

Дисциплина «ЭСКТС»  
 Часть 3 «Мехатронные системы ходовой части автомобиля»  
 Тема 14 «Системы управляемых подвесок»  
 Лекция № 40 (2 часа)

Вопросы:

1. Классификация и состав управляемых подвесок.
2. Конструкции и характеристики управляемых амортизаторов.
3. Управление демпфированием подвески.

### 1. Классификация и состав управляемых подвесок.

Подвеска колеса включает ряд конструктивных элементов и узлов

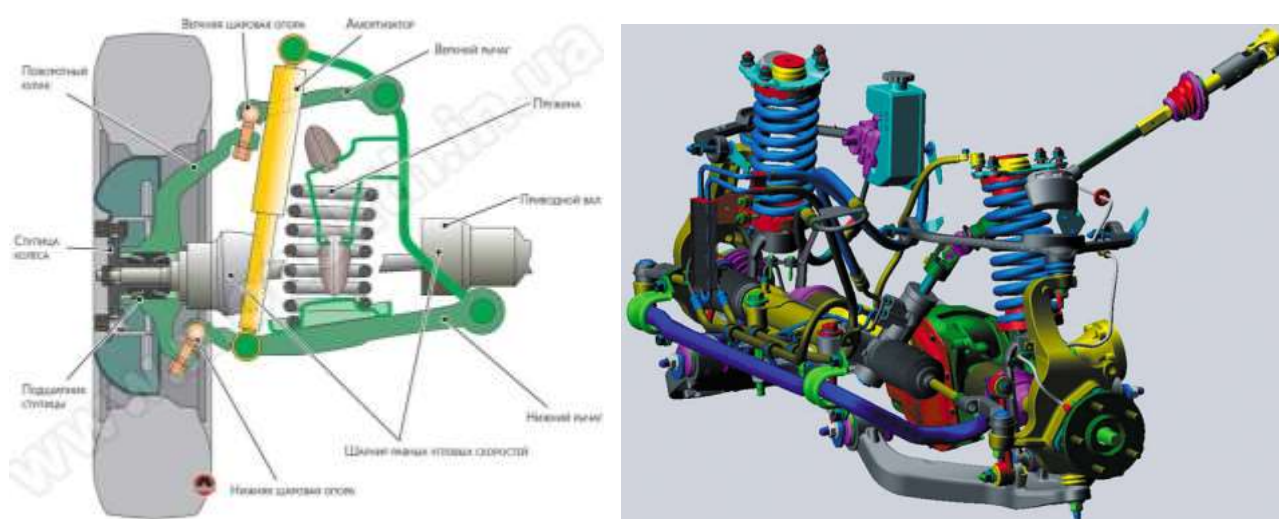


Рис. 1. Устройство подвески автомобиля

Подвески автомобиля отличаются по ряду **общих классификационных признаков**:

- способу соединения с корпусом (рамой): жёсткие, полужёсткие (тракторные) и мягкие (эластичные и упругие).
- связи колёс с упругими элементами: двух-рычажные, с продольными рычагами (маятниковые) и с поперечными рычагами.
- количеству поперечных рычагов: одно-рычажная, двух-рычажная, многорычажная, телескопическая с определенными степенями свободы.
- способу соединения колёс между собой: независимые (индивидуальные), зависимые (блокированные, балансирные) и полунезависимые (смешанные).
- типу упругого элемента: механические (пружинные, рессорные, торсионные), пневматические, гидравлические и гидропневматические.

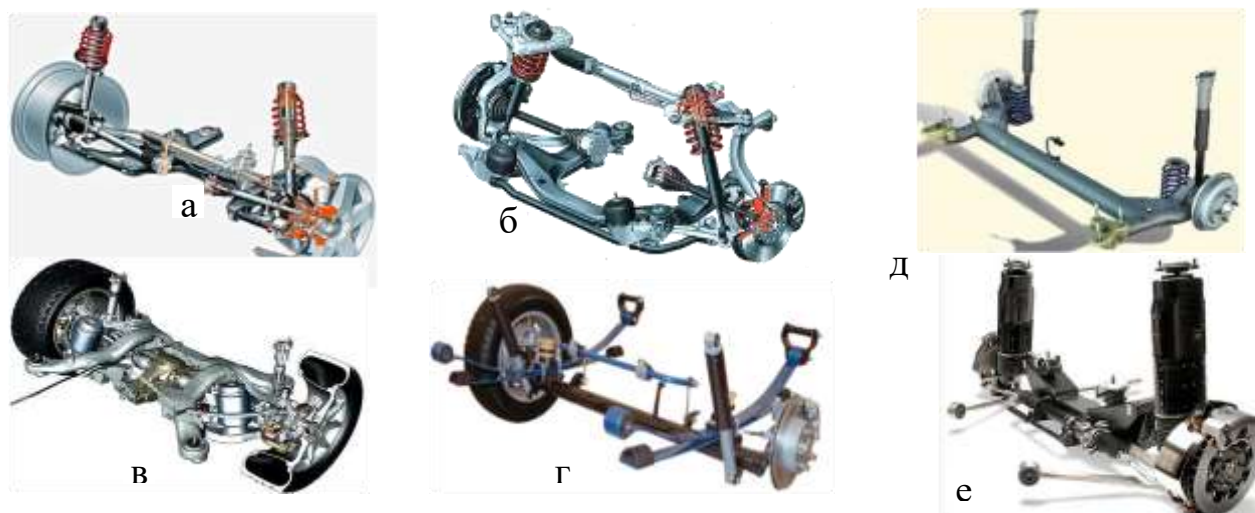


Рис. 2. Системы подвесок автомобиля:  
 а – типа «Мак Ферсон»; б – двух-рычажной; в – типа «Де Дион»; г – зависимой рессорной; д – полунезависимой; е – адаптивной

Управляемые подвески можно классифицировать по ряду признаков: видом параметра управления; степенью автоматизации; принципом построения; управляющим элементом (рис. 3).



Рис. 3 Классификация управляемых подвесок

С позиций управляемости различают пассивные, полуактивные и активные подвески. **Пассивная** (неуправляемая) подвеска характеризуется вполне фиксированными значениями нормативных параметров (не меняет характеристик в зависимости от режимов и условий движения авто).

**Полуактивная подвеска** обеспечивает управление только дорожным просветом путем изменения параметров упругого элемента за счет перепуска рабочей среды (воздуха или жидкости) с помощью электроклапанов.

**Активная подвеска** вместе с изменением положения упругих элементов, обеспечивает регулирования жесткости демпфирующих элементов (управляемых амортизаторов) в активной стойке. Широкое применение активная подвеска получила в автобусах и троллейбусах, где нужно избегать кренов кузова при неравномерном распределении пассажиров по салону.

**Адаптивная подвеска** это активная подвеска, в которой предусмотрено изменение ее регулируемых параметров в автоматическом режиме на основании информации, полученной с датчиков (мехатронная система с обратной связью).

Адаптивные подвески различаются по принципу построения и в обиходе получили названия:

- пневматическая (пневмоэлектрическая полуактивная);
- гидропневматическая (комбинированная активная);
- гидропружинная (комбинированная активная).

Управляемые подвески можно различать по признакам системы управления: степени автоматизации (автоматизированные, автоматические); гибкости управления (жесткие, адаптивные); качеству управляющих воздействий (непрерывного действия, дискретного действия).

Таким образом, мехатронная система подвески характерны атрибуты: автоматическая, адаптивная, непрерывного действия.

Адаптация к дорожным условиям и стилю вождения может обеспечиваться с помощью различных систем и устройств. На разных автомобилях применяются отличные друг от друга адаптивные подвески, однако назначение и общий принцип действия остаются неизменными. В состав адаптивной подвески входят элементы мехатронной системы:

- параметризованные стойки амортизаторов;
- регулируемые стабилизаторы поперечной устойчивости;
- управляемые задние рычаги;
- датчики ускорения, дорожный просвет, неровности дороги и другие;
- электронный блок управления подвеской.

#### **Классификация адаптивных подвесок по управляемому элементу**

1. Амортизаторы с электроклапанами: ACC, DCC (Volkswagen), ADS (Mercedes-Benz), AVS (Toyota), CDC, CDS (Opel), EDC (BMW).
2. Амортизаторы с магнитной жидкостью: MR, Delphi, SKF.
3. Пневмобалоны: ADS, Hydractive, ABC, PDC.
4. Стабилизаторы поперечной устойчивости: PDCC, ASSS.

## 5. Рычаги подвески: AGCS (Hyundai)

### Классификация адаптивных подвесок по маркетинговым названиям

Адаптивные подвески в конструкциях современных автомобилей:

1. **Mercedes-Benz**: гидравлическая система **ABC** (Active Body Control) – активного управления положением кузова, пневмоподвеска **Airmatik Dual Control** с системой **ADS II** (Adaptive Damping System) – адаптивного демпфирования, регулирующая демпфирующие свойства амортизаторов.

2. **BMW**: адаптивная подвеска **Adaptive Drive**, к которой относятся системы регулирования демпфирующих свойств амортизаторов **EDC** (Electronic Damper Control) и снижения кренов кузова автомобиля **Dynamic Drive** (активные стабилизаторы поперечной устойчивости).

Система EDC обеспечивает три режима работы («Normal», «Comfort» или «Sport») и автоматически регулирует демпфирующие свойства амортизаторов, изменяя проходное сечение клапанов.

