

Дисциплина «ЭСКТС»  
Часть 3 «Мехатронные системы ходовой части автомобиля»  
Тема 14 «Системы управляемых подвесок»  
Лекция № 41 (2 часа)

Вопрос:

**4. Структура и функционирование пневматических подвесок**

***Общие сведения***

Пневматическая подвеска автомобиля представляет собой разновидность подвески, клиренс (высота кузова автомобиля по отношению к дорожному полотну) которой может регулироваться (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид пневматической подвески автомобиля

На сегодняшний день существует три типа пневмоподвесок: одноконтурная, двухконтурная, четырехконтурная.

Одноконтурные системы, как правило, устанавливают на одну из осей автомобиля, как на переднюю, так и на заднюю. Обычно одноконтурными подвесками оборудуют седельные тягачи и грузовики, чтобы водитель имел возможность отрегулировать жесткость задней оси в зависимости от загруженности машины.

Двухконтурная подвеска устанавливается на одну или на две оси. В первом случае становится возможной независимая регулировка колес. Двухконтурная система, осуществляющая управление двумя осями, аналогична двум одноконтурным подвескам.

Четырехконтурная подвеска считается наиболее функциональной, так как позволяет производить регулировку пневмоподпора на каждом колесе. Обязательным элементом такой системы является **электронный блок управления с датчиками**, автоматически регулирующий давление в пневматических элементах (рис. 2).

Пневматическая подвеска **включает** следующие составляющие:

- **Упругие** пневматические элементы на каждое из колес, которые играют роль исполнительного механизма подвески. Упругие элементы регулируют и поддерживают клиренс, изменяя высоту кузова за счет увеличения или уменьшения воздушного давления в пневмоэлементах.

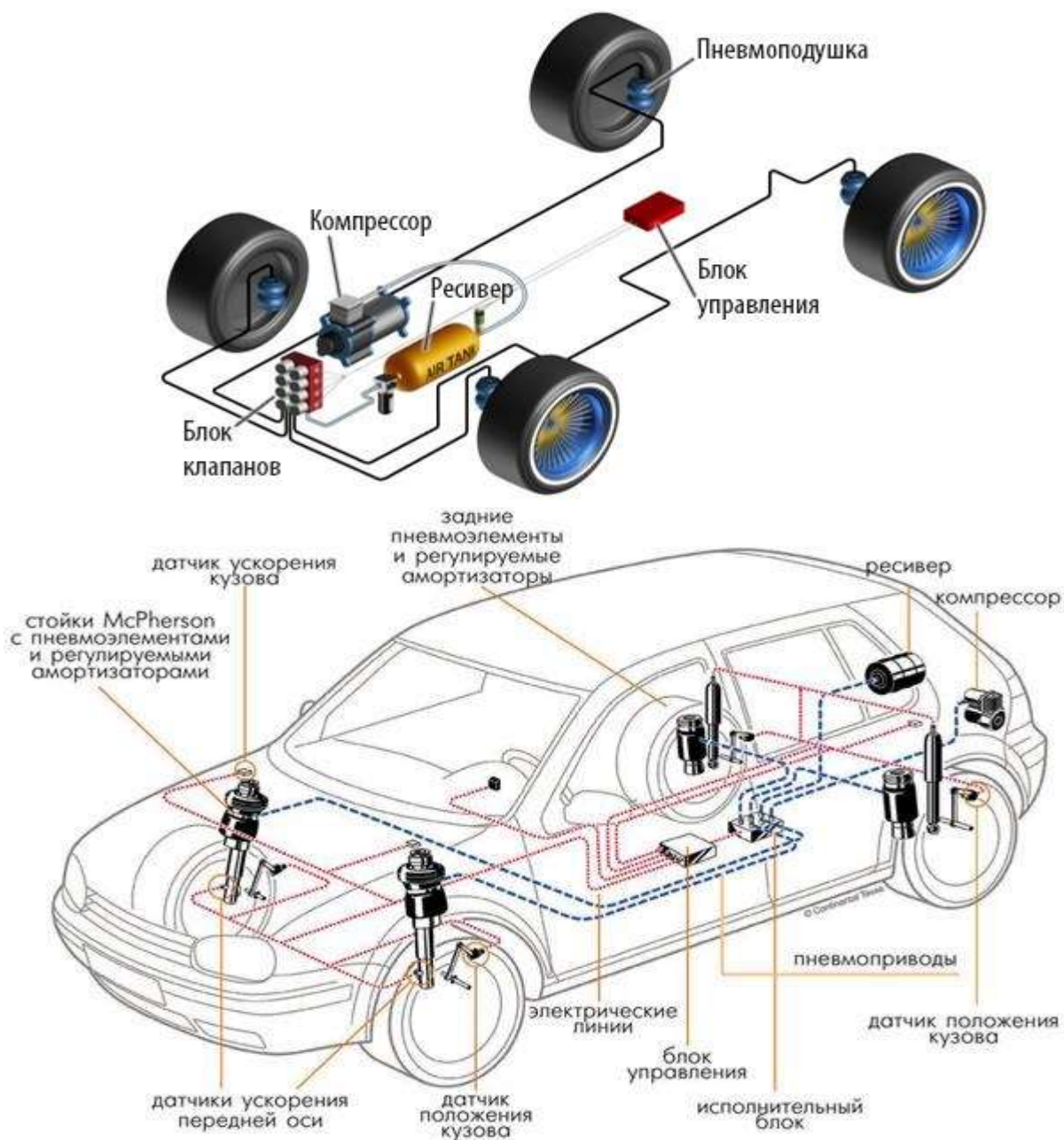


Рис. 2. Схема расположения элементов четырехконтурной пневмоподвески

- **Компрессор**, выступающий основным конструктивным элементом пневматической подвески, отвечает за подачу воздуха, который предварительно сжимается, в ресивер и в исполнительные механизмы.

- **Воздушный ресивер** осуществляет регулировку клиренса в небольших пределах без компрессора, а также обеспечивает быструю работу адаптивных подвесок.

- **Воздушные магистрали** отвечают за соединение всех механизмов пневмоподвески в единую слаженную пневматическую систему.

- **Датчики** отслеживают положение и наклон кузова автомобиля по отношению к дороге, рассчитывают ускорение и прочие важные параметры.

- **Блок управления** обрабатывает сигналы датчиков, отвечая за автоматическую или ручную регулировку подвески.

Пневматическая подвеска дает возможность отрегулировать клиренс автомобиля не только в ручном, но и в автоматическом режиме. **Ручной режим** подразумевает самостоятельную регулировку водителем дорожного просвета машины. **В автоматическом режиме**, как правило, функционируют адаптивные подвески, поддерживающие необходимый клиренс и жесткость амортизаторов в зависимости от таких параметров, как скорость, наклон, ускорение автомобиля и т.д.

Пневмоподвеска имеет ряд важных **преимуществ**:

- адаптивность, которая отражается в широком диапазоне настроек жесткости и клиренса, а также допустимых нагрузок на ось.
- управляемость проявляется в возможности быстрой настройки давления в пневмобаллонах, что позволяет значительно уменьшить крен автомобиля при поворотах.
- настраиваемость подвески под ситуацию на дороге согласно пожеланиям водителя.
- индивидуальность пневмоподвески заключается в возможности моментального изменения клиренса без ущерба управляемости, комфорту и безопасности.
- практичность состоит в полном использовании грузоподъемности автомобиля, что особенно актуально для пикапов, фургонов и грузовиков.

