стойки имеют ярко выраженную де-грвсстную характеристику, регулируемую в высокоскоростной зоне.

асфальтовых и грунтовых амортизаторов и еще одно существенное отличие в регулировках. Важный параметр демпфирования — соотношение коэффициентов усилий сжатия и отбоя. В идеальном случае оно должно равняться единице — это сводит к минимуму вески и, соответственно, улучшает его контакт с дорогой. В реальности усилие сжатия обычно меньше, чем отбоя, но если в кольцевых гонках соотношение между ними близко к единице, то в ралли отбой может быть жестче сжатия раз в ПЯТЬ шесть! На разбитых дорогах используют очень жесткие, но длинноходные пружины, при растяжении которых высвобождается много энергии и ее необходимо эффективно поглощать при ходе отбоя амортизатора. А слишком высокое усилие амортизатора на сжав сочетании с **ИМН** пружинами приведет к тому, что машина будет подпрыгивать на неровностях, теряя контакт с дорогой.

Конечно, мы затронули только верхушку айсберга под названием «Настройка амортизатора». У каждого гоночного инженера есть в этом деле свои хитрости и секреты, которыми он не спешит ни с кем делиться. Ведь перед ним стоит нелегкая 1ддлч<1 подобрать под гра< су, по годные условия, манеру вождения пилота оптимальные настройки амортизаторов, при том, что те имеют несколько регулируемых параметров со множеством положений. В частности, на самых сложных формульных амортизаторах Ohlins регулировка усилия сжатия и отбоя выбранного дорожного просвета, стабилизаторов поперечной устойчивости, углов подвески, взаимное влияние настроек передней и задней оси и станет ясно, что правильная настройка подвески — один из труднейших и самых важных шагов к награде на подиуме.

В производственной программе фирмы Ohlins есть однотрубные амортизаторы на любой вкус — от нерегулируемых, предназначенных для американских гонок NASCAR с их жесткими техническими требованиями, до амортизаторов с широчайшими возможностями настройки для Формулы-3000. Но наиболее популярными являются изделия серии 46HRC с выносным резервуаром и настройками усилий сжатия и отбоя. Они могут носить разные имена, ведь в обозначении амортизатора Ohlins зашифрованы особенности его исполнения, но их конструкция схожа, она проверена и «отшлифована» тысячами километров гонок.

Основу амортизатора составляет пир ниш. сложной конструкции, в котором располагаются клапаны отбоя (рис. 8.). Дросселем служит пустотелый шток, по которому масло перетекает с одной стороны поршня на другую. Внутри штока располагается стержень, частично перекрывающий канал. Поворотом регулировочной гайки на штоке (в исполнении для подвески McPherson - поворотом специальной гайки в торце корпуса) регулируется степень перекрытия дросселя, а следовательно и характеристики отбоя. Этот же стержень отвечает за температурную стабильность работы амортизатора. Нагреваясь, он удлиняется сильнее самого штока, уменьшает сечение дросселя и за счет этого компенсирует снижение усилия, вызванное падением вязкости масла.

Характеристики сжатия задаются клапаном в выносной камере, через который проходит жидкость, вытесненная дополнительным объемом штока. Схема регулировки та же стержень, перекрывающий отверстие дросселя. При большой скорости движения на поршне срабатывает подпружиненный клапан, открывающийся при отбое. Аналогичный есть и на входе в выносной резервуар, он отвечает за «быстрое» сжатие и на некоторых моделях тоже делается регулируемым. Сам выносной резервуар может крепиться непосредственно к корпусу амортизатора или быть соединен с ним армированным шлангом. Существенного влияния на характеристики это не оказывает, заказчик полон выбрать вариант, более удобный для него по компоновке.

Еще один предмет гордости фирмы Ohlins — амортизаторы ТТ44 и ТТ40, предназначенные для установки на серьезные «формулы». Аббревиатура ТТ расшифровывается как Twin Tube (двухтрубные), но их конструкция никакого отношения к обычным «двухтрубникам» не имеет. Впрочем, название не врет, у ТТ действительно два цилиндра — внешний корпус и рабочий цилиндр, расположенный внутри него. Однако действует амортизатор как однотрубный — при сжатии лишнее масло вытесняется в выносной резервуар, в котором есть компенсационная камера со сжатым газом. Полость же между цилиндрами полностью занята жидкостью. Предназначение этой камеры состоит в том, что через нее масло перетекает из области над поршнем в область за ним и назад, проходя через расположенные в корпусе амортизатора регулируемые дроссели. Такая схема позволила сделать поршень без дросселей (в качестве опции возможна установка и поршень регулируемого высокоскоростного клапана сжатия) и уменьшить внутреннее трение. Последнее очень важно именно для формульного амортизатора. Обычно он устанавливается под обтекателем машины, и малые хода колес превращаются в микроскопический рабочий ход амортизатора. При этом он должен развивать немалые усилия, иметь точные характеристики и легко регулироваться. С последним у амортизатора ТТ все в порядке — три (две сжатия и одна отбоя), а в качестве опции четыре регулировки, каждая из которых имеет от 28 до 55 положений!