В системе Dynamic Drive в разрез обычного стабилизатора поперечной устойчивости включён мощный и быстродействующий гидромотор. При прямолинейном движении автомобиля гидромотор не включается и стабилизатор не работает. При движении на поворотах, которые электронный блок управления распознает по сигналам датчика поперечных ускорений, гидромотор включается и закручивает правую и левую части стабилизатора. Чем круче поворот, тем сильнее гидропривод закручивает части стабилизатора. В результате уменьшаются крены кузова.

3. **Porsche**: система **PDCC** (Porsche Dynamic Chassis Control), управляющая гидроприводами стабилизаторов поперечной устойчивости и обеспечивающая минимальные крены кузову в дополнение к системе активного управления подвеской PASM – Porsche Active Suspension Management.

4. **Nissan**: системы **CDC** (Continuous Damping Control) – непрерывного управления демпфирующими свойствами амортизаторов и **HBMC** (Hydraulic Body Motion Control) – гидравлического управления положением кузова, изменяющая характеристики амортизаторов с целью уменьшения его кренов.

5. **Toyota** и **Lexus**: адаптивная подвеска **AVS** (Adaptive Variable Suspension), регулирующая демпфирующие свойства амортизаторов, которые изменяются каждые 2,5 мс, пневмоподвеска **AHC** (Active Height Control), обеспечивающая изменение клиренса, и система **KDSS** (Kinetic Dynamic Suspension System), управляющая гидроприводами стабилизаторов поперечной устойчивости и обеспечивающая минимальные крены кузову.

## 2. Конструкции и характеристики управляемых амортизаторов

Автомобильные амортизаторы служат для обеспечения безопасности и комфорта движения они должны предотвращать отрыв колес от дороги и препятствовать колебаниям кузова. Амортизаторами называют устройства, преоб-

разующие энергию механических колебаний в тепловую. Они прикрепляются к кузову и рычагам подвески с помощью эластичных элементов.

В настоящее время в подвесках автомобилей применяются телескопические гидравлические амортизаторы. Действие таких амортизаторов основано на использовании гидравлического сопротивления, которое возникает при перетекании жидкости из одной полости цилиндра в другую через отверстия, перекрытые клапанами.

По конструкции большинство амортизаторов делится на две группы - однотрубные и двухтрубные. Они могут быть масляными (или гидравлическими) и газо-масляными (гидропневматическими).

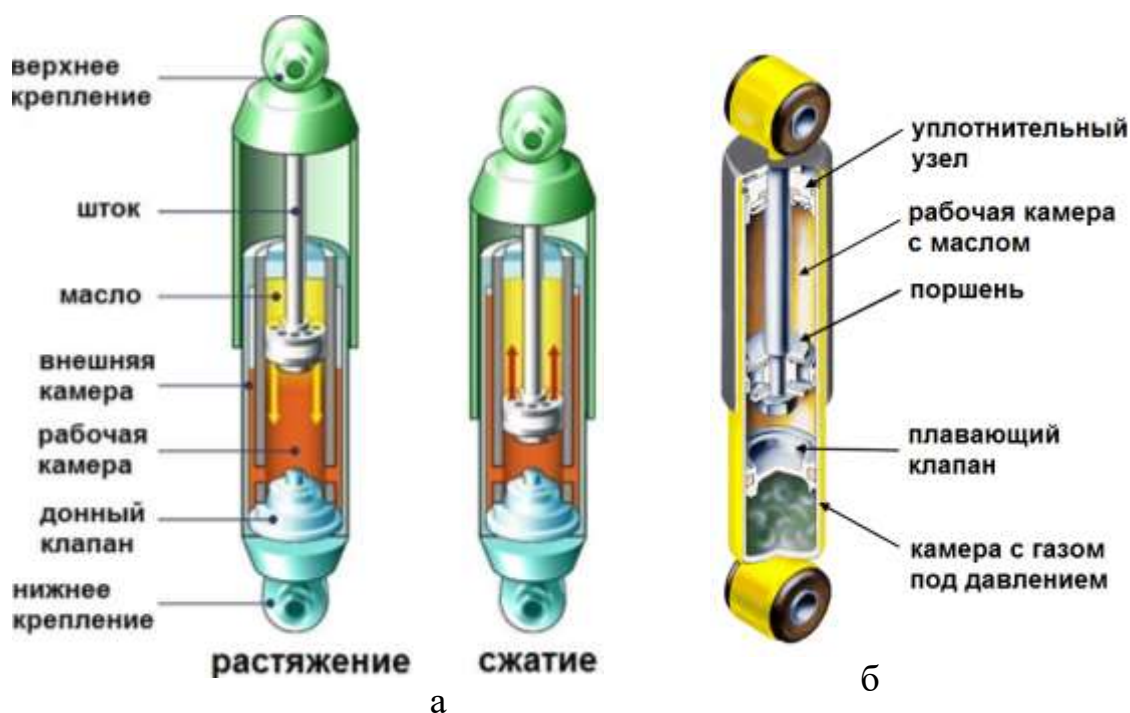


Рис. 4. Устройство амортизатора:  
а – двухтрубного; б – однотрубного амортизатора

В двухтрубном амортизаторе рабочая камера сообщается с внешней, частично заполненной воздухом либо азотом через донный клапан. Камера, заполненная газом, предназначена для компенсации объема жидкости при погружении штока.

Донная камера в однотрубном амортизаторе отделена от жидкости специальным плавающим поршнем. Предназначена для компенсации объема жидкости при сжатии амортизатора.

**Неуправляемые амортизаторы классифицируются** по ряду признаков:  
- принципу действия: фрикционные или механические (сухого трения), гидравлические (вязкостного трения), электромагнитные (индукционные), комбинированные;

- характеру действия сил трения: одностороннего и двустороннего действия (с сопротивлением на прямом и обратном ходах);
- конструкции: рычажно-лопастные, рычажно-поршневые и телескопические (двухтрубные и однотрубные) с газовым подпором (низкого или высокого давления) или без;
- характеру изменения силы сопротивления (виду рабочих характеристик): с постоянной силой трения; с силой трения, зависящей от перемещения, скорости или ускорения поршня «релаксационные» (пропорциональные, нелинейные).

**Газовый подпор**, как правило, слабо влияет на жёсткость амортизатора, но значительно увеличивает стабильность характеристик в условиях сильных нагрузок за счет меньшего вспенивания масла; при повседневной езде разница совершенно незаметна.

#### **Газовый амортизатор**

Амортизатор, действующим веществом которого является газ. Возвратно-поступательное движение штока амортизатора затрудняется работой по перепуску газа из одной камеры в другую. Но по технологии производства и по логике они все являются газомасляными.

#### **Комбинированный амортизатор**

Газомасляный амортизатор, действующим веществом которого является как масло, так и газ. Работает масло, газ устраняет образование пены.

**Жёсткость** амортизаторов  $K$  зависит от конструкции цилиндропоршневой группы, начальной настройки перепускных клапанов, исходной вязкости жидкости (масла) и ее температуры.

**Статические характеристики** амортизаторов представляются круговыми  $F=f(x)$  и рабочими  $F=f(V)$  диаграммами при максимальной скорости перемещения поршня  $V_{\max}$  (рис. 5, а).

Площадь круговой диаграммы пропорциональна диссипативной энергии, рассеиваемой амортизатором при одном колебании. Амортизаторы изготавливаются и регулируются под прогрессивную, линейную или дигрессивную характеристики (рис. 8.2, а сверху вниз). Основными способами регулировки неуравновешенных амортизаторов являются:

- применение масла другой вязкости;
- изменение давления газового подпора;
- изменение количества и формы клапанов отбоя, сжатия и перепускных.

В гидравлических амортизаторах сила сопротивления зависит от скорости перемещения штока, поэтому характеристики представляются семействами (рис. 5, б).

Выбор характеристики диктуется преимущественными условиями движения и конструктивными особенностями АТС (рис. 6).