Пневматическая подвеска имеет несколько **недостатков**, самым неприятным из которых является ее плохая ремонтпригодность. Например, пневматические стойки в случае выхода из строя приходится только менять, так как ремонту они не подлежат. Кроме этого, на долговечности пневмоподвески отрицательно отражаются дорожные реагенты и пониженные температуры.

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**.

**В подвеске Airmatic** подпрессоривание каждого отдельного колеса производится не с помощью пружин, а посредством сжатого воздуха, необходимое количество которого быстро подводится или отводится через электромагнитные клапаны к имеющим особую конструкцию амортизаторам.

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 (рис. 3).

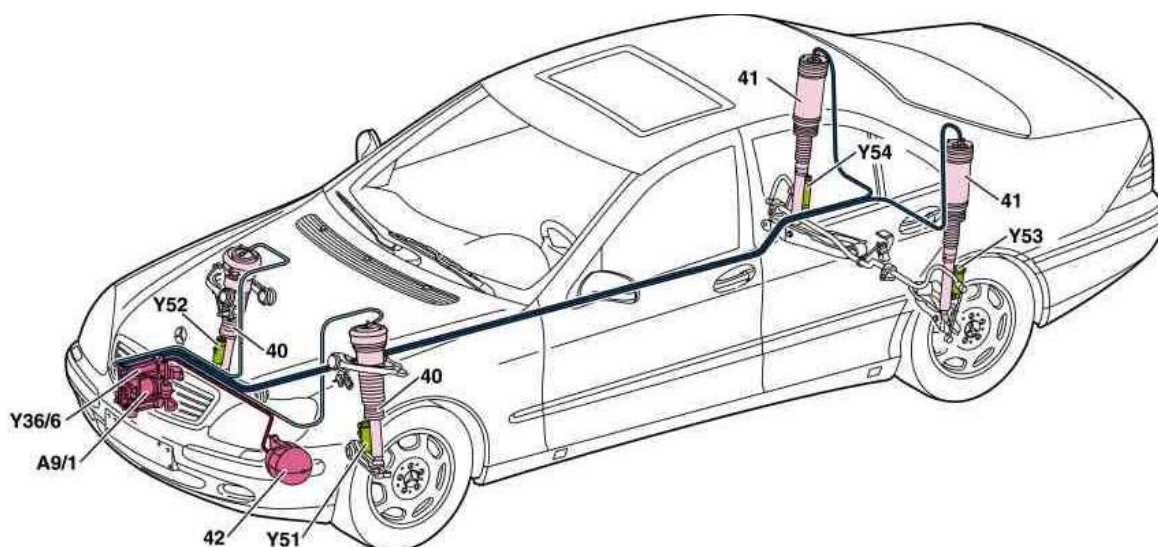


Рис. 3. Расположение пневматических компонентов подвески Airmatic:  
 40, 41 – пневмостойки; 42 – главный коллектор пневмоподвески;  
 A9/1 – компрессор; Y36/6 – блок клапанов пневмоподвески;  
 Y51...Y54 – клапана пневмостоек

В работу **Airmatic** может вмешаться водитель, который, во-первых, может установить нужный дорожный просвет (**подушки**), во-вторых, выбрать режим – комфортный или спортивный, в котором будет работать подвеска 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 «клевка» кузова.

**Компоненты системы Airmatic** показаны на рис. 4.



Рис. 4. Компоненты пневматической системы Airmatic:

а – интегрированный модуль (ЭД + датчик давления воздуха + блок клапанов);  
 б – блок клапанов; в – пневматические стойки



*Подробнее*

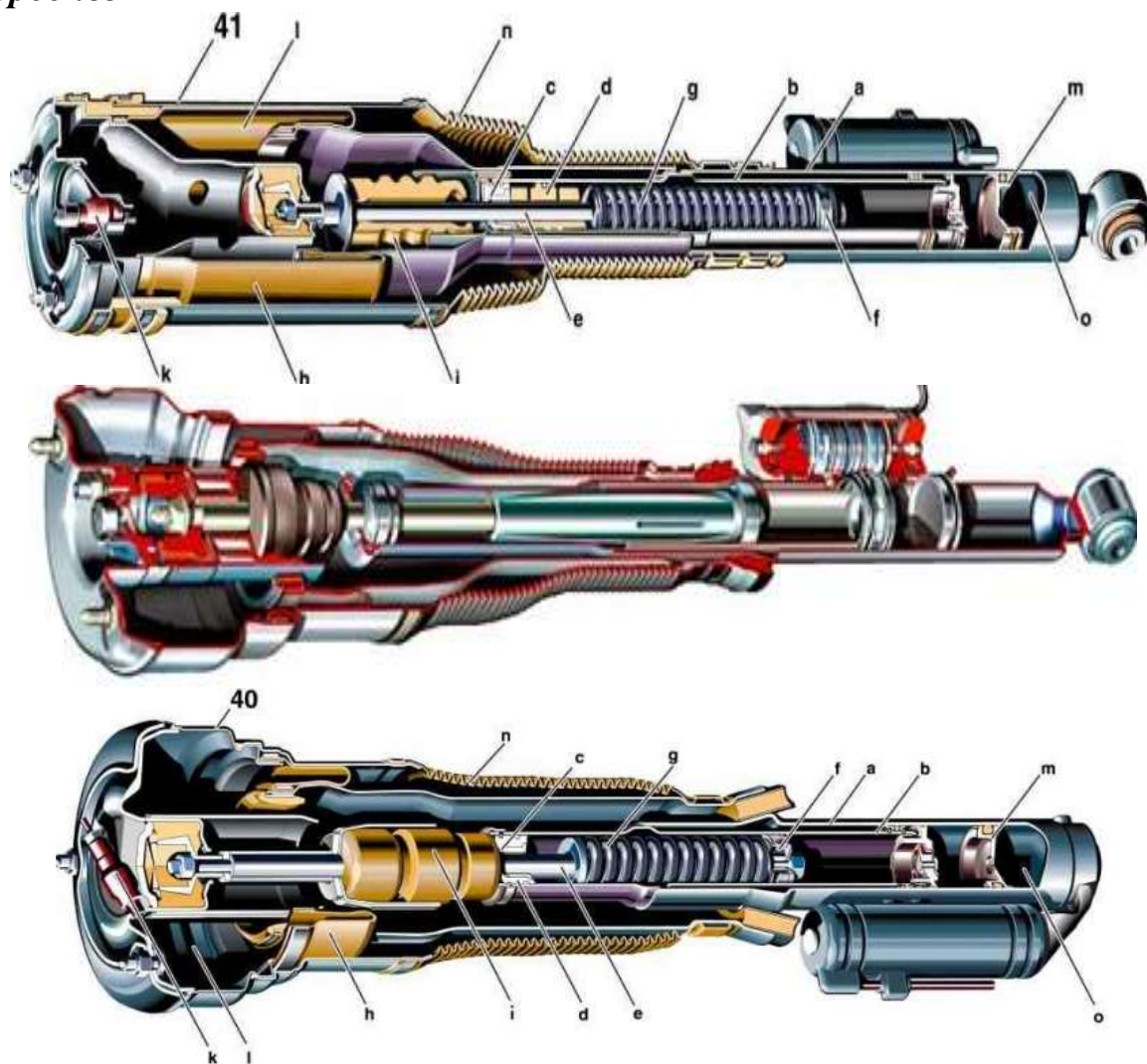


Рис. 5. Устройство пневматических стоек заднего 41 и переднего 40 моста:  
 а – стенка амортизационного сердечника; б — цилиндрическая трубка;  
 с – прокладка штока поршня; d – направляющая штока поршня; е — шток поршня; f — рабочий поршень; g — буфер отбоя пружины; h – воздушная мембрана; i – буфер отбоя; k — клапан остаточного давления; l — воздушная камера; m — разделительный поршень; n – защитный пыльник; o – камера высокого давления газа

Задача **демпфирующих клапанов** – адаптировать жесткость амортизаторов к стилю вождения и дорожным условиям. Жесткость амортизаторов регулируется в демпфирующих клапанах (Y51, Y52, Y53, Y54). Каждое колесо имеет один клапан демпфирования, который установлен между верхней и нижней опорами однотрубных пневматических амортизаторов. Каждый такой клапан (можно сказать, блок) содержит два электромагнитных клапана (y1, y2), что позволяет блоку переключиться **в одну из 4 возможных настроек** амортизаторов

в соответствии с тем, какую команду клапанный блок получает от модуля управления пневмоподвеской Airmatic с ADS. Оптимальный параметр демпфирующего усилия определяется проходным сечением (запорными дисками) демпфирующего клапана (комбинации включения электромагнитных клапанов  $y1$ ,  $y2$ ).

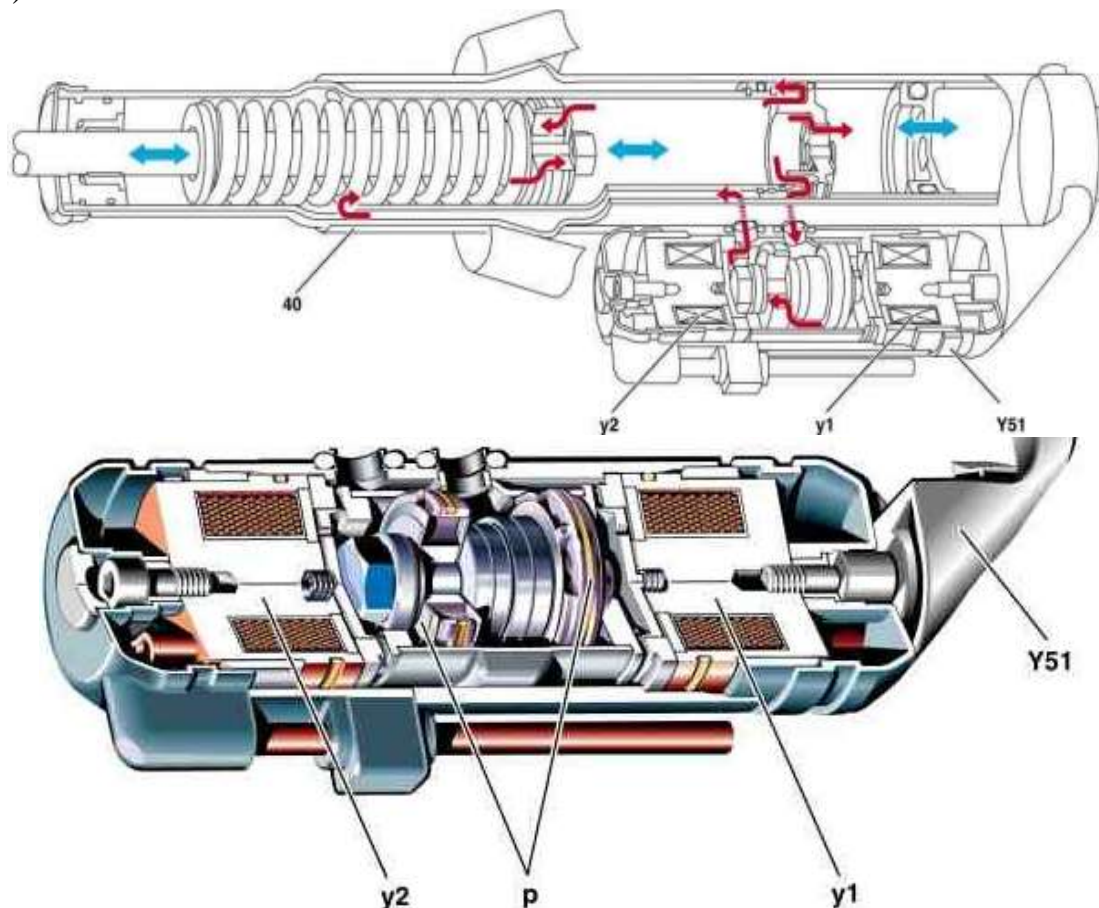


Рис. 6. Устройство пневматической стойки:

а – распределение потоков газа; б – устройство демпфирующего клапана; Y51 — передний левый демпфирующий клапан;  $y1$  – электромагнитный клапан 1;  $y2$  — электромагнитный клапан 2; p — поршневой блок клапанов

Демпфирующий клапан (Y51, Y52, Y53, Y54) состоит из корпуса и двух поршневых клапанов, которые располагаются выше соленоидов и вместе образуют электромагнитный клапан ( $y1$ ,  $y2$ ). Внутри системы содержится масло для поглощения перепадов давления и резких нагрузок.

### **Система управления**

Входящие данные. Модуль управления пневмоподвеской Airmatic получает входные сигналы по шине CAN из следующих компонентов:

- модули управления ESP, двигателя, КПП;
- датчики угла поворота рулевого колеса, ускорения кузова; высоты осей, давления пневмоподвески;
- переключатели Comfort / Sport, клиренса, приборная панель.





Состав и размещение элементов адаптивной подвески AAS (Adaptive Air Suspension), на автомобиле Audi Q7 показано на рисунке 9.