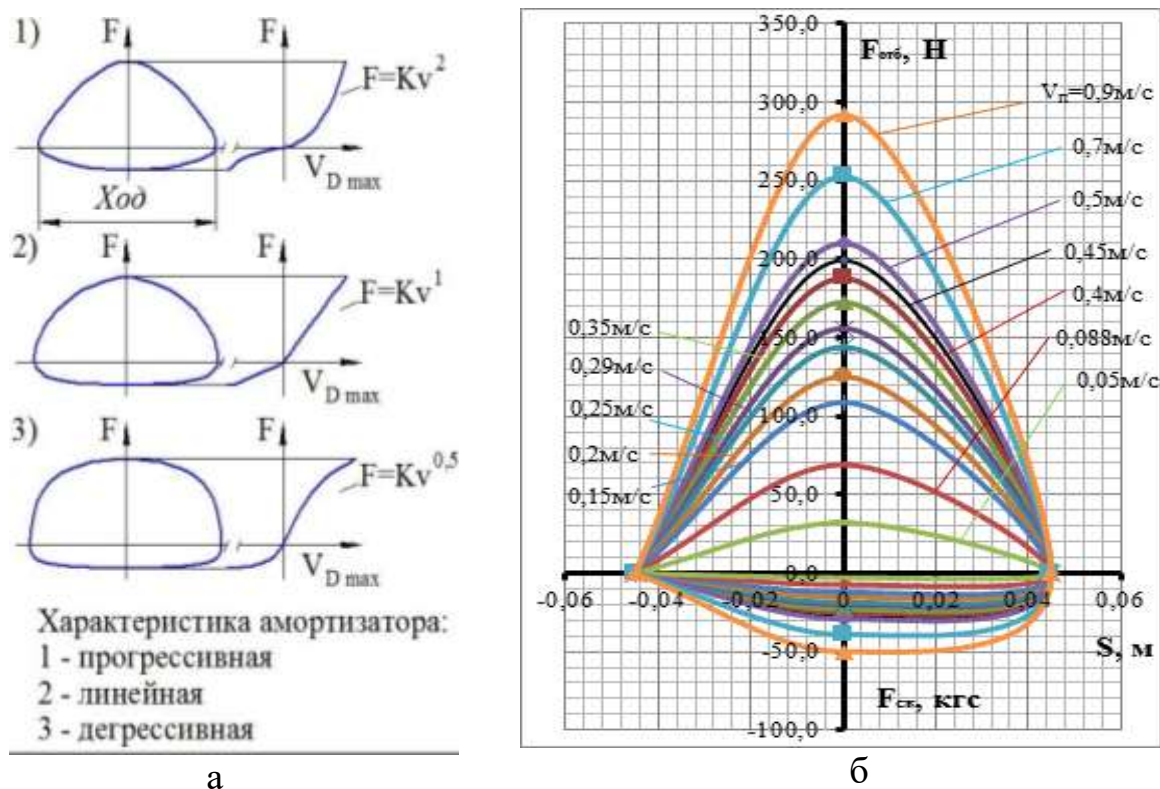


Рис. 5. Характеристики амортизатора:  
 а – статические; б – динамические

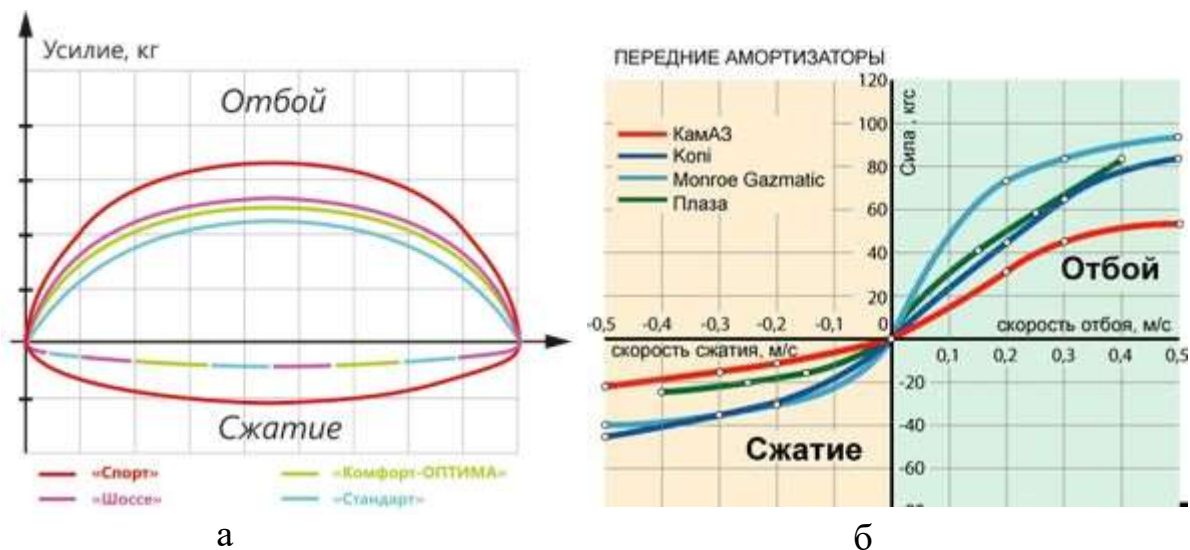


Рис. 6. Оптимизированные характеристики амортизаторов:  
 а – по условиям движения; б – по конструктивным особенностям АТС

**Преимуществом** амортизаторов с **дигрессивной** характеристикой является повышенное сопротивление боковым угловым колебаниям при смене полосы движения и при входе в поворот: кузов кренится медленнее и совершает меньше колебаний вокруг поперечной оси. То же касается и продольных колебаний: при внезапном торможении неприятный продольный крен проявляется в мень-

шей степени. Небольшой подъем характеристики при повышенной скорости поршня соответствует ограничению максимальных сил, развиваемых амортизатором и воздействующих на подвеску и кузов. Если ходовая часть автомобиля рассчитана по прочности на дигрессивные амортизаторы, то при замене их на непредусмотренные изготовителем амортизаторы с прогрессивной характеристикой могут появиться трещины и поломки.

**Преимущество прогрессивной** характеристики заключается в том, что около нулевой точки силы имеют небольшое значение, что обеспечивает более мягкое качение даже относительно жестких шин. Резкое нарастание силы при повышенной скорости поршня приводит к увеличению коэффициента сопротивления (отношение развиваемой амортизатором силы к скорости поршня) и связанному с этим повышению демпфирования как кузова, так и колеса. Последнее предотвращает подпрыгивание колес и улучшает сцепление с дорогой на покрытиях плохого качества.

**Линейная характеристика** амортизатора может являться хорошим компромиссным решением.

Для повышения комфорта движения и безопасного управления транспортным средством применяют электронно-управляемые амортизаторы. К электронно-управляемым амортизаторам относят такие амортизаторы, характеристики которых прямым или косвенным образом изменяются путем воздействия сигналов от блока управления или по команде водителя.

Электронно-управляемые амортизаторы условно можно разделить на несколько групп в зависимости от принципа изменения характеристик. Жесткость гидравлического амортизатора можно изменить тремя способами: варьировать сечения перепускных отверстий, через которые перекачивается масло; менять вязкость самой рабочей жидкости; варьировать давление газового подпора.

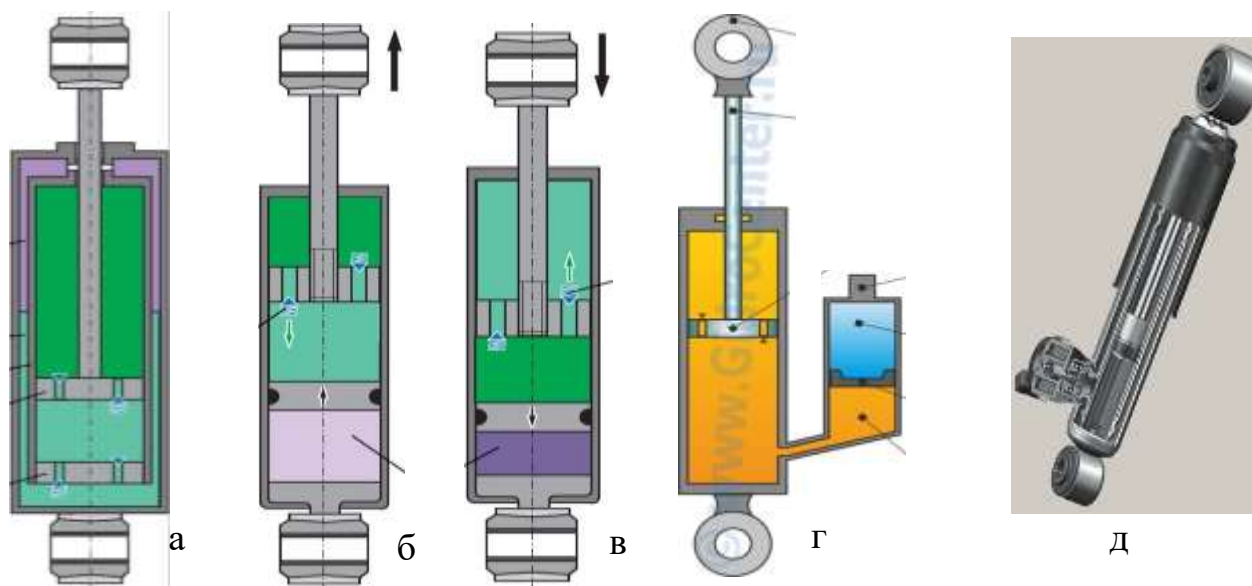
#### **Технологии интегрирования управляемых амортизаторов:**

- с электроклапанами CDC (Continuous Damping Control);
- с магнитной жидкостью MRC (Magnetic Ride Control).

Найбільшого застосування набули електроклапані гідравлічні амортизатори різної конструкції (рис. 7).

Регульовальний клапан з керуючим соленоїдом може знаходитися всередині демпфера на поршні або зовні збоку на корпусі (рисунок 7, д). Основний недолік двотрубних амортизаторів – неможливість їх встановлення в перевернутому вигляді. Частково ця проблема вирішується за рахунок блокування газової порожнини зовнішнього циліндра (рисунок 7, а). Наряду з цим, в двотрубних амортизаторах можна плавно регулювати жорсткість за рахунок використання додаткових клапанів на нижній кришці внутрішнього циліндра. В однотрубних конструкціях такий ефект досягається за рахунок регулювання тиску в газовому підпорі (рисунок 7, б – г). В останньому випадку, на автомобілі встановлюється пневмосистема. По команді блоку керування або водія характеристики амортизаторів змінюються при подачі або скиду тиску газу в магістралі кожного циліндра підвіски.