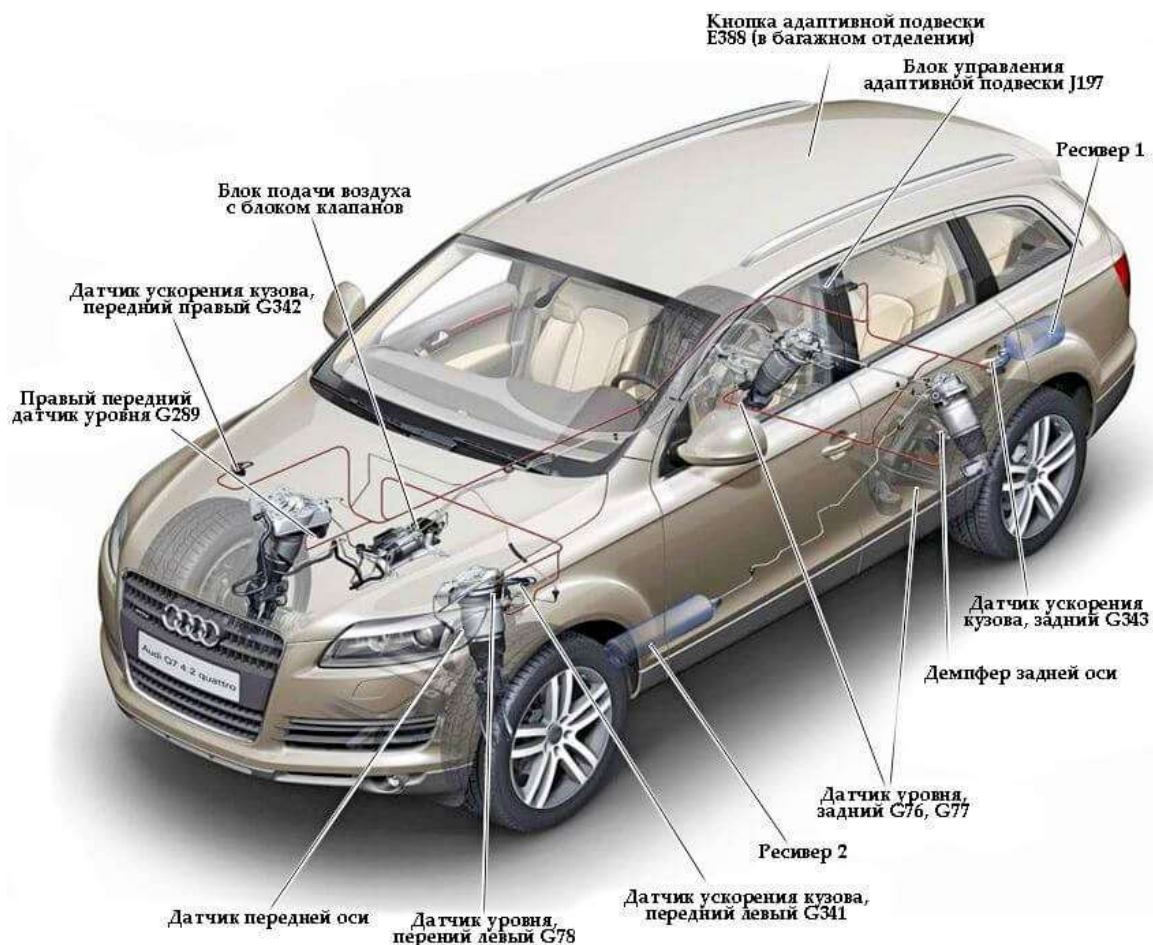


Рис. 9. Размещение элементов адаптивной подвески на автомобиле Audi Q7

В адаптивной пневматической подвеске типа AAS применены электроклапанные амортизаторы и пневмоподушки. Подвеска используется на автомобилях Audi.

**Высота** транспортного средства и **ускорение неподрессоренной массы** измеряются **датчиками уровня** (рис. 10, а). Датчик ускорения кузова используется для измерения ускорения поддрессоренной массы (рис. 10, б).



Рис. 10. Компоненты системы управления:  
а – датчик уровня; б – датчик ускорения кузова (колеса); в – ЭБУ;



Два датчика уровня монтируются в правых и левых колесных арках. Третий датчик установлен в салоне автомобиля в задней левой части, на уровне задней оси.

Блок управления J197 (рис. 10, в) анализирует сигналы от компонентов системы и генерирует сигналы активации клапанов демпферов, компрессора, пневматических клапанов и информационных панелей.

На обеих осях Audi Q7 используются демпферы пневматической подвески (рис. 11).

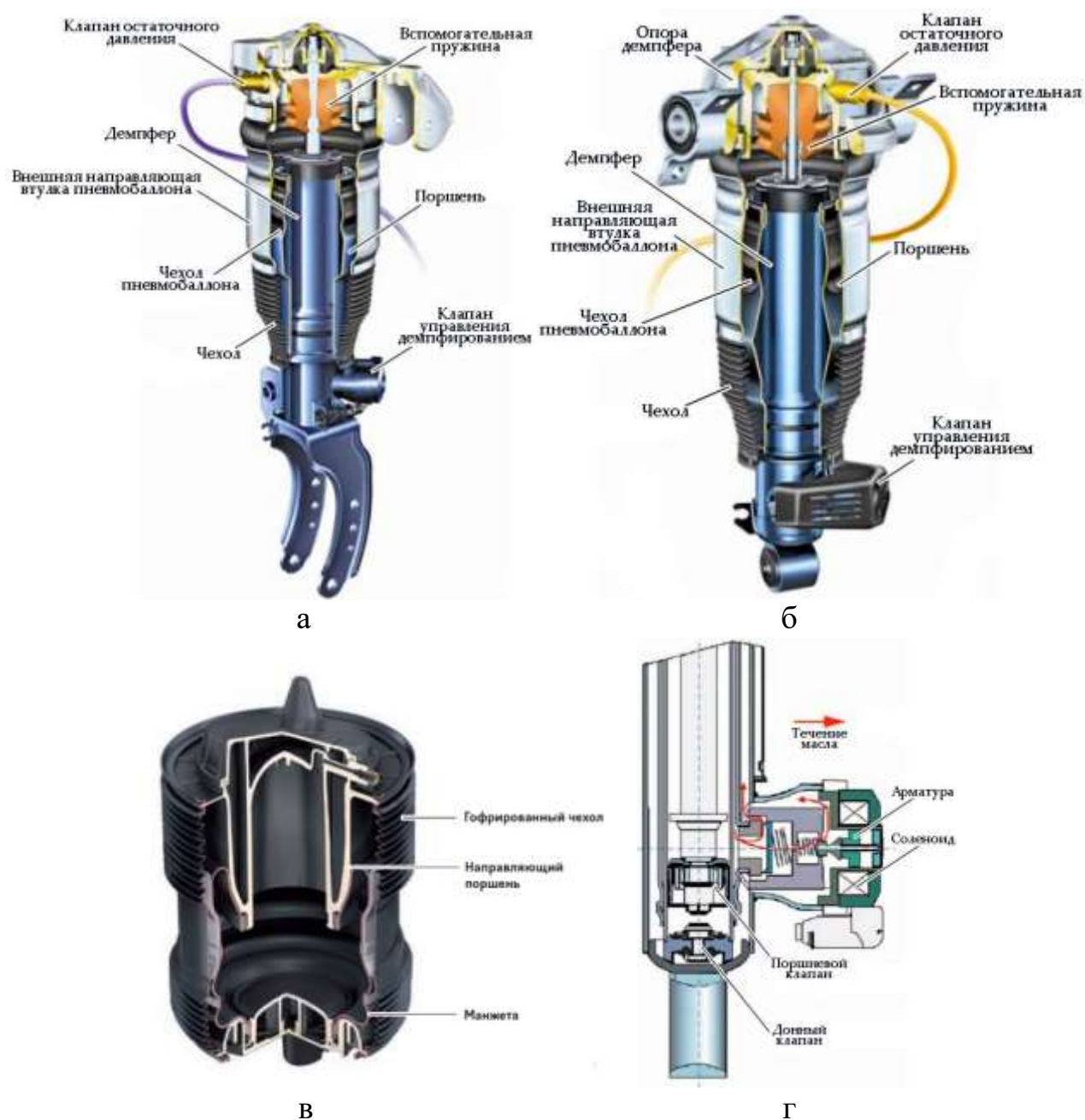


Рис. 11. Демпферы пневмоподвески: а – передней стойки; б – задней стойки; в – пневмобаллон; г – схема демпфирования

Пневмобаллон стойки (рис. 11, в) охватывает корпус амортизатора по средствам направляющего поршня, а гофрированный чехол закреплен в головке стойки, вместе со штоком амортизатора. Клапаны остаточного давления обеспечивают поддержание минимального давления в пневматических баллонах не ниже 3,5 атм. Клапан управление демпфированием CDC (Continuous Damping Control) расположен в нижней части амортизатора и используется для изменения его характеристик (рис. 11, г).

Если клапан регулировки демпфирования обесточен, затвор клапана и цилиндр занимают фиксированное положение под воздействием упругих сил. В данном случае масло протекает через поперечное отверстие из камеры поршня в уравнительную камеру, обеспечивая среднее демпфирование. При подаче тока на соленоид арматура перемещается. В результате изменяется сечение поперечного отверстия. При малых токах (приблизительно 600 мА) сечение поперечного отверстия увеличивается, соответственно уменьшаются демпфирующие силы. Демпфирование достигает высоких значений при подаче тока от 1000 мА до 2000 мА. В случае неисправности в системе клапан обесточивается. Таким образом, в подвеске устанавливаются средние демпфирующие силы, что обеспечивает устойчивость транспортного средства при движении.