а – двотрубний; б, в – однотрубний; г – з виносним підпором; д – з боковим клапаном  
Рис. 7 – Керовані електроклапані амортизатори

Головною перевагою гідравлічного амортизатора з повітряним підпором є нормальна аерація (мастило не зміщується з газом). Крім того, газовий підпор підтримує автомобіль, виконуючи функцію додаткового демпфера. Таким чином, навіть при повністю стиснутих пружинах газові заряди в амортизаторах утримують правильне положення машини.

Електроклапана управління інтегруються в устройство дроселювання поршня или размещаются за пределами гидравлического цилиндра (рис. 8).

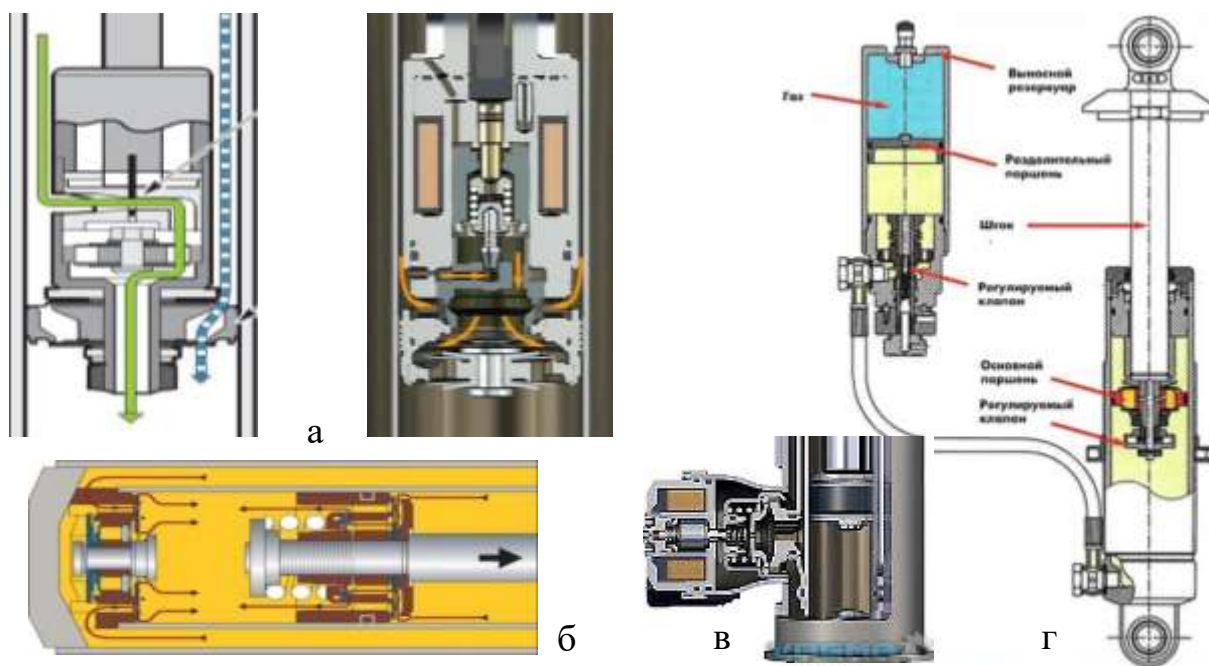
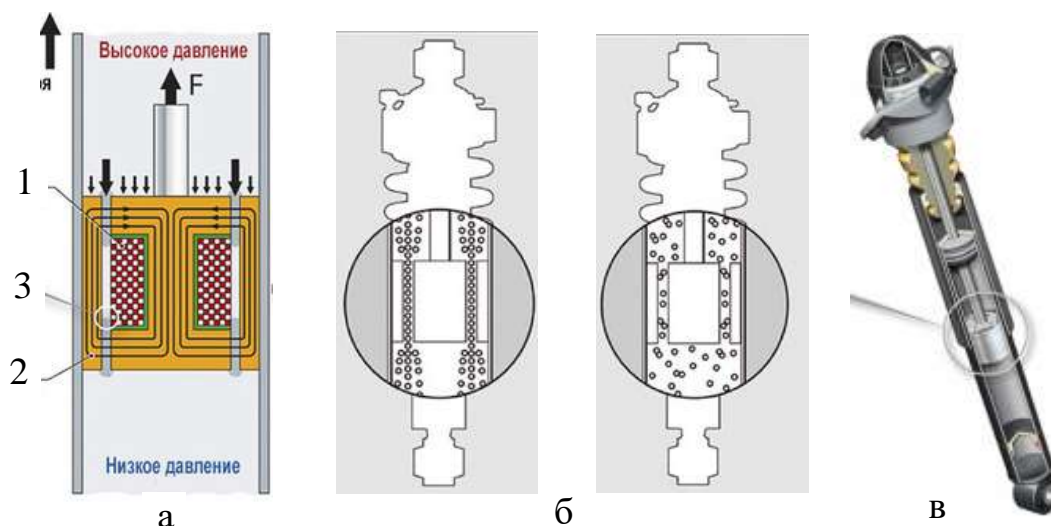


Рис. 8. Размещение электроклапанов в амортизаторе:  
а – на поршне однотрубного; б – на поршне двухтрубного;  
в – с боку двухтрубного; г – однотрубного с выносным резервуаром

В магнітно-реологічних амортизаторах регулювання жорсткості здійснюється за рахунок зміни консистенції феромагнітної рідини. Конструкція поршня такого амортизатора являє собою електромагнітний індуктор (обмотка зі струмом 1 і магнітопровід 2) з робочими отворами 3 (рис. 9, а).



а – устрій; б – зміна консистенції рідини; в – вигляд

Рис. 9. Керований амортизатор з магнітною рідиною

У складі феромагнітної рідини є найдрібніші металічні часточки, які реагують на зміну магнітного поля навколо штока і поршня амортизатора. При збільшенні сили струму рідина змінює свою в'язкість, створюючи додатковий опір переміщенню поршня в середині амортизатора (рисунки 9, б).

**Амортизатори з магнітною жидкістю** можуть містити різні робочі середовища і конструкції дроселюючого пристрою.

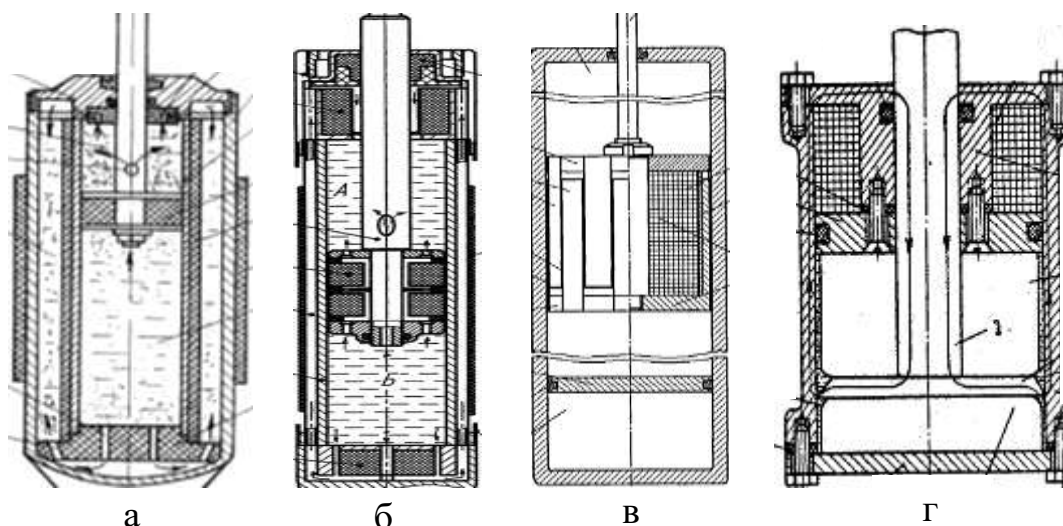
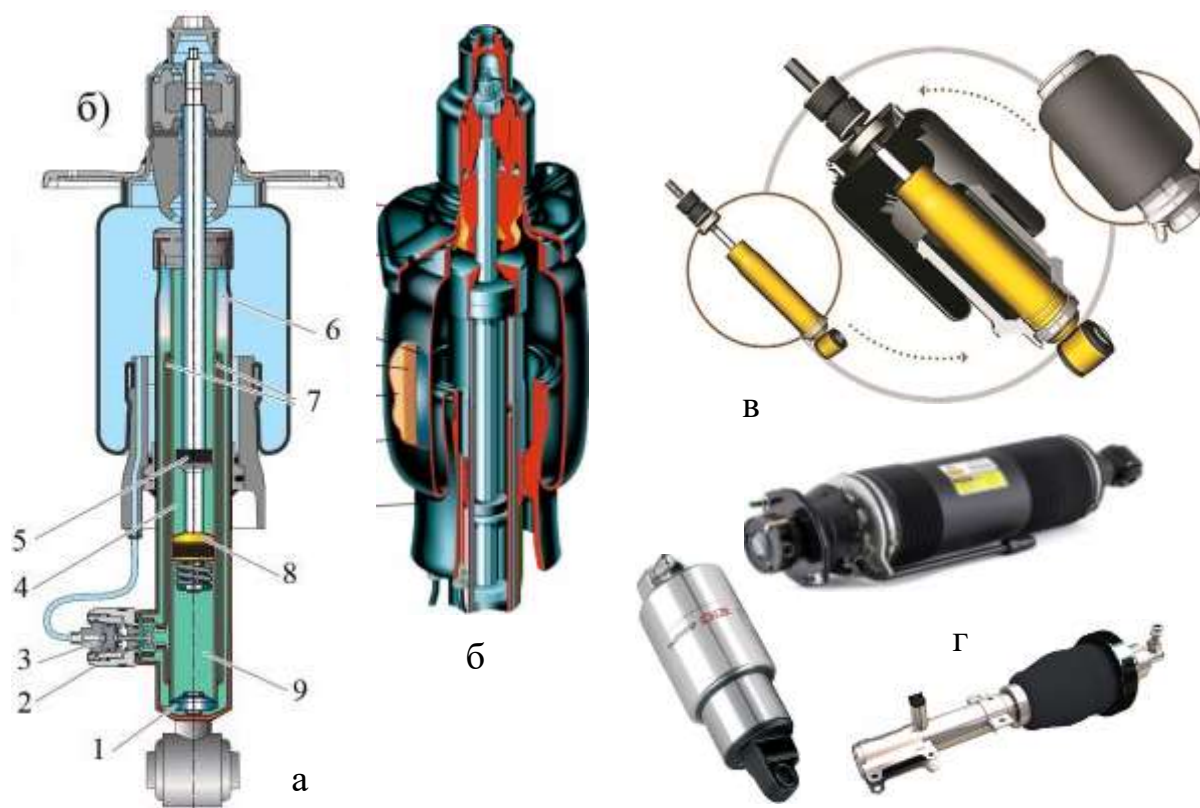


Рис. 10. Технические решения амортизаторов с магнитной жидкостью: а – гидравлический с катушкой на корпусе; б – гидравлический с постоянными магнитами на фланцах; в – гидропневматический с катушкой на поршне; г – пневматический с катушкой на фланце

Конструктивне поєднання гідравлічного керованого амортизатора і пневматичного керованого пружного елемента (балона, подушки) утворюють **активну стійку підвіски** (рис. 11).



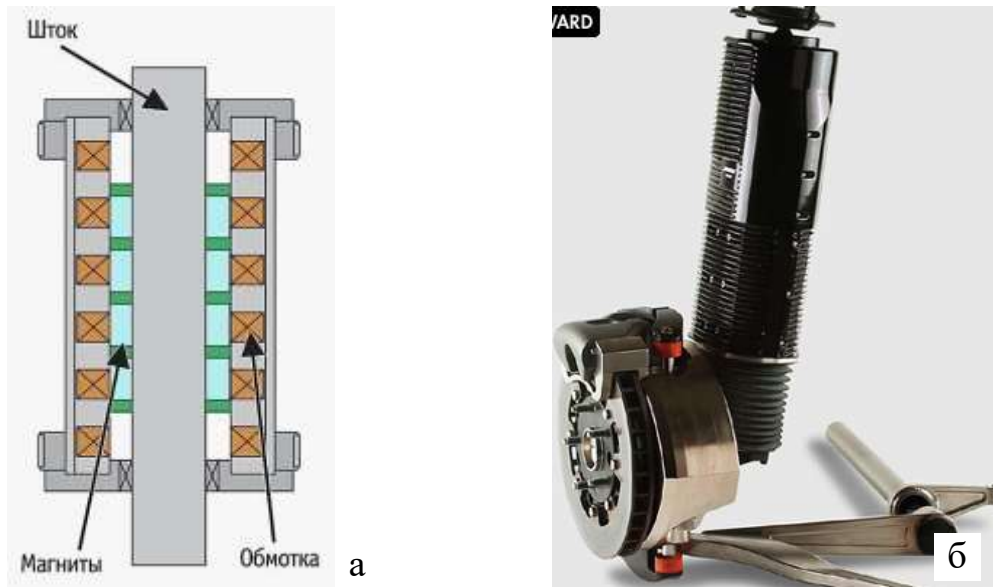
а, б – устрій; в – склад; г – зовнішній вигляд  
Рис. 11. Гідропневматична стійка

Найбільш яскравим прикладом застосування гідропневматичної підвіски є автомобілі марки Citroen з системою Hydractive. В даній системі характеристики змінюються за рахунок зміни тиску рідини в пневмогідравлічних сферах, встановлених на амортизаторах. Система автоматично регулює дорожній провіт в залежності від стану дорожнього покриття і швидкості руху.

**Ведущие производители амортизаторов:** Bilstein, Delphi, Kayaba, Koni, Monroe, Sachs, Boge, Gabriel, Delco, SKF

Розробникам фірми Bose (виробник акустичних систем преміум-класу, що встановлюються на дорогі автомобілі) прийшла в голову ідея змінити принцип роботи амортизатора. Замість рідини вони вирішили змусити працювати електрику. В основу амортизатора Bose закладено принцип зворотної дії електромагніту – чинити опір якорю, який переміщується. Грунтуючись на принципах лінійного двигуна фірма Bose в 2004 році представила свою експериментальну розробку електричного амортизатора (рис. 12).

Шток постачаний потужним магнітом, сприймаючи коливання від підвіски автомобіля, переміщається не в циліндрі з рідиною, а в електромагнітному полі, яке створюється системою котушок, розташованих на статорі.

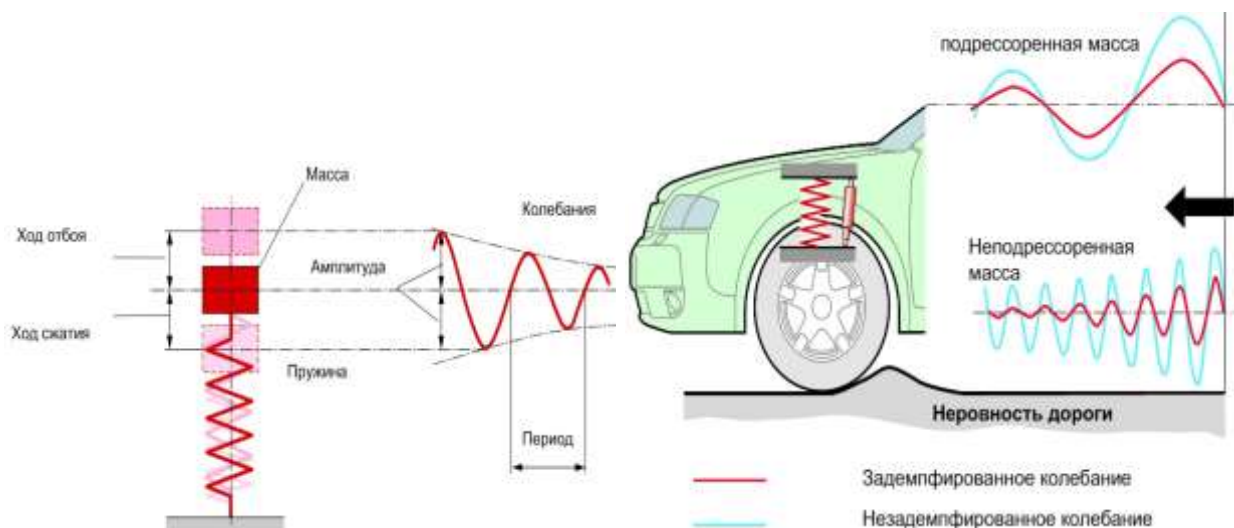


а – фірми Sachs; б – автомобіля Audi TT  
Рис. 12 Система підвіски Suspension Bose

Кожному такому амортизатору потрібний контролер з потужним електричним підсилювачем, оскільки при роботі треба прискорювати і уповільнювати переміщення штока. У свою чергу, кожен контролер підкорятиметься командам центрального комп'ютера, який сприймає сигнали датчиків про положення кузова над дорогою.

### 3. Управление демпфированием подвески

#### Теория подвески



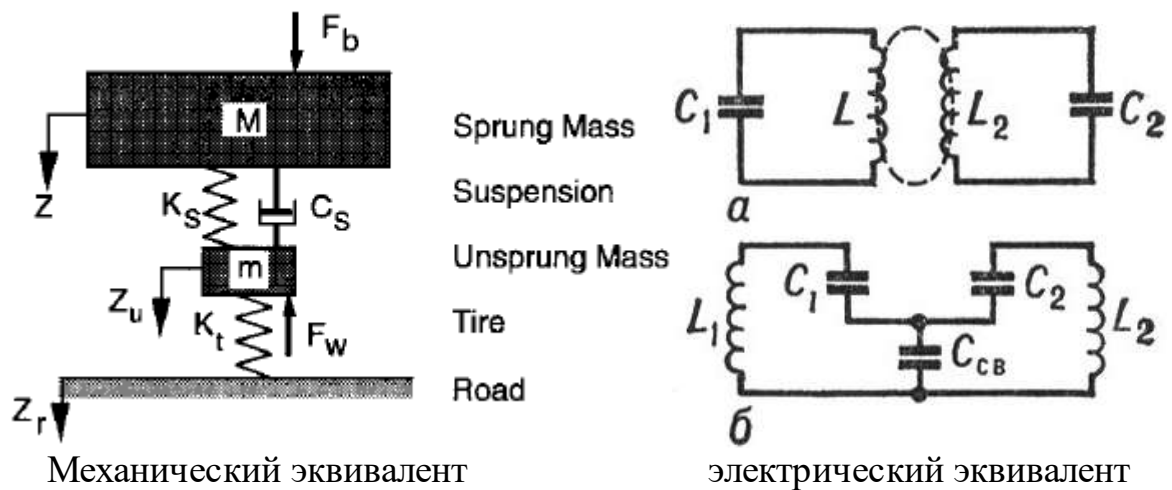


Рис. 13. Система колебаний подвески автомобиля

**Основные параметры** системы колебания подвески:

- коэффициенты сопротивления и затухания амортизатора (коэффициент трения, подрессоренная масса);
- степень демпфирования подвески (коэффициент затухания, жесткость пружины, подрессоренная масса).