**Модуль подачи воздуха вместе с блоком клапанов** (рис. 12, а) прикрепляется к общему кронштейну на днище автомобиля с передней правой стороны.



Рис. 12. Компоненты пневмосистемы: а – модуль подачи воздуха; б – ресивер

Максимальное давление в системе составляет 16,5 атм. Максимальное время работы компрессора определяется его температурой, постоянно контролируемой термодатчиком (рис. 13).

Ресиверы (рис. 12, б) выполняют две функции: регулировка (увеличение клиренса) клиренса без включения компрессора; коррекция клиренса после выхода пассажиров, а также после установленного простоя автомобиля.



Рис. 13. Датчики температуры компрессора: а – для жидкостного охлаждения; б – контактного типа

Если давление в ресивере падает примерно до 12,3 атм в момент, когда пневматическая система активна, двигатель заведен, а транспортное средство движется со скоростью более 35 км/час, для нагнетания дополнительного давления в нем запускается компрессор. Принцип действия пневматической системы поясним в соответствии с ее схемой (рис. 14).

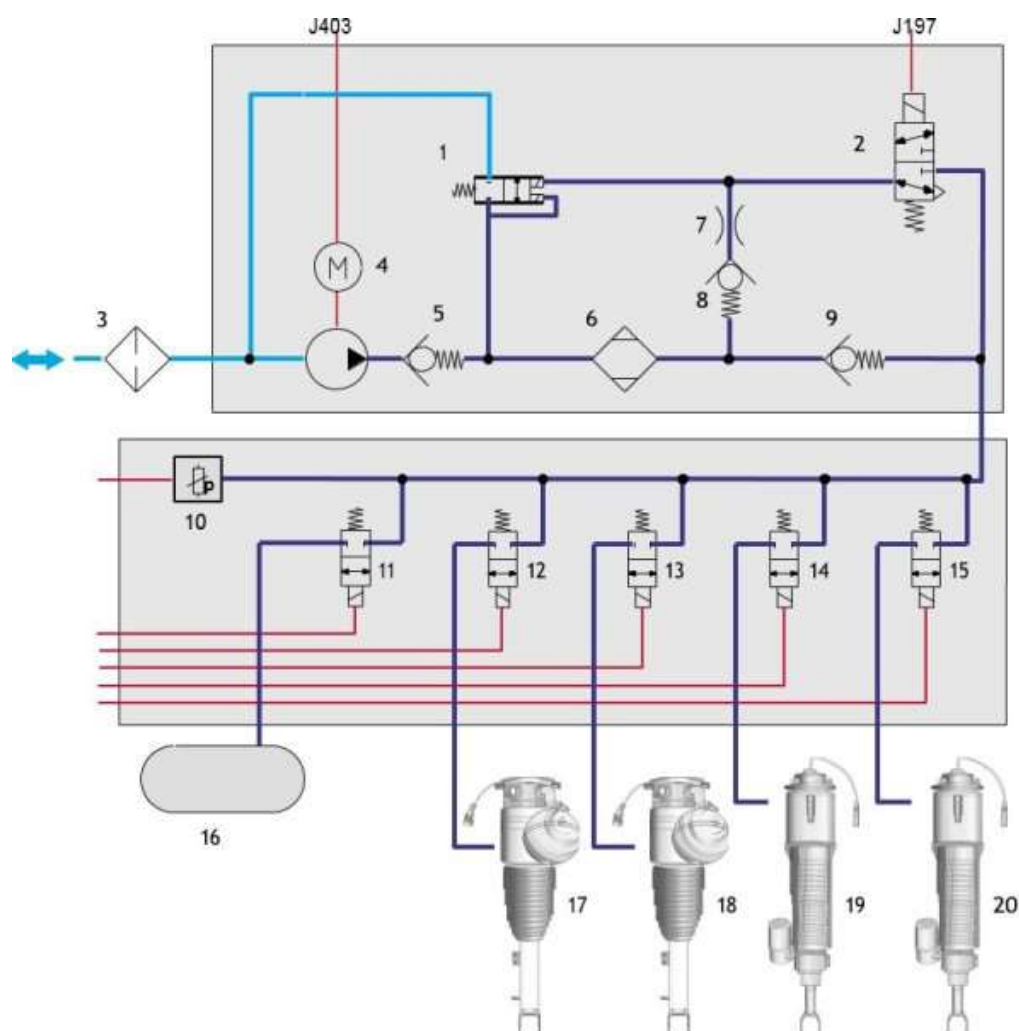


Рис. 14. Схема пневматической системы:

1 – пневматический дренажный клапан; 2 – электрический дренажный клапан N111; 3 – глушитель/фильтр; 4 – компрессор V66; 5, 8, 9 – перепускные клапаны 1, 3, 2; 6 – осушитель; 7 – ограничитель выпуска; 10 – датчик давления G291; 11 – клапан ресивера N311; 12, 13, 14, 15 – клапаны пневматической стойки N148 – N151; 16 – ресивер; 17, 18, 19, 20 – стойки

В системе пневматической подвески используется шесть электромагнитных клапанов. Дренажный клапан N111 с пневматическим дренажным клапаном образуют функциональный узел, встраиваемый в корпус осушителя. Дренажный клапан N111 представляет собой 3/2 ходовой клапан, закрытый при отсутствии управляющего напряжения.

Пневматический дренажный клапан выполняет две задачи: ограничивает давление и поддерживает остаточное давление. Клапан ресивера N311 и четыре клапана пневмобаллонов N148, N149, N150 и N151 размещены в блоке электромагнитных клапанов. Клапаны являются 2/2 ходовыми, закрытыми при отсутствии питающего напряжения. Давление на стороне пневмобаллон/ресивер действует в направлении закрытого клапана.

Начиная со скорости 30 км/ч ресиверы заполняются. Включается электромагнитный клапан 11, открывая канал от компрессора до заполнения ресивера. Как правило, ресиверы применяются для увеличения давления в пневмобаллонах только тогда, когда давление в ресивере превышает давление в соответствующем пневмобаллоне не менее чем на 3 бар.

При увеличении дорожного просвета на передней оси, напряжение подаётся на клапаны 1 и 2, компрессор не работает. Воздух из ресиверов через открытые клапаны 1 и 2 переходит в пневмобаллоны 6 и 7.

Начиная со скорости 30 км/ч, пневмосистема переходит к преимущественному созданию давления для регулирующих воздействий с помощью компрессора. Для этого подаётся напряжение на соответствующие клапаны, открывающие каналы от компрессора к пневмобаллонам.

Для уменьшения дорожного просвета, подаётся напряжение на клапаны 1–4, открывающие каналы от компрессора к пневмобаллонам. Чтобы сжатый воздух мог выходить из пневмобаллонов, пневматический переключающий клапан 11 должен быть открыт. Это достигается подачей напряжения на электромагнитный клапан 2, который открывается и подаёт давление воздуха в управляющий канал пневматического переключающего клапана. Переключающий клапан в результате переводится в открытое положение.

Воздух проходит через клапан и выходит из системы через модуль забора/выпуска воздуха. Перед выходом из пневмосистемы сухой воздух проходит через осушитель, забирая из него накопившуюся там влагу и выводя её за пределы системы.