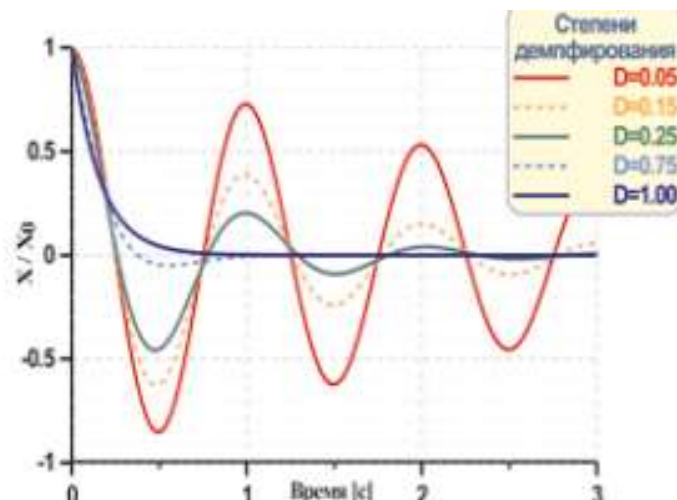


Рис. 14. Затухающий процесс подвески автомобиля

**Эффект затухания**, проиллюстрированный коэффициентами усиления отклика  $\frac{1}{4}$  автомобиля (на одно колесо), показан на рис. 15.

Процент затухания определяется из **коэффициента затухания**, определяемого через параметры амортизатора. При очень небольших затуханиях (10%) отклик самый большой с очень высоким откликом на частоте 1 Гц. Этот тип реакции, часто упоминаемый как "плавание" ("float"), заставляет подрессоренную массу **усиливать длинные неровности** на проезжей части. Хотя это нежелательно, на всех частотах выше резонансной точки достигается преимущество в результате достигнутого высокого затухания.

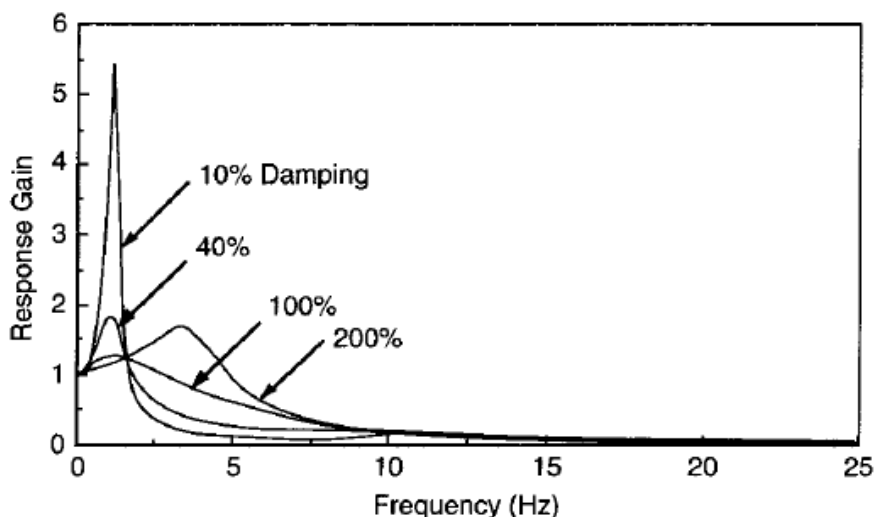


Рис. 15. Зависимость коэффициента усиления амплитуды колебаний кузова автомобиля от частоты возмущающих колебаний дорожных неровностей подвески при различных коэффициентах затухания амортизатора

Кривая для коэффициента затухания 40% является типичным представителем большинства автомобилей, узнаваемая по усилению на резонансной частоте, находящейся в диапазоне от 1,5 до 2,0 Гц. При 100% (критическом) затухании движения при отскоке подрессоренной массы на частоте 1 Гц хорошо контролируются, но при ухудшении изоляции на более высоких частотах. Если затухание больше критического, например, 200%, демпфер становится настолько жестким, что подвеска больше не движется и транспортное средство подпрыгивает на своих шинах, резонируя в диапазоне от 3 до 4 Гц.

Хотя этот аналитический подход предоставляет упрощённую иллюстрацию эффекта демпфирования при езде в подвеске, подгонка амортизаторов для достижения оптимальной характеристики в современном автомобиле намного более сложна. Амортизаторы должны быть приспособлены не только для достижения желаемых характеристик при езде, но также играют ключевую роль в поддержании хорошего контакта шин с дорогой, необходимого для управляемости и безопасности. В общем, это достигается за счет подбора "клапанной системы" ("valving") в амортизаторе, так что это не простой линейный элемент (с силой, пропорциональной скорости), как предполагалось до сих пор.

Во-первых, затухание в подвеске в направлениях удара (сжатие) и отскока (расширение) не одинаково. Затухание в направлении удара добавляется к силе, передаваемой подрессоренной массе, когда колесо встречает неровность, таким образом, нежелательно иметь высокое демпфирование в этом направлении. С другой стороны, демпфирование в направлении отскока желательно, чтобы рассеять энергию, запасённую в рессоре вследствие удара. Следовательно, типичные амортизаторы имеют двойную характеристику примерно с соотношением один-к-трём затуханием при отскоке и ударе. Помимо этого, для

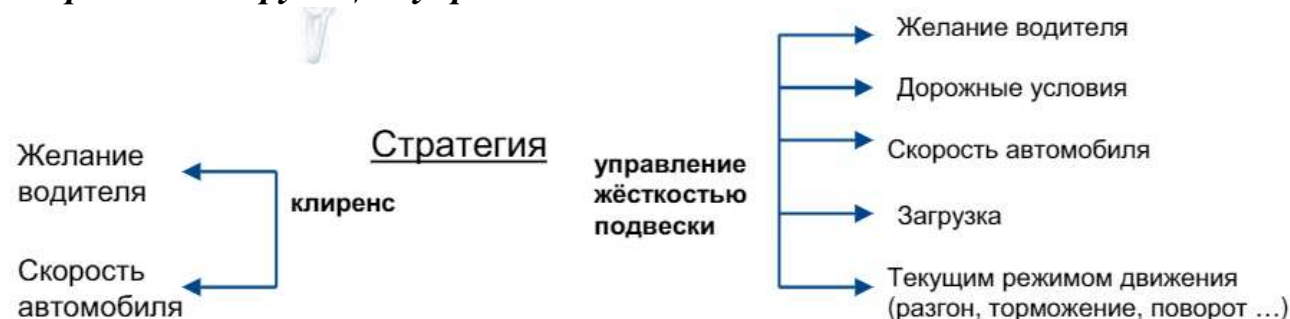
управления демпфированием в обоих направлениях используются описанные ниже регулируемые характеристики.

### Утилизация энергии возмущения

Затухание в подвесках происходит в первую очередь от действия гидравлических амортизаторов. Вопреки своему названию, они **не поглощают** удары от дорожных сотрясений. Скорее, подвеска принимает удар и функцией амортизатора является **рассеивание энергии**, введённой в систему неровностью.

В **рекуперативных** системах подвески перспективных разработок, энергия механического возмущения **преобразуется** в другие виды энергии и **сохраняется** в аккумуляторах (электрических, пневматических, гидравлических) с дальнейшим ее **использованием** на борту автомобиля для побочного или прямого применения (реверсивное действие подвески). Примерами таких проектов являются индукционная стойка Bose и амортизатор с генератором ZF Levant Power.

### Стратегия и функции управления подвеской



### Методы и способы управления элементами подвески

Непрерывное регулирование параметров активных элементов подвески осуществляется методом ШИМ-управления сигналами исполнительных устройств в автоматическом режиме. Ступенчатое регулирование, – методом дискретного управления в полуавтоматическом режиме. При этом характеристики амортизатора оперативно (в транспортном режиме) можно изменять по виду и интенсивности прогрессии (рис. 16).