Электрические компоненты системы подключаются к ЭБУ и цепям питания в соответствии со схемой, показанной на рисунке 15. На схеме обозначены компоненты: J187 – блок управления адаптивной подвески; G76, G77, G78, G289 – датчики уровня; G290 – датчик температуры компрессора; G291 – датчик давления адаптивной подвески; J393 – центральный модуль управления системы комфорта; G341, G342, G343 – датчики ускорения кузова; J403 – реле компрессора; N111 – дренажный клапан; N148, N149, N150, N151 – клапаны стоек; N311 – клапан ресивера; N336, N337, N338, N339 – клапаны регулировки демпфирования; V66 – двигатель компрессора; E388 – кнопка управления адаптивной подвеской.



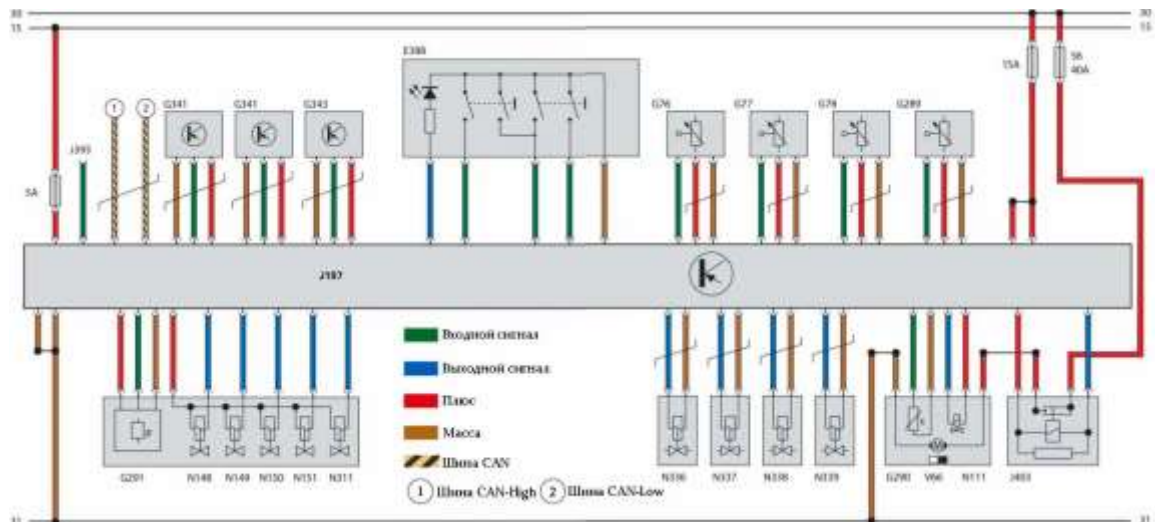


Рис. 15. Схема электрическая подключений элементов подвески Audi Q7

Система управления адаптивной подвеской AAS имеет сетевое окружение с другими ЭБУ автомобиля по различным шинам данных (рис. 16).

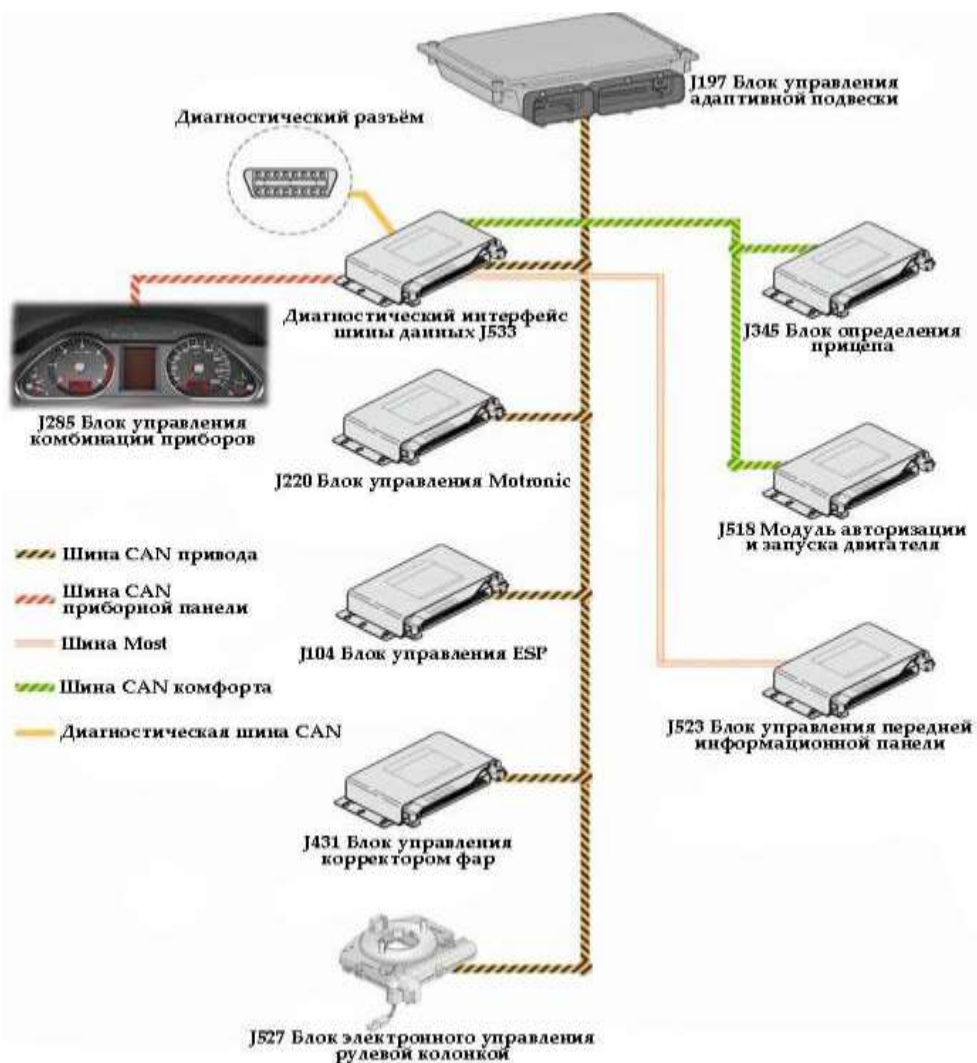


Рис. 16. Схема сетевого окружения системы управления

Функциональными компонентами, которые непосредственно задействованы в системе управления подвеской, являются информационные датчики и исполнительные устройства, связанные через входные и выходные цепи ЭБУ (рис. 17).