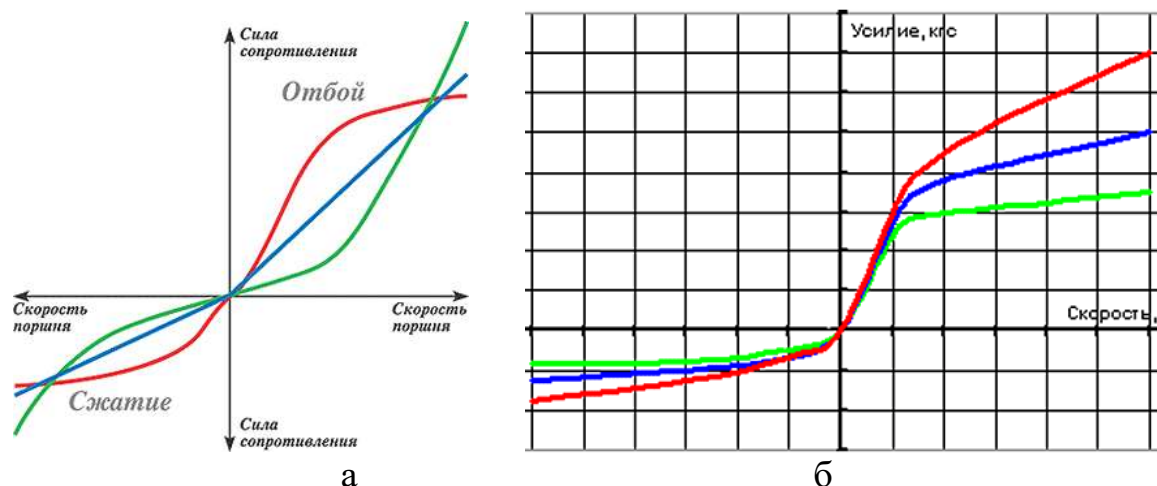


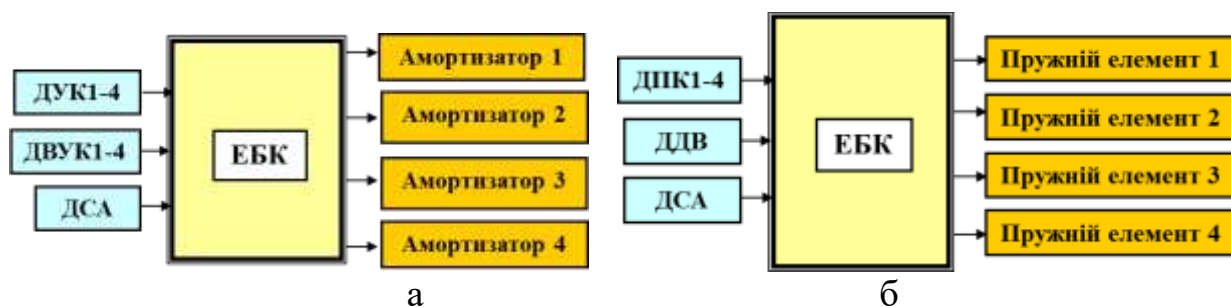
Рис. 16. Рабочие характеристики управляемого амортизатора:  
 а – изменение вида прогрессии; б – изменение уровня прогрессии

В современных системах подвески (вертикальной устойчивости) **сигнал управления** регулирующим элементом (исполнительным устройством) амортизатора рассчитывается ЭБУ на основании информации о:

- дорожные условия;
- скорость автомобиля;
- тормозное усилие;
- ускорение колеса;
- перемещения рулевого колеса;
- угол наклона автомобиля в продольном и боковом направлении (подъем, крен, раскачка);
- поперечное ускорение (угловая скорость рыскания);
- положение переключателя – нормальный или спортивный стиль вождения;
- сигнал ESP для коррекции демпфирования.

**Три направления развития** электронных систем управления подвеской современного автомобиля:

- управление упругими и амортизирующими элементами подвески;
- управление стабилизаторами поперечной устойчивости;
- управление кинематикой подвески.





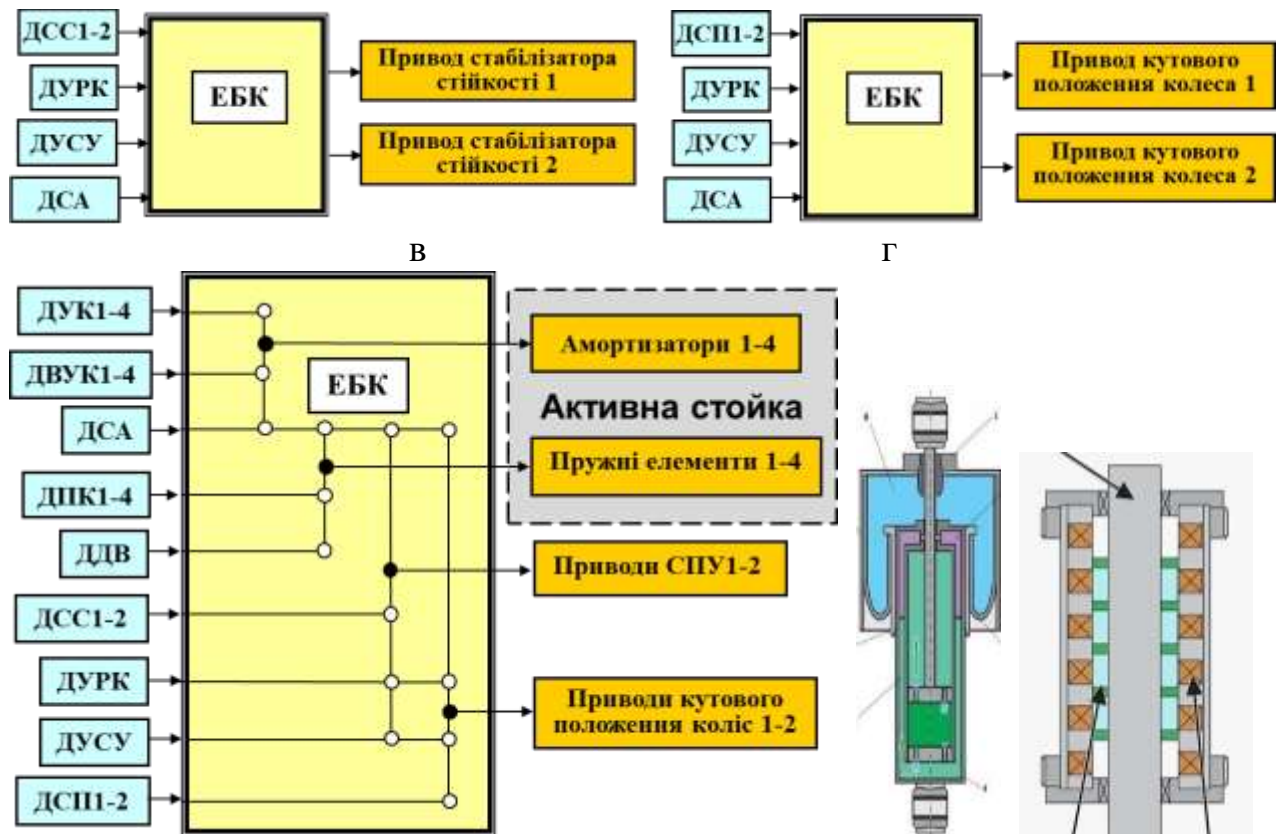


Рис. 17. Композиции систем управления подвеской:  
 а...г функциональной структуры; д – комплексной структуры;  
 е – схема активной стойки; ж – схема демпфера Босе

В приведенных структурах систем управления используется информация с минимального перечня датчиков:

- скорости движения автомобиля ДСА;
- вертикального ускорения кузова ДУК;
- вертикального ускорения колеса ДВУК;
- положения кузова ДПК;
- давления воздуха ДДВ;
- состояния стабилизатора поперечной устойчивости ДСС;
- угла поворота рулевого колеса ДУРК;
- угловой скорости и ускорения ДУСУ;
- состояния привода рычага подвески ДСП.

Характеристики, которые получает подвеска того или иного автомобиля, всегда компромиссны. Идеальная подвеска должна самостоятельно изменять свои характеристики в зависимости от дорожных условий, именно такие системы управления принято называть **активными** или **ABC** (Active Body Control). Системы где системы незначительно меняют свои характеристики или отдают это право водителю, называют **полуактивными** или **пассивными**.

По принципу действия развитие получили два направления активных подвесок: **пневматические** и **гидропневматические**.

Наиболее распространенные упругие элементы - пружины, рессоры и торсионы - имеют постоянную жесткость. Поэтому регулировать характеристики можно лишь в подвесках с пневмоэлементами, изменение внутреннего давления воздуха в которых, позволяет соответствующим образом изменять и жесткость подвески. Ярким представителем первого направления является разработка фирмы Mercedes-Benz - Airmatic.

### Датчики СУ



Рис. 18. Датчики подвески: а – дорожного просвета; б – ускорения кузова

**Датчики высоты транспортного средства** также называют датчиками угла наклона колес. Изменения высоты кузова регистрируются и преобразуются в изменения угла с учетом кинематики соединительной тяги. Датчик угла наклона колес работает **по принципу индукции**. Датчик генерирует **ШИМ-сигнал** (пропорциональный углу) для блока управления подвеской.

Все датчики уровня идентичны и различаются только креплением и кинематикой тягой для каждого из колес. Сигналы датчика противоположны для правой и левой стороны автомобиля. В результате при сжатии подвески выходной сигнал датчика на одной стороне растет, а на другой – падает.

Основными конструктивными элементами датчика являются ротор и статор. Статор представляет собой многослойную пластину с генераторной катушкой, тремя измерительными катушками и измерительным модулем. Измерительные катушки являются звездообразными и расположены на отводе (рис. 19).

Генераторная катушка размещена на задней части пластины (статора). Ротор соединяется с приводным рычагом и движется вместе с ним. На роторе расположен замкнутый контур из проводника такой же звездообразной формы, как и измерительные катушки. Переменный ток протекает через генераторную катушку (статор) и генерирует электромагнитное поле (1-е магнитное поле). Это поле проходит через замкнутую цепь ротора.