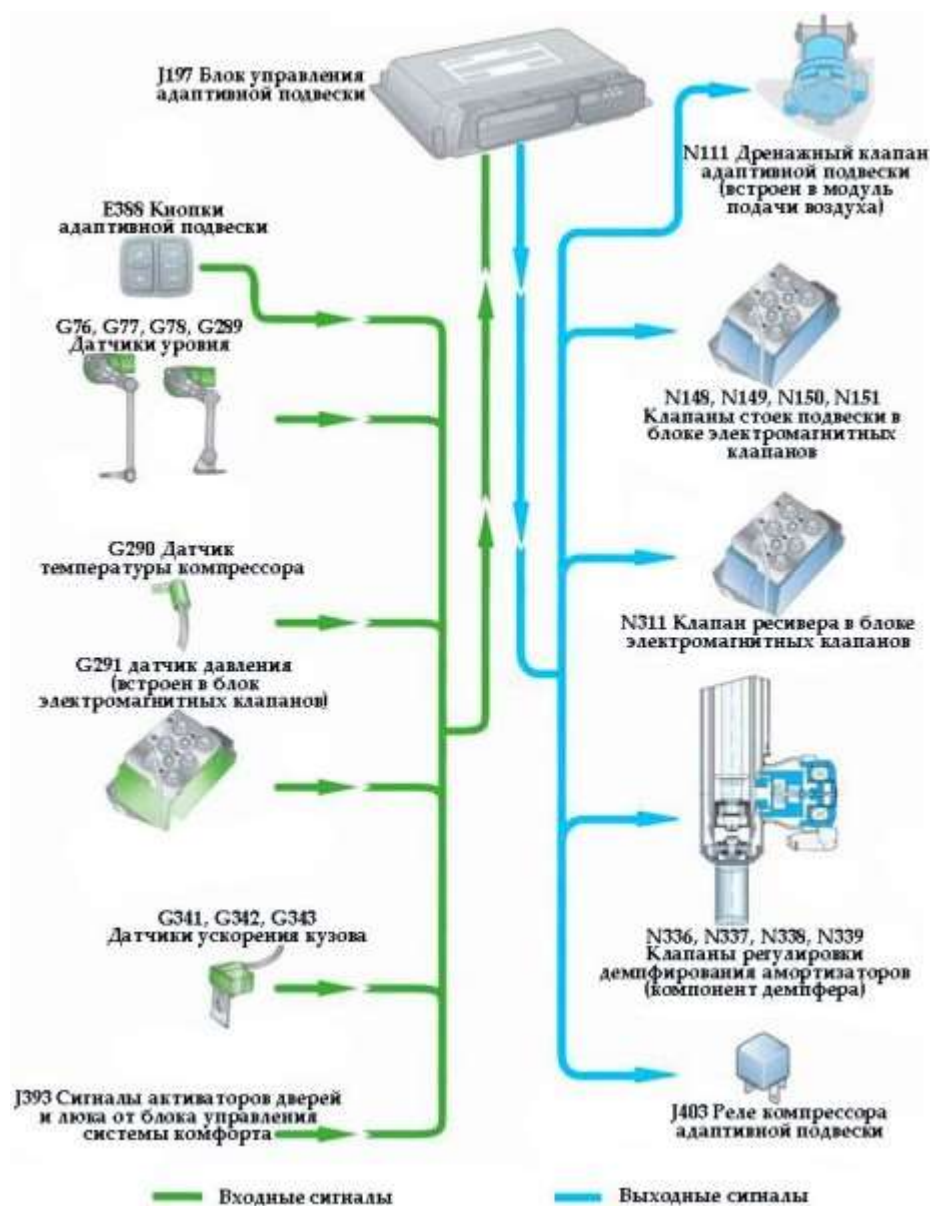


Рис. 17. Схема функциональная электрическая системы управления подвеской

Система управления подвеской AAS имеет комбинированную структуру и взаимодействует с ЭБУ других мехатронных систем привода и ходовой части автомобиля по информационным шинам различного назначения (рис. 18).

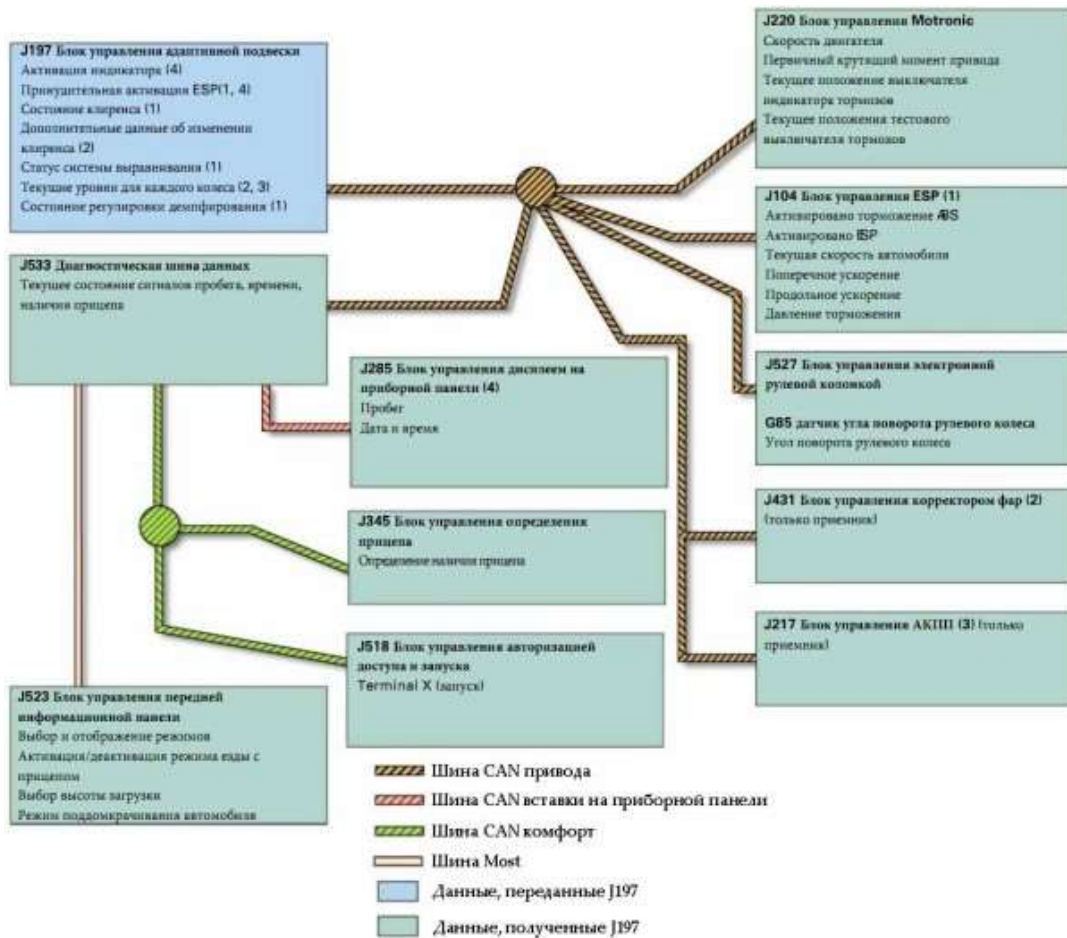
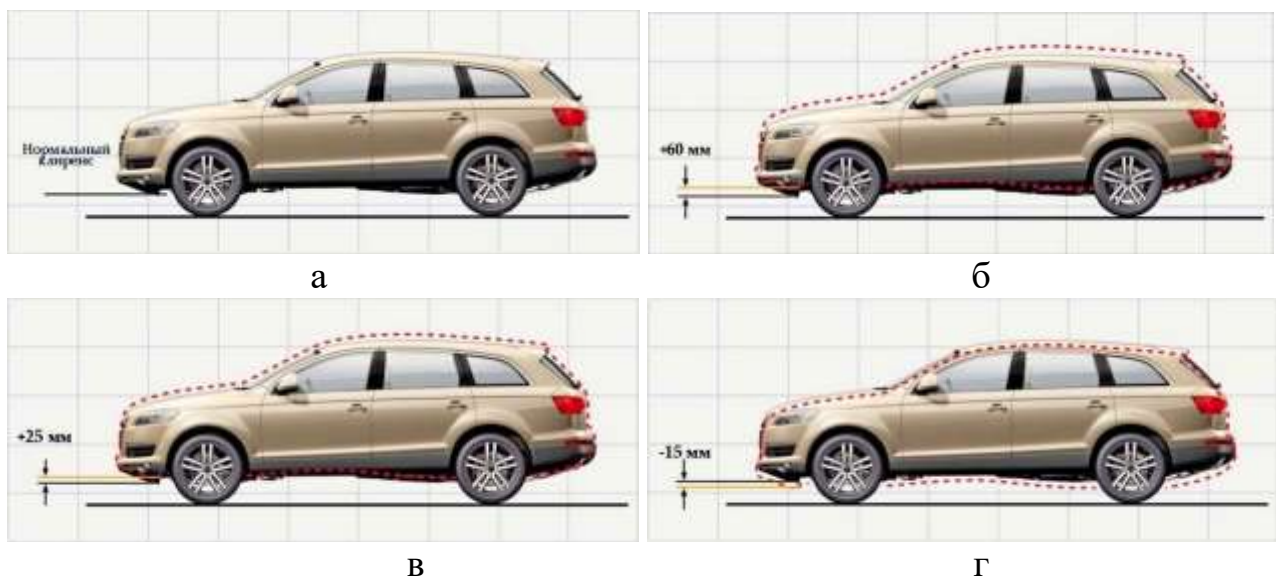