Электрический ток, индуцированный в замкнутом контуре ротора, также генерирует электромагнитное поле (2-е магнитное поле). Магнитные поля генераторной катушки и ротора воздействуют на измерительные катушки, в результате чего в них генерируется переменное напряжение, зависящее от положения ротора. По сути, индукция в измерительных катушках зависит от их расстояния до ротора и, соответственно, от их углового расположения относительно ротора.

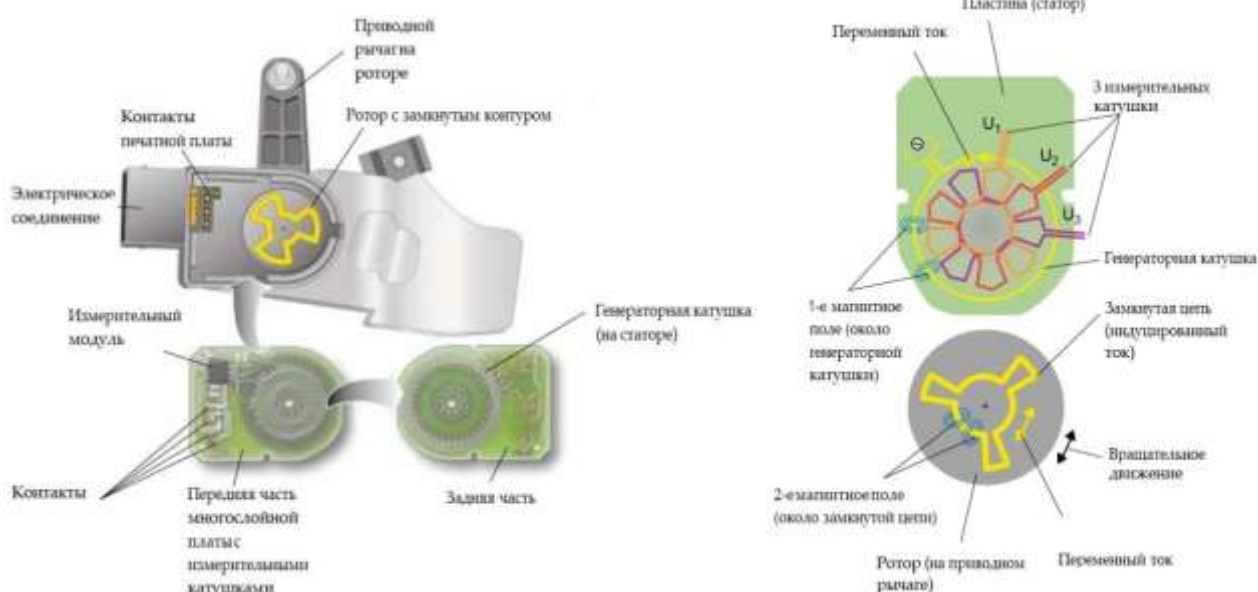


Рис. 19. Устройство датчиков высоты автомобиля (положения кузова)

Электронный измерительный блок выпрямляет и усиливает переменное напряжение измерительных катушек и оценивает отношение этих значений (логотметрическая оценка). После оценки напряжений результат конвертируется в формат, понятный для блока управления системы подвески для последующей обработки.

**Датчик ускорения кузова** работает по принципу емкостного измерения. Между пластинами конденсатора находится закрепленная с помощью эластичных элементов масса  $m$ , выполняющая функцию центрального электрода, и изменяющая емкость конденсаторов  $C1$  и  $C2$  в ритме собственных колебаний в обратном направлении пропорционально смещению. Расстояние между пластинами  $d1$  одного конденсатора увеличивается настолько, насколько уменьшается расстояние  $d2$  другого конденсатора. Это приводит к изменению емкости отдельных конденсаторов (рис. 20, а).

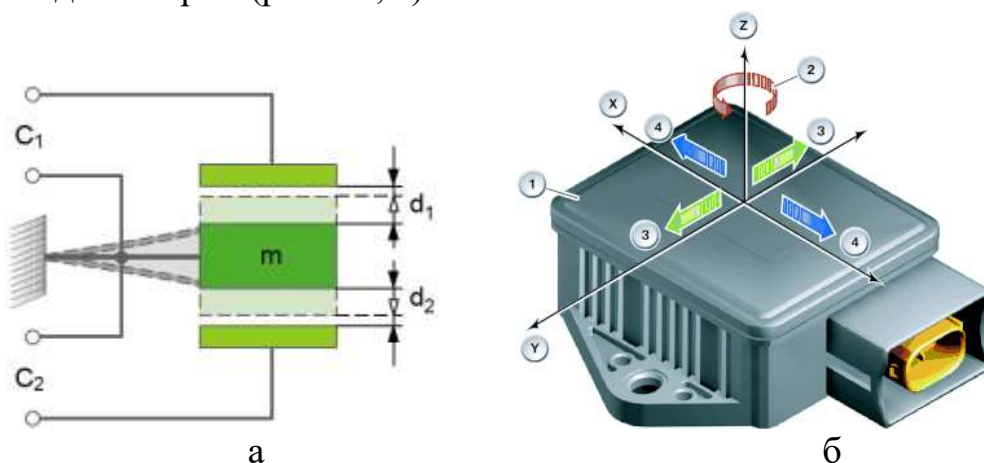


Рис. 20. Построение акселерометров:

а – принцип емкостного датчика ускорения; трех-координатный датчик DSC

Электронная система оценки передает **аналоговый сигнал** напряжения на блок управления системы электронного регулирования демпфирования J250.

**Датчик DSC** измеряет следующие параметры:

- скорость вращения автомобиля вокруг вертикальной оси;
- поперечное ускорение автомобиля;
- продольное ускорение автомобиля

Сенсорный элемент состоит из **2-х пьезоэлектрических датчиков ускорения**. В измерительных ячейках датчиков ускорения на пружине подвешена некоторая масса. При движении с ускорением 2 подпружиненные массы также ускоряются. Необходимая для этого сила создает механическое напряжение в материале. Возникающий при этом перенос заряда снимается с помощью металлических электродов и преобразуется в электрический сигнал. Из разности обоих сигналов ускорения выводится скорость вращения автомобиля вокруг вертикальной оси. Таким образом, датчик DSC каждый раз передает сигнал скорости вращения автомобиля **вокруг вертикальной оси и сигнал ускорения**.

### ***Реализация систем с электронным управлением***

Система Airmatic состоит из передних и задних пневматических амортизационных стоек, компрессора, центрального пневмоаккумулятора, блока управления и датчиков, информирующих блок управления **о скорости движения, нагрузке автомобиля и угле поворота рулевого колеса**. В работу Airmatic может вмешаться водитель, который, во-первых, может установить нужный дорожный просвет (**подушки**), во-вторых, выбрать режим - комфортный или спортивный во время движения (**амортизаторы**). В **автоматическом** режиме производится наиболее эффективное перераспределение управляющих воздействий. Например, при торможении передние колеса будут подпрессориваться более жестко, чем задние, а при ускорении - наоборот, но это в обоих случаях позволит избежать продольного «клевок» кузова.

Фольксваген применяет пневматическую подвеску CDC (Continuous Damping Control), которая обходится без традиционных пружин и амортизаторов. Ключевую роль в конструкции CDC играют модули пневматических стоек. Насос нагнетает давление в резервуар-аккумулятор, распределяющий воздух по контурам. Главный процессор информируют **датчики дорожного просвета и ускорения (последние установлены на колесах), три датчика вертикального ускорения кузова**.

Система управления демпфированием CDC регулирует демпфирующие характеристики **амортизаторов** автомобиля в соответствии с условиями движения и качеством поверхности дороги. Система CDC использует принцип «Skyhook». **Принцип «Skyhook»** состоит в том, чтобы поддерживать кузов в насколько возможно устойчивом состоянии за счет переменного демпфирования, независимо от условий движения. Для этого, система использует в качестве опорной точки воображаемую виртуальную плоскость, которая хранится

как вычислительная модель в блоке управления системы CDC. Цель состоит в том, чтобы удерживать кузов автомобиля насколько это возможно горизонтально, относительно этой плоскости. Все вертикальные перемещения компенсируются в максимально возможной степени приведением в действие амортизаторов. Эти действия выполняются в течение миллисекунд.

Электронным центром гидропневматической подвески Hydractive (Citroen) является блок ВНИ – гидроэлектронный интерфейс, состоящий из электронного контроллера и автономного генератора гидравлического давления. Блок ВНИ получает информацию от **шести датчиков: скорость автомобиля; положения педалей акселератора и тормоза; положения и ускорений кузова, угла поворота руля**. Полученная информация сравнивается с параметрами, заложенными в память компьютера, а по результатам анализа выдается команда электроклапанам ВНИ, через которые гидравлическая жидкость впускается или, наоборот, откачивается из гидросистемы, заставляя подвеску изменять режим работы, а кузов - опускаться или приподниматься над дорогой.

В системе Dynamic Drive (BMW) с активными стабилизаторами поперечной устойчивости, ЭБУ получает информацию от **датчика поперечных ускорений** и открывает нужный контур активизации гидромотора для **изменения длины штанги стабилизатора**. Давление в системе до 18 МПа нагнетает механический насос, чем оно выше, тем на больший угол закручиваются плечи стабилизатора и тем сильнее он сопротивляется кренам.