Рис. 18. Обмен данными по шинам данных системы управления адаптивной подвеской Audi Q7 (AAS)

Подвеска обеспечивает следующие **эксплуатационные режимы**, которые реализуются путем превентивного или автоматического управления (рис. 8.4.2).





Д

Рис. 19. Реакция кузова автомобиля в режимах превентивного управления: а – базовое положения; б – поднятый; в – внедорожный; г – динамичный; д – погрузки

**Автоматический режим.** В данном режиме транспортное средство находится в базовом положении. Настройка амортизатора выполнена таким образом, чтобы добиться баланса между комфортным и спортивным режимами, то есть, идеально подходит для управления автомобилем на дорогах с твердым покрытием.

Транспортное средство находится в базовом положении, амортизатор настроен для максимально комфортной езды.

**«Поднятый» режим.** Клиренс транспортного средства на 60 мм больше, чем в «автоматическом» режиме, но настройки амортизаторов совпадают с настройками в «автоматическом» режиме.

**«Внедорожный» режим.** Клиренс машины на 25 мм выше, чем в «автоматическом» режиме. Кроме того, автоматически активируются функции ESP для улучшения сцепления с дорожным покрытием. Данный режим специально разработан для езды по бездорожью.

**«Динамичный» режим.** Клиренс автомобиля на 15 мм ниже, чем в «автоматическом» режиме. Система регулировки демпфирования переключена в спортивный режим.

**Режим «погрузки».** Для улучшения удобства погрузки задняя ось автомобиля Audi Q7 занижается на 45 мм. Движение транспортного средства в данном режиме невозможно. Режим погрузки активируется на панели MMI либо кнопкой в задней части автомобиля.

В отдельную группу можно выделить режимы для специальных условий, когда в работу включаются системы управления иного назначения и функционирует система управления комбинированной структуры (рис. 20). На рисунке обозначены компоненты: J107 – блок управления адаптивной пневматической подвеской; J104 – блок управления ESP; J527 – блок управления электроникой рулевой колонки; G200 – датчик поперечного ускорения; G85 – датчик угла поворота колес.

**Движение в повороте.** Управление подвеской отключается во время поворотного маневра и включается обратно после его завершения.



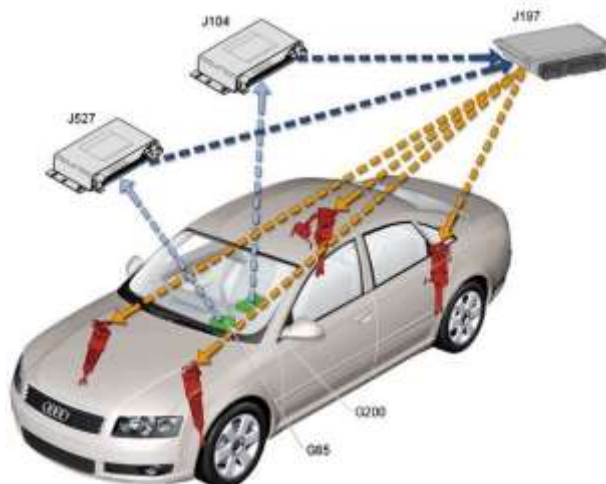


Рис. 20. Архитектура работы для специальных условий

Система распознает поворот по сигналам от датчиков угла поворота колеса и поперечного ускорения. Для каждой дорожной ситуации осуществляется регулировка демпфирования. Это позволяет эффективно бороться с нежелательными движениями кузова (например, с креном), возникающими в результате динамического движения автомобиля.

**Торможение.** Регулировка демпфирования напрямую задействована во время торможения и работы систем ABS/ESP. Регулировка демпфирования осуществляется в соответствии с текущим давлением при торможении. Система позволяет минимизировать такие негативные последствия торможения, как «нырки», проседание на заднюю ось и раскачивание кузова.

**Начало движения.** Во время начала движения сила инерционности кузова приводит к проседанию автомобиля на заднюю ось. Правильный механизм управления демпфированием позволяет минимизировать эти негативные движения кузова.

Перед началом движения и после остановки. Любые отклонения клиренса от заданных значений, существующие до начала движения или включения зажигания, корректируются. При открывании двери, багажника или появления напряжения на терминале 15 система «просыпается» и переходит в «предварительный» режим (см. раздел «Интерфейсы»). Любые отклонения, связанные с изменением высоты после выключения зажигания, например, в результате разгрузки автомобиля, корректируются в так называемом режиме «после остановки».

**Спящий режим.** Если в течение 60 секунд после включения режима «после остановки» система не получает никаких команд, она переходит в энерго-сберегающий спящий режим. Система на короткое время выходит из спящего режима для проверки клиренса после 2, 5 и 10 часов простоя. Любые отклонения от установленного клиренса (например, в результате охлаждения воздуха в пневматических баллонах) корректируются ресивером.

**Режим «подъемника».** Система распознает поднятие транспортного средства на подъемнике за счет оценки показаний датчиков уровня и времени простоя автомобиля. В памяти блока управления не осуществляется никаких записей. Данный режим не индицируется на панели приборов.

Использование домкрата (**сервисный режим**). Система не в состоянии определить, что водитель использует домкрат. Адаптивная пневматическая подвеска должна быть деактивирована перед использованием домкрата.

**Режим буксировки.** Режим буксировки автоматически включается при электрическом подключении прицепа к автомобилю. Статус системы (включен или не включен режим буксировки) можно запросить кнопкой SETUP.

**Крайне малый клиренс.** В случае снижения клиренса более чем на 65 мм от нормального уровня, на приборной панели загорается индикатор низкого уровня и моргает предупреждающий индикатор. Крайне низкий уровень может наблюдаться в случае длительного простоя транспортного средства.

**Крайне большой клиренс.** В случае увеличения клиренса более чем на 50 мм от нормального уровня, на приборной панели моргает предупреждающий индикатор. Крайне большой клиренс может временно наблюдаться при разгрузке транспортного средства.

**Аварийный режим.** В случае выхода из строя компонентов системы либо потери сигналов полная работоспособность системы не гарантируется. Если неисправность является критичной, система переходит в аварийный режим. Информация о неисправностях хранится в соответствующих блоках памяти блока управления. На приборной панели загорается предупреждающий индикатор. Назначением аварийного режима является обеспечение стабильности транспортного средства при движении. Аварийный режим предотвращает возможность включения чрезмерно мягкой подвески. В случае полной неисправности системы управления регулировка демпфирования отключается и подвеска становится максимально жесткой.